


## ЕКОЛОГІЯ

УДК 504.064.3:63

**Методологія оцінювання стану екологічної безпеки  
питного водопостачання сільських селітебних територій**Валерко Р.А. , Романчук Л.Д.*Державний університет «Житомирська політехніка»* Валерко Р.А. E-mail: valerko\_ruslana@ukr.net

Валерко Р.А., Романчук Л.Д. Методологія оцінювання стану екологічної безпеки питного водопостачання сільських селітебних територій. Збірник наукових праць «Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва», 2024. № 2. С. 122–130.

Valerko R., Romanchuk L. Methodology for assessing the state of environmental safety of drinking water supply in rural residential areas. «Animal Husbandry Products Production and Processing», 2024. № 2. PP. 122–130.

Рукопис отримано: 09.11.2024 р.

Прийнято: 22.11.2024 р.

Затверджено до друку: 28.11.2024 р.

doi: 10.33245/2310-9289-2024-190-2-122-130

У статті досліджено проблему забезпечення екологічної безпеки питного водопостачання сільських селітебних територій, яка є актуальною через зростання антропогенного навантаження, недостатню інфраструктуру водопостачання та забруднення водних ресурсів. Предметом дослідження є екологічна безпека систем питного водопостачання, а метою – розроблення методологічних основ для оцінювання та зменшення екологічних ризиків, пов'язаних з якістю питної води.

Провідним підходом є системний аналіз, який дозволяє розглядати сільське водопостачання як систему з вхідними (екологічними, соціальними та економічними чинниками) і вихідними параметрами (якість води). Розроблено модель «чорної скриньки», що враховує вплив рівня сільського господарства, урбанізації, промисловості, екологічного стану та свідомості населення на якість підземних вод.

На основі даних Житомирської області встановлено, що значна частина сільських громад зазнає критичного ризику через перевищення вмісту нітратів (59 % проб). Найгірший стан води виявлено у Бердичівському районі, де середній рівень забруднення нітратами перевищує норму у 2,6 рази. Для оцінювання якості питної води застосовано багатокритеріальні методи, зокрема відстань Хеммінга, яка дає змогу швидко визначати відхилення фактичних показників якості води від нормативних.

Запропоновано адаптовану методику для обчислення сумарного показника якості води, що базується на фізико-хімічних параметрах. Виявлено сильний кореляційний зв'язок між вмістом нітратів, заліза у воді та низкою захворювань, включаючи хронічні та онкологічні. Встановлено, що діти та немовлята є найбільш чутливими до впливу нітратів (критичний рівень ризику у Бердичівському районі).

Дослідження підтвердили доцільність застосування системного аналізу для оцінювання екологічної безпеки водопостачання. Запропоновані моделі та методи можуть слугувати основою для управлінських рішень, спрямованих на забезпечення доступу до якісної питної води, зниження ризиків для здоров'я та покращення екологічного стану сільських територій.

**Ключові слова:** сільське водопостачання, питна вода, системний аналіз, якість питної води, нітрати, залізо загальне, здоров'я населення.

**Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень.** Забезпечення екологічної безпеки питного водопостачання на сільських селітебних територіях є однією з важливих проблем сучасної екології та водних ресурсів. Зміни в екосистемах, зростання антропогенного навантаження та незадовільний стан інфраструктури в сільській місцевості погіршують якість питної води. Водні ресурси в цих районах часто піддаються забрудненню через неправильне використання землі, забруднення стічними водами, використання агрохімікатів тощо. Зважаючи на те, що якість питної води має безпосередній вплив на здоров'я населення, оцінювання стану екологічної безпеки водопостачання є критично важливим. Проблема також ускладнюється через недостатній рівень моніторингу, оцінювання та управління водними ресурсами в сільських регіонах.

Ця проблема пов'язана з низкою важливих наукових завдань, включаючи розроблення методів і моделей для моніторингу екологічного стану води, визначення ризиків для здоров'я людини та створення комплексних підходів до управління якістю води. Практичні завдання спрямовані на покращення інфраструктури водопостачання, розроблення рекомендацій для зниження забруднення джерел води, а також підвищення рівня екологічної обізнаності та участі населення у збереженні водних ресурсів.

Системний аналіз у сфері охорони довкілля є предметом численних наукових досліджень. Зокрема, комплексний системний аналіз має стати методологічною основою для вирішення практичних екологічних проблем [1]. Проведення системного аналізу якості навколишнього середовища передбачає використання індикаторів для оцінювання стану довкілля. Особливу роль відіграють еколого-економічні показники, що дозволяють визначити рівень антропогенного навантаження в регіоні [2].

Методологія системного аналізу є важливою та ефективно застосовується в різних напрямках екологічних досліджень, зокрема:

в управлінні відходами [3–5], оцінюванні впливу на довкілля [6], дистанційних аерокосмічних дослідженнях екологічної безпеки та природокористування [7], біосферних дослідженнях та моніторингу транскордонного забруднення [8], оцінюванні екологічної безпеки [9] і визначенні рівня забезпеченості водними ресурсами [10] тощо.

Проте наразі у літературі недостатньо описано використання системного аналізу в методологічному процесі оцінювання екологічної безпеки питного водопостачання. Тому запропонована методологія оцінювання екологічної безпеки сільського водопостачання на основі системного аналізу може допомогти у прийнятті ефективних рішень для забезпечення доступу до безпечної питної води в сільській місцевості, зменшення ризиків для здоров'я і підвищення загальної якості життя.

**Мета дослідження.** Метою досліджень є розроблення та обґрунтування методологічних основ оцінювання екологічної безпеки систем питного водопостачання сільських селітебних територій, що дасть змогу вчасно ідентифікувати екологічні ризики й запобігати їм, а також гарантувати належну якість питної води для населення.

**Матеріали і методи дослідження.** Провідним методологічним підходом до оцінювання стану екологічної безпеки питного водопостачання сільських селітебних територій є системний аналіз, відповідно до якого сільське водопостачання представлено у вигляді системи, яка має вхідні та вихідні параметри.

**Результати дослідження та обговорення.** За результатами попереднього аналізу емпіричної інформації про стан питного водопостачання у сільській місцевості, було розроблено модель «чорної скриньки» питного сільського водопостачання, яку представлено на рисунку 1.

Модель враховує вхідні дані, що інтерпретовані як чинники, які впливають на якість підземних вод та критерії оцінювання якості питної води, що враховують запропоновані методи.

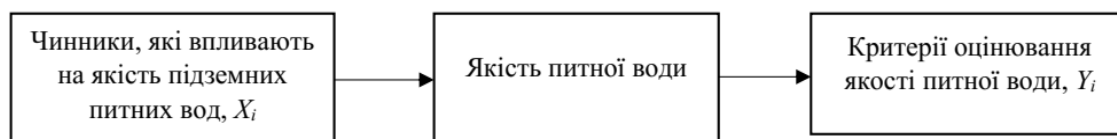


Рис. 1. Модель «чорної скриньки» сільського питного водопостачання.

Свою чергою, чинники впливу на якість підземних питних вод ( $GQ$ ) у межах сільських населених пунктів можна представити у вигляді множини:

$$GQ = (A, U, I, E, EC), \quad (1)$$

де  $A$  – рівень розвитку сільського господарства,  $U$  – рівень урбанізації,  $I$  – стан розвитку промисловості,  $E$  – стан навколишнього природного середовища,  $EC$  – рівень екологічної свідомості населення.

Кожен елемент множини  $GQ$  може бути представлений окремими підмножинами. Зокрема, множина  $A$  складається із таких елементів:

$$A = (MF, OF, I, D, LW), \quad (2)$$

де  $MF$  – кількість внесених мінеральних добрив,  $OF$  – кількість внесених органічних добрив,  $I$  – ступінь зрошення полів,  $D$  – ступінь осушення полів,  $LW$  – кількість відходів тваринницьких комплексів.

Множина  $U$  складається із таких елементів:

$$U = (W, HS, T, S), \quad (3)$$

де  $W$  – кількість відходів на несанкціонованих сміттєзвалищах,  $HS$  – господарсько-побутові стоки,  $T$  – транспорт, автошляхи,  $S$  – система водовідведення (відсутність, несправність).

Загалом вхідні параметри можна представити у вигляді графічної моделі (формула 7) та схеми (рис. 2).

$$GQ = \begin{cases} A = (MF, OF, I, D, LW) \\ U = (W, HS, T, S) \\ I = (IW, CS, WW, IL) \\ E = (R, M, F, L) \\ EC = (EA, EE) \end{cases}, \quad (7)$$

Якість води можна також представити у вигляді множини:

$$QW = (I_{ol}, I_{gsc}, I_{hb}, I_{mb}, I_{pl}, I_{rs}, I_{tox(io)}, I_{tox(org)}), \quad (8)$$

де,  $I_{ol}$  – органолептичні показники;  $I_{gsc}$  – загально-санітарні хімічні показники;  $I_{hb}$  – гідробіологічні показники;  $I_{mb}$  – мікробіологічні показники;  $I_{pl}$  – паразитологічні показники;  $I_{rs}$  – показники радіаційної безпеки;  $I_{tox(io)}$  – токсикологічні показники хімічного складу воду (неорганічні);  $I_{tox(org)}$  – токсикологічні показники хімічного складу воду (органічні).

Вихідні дані, зокрема критерії оцінювання якості питної води, за якими запропоновано здійснювати оцінювання якості питної води, представлено у вигляді множини:

$$ADWQ = (A_c, A_p, A_{hd}), \quad (9)$$

де  $A_c$  – оцінювання якості води за класами;  $A_p$  – сумарний показник якості води;  $A_{hd}$  – сумарний коефіцієнт комплексного забруднення підземних вод;  $A_{hd}$  – відстань Хеммінга.

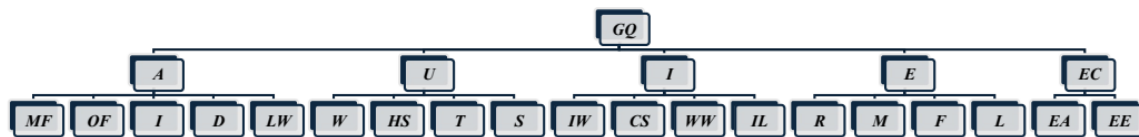


Рис. 2. Система чинників, що впливають на якість питних підземних вод.

Множина  $I$  складається із таких елементів:

$$I = (IW, CS, WW, EL), \quad (4)$$

де  $IW$  – складування промислових відходів з порушенням законодавства,  $CS$  – розливання хімічних речовин,  $WW$  – скид неочищених стічних вод,  $EL$  – недотримання природоохоронного законодавства.

Множина  $E$  може бути представлена такими елементами:

$$E = (R, M, F, L), \quad (5)$$

де  $R$  – атмосферні опади і стоки, що збираються на поверхні ґрунту або штучному покритті,  $M$  – міграція речовин,  $F$  – небезпечні гідрологічні явища (паводки, повені),  $L$  – небезпечні геологічні явища (зсуви, карсти, обвали).

Множина  $EC$  складається із таких елементів:

$$EC = (EA, EE), \quad (6)$$

де  $EA$  – екологічна обізнаність населення,  $EE$  – екологічна освіта та виховання населення.

Структурно-логічна схема досліджень включала послідовні етапи, які наведено на рисунку 3.

У результаті досліджень, проведених у межах сільських селітебних територій Житомирської області щодо стану питного водопостачання, було встановлено, що значна частина сільських громад Житомирської області перебуває у зоні критичного ризику через високий рівень забруднення води нітратами, перевищення вмісту яких було виявлено в 59 % відібраних проб питної води (рис. 4). Це свідчить про значне агроекологічне навантаження на підземні води через інтенсивне використання мінеральних добрив у сільськогосподарському секторі, зокрема у Бердичівському районі, де рівень внесення добрив сягнув 136,5 кг на гектар, що стало можливою причиною перевищення вмісту нітратів у воді джерел нецентралізованого водопостачання сільських населених пунктів у 2,6 раза [11].

За класами якості води, яка відповідно до ДСТУ 4808:2007 класифікується за п'ятьма основними класами від «дуже чистої» до «дуже забрудненої», райони області розподілились таким чином: найкраща якість води, що класифікується як «добра», чиста вода з ухилом до класу «відмінної», дуже чистої, виявлена у Житомирському районі, «добра»,

чиста вода прийнятної якості є характерною для підземних вод Бердичівського, Коростенського та Новоград-Волинського районів. Проте недоліком такої методики є те, що об'рахунок класів якості проводиться за досить усередненими показниками, а також не враховуються найгірші значення показників, що дещо змінює загальний стан.



Рис. 3. Структурно-логічна схема дослідження екологічної безпеки питного водопостачання сільської місцевості.



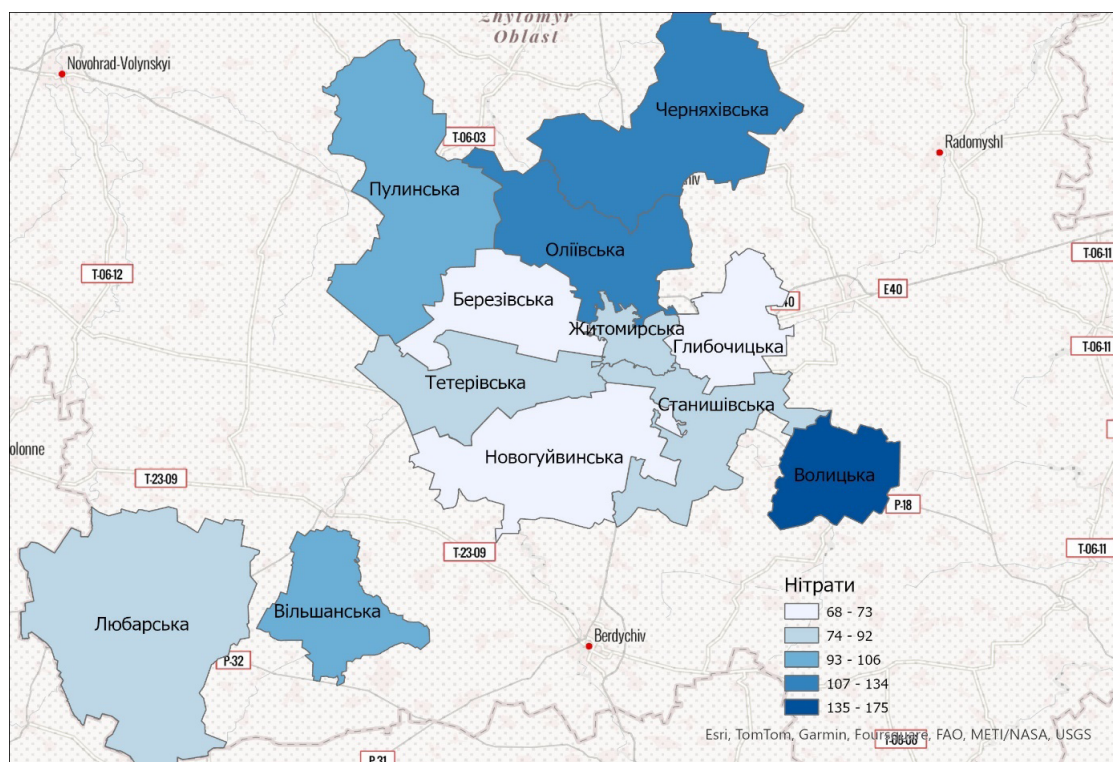


Рис. 4. Середній вміст нітратів у питній воді громад Житомирського району, мг/дм<sup>3</sup>.

Обчислення сумарного коефіцієнта забруднення підземних вод досліджуваних районів було здійснено на основі середніх значень вмісту нітратів, заліза загального та твердості загальної. Найбільша величина сумарного коефіцієнта забруднення питної води зафіксована для Бердичівського району на рівні 4,5, проте ця величина не перевищує 5. Однак, оскільки вміст нітратів у питній воді створює найбільший ризик для здоров'я населення, доцільно було б дещо змінити ранжування сумарного коефіцієнта забруднення, зокрема діапазон, у якому перебувають досить чисті води, знизити до 3. Після уточнення величини сумарного коефіцієнта забруднення підземні води усіх досліджуваних районів вважаємо слабо забрудненими.

У результаті досліджень підтверджено доцільність застосування багатокритеріальних методів оцінювання якості води, зокрема використання відстані Хеммінга для швидкого та об'єктивного оцінювання, що дозволяє швидко визначити, наскільки фактичні показники якості води різняться з нормативними значеннями. Щодо вмісту нітратів, то при нормативі 50,0 мг/дм<sup>3</sup>, який встановлено ДСанПіН, відстань збільшується навіть за значень значно менших за норматив. Тому для оцінювання було використано

норматив на рівні 5,0 мг/дм<sup>3</sup>, який встановлено Директивою Ради 98/83/ЄС про якість води, призначеної для споживання людиною. За показником загальної твердості також було використано норматив, наведений у Директиві ЄС на рівні 7,0 ммоль/дм<sup>3</sup>. Щодо вмісту заліза, його нормативне значення було на рівні 1,0 мг/дм<sup>3</sup>, що регламентується ДСанПіН. У результаті моделювання якості питної води за відстанню Хеммінга встановлено, що вода прийнятної якості описується відстанню до рівня 16,8.

Запропоновано адаптувати методику Національного інституту стратегічних досліджень для оцінювання сумарного показника якості питної води на основі відносних рівнів показників якості питної води. За результатами розрахунків успішно сформульовано математичну модель для оцінювання якості води з використанням фізико-хімічних параметрів і застосовано її до обраних громад Житомирської області. Аналіз цих параметрів показав, що варіації між різними місцями відбору проб і фізико-хімічними факторами, такими як рН, вміст нітратів, заліза загального та загальної твердості, значно впливають на якість води. Сильний зв'язок ( $r = 0,87$ ) між реальними даними (X) і прогнозами моделі (Y) підтверджує надійність моделі якості питної води за

допомогою сумарного показника якості для цілей прогнозування [12].

Відомо, що постійне споживання неякісної питної води може призвести до загострення хронічних і виникнення нових захворювань людини. У результаті досліджень виявлено середній ступінь зв'язку між вмістом нітратів і захворюваннями передміхурової залози ( $R^2 = 0,33$ ), гастритом, дуоденітом ( $R^2 = 0,25$ ), а також слабкі зв'язки з вродженими вадами у новонароджених ( $R^2 = 0,05$ ), захворюваннями сечостатевої системи, онкозахворюваннями та іншими хворобами. Загалом, вміст нітратів у питній воді впливає на розвиток 33,3 % досліджуваних захворювань. Встановлено середній ступінь зв'язку між вмістом заліза у воді та онкозахворюваннями прямої кишки ( $R^2 = 0,45$ ), епілепсією ( $R^2 = 0,31$ ), слабкі зв'язки у межах 20 % із захворюваннями крові, нервової, кровоносної систем, розладами психіки, діабетом, захворюваннями печінки та ін. Підтверджено позитивний кореляційний зв'язок між вмістом заліза у питній воді та 94 % усіх досліджуваних захворювань [13].

Оцінювання ризику для здоров'я населення сільських населених пунктів Житомирської області довело, що дитяче населення області, зокрема немовлята, перебуває у зоні високого та критичного ризику, зокрема: у межах Бердичівського району величина коефіцієнта небезпеки за середнього вмісту нітратів у питній воді становить 13,6, що вказує на критичний рівень ризику, за якого можуть виникати масові скарги та виникнення хронічних захворювань. Усі інші категорії сільського населення за умови середнього вмісту нітратів у питній воді перебувають у зоні середнього ризику виникнення шкідливих негативних ефектів, оскільки величина розрахованого ризику коливається у межах 1,3–3,9, а ризик розвитку шкідливих ефектів спостерігається для особливо чутливих груп населення, зокрема для дітей, людей похилого віку, вагітних жінок тощо. Отже, доведено, що за постійного надходження нітратів із питною водою спостерігається виникнення шкідливих впливів на здоров'я сільського населення, що за чутливістю до дії нітратів розподілились таким чином: немовлята > діти > дорослі жінки > дорослі чоловіки > підлітки.

Доведено, що споживання води із джерел нецентралізованого водопостачання, забрудненої нітратами, може призвести до скорочення очікуваної тривалості життя дорослого населення обох статей у Житомирському районі від 0,85 року (Новогуйвинська ТГ) до

2,13 року (Волицька ТГ). Для чоловіків це скорочення становить від 0,77 до 1,94 року, а для жінок – від 0,94 до 2,36 року, для дитячого населення скорочення тривалості життя досягає від 1,67 до 4,22 року загалом, зокрема для хлопців – від 1,54 до 3,9 року, а для дівчат – від 1,79 до 4,52 року.

Крім того, доросле населення обох статей у разі споживання води з підвищеним вмістом заліза може втратити від 0,11 року (Волицька ТГ) до 1,17 року (Льобарська ТГ), зокрема чоловіки – від 0,10 до 1,06 року, а жінки – від 0,12 до 1,29 року. Скорочення тривалості життя для дітей внаслідок вмісту заліза коливається від 0,21 до 2,31 року, з них для хлопців – від 0,20 до 2,13 року, а для дівчат – від 0,23 до 2,48 року.

Результати досліджень доводять, що з метою забезпечення екологічної безпеки водопостачання у сільських територіях необхідно комплексно підходити до вирішення проблем через оптимізацію управління, модернізацію технологій та активну участь громадян. У результаті, було розроблено авторську стратегічну модель підвищення рівня екологічної безпеки питного водопостачання сільських територій, що включає комплекс організаційно-правових, технологічних, управлінських, економічних та соціальних заходів.

**Висновки.** Проблема забезпечення екологічної безпеки питного водопостачання на сільських селітебних територіях є актуальною через погіршення якості води, що пов'язане зі зростанням антропогенного навантаження, недостатнім рівнем інфраструктури та моніторингу. У результаті дослідження розроблено модель системного аналізу, яка враховує численні чинники, що впливають на якість підземних вод, та критерії їх оцінювання. Було встановлено значний вплив агрохімічного забруднення, зокрема нітратів, на питну воду в Житомирській області, що підвищує ризики для здоров'я населення, особливо дітей.

Запропоновано використання багатокритеріальних методів, таких як відстань Хеммінга та сумарний коефіцієнт забруднення, для об'єктивного оцінювання якості води. Модель продемонструвала високу ефективність та надійність у прогнозуванні показників водопостачання. Виявлено середній та слабкий ступені кореляції між вмістом забруднювачів у воді (нітратів, заліза) та різними захворюваннями населення, що підтверджує потребу у покращенні якості водопостачання.

З метою мінімізації ризиків запропоновано адаптацію методологічних підходів до

управління якістю питної води та заходи для покращення інфраструктури водопостачання, підвищення екологічної обізнаності населення та впровадження системного моніторингу водних ресурсів.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Gotfrids N. System Analysis in the Environmental Science. Environment. Technology. Resources: proceedings of the International Scientific and Practical Conference. 2015. 1. 120 p. DOI:10.17770/etr2011vol1.911.

2. Поліщук В.М., Мудрак Д.О., Мудрак О.В. Системний аналіз якості навколишнього середовища Європи через призму еколого-економічних індикаторів. Збалансоване природокористування. 2024. № 2. С. 42–55. DOI: 10.33730/2310-4678.2.2024.309921.

3. Khrutba V.O., Antonenko T.V. System analysis project management communication in waste management: proceedings of the National Transport University. Kyiv: NTU, 2015. Vol. 32. P. 312–320.

4. Дяченко Н., Маркіна Л., Ковальчук А., Дяченко А. Застосування прийомів системного аналізу у разі управління відходами. Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. 2022. Вип. 6 (137). С. 9–21. DOI:10.32782/1995-0519.2022.6.1.

5. Пацева І.Г., Герасимчук О.Л., Кагукіна А.М. Системний підхід управління відходами об'єднаних територіальних громад. Екологічні науки. 2022. Вип. 4 (43). С. 181–184. DOI:10.32846/2306-9716/2022.eco.4-43.30.

6. Барна І. Концепт оцінки впливу на довкілля через призму системного аналізу. Наукові записки. 2021. № 2. С. 15–23. DOI:10.25128/2519-4577.21.2.2.

7. Методи системного аналізу в дистанційних аерокосмічних дослідженнях екологічної безпеки та природокористування / А.В. Соколовська та ін. Екологічна безпека та природокористування. 2015. № 2 (18). С. 95–102.

8. Бондар О.І., Машков О.А., Абідов С.Т. Системний аналіз екологічної небезпеки у зоні проведення антитерористичної операції на сході України: біосферні конфлікти та транскордонне забруднення. Екологічні науки. 2015. № 9. С. 5–26.

9. Тарасова В.В., Ковалевська І.М. Методологія системного підходу до оцінки безпеки довкілля. Глобальні та національні проблеми економіки. 2018. Вип. 22. С. 683–687.

10. Івчук В. В. Значення системного аналізу для визначення рівня забезпеченості водними ресурсами. «Системний аналіз в управлінні: міжгалузеві дослідження»: мат. IV Всеукр. наук.-практ. конф. за міжнар. участі (26-27 травня 2022 р., м. Київ). Київ: Національний педагогічний університет імені М.П. Драгоманова, 2022. С. 119–122.

11. Валерко Р.А., Герасимчук Л.О. Агроекологічне навантаження на сільські селітебні території Житомирської області як чинник вмісту нітрогену у питній воді. Агробіологія. 2021. № 2. С. 200–207. DOI:10.33245/2310-9270-2021-167-2-200-207.

12. Валерко Р.А., Бондарчук В.М., Герасимчук Л.О. Моделювання сумарного показника якості питної води джерел нецентралізованого водопостачання у межах громад Житомирського району. Вісник Кременчуцького нац. університету ім. Михайла Остроградського. 2024. № 2. С. 36–40. DOI:10.32782/1995-0519.2024.2.4.

13. Встановлення причинно-наслідкових зв'язків між захворюваністю населення та якістю питної води джерел нецентралізованого водопостачання / Р.А. Валерко та ін. Екологічні науки. 2024. Вип. 1 (52). Т. 2. С. 23–28. DOI:10.32846/2306-9716/2024.eco.1-52.2.4.

#### REFERENCES

1. Gotfrids, N. (2015). System Analysis in the Environmental Science. Environment. Technology. Resources: proceedings of the International Scientific and Practical Conference. 1, 120 p. DOI:10.17770/etr2011vol1.911.

2. Polishchuk, V.M., Mudrak, D.O., Mudrak, O.V. (2024). Systemnyy analiz yakosti navkolyshn'oho seredovyschcha Yevropy cherez pryzmu ekolo-ho-ekonomichnykh indykatoriv [Systemic analysis of the quality of the European environment through the prism of ecological and economic indicators]. Zbalansovane pryrodokorystuvannya [Sustainable use of nature], no. 2, pp. 42–55. DOI:10.33730/2310-4678.2.2024.309921. (In Ukrainian).

3. Khrutba, V.O., Antonenko, T.V. (2015). System analysis project management communication in waste management: proceedings of the National Transport University. Kyiv: NTU, Vol. 32. pp. 312–320.

4. Dyachenko, N., Markina, L., Koval'chuk, A., Dyachenko, A. (2022). Zastosuvannya pryomiv systemnoho analizu u razi upravlinnya vidkhodamy [Application of methods of system analysis in the case of waste management]. Visnyk KrNU imeni Mykhayla Ostrohrads'koho [Bulletin of Mykhailo Ostrohradskyi KrNU], Issue 6 (137), pp. 9–21. DOI:10.32782/1995-0519.2022.6.1. (In Ukrainian).

5. Patseva, I.H., Herasymchuk, O.L., Kahukina, A.M. (2022). Systemnyy pidkhd upravlinnya vidkhodamy ob'yednanykh terytorial'nykh hromad [Systemic approach to waste management of united territorial communities]. Ekolohichni nauky [Environmental Sciences], Issue 4 (43), pp. 181–184. DOI:10.32846/2306-9716/2022.eco.4-43.30. (In Ukrainian).

6. Barna, I. (2021). Kontsept otsinky vplyvu na dovkillya cherez pryzmu systemnoho analizu [The concept of environmental impact assessment through the prism of system analysis]. Naukovi zapysky [Proceedings], no. 2, pp. 15–23. DOI:10.25128/2519-4577.21.2.2. (In Ukrainian).

7. Sokolovs'ka, A.V., Tomchenko, O.V., Porushkevych, A.Yu., Fedorovs'kyu, O.D., Yakymchuk, V.H. (2015). Metody systemnoho analizu v dystantsiynykh aerokosmichnykh doslidzhennyakh ekolohichnoyi bezpeky ta pryrodokorystuvannya [Methods of system analysis in remote aerospace studies of



ecological safety and nature management]. *Ekolohichna bezpeka ta pryrodokorystuvannya* [Environmental safety and environmental management], no. 2 (18), pp. 95–102. (In Ukrainian).

8. Bondar, O.I., Mashkov, O.A., Abidov, S.T. (2015). Systemnyy analiz ekolohichnoyi nebezpeky u zoni provedennya antyterorystychnoyi operatsiyi na skhodi Ukrainy: biosferni konflikty ta transkordonne zabrudnennya [Systemic analysis of environmental hazards in the area of the anti-terrorist operation in eastern Ukraine: biosphere conflicts and transboundary pollution]. *Ekolohichni nauky* [Environmental Sciences], no. 9, pp. 5–26. (In Ukrainian).

9. Tarasova, V.V., Kovalevs'ka, I.M. (2018). Metodolohiya systemnoho pidkhotu do otsinky bezpeky dovkillya [Methodology of the system approach to environmental safety assessment]. *Hlobal'ni ta natsional'ni problemy ekonomiky* [Global and national economic problems]. Issue 22, pp. 683–687. (In Ukrainian).

10. Ivchuk, V.V. (2022). Znachennya systemnoho analizu dlya vyznachennya rivnyia zabezpechenosti vodnymy resursamy [The value of system analysis for determining the level of water resources]. «Systemnyy analiz v upravlinni: mizhhaluzevi doslidzheniya»: materialy IV Vseukrayins'koyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi za mizhnarodnoyi uchasti (26-27 travnya 2022 r., m. Kyiv) ["System analysis in management: interdisciplinary research": mat. IV All-Ukrainian scientific-practical conference with international participation (May 26-27, 2022, Kyiv)]. Kyiv: National Pedagogical University named after M.P. Dragomanov, pp. 119–122. (In Ukrainian).

11. Valerko, R.A., Herasymchuk, L.O. (2021). Ahroekolohichne navantazhennia na sil's'ki selitebni terytorii Zhytomyrs'koi oblasti yak chynnyk vmistu nitrhenu u pytnii vodi [Agroecological load on rural residential areas of Zhytomyr region as a factor in nitrogen content in drinking water]. *Agrobiology*, no. 2, pp. 200–207. DOI:10.33245/2310-9270-2021-167-2-200-207. (In Ukrainian).

12. Valerko, R.A., Bondarchuk, V.M., Herasymchuk, L.O. (2024). Modeliuvannia sumarnoho pokaznyka yakosti pytnoi vody dzherel nentsentralizovanoho vodopostachannia u mezhakh hromad Zhytomyrs'koho raionu [Modeling the total indicator of drinking water quality of decentralized water supply sources in communities of the Zhytomyr district]. *Visnyk Kremenchutskoho nats. universytetu im. Mykhaila Ostrohrads'koho* [Bulletin of the Kremenchuk National University named after Mykhailo Ostrohradsky]. no. 2, pp. 36–40. DOI:10.32782/1995-0519.2024.2.4. (In Ukrainian).

13. Valerko, R.A., Herasymchuk, L.O., Patseva, I.H. (2024). Vstanovlennia prychynno-naslidkovykh zviazkiv mizh zakhvoriuvanistiu naselennia ta yakistiu pytnoi vody dzherel nentsentralizovanoho vodopostachannia [Establishing cause-and-effect

relationships between population morbidity and the quality of drinking water sources of decentralized water supply]. *Ekolohichni nauky* [Ecological Sciences], Issue 1 (52), Vol. 2, pp. 23–28. DOI:10.32846/2306-9716/2024.eco.1-52.2.4. (In Ukrainian).

### **Methodology for assessing the state of environmental safety of drinking water supply in rural residential areas**

**Valerko R., Romanchuk L.**

Ensuring the environmental safety of rural drinking water supplies is a critical issue in modern ecology and water resource management. Ecosystem changes, growing human impact, and inadequate rural infrastructure degrade drinking water quality. Water resources in these regions are often polluted by improper land use, untreated sewage discharge, and excessive agrochemical use. Drinking water quality directly affects public health, making the evaluation of water supply systems essential. The problem is compounded by inadequate monitoring, assessment, and management of water resources in rural areas.

This study addresses several important scientific tasks, including developing methods and models for monitoring water's ecological status, identifying human health risks, and formulating integrated approaches to water quality management. Practical measures include improving water supply infrastructure, drafting recommendations for reducing water source pollution, and enhancing public awareness and participation in water resource conservation.

The study aims to develop and substantiate methodological foundations for assessing the ecological safety of rural drinking water supply systems. This approach will facilitate identifying and preventing environmental risks while ensuring acceptable water quality for the population.

The key methodological approach for assessing the ecological safety of drinking water supply systems in rural settlements is system analysis, which conceptualises rural water supply as a system with specific input and output parameters.

Based on an empirical analysis of rural drinking water supply, a “black box” model of rural water systems was developed. This model includes input factors influencing groundwater quality and criteria for assessing drinking water quality. Influential factors (GQ) were categorized into subsets: agriculture (A), urbanization (U), industrial activity (I), environmental conditions (E), and public ecological awareness (EC). Each subset is further broken down into specific parameters, such as fertilizer use, waste disposal, and hydrological phenomena.

The study also defines drinking water quality (QW) using organoleptic, microbiological, and toxicological indicators. Evaluation criteria (ADWQ) include water quality classes, total quality indices, comprehensive pollution coefficients, and Hamming distance metrics for rapid and objective assessments.



Research conducted in rural areas of the Zhytomyr region revealed critical nitrate pollution in 59% of water samples, attributed to intensive agricultural practices. A mathematical model for assessing water quality was developed and validated, showing a strong correlation ( $r = 0.87$ ) between real and predicted data. The study also found a relationship between nitrate content and health risks, highlighting high or critical risk zones, especially for children and infants.

The study confirms the utility of systemic, multi-criteria approaches in assessing drinking water quality, particularly in rural areas. The developed methodology facilitates effective decision-making to mitigate health risks and improve water quality, ensuring better access to safe drinking water in rural communities.

**Keywords:** rural water supply, drinking water, system analysis, drinking water quality, nitrates, total iron, public health.



Copyright: Валерко Р.А., Романчук Л.Д. © This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.



ORCID iD:  
Валерко Р.А.

<https://orcid.org/0000-0003-4716-0100>