



**Ковальчук П. І., д.т.н., головн.н.с.** (Інститут водних проблем і меліорації НААН України, м. Київ, kovalchuk.pavlo.ivanovich@gmail.com), **Медведєва О. О., доктор філософії, м.н.с.** (ДУ «НІЦ РПД НАН України», м. Київ, mdvdv\_olga@ukr.net), **Медведєв О. Ю., к.г.-м.н., начальник дільниці водних об'єктів нижнього Дунаю БУВР річок Причорномор'я та нижнього Дунаю** (ВП «ПРИЧОРНОМОРСЬКИЙ ЦВРГ» Басейнового управління водних ресурсів річок Причорномор'я та нижнього Дунаю, м. Одеса, oleg-med-oggme@ukr.net), **Ковальчук В. П., д.т.н., головн.н.с., Балихіна Г. А., к.т.н., с.н.с., Нечай О. М., к.с.-г.н., с.н.с.** (Інститут водних проблем і меліорації НААН України, м. Київ, volokovalchuk@gmail.com, maslova-anna@ukr.net, water\_2019@ukr.net), **Демчук О. С., к.т.н., доцент** (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, o.s.demchuk@nuwm.edu.ua)

## **СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ РИЗИКІВ ДЛЯ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ПІДЗЕМНИХ ВОД**

**Розроблено науково-методологічний підхід до системного аналізу ризиків перевищення ГДК по досліджуваних показниках гідрохімічного складу підземних вод (нітрати, сульфати, хлориди та мінералізація). Підхід до оцінки стану підземних вод базується на послідовності використання методів: нормалізації критеріїв, перевищення ГДК для їх порівняння; оцінка даних спостережень статистичними методами на основі гістограм; розробка якісно-кількісної шкали, зон ризиків та побудова гістограм за компонентами ризиків оцінюваних показників гідрохімічного складу підземних вод в ОТГ; порівняння зваженого розподілу ймовірностей зон ризиків у межах територіальних громад. Як об'єкт системного дослідження хімічного стану підземних вод, вибрано територію чотирьох громад півдня Одеської області. Формалізовано сукупність зон ризику за окремими показниками. В ОТГ, як територіальних підсистемах, проведено оцінку зон ризику за вибраними показниками (критеріями). Побудовані гістограми за зонами ризику дозволили порівняти якість підземних вод в територіальних громадах. Системний аналіз зон ризику на основі гістограм показав, що у Лиманській ОТГ переважають катастрофічна та критична зони ризику за усіма показниками (нітрати, сульфати, хлориди та мінералізація); в Татарбунарській ОТГ – критична та катастрофічна зона ризику, що спричинені**

**високим вмістом сульфатів, нітратів та мінералізації; в Дивізійській ОТГ – критична зона ризику, що спричинена перевищенням ГДК хлоридів, сульфатів та мінералізації. У Тузлівській ОТГ переважає безризикова зона. Особливо небезпечним показником техногенного забруднення є нітрати. Рекомендується для забезпечення населення ОТГ якісною питною водою здійснювати комплекс різноманітних заходів, у тому числі розроблення та реалізація програм покращення місцевого водопостачання.**

**Ключові слова:** зони ризику; системний аналіз; якість підземних вод; гідрохімічний склад; якісно-кількісна шкала; метод гістограм; нормування критеріїв.

**Вступ.** Наростання дефіциту водних ресурсів в Україні значною мірою пов'язане з їх зменшенням та забрудненням під впливом природних факторів та під дією антропогенних впливів (екологічні катастрофи, військові дії, забруднення вод від точкових і дифузних джерел, пов'язаних з сільськогосподарським та промисловим виробництвом, та ін.). Це створює суттєві ризики в умовах збільшення антропогенних тисків та негативних тенденцій зміни клімату, особливо при управлінні водними ресурсами за басейновим принципом [1].

У зоні недостатнього зволоження для питних потреб часто використовуються підземні води, і через значне навантаження усе актуальніше постає питання проведення оцінювання тих підземних об'єктів, яким загрожує ризик погіршення якості. Саме тому необхідно проводити визначення такого ризику та заходів для досягнення доброго хімічного стану підземних вод [2]. У цих умовах пропонується розробити нові методи системного моделювання для оцінки якості підземних вод.

Актуальність дослідження обумовлена необхідністю системного аналізу ризиків погіршення хімічного стану підземних вод в об'єднаних територіальних громадах для розроблення та реалізації програм покращення місцевого водопостачання.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналіз літературних джерел показує, що при огляді впливу на якість підземних вод необхідно оцінювати ризик досягнення доброго хімічного стану води [2]. Неякісна вода є другим фактором ризику захворювання (після бідності) [3]. Надходження значної кількості нітратів в організм людини є небезпечним для здоров'я людини, а оскільки основним шляхом їх надходження в організм є вода, то оцінка якості питної води за вмістом цього мікроелемента на регіональному рівні є дуже



актуальною, що і стало метою досліджень в роботах [3; 4]. Для оцінки якості підземних вод пропонуються комплексні критерії або індекси [5] сумарних середньозважених відношень виміряних у відібраних пробах підземних вод концентрацій до встановленого всесвітньою організацією охорони здоров'я (ВОЗ) стандарту. Оцінки включають [6] індекс якості питної води (WQI), індекс забруднення підземних вод (GPI) та індекс забруднення нітратами (NPI). Зокрема, найбільшого поширення набуло застосування індексу GPI для оцінки якості води в умовах впливу на здоров'я людини важких металів [7]. Встановлюються оцінки канцерогенного ризику [7; 8]. Побудовано діаграми навчання фактичних і прогнозованих значень RMC-WQI при машинному навчанні на основі значного числа проб якості води [8].

У роботі [9] подаються методичні підходи до моделювання ризиків підтоплення зрошуваних земель, що є небезпечним джерелом забруднення як для відкритих, так і закритих водойм. В методичних рекомендаціях [10] розглядається також система ризиків вразливості соціально-економічних та природних складових до зміни клімату. Для зважування та об'єднання критеріїв, що характеризують систему ризиків, в ISO 14091:2021 [11] та додатку щодо ризиків [12] розроблено дієвий метод об'єднання компонентів ризику в один інтегральний показник ризику:

$$R = \frac{HI \cdot W_H + VI \cdot W_V + EI \cdot W_E}{W_H + W_V + W_E}, \quad (1)$$

де  $R$  – інтегральний показник ризику;  $HI$  – зведений показник загрози;  $W_i$  – ваговий коефіцієнт, присвоєний індикатору;  $VI$  – зведений показник вразливості;  $EI$  – зведений показник перебування під дією.

Господарська діяльність людини спричинила серйозні загрози забруднення підземних вод у світі, особливо нітратами, індекс забруднення якого (NPI) розкрито в роботі [6]:

$$NPI = \frac{Cs - HAV}{HAV}, \quad (2)$$

де  $NPI$  – індекс забруднення нітратами;  $HAV$  – рекомендоване за умов збереження здоров'я значення вмісту нітратів у питній воді (становить – 20 мг/л);  $Cs$  – фактична концентрація нітратів в свердловині, мг/л.

Класифікація підземних вод згідно з  $NPI$  наведена в табл. 1.

Проводяться також класифікації якості води на основі комплексних показників WQI та індексу впливу забруднюючих речовин GPI на якість ґрунтових вод [6]. Інтервал значень

поділяється на п'ять категорій [6]. Однак вищенаведена класифікація не використовується для встановлення зон ризику, що диференціюють з ймовірностями виникнення певних рівнів забруднень. Тому пропонується за результатом відбору значного числа проб на території з ризиком забруднення побудувати гістограми за зонами ризику окремих або комплексних показників та подальший системний імовірнісний аналіз ризиків за розробленим науково-методичним підходом. Це дозволить статистичним методом системно оцінювати і порівнювати території громад за станом якості підземних вод.

Таблиця 1

Класифікація індексу забруднення нітратами (NPI) [6]

<b>Значення NPI</b>	<b>Категорія забруднення</b>
< 0,0	чистий
0,0–1,0	низький рівень забруднення
1,0–2,0	помірне забруднення
2,0–3,0	високий рівень забруднення
> 3,0	дуже високий рівень забруднення

У роботах по інтегрованому управлінню за басейновим принципом [13; 14] ризику, як об'єкт аналізу, моделювання та управління не визначені на основі імовірності їх виникнення. Це вказує на необхідність їх формалізації при складанні Планів управління річковим басейном [15]. На відміну від визначення системи ризиків [10], потрібен системний аналіз ризиків, як певна методологія, що враховує моделювання і взаємодії ризиків в системі, зокрема на певній території для системного аналізу ризиків підземних вод, як елементу в інтегрованому управлінні за басейновим принципом.

Отже, вперше в світовій науці пропонується розробити нові методи системного моделювання як інструментарій системної оцінки якості підземних вод, що базуються на побудові гістограм розподілу ймовірностей за зонами ризику окремих показників. Це забезпечить розвиток вимог Водної рамкової Директиви ЄС з покращення доброго екологічного стану вод та необхідності розробки інтегрованих підходів [16] для управління водними ресурсами за басейновим принципом.

Мета досліджень полягає в розробці науково-методологічного підходу до системного аналізу ризиків як інструментарію, що забезпечує інтегрований підхід до управління водними ресурсами за

басейновим принципом, зокрема для оцінки та досягнення доброго хімічного стану підземних вод.

**Вихідні дані.** Ділянка дослідження знаходиться у межах Білгород-Дністровського району Одеської області і територіально поділяється на чотири ОТГ – Татарбунарську, Лиманську, Дивізійську і Тузлівську (рис. 1).

Нижче розглянемо формування та розподіл зон ризику в залежності від хімічного складу води перших від поверхні водоносних горизонтів у межах населених пунктів чотирьох окремих територіальних громад. Загалом на якість ґрунтових вод мають вплив як природні, так і антропогенні чинники, серед яких: знаходження поблизу солоних озеро-лиманів або відносно прісноводних водойм; неконтрольоване застосування добрив і пестицидів за межами і в межах населених пунктів. В якості компонентів для аналізу були взяті основні макрокомпоненти: мінералізація та вміст основних аніонів (сульфатів та хлоридів) і основний елемент антропогенного забруднення – нітрати.

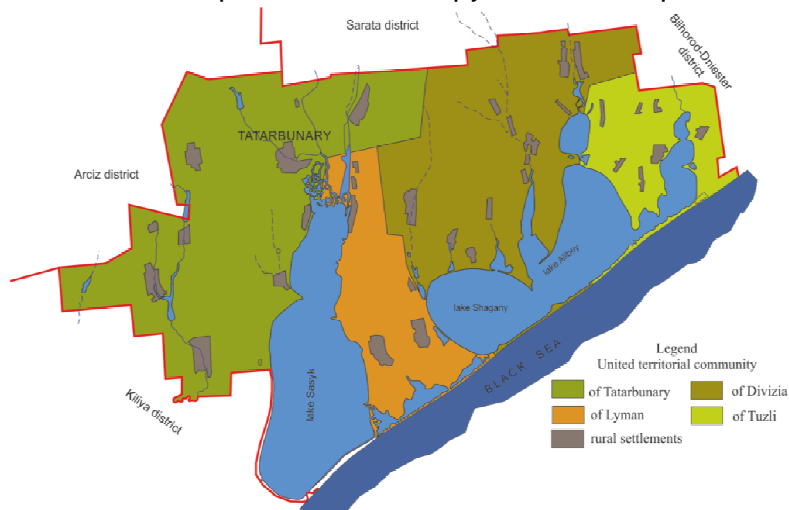


Рис. 1. Картохема території дослідження

Для системного аналізу ризиків проводився збір і обробка даних [17; 18] у декілька етапів: польовий етап (відбір проб на хімічний аналіз води з криниць загального користування у населених пунктах по визначних пунктах). камеральні роботи (обробка та систематизація отриманих даних, створення картографічного матеріалу).

Хімічний стан води досліджувався в криницях загального користування [19]. Точки відбору були вибрані з урахуванням геоморфологічної особливості території кожного НП ОТГ, а також з

різною потужністю викритого водоносного горизонту і рівнями ґрунтових вод. Всього для визначення гідрохімічного складу підземних вод було взято 350 пунктів (16 свердловин та 334 криниці). Хімічний аналіз проб води проводився в лабораторії Відокремленого підрозділу «Причорноморський центр водних ресурсів та ґрунтів».

**Методологічний підхід до системного аналізу ризиків.** Для співставлення критеріїв забруднення підземних вод, моделювання і системного аналізу ризиків запропоновано методичний підхід, який передбачає послідовне використання методів.

Метод нормування критеріїв якості підземних вод пропонується для порівняння критеріальних оцінок на основі формування якісної та кількісної шкали. В основу методу нормування критеріїв нами пропонується показник відносного перевищення рівнів гранично допустимих концентрацій. Перевищення рівнів ГДК у пробах визначається за формулою:

$$P_{ГДК} = \frac{I_K - I_{ГДК}}{I_{ГДК}}, \quad (3)$$

де  $P_{ГДК}$  – значення перевищення гранично допустимих концентрацій;  $I_K$  – значення показника по контрольній пробі;  $I_{ГДК}$  – гранично допустима концентрація для показника за ДСанПіН [20]. Можна використовувати також нормування за показником природної нормалізації [21].

Метод статистичного аналізу нормованих критеріїв базується на побудові гістограм за інтервалами вимірювань. Проте побудова гістограм в недостатній мірі відображають якісні оцінки стану підземних вод. Пропонується об'єднати інтервали та створити якісно-кількісну шкалу для побудови гістограм за зонами ризику, аби якісно і кількісно оцінити ступінь ризику забруднення за кожним показником. Так, було виділено чотири зони для оцінки ризику хімічного забруднення підземних вод:

– безризикова зона – перевищення немає, значення знаходяться у межах ГДК, тобто показник нітратів  $\leq 50$  мг/дм<sup>3</sup>, сульфатів  $\leq 500$  мг/дм<sup>3</sup>, хлоридів  $\leq 350$  мг/дм<sup>3</sup>, мінералізації  $\leq 1,5$  г/дм<sup>3</sup>;

– зона допустимого ризику – значення знаходяться у межах 0–1 ГДК, тобто вміст того чи іншого компонента знаходиться в більш-менш мінімальних показниках та є допустимими (нітрати – 50–100 мг/дм<sup>3</sup>, сульфати – 500–1000 мг/дм<sup>3</sup>, хлориди – 350–700 мг/дм<sup>3</sup>, мінералізація – 1,5–3,0 г/дм<sup>3</sup>);



– зона критичного ризику – перевищення ГДК становить 1–5 ГДК, що є вже небезпечним і проявляється в екологічних та соціальних збитках (нітрати – 100–300 мг/дм<sup>3</sup>, сульфати – 1000–3000 мг/дм<sup>3</sup>, хлориди – 700–2100 мг/дм<sup>3</sup>, мінералізація – 3,0–9,0 г/дм<sup>3</sup>);

– зона катастрофічного ризику – перевищення ГДК становить 5 і більше ГДК (нітрати >300 мг/дм<sup>3</sup>, сульфати >3000 мг/дм<sup>3</sup>, хлориди >2100 мг/дм<sup>3</sup>, мінералізація >9,0 г/дм<sup>3</sup>), що має згубний та руйнівний вплив, що проявляється в соціально-економічних збитках та несе небезпеку як навколишньому середовищу, так і здоров'ю та життєдіяльності людини.

У проблемі ризику хімічного забруднення підземних вод розглянемо розподіл  $\varphi(x)$  величини  $x = \Pi_{ГДК}$ , використовуючи гістограми за інтервалами вимірювань геолого-меліоративної експедиції. На основі поділу величини точками ( $i = 1, 2, 3$ ) за зонами ризику, одержимо новий розподіл  $\varphi(x)$  у вигляді ступінчастої функції

– для безризикової зони:

$$F(x_1) = \int_0^{x_1} \varphi(x) dx; \quad (4)$$

– для зони допустимого ризику:

$$F(x_2) = \int_{x_1}^{x_2} \varphi(x) dx; \quad (5)$$

– для зони критичного ризику:

$$F(x_3) = \int_{x_2}^{x_3} \varphi(x) dx; \quad (6)$$

– для зони катастрофічного ризику:

$$F(x_4) = \int_{x_3}^{\infty} \varphi(x) dx. \quad (7)$$

Очевидно, що  $\sum_{i=1}^4 F(x_i) = 1$ .

Системний аналіз ризиків передбачає оцінку спільного впливу окремих критеріїв хімічного стану підземних вод. У таких випадках проводять зважування та об'єднання критеріїв [10]. При цьому окремі критерії (індикатори) є в більшій чи меншій мірі небезпечними, тому до них застосовують різні значення ваги, які кількісно характеризують вплив кожного критерію. Чим вищим є ваговий коефіцієнт, тим більш значущим є критерій оцінки підземних

вод. У ряді випадків можуть використовувати еквівалентні ваги для всіх критеріїв (наприклад, у разі нестачі інформації, відсутності консенсусу при експертній оцінці та ін.).

Після того, як для критеріїв встановлені вагові коефіцієнти, застосовують зважене агрегування критеріїв ризику:

$$CI = \frac{I_1 \cdot W_1 + I_2 \cdot W_2 + \dots + I_n \cdot W_n}{\sum_{i=1}^n W_i}, \quad (8)$$

де  $CI$  – зведений показник компоненти ризику;  $I_i$  – окремий індикатор компоненти ризику;  $W_i$  – ваговий коефіцієнт, присвоєний індикатору.

При цьому замовник системної оцінки ризиків вирішує, наскільки критерії можуть бути агреговані для формування однієї оцінки. Агрегування може бути корисним для комплексних оцінок хімічного стану підземних вод у кожній громаді і порівняння цих оцінок за територіями громад. У ряді випадків доцільно отримати набір якісних та змістовних результатів індивідуально по окремих компонентах ризику хімічного забруднення вод.

Зважене агрегування критеріїв у випадку оцінки стану підземних вод доцільно здійснювати за компонентами ризику (безризикова зона, зони допустимого, критичного та катастрофічного ризиків). Це дає можливість визначити найбільш вразливі компоненти ризику хімічного стану підземних вод по кожній громаді, проводити порівняння за інтегрованим показником забруднення водних ресурсів територій громад у вибраній системі.

**Результати системного аналізу ризиків.** За результатами лабораторних досліджень значного числа проб показників якості підземних вод для чотирьох громад побудовані гістограми розподілу концентрацій значень критеріїв за інтервалами. Як приклад, таку гістограму по Татарбунарській ОТГ за показниками перевищення ГДК подано на рисунку 2. Якісну класифікацію показників необхідно подати в межах, сформульованих зон ризику (рис. 3). Одержані гістограми розподілу зон ризику по компонентах у межах розглянутих ОТГ дозволяють оцінювати хімічний стан підземних вод, порівнювати його відмінності в різних ОТГ, а також моделювати зважені значення показників за зонами ризику (рис. 4). Розроблений підхід, як інструментарій системного аналізу ризиків дозволяє провести оцінку хімічного стану підземних вод та оцінити якість вод за вибраними показниками на досліджуваній території.

**Обговорення результатів досліджень.** Аналіз методів і моделей оцінки якостей підземних вод в зарубіжній практиці показав, що



переважають класифікації, які базуються на використанні комплексних індексів оцінки забруднення вод [5–8]. Однак такі класифікації не дозволяють оцінити стохастичний характер вимірювання якості вод на окремих територіях, порівняти забруднення на території різних громад з метою покращення водопостачання. Тому запропоновано такі методи доповнити імовірнісними оцінками стану підземних вод, що одержують на основі статистичного аналізу значного числа проб. Здійснюється побудова гістограм з подальшим системним аналізом зон ризику, порівнянням якості підземних вод в різних громадах.

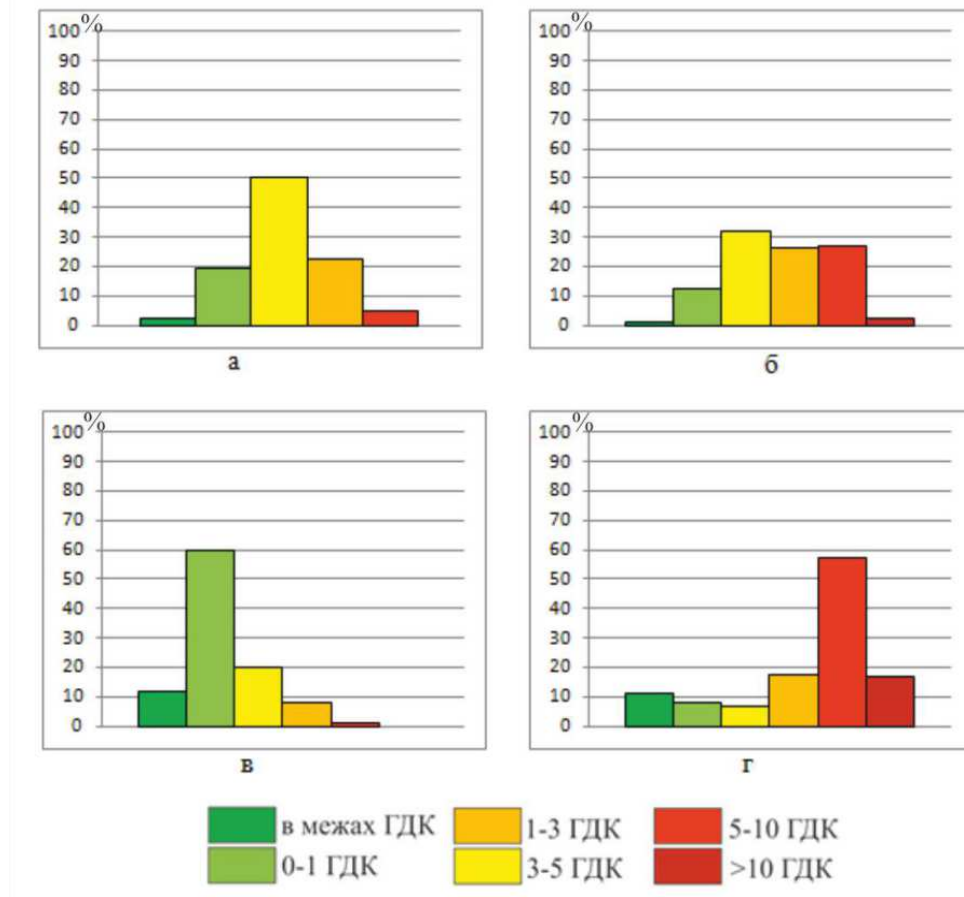


Рис. 2. Гістограми розподілу (за даними вимірювань експедиції) перевищення ГДК мінералізації (а), сульфатів (б), хлоридів (в) та нітратів (г) по Татарбунарській ОТГ

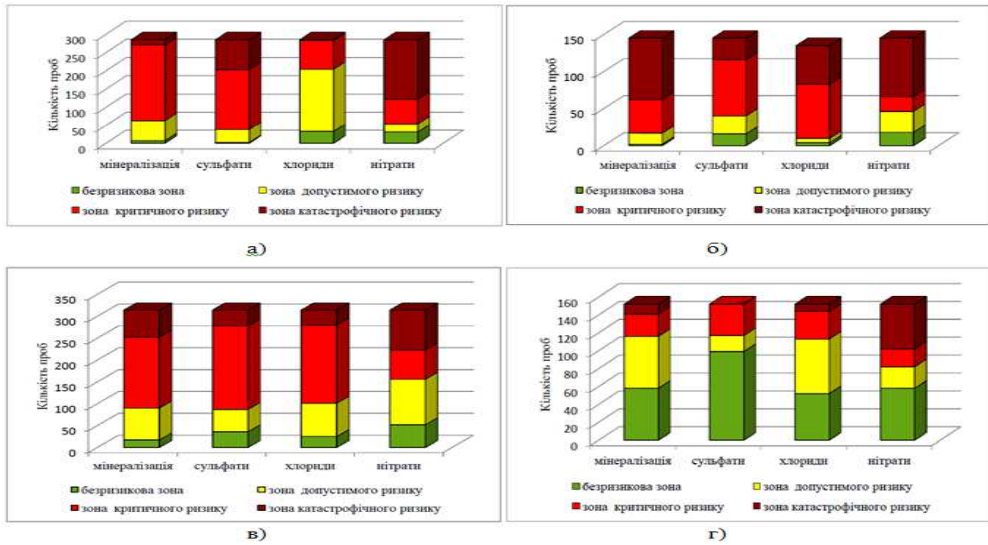


Рис. 3. Гістограма розподілу зон ризику по компонентах у межах територіальних громад (ОТГ): а – Татарбунарської ОТГ, б – Лиманської ОТГ, в – Дивізійської ОТГ, г – Тузлівської ОТГ

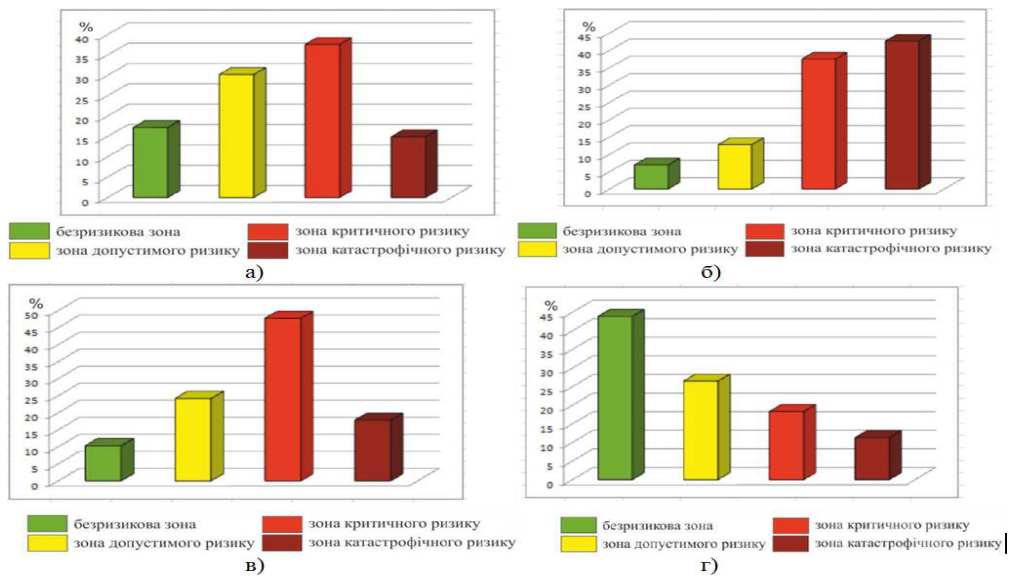


Рис. 4. Гістограма відсоткового розподілу зон ризиків у межах об'єднаних територіальних громад (ОТГ): а – Татарбунарської ОТГ, б – Лиманської ОТГ, в – Дивізійської ОТГ, г – Тузлівської ОТГ

Проведений системний аналіз ризиків якості підземних вод виявив значні перевищення ГДК майже по усіх досліджуваних природних та антропогенних показниках гідрохімічного складу підземних вод. Хімічний склад вод має свої особливості. Так, в НП, які розташовані на захід від Сасику, в переважній більшості випадків



в хімічному складі води домінує сульфат-іон; на схід – хлор-іон. Рідше зустрічається переважання гідрокарбонат-іону. Перевищення ГДК по вмісту сульфатів і хлоридів змінюються у межах від 0,1–18,8 і 0,1–16,9 раз відповідно. Слід зазначити, що таке співвідношення вказує не на забруднення, а на незадовільний природний стан підземних вод.

Системний аналіз зон ризику на основі гістограм показав, що у Лиманській ОТГ переважають катастрофічна та критична зони ризику за усіма показниками (нітрати, сульфати, хлориди та мінералізація); в Татарбунарській ОТГ – критична та катастрофічна зона ризику, що спричинені високим вмістом сульфатів, нітратів та загальної мінералізації; в Дивізійській ОТГ – критична зона ризику, що спричинена перевищенням ГДК хлоридів, сульфатів та мінералізації. У Тузлівській ОТГ переважає безризикова зона. У всіх територіальних громадах виявлено перевищення ГДК за показником нітратів в 0,1–72,3 рази.

Нітрати є одним із основних показників техногенного забруднення. Значну частину випадків забруднення нітратами становлять катастрофічна та критична зони ризику. Їх поява в воді в тих чи інших кількостях безумовно впливає не тільки на екологічний стан довкілля, а і на життєдіяльність людини.

Хімічний стан підземних вод як за природними показниками, так і за антропогенними факторами забруднення, створює серйозні небезпечні ситуації, які мають значний вплив на навколишнє середовище та здоров'я людей, а саме: соціальні та екологічні проблеми, економічні втрати, погіршення умов життєдіяльності. Для забезпечення населення ОТГ якісною питною водою необхідний комплекс різноманітних заходів, у тому числі розроблення та реалізація програм покращення місцевого водопостачання.

**Висновки.** Розроблений методологічний підхід до системного аналізу ризиків показав, що він є ефективним інструментарієм моніторингу та інтегрованого управління якістю підземних вод. Запропонований підхід до системного аналізу ризиків хімічного стану підземних вод передбачає послідовність застосування методів, що на відміну від локальних досліджень ризиків, забезпечує інтегровані оцінки якості води.

Відповідно із системним аналізом ризиків хімічного стану підземних вод, здійснюється побудова гістограм розподілу зон ризику по компонентах у межах кожної громади досліджуваної території. Якісно-кількісна шкала оцінки ризику дозволяє перейти від покомпонентних оцінок до інтегрованих оцінок за зонами ризику.

Такий науково-методологічний підхід реалізує сукупну оцінку критеріїв якості підземних вод для кожної громади і є основою для співставлення хімічного стану водних ресурсів в територіальних громадах на цій території.

Розвиток досліджень передбачає поширення методології системного аналізу ризиків на створення моніторингу масивів поверхневих вод, зокрема на оцінку якості поверхневих вод при розробці Планів управління річковими басейнами. Розробку моніторингу необхідно проводити з поєднанням математичних методів, які є в існуючих методиках [21], та доповнювати дослідження системним аналізом ризиків, що запропонований у даній роботі.

1. P. Kovalchuk, V. Kovalchuk, H. Balykhina, M. Yatsiuk, O. Demchuk, O. Nechai. Mathematical Modeling Methods of Evolutionary Dynamics of Wetland Ecosystems in a Changing Climate. *IEEE 18th International Conference on Computer Science and Information Technologies (CSIT)*. Date of Conference 19–21 October 2023. Lviv, Ukraine, 2023.
2. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. *Official Journal of the European Communities*. 22.12.2000. ENL327/1.
3. Anton Martsev, Oleg Grigorievich Selivanov. The research of fluoride ions concentration in household water supply. *E3S Web of Conferences*. January 2020. Vol. 164(8). P. 01016.
4. D. Djossou, A. Adechina, N. Kelome, D. Houinato et C. M. Pili. Analysis of the chemical quality of underground waters in the municipality of Dassa-zoumè. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* October 2015. Vol. 9(5). P. 2735–2742.
5. M. Anim-Gyampo, G. K. Anornub, E. K. Appiah-Adjeic, S. K. Agodzod. Quality and health risk assessment of shallow groundwater aquifers within the Atankwidi basin of Ghana. *Groundwater for Sustainable Development*. 2019. Vol. 9. P. 100217. URL: <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2019.100217> (дата звернення: 18.07.2024).
6. Mohammadreza Shayestehfar, Ali Rezaei, Seyedeh Belgheys Fard Mousavi, Noor Kh. Yashooa. Evaluation of Groundwater Quality and Health Risk Assessment of Nitrate Concentration in the Rayen Basin, Kerman, Southeast Iran. DOI: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3970570/v1>.
7. Rakib M. A., Shamshad B. Quraishi c, Md. Asif Newaz d, Jolly Sultana , Md. Bodrud-Doza, Md. Atiur Rahmang, Masum A. Patwary h, Mohammad A. H. Bhuiyan i Groundwater quality and human health risk assessment in selected coastal and floodplain areas of Bangladesh. *Journal of Contaminant Hydrology*. August 2022. Vol. 249. P. 104041. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2022.104041> (дата звернення: 18.07.2024).
8. Md Galal Uddin, Md Hasan Imran, Abdul Majed Sajib , Md Abu Hasan, Mir Talas Mahammad Diganta, Tomasz Dabrowski h, Agnieszka I. Olbert, Md Moniruzzaman. Assessment of human health risk from potentially toxic elements and predicting groundwater contamination using machine learning approaches. *Journal of Contaminant Hydrology*. 2024.



Vol. 261. P. 104307. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2024.104307> (дата звернення: 18.07.2024). **9.** Ковальчук П. І., Матяш Т. В., Ковальчук В. П., Демчук О. С., Балихіна Г. А., Герус А. В., Пендак Н. В. Системне моделювання та управління водо- і землекористуванням : монографія. Київ : Аграрна наука, 2019. 608 с. **10.** Методичні рекомендації для здійснення оцінки ризиків та вразливості соціально-економічних секторів та природних складових до зміни клімату. УкрНДІЛГА, 2023. 146 с. **11.** ISO 14091:2021. Adaptation to climate change – Guidelines on vulnerability, impacts and risk assessment. **12.** Risk Supplement to the Vulnerability Sourcebook. Guidance on how to apply the Vulnerability Sourcebook's approach with the new IPCC AR5 concept of climate risk. GIZ, 2017. **13.** Сташук В., Яцик А. Україна на шляху до басейнового принципу управління водними ресурсами. *Водне господарство України*. 2007. № 4. С. 6–10. **14.** Dukhovny V., Sokolov V., Manthritilake H. Integrated Water Resources Management: Putting Good Theory into Real Practice. *Central Asian Experience*. SIC ICWC, Tashkent, 2009. **15.** Про затвердження Порядку розроблення плану управління річковим басейном : Постанова Кабінету Міністрів України від 18 травня 2017 р. № 336. **16.** Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо впровадження інтегрованих підходів в управлінні водними ресурсами за басейновим принципом : Закон України від 4 жовтня 2016 року № 1641-VIII. **17.** Медведєв О. Ю., Медведєва О. О. Підземні води Татарбунарського району: основні водоносні горизонти та їх використання. *Водне господарство України*. 2012. № 2. С. 29–33. **18.** Медведєв О. Ю., Медведєва О. О. Оцінка ступеня придатності ґрунтових вод по гідрохімічним показникам в населених пунктах на узбережжі Сасикського водосховища. *Гідрогеологія: наука, освіта, практика*. 2016. С. 27–30. **19.** Медведєва О. О. Хімічний склад та рівень води першого від поверхні горизонту у межах населених пунктів Татарбунарського району Одещини. *Водне господарство України*. 2016. № 1. С. 44–47. **20.** ДСанПіН 2.2.4-171-10. Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10#n25>. (дата звернення: 18.07.2024). **21.** Kovalchuk P., Gerus A., Kovalchuk V. Perseptron Model of System Environmental Assessment of Water Quality in River Basin. *ICIM' 2013 : Proceedings of 4th International Conf. of Inductive Modelling Ukraine*. Kyiv, 2013. P. 279–284.

## REFERENCES:

**1.** P. Kovalchuk, V. Kovalchuk, H. Balykhina, M. Yatsiuk, O. Demchuk, O. Nechai. Mathematical Modeling Methods of Evolutionary Dynamics of Wetland Ecosystems in a Changing Climate. *IEEE 18th International Conference on Computer Science and Information Technologies (CSIT)*. Date of Conference 19–21 October 2023. Lviv, Ukraine, 2023. **2.** Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. *Official Journal of the European*

*Communities*. 22.12.2000. ENL327/1. **3.** Anton Martsev, Oleg Grigorievich Selivanov. The research of fluoride ions concentration in household water supply. *E3S Web of Conferences*. January 2020. Vol. 164(8). P. 01016. **4.** D. Djossou, A. Adechina, N. Kelome, D. Houinato et C. M. Pili. Analysis of the chemical quality of underground waters in the municipality of Dassa-zoumè. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* October 2015. Vol. 9(5). P. 2735–2742. **5.** M. Anim-Gyampo, G. K. Anornub, E. K. Appiah-Adjeic, S. K. Agodzod. Quality and health risk assessment of shallow groundwater aquifers within the Atankwidi basin of Ghana. *Groundwater for Sustainable Development*. 2019. Vol. 9. P. 100217. URL: <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2019.100217> (data zvernennia: 18.07.2024). **6.** Mohammadreza Shayestehfar, Ali Rezaei, Seyedeh Belgheys Fard Mousavi, Noor Kh. Yashooa. Evaluation of Groundwater Quality and Health Risk Assessment of Nitrate Concentration in the Rayen Basin, Kerman, Southeast Iran. DOI: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3970570/v1>. **7.** Rakib M. A., Shamshad B. Quraishi c, Md. Asif Newaz d, Jolly Sultana , Md. Bodrud-Doza, Md. Atiur Rahmang, Masum A. Patwary h, Mohammad A. H. Bhuiyan i Groundwater quality and human health risk assessment in selected coastal and floodplain areas of Bangladesh. *Journal of Contaminant Hydrology*. August 2022. Vol. 249. P. 104041. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2022.104041> (data zvernennia: 18.07.2024). **8.** Md Galal Uddin, Md Hasan Imran, Abdul Majed Sajib , Md Abu Hasan, Mir Talas Mahammad Diganta, Tomasz Dabrowski h, Agnieszka I. Olbert, Md Moniruzzaman. Assessment of human health risk from potentially toxic elements and predicting groundwater contamination using machine learning approaches. *Journal of Contaminant Hydrology*. 2024. Vol. 261. P. 104307. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2024.104307> (data zvernennia: 18.07.2024). **9.** Kovalchuk P. I., Matiash T. V., Kovalchuk V. P., Demchuk O. S., Balykhina H. A., Herus A. V., Pendak N. V. Systemne modeliuвання та управління vodo- i zemlekorystuvanniam : monohrafiia. Kyiv : Ahrarna nauka, 2019. 608 s. **10.** Metodichni rekomendatsii dlia zdiisnennia otsinky ryzykiv ta vrazlyvosti sotsialno-ekonomichnykh sektoriv ta pryrodnykh skladovykh do zminy klimatu. UkrNDILHA, 2023. 146 s. **11.** ISO 14091:2021. Adaptation to climate change – Guidelines on vulnerability, impacts and risk assessment. **12.** Risk Supplement to the Vulnerability Sourcebook. Guidance on how to apply the Vulnerability Sourcebooks approach with the new IPCC AR5 concept of climate risk. GIZ, 2017. **13.** Stashuk V., Yatsyk A. Ukraina na shliakhu do baseinovoho pryntsyphu upravlinnia vodnymy resursamy. *Vodne hospodarstvo Ukrainy*. 2007. № 4. S. 6–10. **14.** Dukhovny V., Sokolov V., Manthrithilake H. Integrated Water Resources Management: Putting Good Theory into Real Practice. *Central Asian Experience*. SIC ICWC, Tashkent, 2009. **15.** Pro zatverdzhennia Poriadku rozroblennia planu upravlinnia richkovym baseinom : Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 18 travnia 2017 r. № 336. **16.** Pro vnesennia zmin do deiakykh zakonodavchykh aktiv Ukrainy shchodo vprovadzhennia intehrovanykh pidkhodiv v upravlinni vodnymy resursamy za baseinovym pryntsyplom : Zakon Ukrainy vid 4 zhovtnia 2016 roku № 1641-VIII. **17.** Miedviediev O. Yu., Miedviedieva O. O. Pidzemni vody Tatarbunarskoho



raionu: osnovni vodonosni horyzonty ta yikh vykorystannia. *Vodne hospodarstvo Ukrainy*. 2012. № 2. С. 29–33. **18.** Miedviediev O. Yu., Miedviedieva O. O. Otsinka stupenia prydatnosti gruntovykh vod po hidrokhimichnym pokaznykam v naselenykh punktakh na uzberezhzhi Sasykskoho vodoskhovyshcha. *Hidroheolohiia: nauka, osvita, praktyka*. 2016. S. 27–30. **19.** Miedviedieva O. O. Khimichnyi sklad ta riven vody pershoho vid poverkhni horyzontu u mezhakh naselenykh punktiv Tatarbunarskoho raionu Odeshchyny. *Vodne hospodarstvo Ukrainy*. 2016. № 1. S. 44–47. **20.** DSanPiN 2.2.4-171-10. Hihienichni vymohy do vody pytnoi, pryznachenoї dlia spozhyvannia liudynoiu. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10#n25>. (data zvernennia: 18.07.2024). **21.** Kovalchuk P., Gerus A., Kovalchuk V. Perseptron Model of System Environmental Assessment of Water Quality in River Basin. *ICIM' 2013 : Proceedings of 4th International Conf. of Inductive Modelling Ukraine*. Kyiv, 2013. P. 279–284.

---

**Kovalchuk P. I., Doctor of Engineering, Chief Researcher** (Institute of Water Problems and Land Reclamation NAAS of Ukraine, Kyiv), **Miedviedieva O. O., Ph.D., Junior Research Fellow** (DU, "NEC RPD of the National Academy of Sciences of Ukraine", Kyiv), **Miedviediev O. Yu., Candidate of Geological and Mineralogical Sciences (Ph.D.), Head of the Lower Danube Water Bodies Division of the Black Sea and Lower Danube Rivers BUVR** (VP "PRYCHORNOMORSKY TsVRG" of the Basin Management of Water Resources of the Black Sea and Lower Danube Rivers, Odesa), **Kovalchuk V. P., Doctor of Engineering, Chief Researcher** (Institute of Water Problems and Land Reclamation NAAS of Ukraine, Kyiv), **Balykhina H. A., Candidate of Engineering (Ph.D.), senior researcher** (Institute of Water Problems and Land Reclamation NAAS of Ukraine, Kyiv), **Nechai O.M., Candidate of Agricultural Sciences (Ph. D.), Senior Research Fellow** (Institute of Water Problems and Land Reclamation NAAS of Ukraine, Kyiv), **Demchuk O. S., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor** (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

## SYSTEMATIC ANALYSIS OF RISKS FOR GROUNDWATER QUALITY ASSESSMENT

**A scientific-methodological approach to the systematic analysis of the risks of exceeding the MPC based on the studied indicators of the hydrochemical composition of groundwater (nitrates, sulfates, chlorides and mineralization) has been developed. The approach to the assessment of the state of groundwater is based on the sequence**

**of using methods: normalization of criteria, exceeding the MPC for their comparison; evaluation of observation data by statistical methods based on histograms; development of a qualitative-quantitative scale, risk zones and construction of histograms by risk components of estimated indicators of the hydrochemical composition of groundwater in united territorial communities (UTC); comparison of the weighted probability distribution of risk zones within territorial communities. The territory of four communities in the south of Odessa region was selected as the object of a systematic study of the chemical state of groundwater. The totality of risk zones according to individual indicators has been formalized. In UTC, as territorial subsystems, an assessment of risk zones was carried out according to selected indicators (criteria). Constructed histograms by risk zones made it possible to compare the quality of groundwater in territorial communities. A systematic analysis of risk zones based on histograms showed that catastrophic and critical risk zones predominate in Lymansk UTC by all indicators (nitrates, sulfates, chlorides and mineralization); in the Tatarbunarsk UTC – a critical and catastrophic risk zone caused by a high content of sulfates, nitrates and mineralization; in the Divisional UTC is a critical risk zone caused by exceeding the MPC of chlorides, sulfates and mineralization. The risk-free zone prevails in Tuzlivska UTC. Nitrates are a particularly dangerous indicator of man-made pollution. It is recommended to implement a complex of various measures, including the development and implementation of programs to improve local water supply, in order to provide the population of UTC with quality drinking water.**

***Keywords:* risk zones; system analysis; groundwater quality; hydrochemical composition; qualitative and quantitative scale; histogram method; criteria normalization.**