

УДК 330.341.2

DOI <https://doi.org/10.32782/NSER/2024-5.12>

## СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ЯК МЕТОДОЛОГІЧНИЙ ПІДХІД ДО РОЗРОБКИ СТРАТЕГІЧНОЇ МОДЕЛІ ПОКРАЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ СІЛЬСЬКОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

### Валерко Руслана Анатоліївна

кандидат сільськогосподарських наук, доцент,  
доцент кафедри екології та природоохоронних технологій  
Державного університету «Житомирська політехніка»  
ORCID ID: 0000-0003-4716-0100  
SCOPUS AUTHOR ID: 57312413300

### Герасимчук Людмила Олександрівна

кандидат сільськогосподарських наук, доцент,  
доцент кафедри екології та природоохоронних технологій  
Державного університету «Житомирська політехніка»  
ORCID ID: 0000-0002-3166-5588  
SCOPUS AUTHOR ID: 57311745500

### Пацева Ірина Григорівна

доктор технічних наук, професор,  
завідувач кафедри екології та природоохоронних технологій  
Державного університету «Житомирська політехніка»  
ORCID ID: 0000-0001-6271-7355  
SCOPUS AUTHOR ID: 57219049758

### Бондарчук Василь Миколайович

старший викладач кафедри робототехніки,  
електроенергетики та автоматизації імені проф. Б. Б. Самотокіна  
Державного університету «Житомирська політехніка»  
ORCID ID: 0000-0003-2793-8720

### Войналович Ірина Миколаївна

асистент кафедри екології та природоохоронних технологій  
Державного університету «Житомирська політехніка»  
ORCID ID: 0009-0000-1811-4928

*У статті досліджено системний аналіз як методологічний підхід до розробки стратегічної моделі підвищення екологічної безпеки сільського водопостачання. Актуальність теми зумовлена гострою проблемою якості питної води в сільських районах, де система водопостачання часто базується на нецентралізованих джерелах. Забруднення водних ресурсів негативно впливає на здоров'я населення, екосистему та загальний рівень соціально-економічного розвитку, що потребує розробки ефективної стратегії для управління екологічними ризиками.*

*Запропоновано авторську інтеграційну стратегічну модель, яка охоплює п'ять ключових блоків: організаційно-правовий, технологічний, управлінський, економічний і соціальний. Організаційно-правовий блок передбачає розробку нормативних актів, створення робочих груп, залучення громадськості та підвищення прозорості управління. Технологічний блок зосереджений на модернізації водопостачальної інфраструктури, впровадженні інноваційних технологій для моніторингу якості води й використанні водоощадних технологій. Управлінський блок передбачає розробку стратегій управління водними ресурсами, навчання персоналу, залучення фінансування й оцінку ефективності запроваджених заходів. Економічний блок містить фінансове планування, залучення інвестицій, стимулювання екологічно безпечних технологій і партнерство з приватним сектором. Соціальний блок стосується освітніх кампаній, залучення місцевих громад і молоді до екологічних ініціатив, формування соціальної відповідальності та моніторингу потреб населення.*

*Запропонована стратегічна модель має на меті зниження негативного впливу на водні ресурси, збереження довкілля та підвищення якості життя сільських жителів. Підкреслено, що системний аналіз*

дає змогу врахувати різноманітні чинники, які впливають на екологічну безпеку водопостачання, та запропоновано науково обгрунтовані рішення для підвищення ефективності управління водними ресурсами. Отримані результати є значущими для розвитку політики управління екологічною безпекою в сільських населених пунктах і можуть бути корисними для прийняття стратегічних рішень у сфері екологічного менеджменту.

**Ключові слова:** системний аналіз, сільське водопостачання, стратегічна модель, екологічна безпека, сільські населені пункти.

**Valerko R. A., Herasymchuk L. O., Patseva I. G., Bondarchuk V. M., Voinalovych I. M. System analysis as a methodological approach to the development of a strategic model for improving the environmental security of rural water supply**

*The article examines system analysis as a methodological approach to the development of a strategic model for improving the environmental safety of rural water supply. The relevance of the topic is due to the acute problem of drinking water quality in rural areas, where the water supply system is often based on decentralized sources. Pollution of water resources negatively affects the health of the population, the ecosystem and the general level of socio-economic development, which requires the development of an effective strategy for managing environmental risks.*

*The author's integration strategic model is proposed, which covers five key blocks: organizational-legal, technological, managerial, economic and social. The organizational and legal block provides for the development of local regulations, the creation of working groups, the involvement of the public and increased transparency of management. The technological block is focused on the modernization of water supply infrastructure, the introduction of innovative technologies for monitoring water quality and the use of water-saving technologies. The management unit includes the development of water resources management strategies, training of personnel, attraction of funding and evaluation of the effectiveness of implemented measures. The economic block includes financial planning, investment attraction, promotion of environmentally safe technologies and partnership with the private sector. The social block includes educational campaigns, involvement of local communities and youth in environmental initiatives, formation of social responsibility and monitoring of population needs.*

*The proposed strategic model aims to reduce the negative impact on water resources, preserve the environment and improve the quality of life of rural residents. It is emphasized that the system analysis allows taking into account various factors that affect the ecological safety of water supply, and scientifically based solutions are proposed to increase the efficiency of water resources management. The obtained results are significant for the development of environmental safety management policy in rural settlements and may be useful for making strategic decisions in the field of environmental management.*

**Key words:** system analysis, rural water supply, strategic model, ecological safety, rural settlements.

**Постановка проблеми та її актуальність.**

Екологічна безпека систем водопостачання в сільській місцевості є однією з критичних проблем сучасності, яка здійснює безпосередній вплив на здоров'я населення [1], екосистему й економічний розвиток. Сільські райони часто стикаються з проблемами, пов'язаними із забрудненням питної води джерел нецентралізованого водопостачання, що, зі свого боку, призводить до поширення екологічних і санітарних ризиків. У цьому контексті застосування системного аналізу як методологічного підходу є особливо актуальним, оскільки дає змогу враховувати комплексність і взаємозалежність екологічних, технічних і соціально-економічних чинників під час розробки стратегічної моделі підвищення екологічної безпеки водопостачання.

Методологічний підхід системного аналізу охоплює процеси оптимізації, прогнозування й інтеграції різних аспектів екологічної безпеки, що є необхідним у сучасних умовах зростання загроз для природних ресурсів. Зокрема, у випадку сільського водопостачання системний підхід дає змогу створити адаптивні стратегії, завдяки яким

можна оперативно реагувати на зміну екологічних умов.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

Використанню системного аналізу у сфері охорони довкілля присвячено наразі велику кількість наукових досліджень. Зокрема, Gotfrids (2015) стверджує, що комплексний системний аналіз має бути основною методологією дослідження для вирішення практичних екологічних проблем [2]. Здійснення системного аналізу якості навколишнього середовища потребує використання індикаторів оцінки стану довкілля, серед яких важливими є еколого-економічні показники, що дають можливість визначити рівень антропогенного навантаження в регіоні [3]. Застосування методології системного аналізу є досить важливим та успішно використовується у проведенні досліджень у сфері управління відходами [4–6], оцінки впливу на довкілля [7], у дистанційних аерокосмічних дослідженнях екологічної безпеки та природокористування [8], у межах біосферних досліджень і транскордонного забруднення [9], оцінки безпеки довкілля [10], для визначення рівня забезпеченості водними ресурсами [11] тощо.

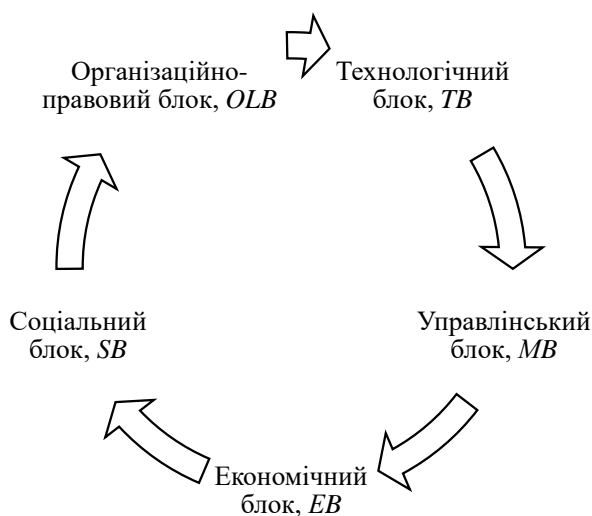
Проте видається доцільним і актуальним дослідження екологічної безпеки питного водопостачання сільських селітебних територій із позицій реалізації системного аналізу, чого не було здійснено раніше. Стратегічне планування у сфері екологічної безпеки сільського водопостачання через призму системного аналізу дасть можливість не лише ретельно дослідити основні чинники впливу на якість питної води, а й врахувати отримані результати під час прийняття стратегічних рішень для досягнення балансу в системі «сільське водопостачання – добробут місцевого населення».

**Мета статті.** Таким чином, дослідження спрямоване на використання системного аналізу для розробки стратегічної моделі підвищення рівня екологічної безпеки водопостачання сільських територій.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Враховуючи інтереси сільського населення та стан його здоров'я, потрібно проводити природоохоронні заходи, що спрямовані на зниження негативного впливу на підземні води. Тож на основі отриманих результатів досліджень, які були проведені в межах сільських населених пунктів Житомирської області стосовно якості питної води, що надходить із джерел нецентралізованого водопостачання [12], та опрацьованих літературних даних [13] було розроблено стратегічну модель підвищення рівня екологічної безпеки стану питного водопостачання в межах сільських населених пунктів із застосуванням системного аналізу, використання якого дає можливість представити стратегічну модель у вигляді множини:

$$SM = (OLB, TB, MB, EB, SB), \quad (1)$$

де *OLM* – організаційно-правовий блок, *TM* – технологічний блок, *MM* – управлінський блок, *EM* – економічний блок, *SE* – соціальний блок (рис. 1).



**Рис. 1. Основні елементи стратегічної моделі покращення стану сільського водопостачання**

Зі свого боку, організаційно-правовий блок представлений такою множиною:

$OLB = (RLD, WG, EP, TAI, P, DSP, LP, CRSB, EDP), \quad (2)$   
де *RLD* – розробка та прийняття місцевих нормативно-правових актів, *WG* – створення спеціалізованих місцевих органів або робочих груп, *EP* – інституційна підтримка екологічних програм і проєктів, *TAI* – забезпечення прозорості та доступності інформації, *P* – залучення громадськості до процесу прийняття рішень, *DSP* – розробка стратегічних програм на рівні громади, *LP* – юридичний захист водних ресурсів, *CRSB* – співпраця з регіональними та державними органами, *EDP* – розробка та впровадження освітніх програм.

Технологічний блок містить такі складові:

$TB = (SWP, MWS, IWQ, WST, WSP, LWW, DWS), \quad (3)$   
де *SWP* – використання спеціальної водопідготовки для води, що використовується для господарсько-питного водопостачання, *MWS* – модернізація водопостачальної інфраструктури, *IWQ* – інноваційні технології моніторингу якості води, *WST* – впровадження водощадних технологій, *WSP* – технології захисту водних джерел, *LWW* – реалізація локальних очисних споруд на рівні домогосподарств, *DWS* – диверсифікація джерел водопостачання.

Управлінський блок може бути представлений у вигляді такої множини:

$$MB = (MS, OWS, ST, MA, FR, RMS, CES, EIM), \quad (4)$$

де *MS* – розробка стратегії управління водними ресурсами громади, *OWS* – оптимізація системи управління водопостачанням, *ST* – підготовка та навчання персоналу, *MA* – моніторинг та аудит якості водопостачання, *FR* – залучення фінансових ресурсів, *RMS* – впровадження систем управління ризиками, *CES* – контроль за дотриманням екологічних стандартів, *EIM* – оцінка ефективності впроваджених заходів.

Елемент стратегії «Економічні заходи» представлений такою множиною:

$$EB = (FPB, IG, ES, PPP, ERC, SEA, CEM, SI, ESC), \quad (5)$$

де *FPB* – фінансове планування та бюджетування, *IG* – залучення інвестицій та міжнародних грантів, *ES* – економічна стимуляція впровадження екологічних технологій, *PPP* – модернізація інфраструктури через державне та приватне партнерство, *ERC* – ефективне використання економічних ресурсів громади, *SEA* – соціально-економічна адаптація населення, *CEM* – контроль за витратами та економічний моніторинг, *SI* – впровадження економічних механізмів підтримки інновацій, *ESC* – формування економічної стійкості громади.

Соціальний блок може бути представлений у вигляді такої множини:

$$SB = (EIC, PP, ESD, SP, SRE, PEC, SR), \quad (6)$$

де *EIC* – освітні та інформаційні кампанії, *PP* – участь населення, громадських організацій у питаннях забезпечення екологічної безпеки у регіоні, *ESD* – залучення молоді й освіта для сталого розвитку, *SP* – розвиток соціального партнерства, *SRE* – соціальна відповідальність підприємств, *PEC* – популяризація екологічної культури через соціальні ініціативи, *SR* – соціальні дослідження та моніторинг потреб населення.

Отже, стратегічну модель покращення стану екологічної безпеки сільського водопостачання можна представити у вигляді графічної моделі (формула 7) та схеми (рис. 2).

$$SM = \begin{cases} OLB = (RLD, WG, EP, TAI, P, DSP, LP, CRSB, EDP) \\ TB = (SWP, MWS, IWQ, WST, WSP, LWV, DWS) \\ MB = (MS, OWS, ST, MA, FR, RMS, CES, EIM) \\ EB = (FPB, IIG, ES, PPP, ERC, SEA, CEM, SI, ESC) \\ SB = (EIC, PP, ESD, SP, SRE, PEC, SR) \end{cases} \quad (7)$$

**Висновки.** Розглянуто важливість застосування системного аналізу для покращення екологічної безпеки систем сільського водопостачання. Дослідження продемонструвало, що системний підхід дає змогу створити комплексну стратегічну модель, яка враховує екологічні, технологічні, економічні й соціальні аспекти. Запропонована модель складається з п'яти блоків: організаційно-правового, технологічного, управлінського, економічного та соціального. Це забезпечує цілісну взаємодію всіх необхідних компонентів для ефективного управління водними ресурсами в сільській місцевості. Запропоновані заходи спрямовані на підвищення якості води та зменшення екологічних ризиків, що підтверджує необхідність і актуальність дослідження.

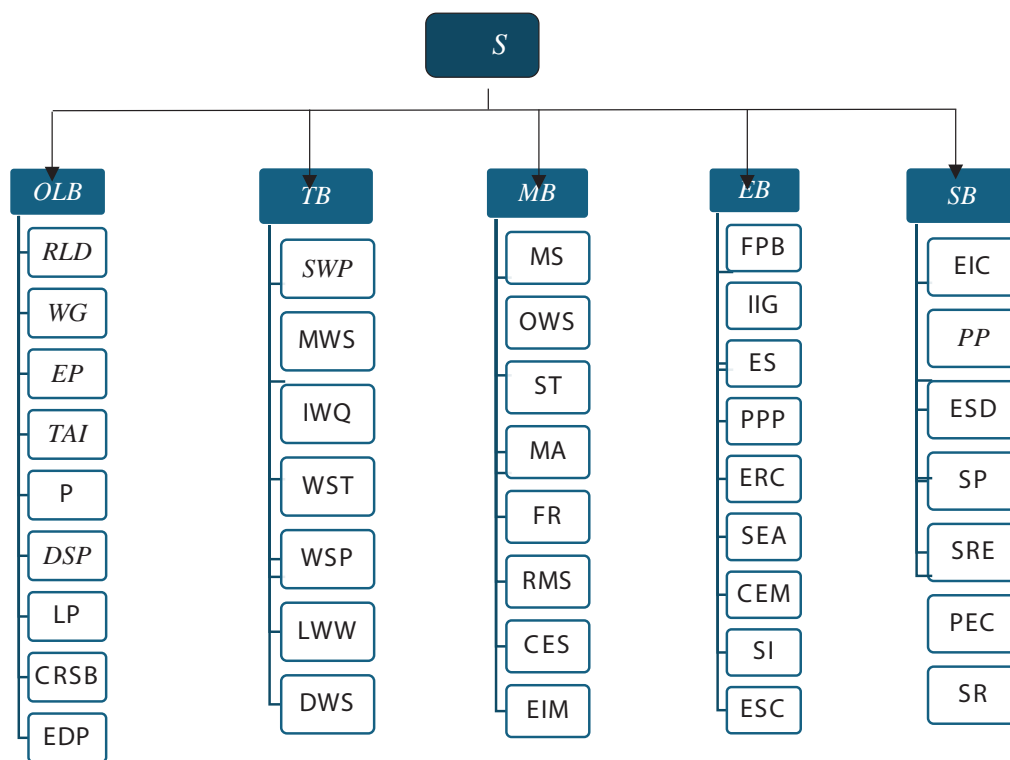


Рис. 2. Стратегічна модель покращення стану екологічної безпеки сільського водопостачання

**Література:**

1. Valerko R., Herasymchuk L., Pitsil A., Palkevich J. GIS-based assessment of risk for drinking water contamination to children’s health in rural settlements. *Ekologija (Bratislava)*. 2022. Vol. 41. No. 4. P. 312–321. DOI: 10.2478/eko-2022-0032.
2. Gotfrids N. System Analysis in the Environmental Science. *Environment. Technology. Resources*. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. 2015. 1. 120. DOI: 10.17770/etr2011vol1.911.
3. 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.
4. 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.
5. Д’яченко Н., Маркіна Л., Ковальчук А., Д’яченко А. Застосування прийомів системного аналізу у разі управління відходами. *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*. 2022. Вип. 6 (137). С. 9–21. DOI: <https://doi.org/10.32782/1995-0519.2022.6.1>.

6. 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: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.4-43.30>.
7. Барна І. Концепт оцінки впливу на довкілля через призму системного аналізу. *Наукові записки*. 2021. № 2. С. 15–23. DOI: <https://doi.org/10.25128/2519-4577.21.2.2>.
8. Соколовська А. В., Томченко О. В., Порушкевич А. Ю., Федоровський О. Д., Якимчук В. Г. Методи системного аналізу в дистанційних аерокосмічних дослідженнях екологічної безпеки та природокористування. *Екологічна безпека та природокористування*. 2015. № 2 (18). С. 95–102.
9. 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.
10. Тарасова В. В., Ковалевська І. М. Методологія системного підходу до оцінки безпеки довкілля. *Глобальні та національні проблеми економіки*. 2018. Вип. 22. С. 683–687.
11. Івчук В. В. Значення системного аналізу для визначення рівня забезпеченості водними ресурсами. «Системний аналіз в управлінні: міжгалузеві дослідження»: мат-ли IV Всеукр. наук.-практ. конф. за міжнар. участі (26–27 травня 2022 р., м. Київ): Національний педагогічний університет імені М. П. Драгоманова, 2022. С. 119–122.
12. Romanchuk L. D., Valerko R. A., Herasymchuk L. O., Kravchuk M. M. Assessment of the impact of organic Agriculture on Nitrate Content in Drinking Water in Rural Settlements of Ukraine. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2021. 11 (2). P. 17–26. DOI: 10.15421/2021\_65.
13. Валерко Р. А. Обґрунтування природоохоронних заходів для підвищення рівня екологічної безпеки питних підземних вод. *Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова*. 2024. № 1 (494). С. 132–138. DOI: [https://doi.org/10.15589/znp2024.1\(494\).19](https://doi.org/10.15589/znp2024.1(494).19).

### References:

1. Valerko, R., Herasymchuk, L., Pitsil, A., & Palkevich, J. (2022). GIS-based assessment of risk for drinking water contamination to children's health in rural settlements. *Ekológia (Bratislava)*, Vol. 41, No. 4, p. 312–321. DOI: 10.2478/eko-2022-0032.
2. Gotfrids, N. (2015). System Analysis in the Environmental Science. *Environment. Technology. Resources*. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. DOI: 10.17770/etr2011vol1.911.
3. Polishchuk, V. M., Mudrak, D. O., & Mudrak, O. V. (2024). Systemnyy analiz yakosti navkolyshnoho seredovyshcha Yevropy cherez pryzmu ekoloho-ekonomichnykh indyikatoriv [Systemic analysis of the quality of the European environment through the prism of ecological and economic indicators]. *Zbalansovane pryrodokorystuvannya*, No 2, p. 42–55. DOI: 10.33730/2310-4678.2.2024.309921 [in Ukrainian].
4. 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. P. 312–320.
5. Dyachenko, N., Markina, L., Kovalchuk, 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 Ostrohradskoho*, Vol. 6 (137), p. 9–21. DOI: <https://doi.org/10.32782/1995-0519.2022.6.1> [in Ukrainian].
6. Patseva, I. H., Herasymchuk, O. L., & Kahukina, A. M. (2022). Systemnyy pidkhid upravlinnya vidkhodamy obyednanykh terytorialnykh hromad [Systemic approach to waste management of united territorial communities]. *Ekolohichni nauky*, Vol. 4 (43), p. 181–184. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.4-43.30> [in Ukrainian].
7. 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*, No. 2, p. 15–23. DOI: <https://doi.org/10.25128/2519-4577.21.2.2>. [in Ukrainian].
8. Sokolovska, A. V., Tomchenko, O. V., Porushkevych, A. Yu., Fedorovskyy, 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*, No 2 (18), p. 95–102 [in Ukrainian].
9. Bondar, O. I., Mashkov, O. A., & Abidov, S. T. (2015). Systemnyy analiz ekolohichnoyi nebezpeky u zoni provedennya antyterorystychnoyi operatsiyi na skhodi Ukrayiny: 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*, No 9, p. 5–26 [in Ukrainian].
10. Tarasova, V. V., & Kovalevska, I. M. (2018). Metodolohiya systemnoho pidkhodu do otsinky bezpeky dovkillya [Methodology of the system approach to environmental safety assessment]. *Hlobalni ta natsionalni problemy ekonomiky*, Vol. 22, p. 683–687 [in Ukrainian].
11. Ivchuk, V. V. (2022). Znachennya systemnoho analizu dlya vyznachennya rivnya zabezpechenosti vodnyimi resursamy [The value of system analysis for determining the level of water resources]. “Systemnyy analiz v upravlinni: mizhgaluzevi doslidzhennya”: materialy IV Vseukrayinskoyi naukovy-praktychnoyi konferentsiyi za mizhnarodnoyi uchasti (26–27 travnya 2022 r., m. Kyiv). Kyiv: Natsionalnyy pedahohichnyy universytet imeni M. P. Drahomanova, p. 119–122 [in Ukrainian].
12. Romanchuk, L. D., Valerko, R. A., Herasymchuk, L. O., & Kravchuk, M. M. (2021). Assessment of the impact of organic Agriculture on Nitrate Content in Drinking Water in Rural Settlements of Ukraine. *Ukrainian Journal of Ecology*, 11 (2), p. 17–26. DOI: 10.15421/2021\_65.
13. Valerko, R. A. (2024). Obgruntuвання pryrodokhoronnykh zakhodiv dlya pidvyshchennya rivnya ekolohichnoyi bezpeky putnykh pidzemnykh vod [Justification of environmental protection measures to increase the level of ecological safety of drinking groundwater]. *Zbirnyk naukovykh prats Natsional'noho universytetu korablobuduvannya imeni admirala Makarova*, No 1 (494), p. 132–138. DOI: [https://doi.org/10.15589/znp2024.1\(494\).19](https://doi.org/10.15589/znp2024.1(494).19) [in Ukrainian].