

- (2), 31-34.
35. Scoaris Dde, O., Colacite, J., Nakamura, C.V., Ueda-Nakamura, T., de Abreu Filho, B.A., Dias Filho, B.P., 2008. Virulence and antibiotic susceptibility of *Aeromonas* spp. isolated from drinking water. *Antonie Van Leeuwenhoek* 93 (1-2), 1111-1122.
36. Roi, I.Y., Klimenko, N.A., Zdorovenko, G.M., Goncharuk, V.V., 2015. Species identification of water microorganisms resistant to chlorine compounds. *J Water Chem. Technol.* 37 (3), 145-150.
37. Le Dantec, C., Duguet, J.P., Montiel, A., Dumoutier, N., Dubrou, S., Vincent, V., 2002b. Occurrence of mycobacteria in water treatment lines and in water distribution systems. *Appl. Environ. Microbiol.* 68 (11), 5318-5325.
38. Ofori, I., Maddila, S., Lin, J., Jonnalagadda, S.B., 2018. Chlorine dioxide inactivation of *Pseudomonas aeruginosa* and *Staphylococcus aureus* in water: the kinetics and mechanism. *J. Water Pro. Eng.* 26, 46-54.
39. Chen, S., Li, X., Wang, Y., Zeng, J., Ye, C., Li, X., Guo, L., Zhang, S., Yu, X., 2018. Induction of *Escherichia coli* into a VBNC state through chlorination/chloramination and differences in characteristics of the bacterium between states. *Water Res.* 142, 279-288.
40. Olszewska, M.A., Bialobrzewski, I., 2019. Mixed species biofilms of *Lactobacillus plantarum* and *Listeria innocua* show facilitated entrance to the VBNC state during chlorine-induced stress. *J Food Saf* 39 (4).
41. Ye, C., Lin, H., Zhang, M., Chen, S., Yu, X., 2020. Characterization and potential mechanisms of highly antibiotic tolerant VBNC *Escherichia coli* induced by low level chlorination. *Sci Rep* 10 (1), 1957.
- Вперше надійшла до редакції 21.01.2025 р.
Рекомендована до друку на засіданні редакційної колегії після рецензування*

УДК 628.162:613.34.:502.65+546.134

DOI: <https://zenodo.org/records/15648853>

ОЦІНКА ПІДЗЕМНИХ ДЖЕРЕЛ ЗА ДОПОМОГОЮ ІНДЕКСУ ЯКОСТІ ВОДИ

Бабієнко В.В., Валькевич Д.В., Красікова Д.Р.

Одеський національний медичний університет

ASSESSMENT OF GROUNDWATER SOURCES USING THE WATER QUALITY INDEX

Babienko V.V., Valkevich D.V., Krasikova D.R.

Odessa National Medical University

Summary/Резюме

The paper presents the results of studies on the assessment of the suitability of groundwater for drinking water consumption using the Water Quality Index (WQI) in the Mufuchani district of the Copperbelt province of Zambia. Water samples were collected from 20 wells between June and August 2023. Physico-chemical and microbiological studies of the water samples were performed. It was found that 95% of the water samples had elevated levels of total and fecal coliforms. The determined WQI for 5% of the samples was described as "excellent", 35% - "good", 14% - "very poor". For 55% of the samples, the water was recognized as unfit for drinking. It was shown that groundwater in this area is unsafe for consumption without prior treatment and disinfection. It is recommended that such treatment be carried out either at the household level or at public facilities prior to use. The need to improve sanitation infrastructure, implement filtration and disinfection technologies, and implement purification measures to protect groundwater as a source of drinking water for settlements is justified.

Key words: *drinking water quality, groundwater quality, water quality assessment, water quality index.*

Робота представляє результати досліджень щодо оцінки придатності ґрунтових вод для споживання в якості питних з використанням індексу якості води (WQI) в районі Mufuchani в провінції Copperbelt Замбії. Проведено відбір зразків води із 20 свердловин у період з червня по серпень 2023 року. Виконано фізико-хімічні та мікробіологічні дослідження зразків води. Встановлено, що 95% зразків води мали підвищені рівні загальних та фекальних колиформ. Визначений WQI для 5% зразків описано як «відмінний», 35% - «хороший», 14% «дуже поганий». Для 55% зразків вода визнана непридатною для пиття. Показано, що підземні води у цьому районі небезпечні для споживання без попередньої очистки та знезараження. Рекомендовано проводити таку обробку або на рівні домогосподарств, або в громадських пунктах до її вживання. Обґрунтовано необхідність покращення інфраструктури санітарії, впровадження технологій фільтрації та дезінфекції та впровадження заходів очищення для захисту ґрунтових вод як джерел питної води для населення.

Ключові слова: *якість питної води, якість ґрунтових вод, оцінка якості води, індекс якості води*

Гідрологічний цикл тісно пов'язаний з якістю води, зі змінами використання земель, клімату та діяльності людини. Збільшення стоків та забруднення з міських районів погіршують якість води і призводять до високого рівня біохімічного споживання кисню, загальних колиформ (TC), та рівня розчиненого кисню (DO) [1]. Такий екологічний тиск спостерігається в Африці на південь від Сахари, де ґрунтові води відіграють вирішальну роль у водопостачанні, особливо в посушливих та напівзасушливих регіонах, де поверхневі води дефіцитні або ненадійні [2]. Якість ґрунтових вод перебуває під загрозою через промислову діяльність, сільськогосподарський стік та погану практику поводження з відходами [3].

У провінції Замбії Copperbelt промислова та гірнича діяльність є ключовими рушіями забруднення ґрунтових вод. Масштабні гірничі операції в поєднанні з швидкою урбанізацією та неадекватним управлінням стічними водами призвели до забруднення ґрунтових вод важкими металами та іншими промисловими забруднюючими речовинами [4, 5]. Погані сільськогосподарські практики, такі як надмірне використання добрив та пестицидів, ще більше погіршують якість води [6]. Забруднення ґрунтових вод у цьому регіоні становить значні ризики для здоров'я, включаючи гіпертензію, захворювання нирок та інші серйозні хвороби, які обтяжують систему охорони здоров'я та

знижують якість життя населення [7]. Таким чином, оцінка якості підземних вод має вирішальне значення для забезпечення безпеки питної води. Для оцінки якості ґрунтових вод були розроблені різні методи, включаючи індекс якості води (WQI), орієнтовний комплексний метод та метод вагової оцінки ризику для здоров'я [7-9]. Серед них WQI є особливо сприятливим завдяки своїй простоті, практичності та універсальності в інтеграції декількох параметрів якості води в єдине, легко інтерпретаційне значення [10]. WQI визначають як сукупність біологічних і фізико-хімічних характеристик води: трофосапробності, солоності, жорсткості, pH, концентрації шкідливих речовин. WQI вперше був представлений Horton (1965) і з тих пір широко застосовується у різних регіонах для оцінки придатності води для пиття та інших цілей. У таких регіонах, як Copperbelt, де водні ресурси знаходяться під значним тиском з боку промислових та міських джерел забруднення, WQI служить важливим інструментом для ефективної оцінки якості води.

Індекс якості води (WQI) є одним із найпоширеніших інструментів для опису якості води. Він базується на фізичних, хімічних та біологічних факторах, які об'єднуються в одне значення в діапазоні від 0 до 100, і включає 4 етапи: це (1) вибір параметрів якості води, (2) генерація субіндексів для кожного параметра, (3) розрахунок вагових значень пара-

метрів та (4) агрегація субіндексів для обчислення загального індексу якості води. В оглядових дослідженнях [11, 12] представлено передумови WQI та моделей WQI. Описано етапи становлення, розвиток галузі дослідження, різні WQI, переваги та недоліки кожного підходу, а також найновіші спроби досліджень WQI. Для того, щоб розвивати та вдосконалювати індекс кількома способами, WQI повинні бути пов'язані з науковими іноваціями (наприклад, екологічними). Це передбачає створення складного WQI, який враховує статистичні методи, взаємодію між параметрами та науково-технічний прогрес, щоб використовувати його в майбутніх дослідженнях.

На думку авторів [12], деякі проблеми моделі WQI полягають у тому, що вони зазвичай розробляються на основі рекомендацій для конкретного регіону, і тому не є універсальними. Більше того, вони створюють невизначеність у перетворенні великих обсягів даних про якість води в єдиний індекс.

Незважаючи на широке використання WQI при оцінці якості води, лише поодинокі дослідження були зосереджені на його застосуванні в регіонах із сильним впливом на якість води гірничо-добувної промисловості, зокрема, таких, як провінція Copperbelt в Замбії. Попередні дослідження в Замбії в першу чергу розглядали промислове забруднення та міський стік, але спеціально не вивчали вплив видобутку на якість підземних вод [13, 14].

Дослідження [15] мало на меті заповнити цю прогалину, оцінивши за допомогою WQI придатність ґрунтових вод для пиття в районі Mufuchani. Визначаючи ключові забруднювачі та оцінюючи загальну якість води, це дослідження дало цінну інформацію для місцевих органів влади та керівників водопостачання для розробки стратегій захисту ресурсів підземних вод та отримання безпечної питної води для населення.

Аналіз фізичних та біологічних параметрів якості води в 20 точках вибірки

виявив значні зміни та потенційні ризики для здоров'я.

Рівень каламутності значно змінювався - від 1,16 нефелометричних одиниць каламутності (NTU) до 223 NTU із загальним середнім значенням 30,96 NTU, що значно перевищує рекомендації ВООЗ та нормативи ZABS (стандарт Замбії) для безпечної питної води. Лише 35% зразків потрапили в діапазон прийнятної каламутності, що свідчить про широке забруднення зваженими твердими частками. Крім того, 45 зразків (65%) води мали перевищення нормативу кольоровості, що, ймовірно, пов'язано з розчиненими органічними речовинами або забрудненням під час видобутку руди. Температура коливалась від 20,2 ° C при до 25,7 ° C без ознак значного теплового забруднення. Біологічний аналіз виявив сильне забруднення загальними (TC) та фекальними (FC) колиформами. Більшість зразків показали надмірно високі концентрації FC та TC, що дозволяє припустити пряме забруднення з фекальних джерел через неадекватну санітарну інфраструктуру в околицях. Це свідчить про значні ризики для здоров'я і підкреслює нагальну потребу в кращих заходах санітарії та захисних стратегій для джерел підземних вод.

Аналіз хімічних параметрів у 20 точках вибірки вказує на значну мінливість якості води. Рівень pH становив від 4,62 до 7,84 із загальним середнім значенням 6,08. Приблизно 65% зразків демонстрували значення pH нижче рекомендацій ВООЗ та стандартів ZABS [16]. У більшості зразків води значення pH коливалися від 4,63 до 6,91, що свідчить про потенціальні джерела забруднення. Значення загальних суспендованих твердих речовин (TSS) коливалися від 6,75 мг/л до 130 мг/л. Рівень DO залишався відносно стабільним у місцях вибірки і коливався від 4,2 до 7,7 мг/л, що дозволяє припустити задовільну оксигенацію по всій досліджуваній області. Найвищі рівні жорсткості за кальцієм та загальної жорсткості становили 135 мг/л і 115 мг/л

відповідно.

Аналіз важких металів, таких як залізо (Fe), свинець (Pb), цинк (Zn) та кобальт (Co), у 20 точках показав, як правило, низьку і незначну їх присутність у всіх зразках.

Результати розрахунків WQI для загальної оцінки якості води в кожній точці вибірки показали, що 5% зразків води слід віднести до відмінних, 25% - до хороших, 15% - дуже поганих, а 55% як таких, що непридатні для споживання людиною. Значення WQI за класифікацією ZABS коливалися від 1,17 до 580,55. За класифікації BOOЗ, 5% зразків води були категоризовані як відмінні, 15% як хороші, 15%-дуже погані, а 65% як непридатні для споживання людини. Значення WQI за класифікацією BOOЗ коливалися від 0,59 до 7475,55. Незалежно від класифікації, більшість точок відбору проб перевищували рекомендовані величини. Це підкреслює критичну потребу в цілеспрямованих втручаннях для поліпшення якості води в регіоні.

В обговоренні автори [15] зазначають, що якість води є ключовим фактором сталого розвитку, особливо в таких регіонах, як Mufuchani, де ґрунтові води служать основним джерелом питної води. Результати проведеного дослідження [15] підкреслюють суттєві проблеми, спричинені природними та антропогенними чинниками, які впливають на якість води. WQI, що використовувався в цьому дослідженні, забезпечує інтегровану оцінку якості води, узгоджуючись з цілями сталого розвитку (SDG), зокрема SDG 6 (чиста вода та санітарія) та SDG 3 (міцне здоров'я та добробут).

Можливим фактором, що сприяє високому рівню каламутності у зразках води, може бути характер основного водоносного горизонту [17]. Каламутність, яка перевищувала допустимі обмеження в більшості випадків, вказує на наявність зважених частинок і часто є маркером мікробного забруднення [18, 19].

Наявність біологічних забруднень, зокрема ТС та ФК, становить серйозний

ризик для здоров'я населення. Ці результати вказують на фекальне забруднення, ймовірно, з сусідніх туалетів, септиків та неадекватних систем сортування відходів. Всі зразки води, зібрані з досліджуваної області, були мікробіологічно забруднені, рівні загальних та фекальних коліформ перевищували нормативи BOOЗ та ZABS (0 КУО/100 мл FC та 0 КУО/100 мл TC). Найвищі зафіксовані величини становили 410 FC/100 мл та 185 TC/100 мл відповідно. Крім того, 95% зразків води демонстрували підвищений рівень як ТС, так і FC. Ця ситуація відображає результати досліджень в інших міських районах, де погана санітарна інфраструктура призвела до подібних моделей забруднення [20]. Наявність FC говорить про те, що джерела ґрунтових вод є дуже вразливими до забруднення, що може призвести до спалахів захворювань, що переносяться водою, таких як холера та тиф [21]. Поліпшення санітарних практик та захисту джерел води від забруднення повинно бути пріоритетним для зменшення цих ризиків для здоров'я.

Крім того, хімічний аналіз виявив закономірності у рівнях pH, при цьому 65% зразків не відповідали нормативам 6,5-8,0 [16,18]. Значення pH були до 4,84. Це говорить про те, що такі помірно кислі підземні води мають корозійний потенціал для металів труб [18, 22]. Кислий характер ґрунтових вод у цьому регіоні може пояснюватися гірничо-промисловими заходами, під час яких в підземні водоносні горизонти вивільняються сірчані сполуки - явище, широко поширене в подібних промислових регіонах [6, 23]. Підвищений pH у певних точках вибірки також говорить про потенційні промислові викиди, підкреслюючи необхідність більш жорсткого контролю над утилізацією промислових відходів для захисту якості ґрунтових вод.

Ще одне критичне питання - це забруднення важкими металами. Підвищені концентрації міді (Cu) були виявлені в декількох пунктах відбору проб, особливо в районах, близьких до промислових

майданчиків, де концентрація міді перевищувала рекомендовані величини [18]. У цьому дослідженні [15] найвища концентрація міді становила 4,12 мг/л, тобто перевищувала нормативи [16, 18], 2 та 1 мг/л відповідно. Мідь часто забруднює воду під час видобутку та виплавки, які переважають у провінції Copperbelt [19]. Хронічний вплив підвищених рівнів міді може призвести до шлунково-кишкових та неврологічних розладів, впливати на печінку та нирки у місцевого населення [24-26].

У деяких зразках виявлено високий рівень нікелю (Ni), який перевищують значення BOOЗ 0,02 мг/л. Найвища концентрація становила 3,78 мг/л. У стандарті ZABS нормативи нікелю відсутні. Нікель є відомим канцерогеном і його присутність у ґрунтових водах становить довгострокові ризики для здоров'я. Це забруднення, ймовірно, пов'язане з промисловими процесами в цьому районі, тому є потреба негайного регуляторного втручання для запобігання подальшій деградації ґрунтових вод.

Результати WQI забезпечили всебічний огляд загальної якості ґрунтових вод у регіоні [27]. Виходячи з класифікації ZABS [16], 5% води в досліджуваній області була відмінною водою; 15% - дуже поганою, 25% - хорошої якості, 55% - непридатною для пиття. Водночас стандартна класифікація показала, що 5% ґрунтових вод були класифіковані як відмінна якість води, 10% - як хороша якість води, 15% - як дуже погана вода, а 70% - як непридатна для споживання людиною. Цей висновок узгоджується з дослідженнями Amano et al. [20]: забруднення ґрунтових вод є поширеним у міських та заміських районах, які забруднюються внаслідок промислової діяльності та неадекватного поводження з відходами. Високі значення WQI в декількох точках вибірки свідчать про сильне забруднення, яке охоплює не тільки біологічні та хімічні параметри, але й відображає кумулятивний вплив антропогенних та природних факторів.

У порівнянні з аналогічними дослідженнями в інших регіонах, якість ґрунтових вод у Mufuchani помітно гірша. Наприклад, Atta et al. [23] повідомили, що 35,8% зразків ґрунтових вод у їхньому досліджуваному регіоні оцінювались як відмінні, тоді як лише 5% підземних вод Mufuchani досягли цього рейтингу. Цю невідповідність можна пояснити інтенсивністю промислової діяльності в регіоні мідного родовища та відсутністю адекватної інфраструктури для захисту джерел води від забруднення. Ці висновки позначають актуальну потребу в моніторингу та поліпшенні якості води, особливо в Mufuchani, де промислова активність продовжує впливати на якість водних ресурсів.

Це дослідження [15] підкреслює нагальну потребу в цілеспрямованих втручаннях для поліпшення якості води в Mufuchani. Покращення інфраструктури санітарії, впровадження технологій фільтрації та дезінфекції та впровадження заходів очищення є важливими кроками для захисту водних ресурсів. Всі зацікавлені сторони повинні визначити пріоритетність захисту ґрунтових вод, щоб забезпечити безпечну питну воду для населення.

В якості висновку автори [15] підкреслюють: невідповідність ґрунтових вод внаслідок наявності колі-форм створює серйозні ризики для здоров'я споживачів, включаючи водні діарейні захворювання. Для вирішення цього питання рекомендовано обробляти воду як на рівні домогосподарств, так і в громадських системах, використовуючи методи фільтрації та дезінфекції. Крім того, необхідні кампанії з охорони здоров'я для сприяння кращих практик санітарії та покращення поведінки, пов'язаної з контролем фекального забруднення підземних вод, що має важливе значення для зменшення забруднення та захисту здоров'я населення.

References/Література

1. Karn, S. K. & Harada, H. (2001) Surface water pollution in three urban territories of Nepal,

- India, and Bangladesh, *Environmental Management*, 28, 483-496.
2. Lapworth, D. J., Nkhuwa, D. C. W., Okotto-Okotto, J., Pedley, S., Stuart, M. E., Tijani, M. N. & Wright, J. (2017) Qualite des eaux souterraines urbaines en afrique subsaharienne: etat actuel et implications pour la securite de l'approvisionnement en eau et la sante publique, *Hydrogeology Journal*, 25 (4), 1093-1116. <https://doi.org/10.1007/s10040-016-1516-6>.
3. Mukhtar, S. I, Usman, N. & Obadaki, Y.Y. (2021) Assessment of groundwater quality and its suitability for drinking in Nguru, *Environmental Technology & Science Journal*, 12 (1), 63-70.
4. Masindi, K. & Abiye, T. (2018) Assessment of natural and anthropogenic influences on regional groundwater chemistry in a highly industrialized and urbanized region: a case study of the Vaal River basin, South Africa, *Environmental Earth Sciences*, 77 (20), 1-14. <https://doi.org/10.1007/S12665-018-7907-3>.
5. Masindi, V. & Foteinis, S. (2021) Groundwater contamination in sub-Saharan Africa: implications for groundwater protection in developing countries, *Cleaner Engineering and Technology*, 2 (June 2020), 100038. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2020.100038>.
6. Khatri, N. & Tyagi, S. (2015) Influences of natural and anthropogenic factors on surface and groundwater quality in rural and urban areas, *Frontiers In Life Science*, 8 (1), 23-39. <https://doi.org/10.1080/21553769.2014.933716>.
7. Ali, S., Verma, S., Agarwal, M. B., Islam, R., Mehrotra, M., Deolia, R. K., Kumar, J., Singh, S., Mohammadi, A A, Raj, D. & Gupta, M. K. (2024) Groundwater quality assessment using water quality index and principal component analysis in the Achnera Block, Agra District, Uttar Pradesh, northern India, *Scientific Reports*, 14 (1), 5381.
8. Yi, F., Chen, L. & Yan, F. (2019) The health risk weighting model in groundwater quality evaluation, *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 25 (8), 2089-2097. <https://doi.org/10.1080/10807039.2018.1488581>.
9. Wu, J., Zhang, Y. & Zhou, H. (2020) Groundwater chemistry and groundwater quality index incorporating health risk weighting in Dingbian county, Ordos basin of northwest China, *Geochemistry*, 80 (4), 125607.
10. Kumar, P. R., Gowd, S. S. & Krupavathi, C. (2024) Hydroresearch groundwater quality evaluation using water quality index and geospatial techniques in parts of Anantapur district, Andhra Pradesh, south India, *Hydro Research*, 7, 86-98. <https://doi.org/10.1016/j.hydres.2024.01.001>.
11. Chidiac S., El Najjar P., Ouaini N., El Rayess Y., El Azzi D. (2023) A comprehensive review of water quality indices (WQIs): history, models, attempts and perspectives. *Rev Environ Sci Biotechnol*. 11;22(2):349–395. doi: 10.1007/s11157-023-09650-7
12. Uddin Md. G., Nash S. , Olbert A 2021 () A review of water quality index models and their use for assessing surface water quality. *Ecological Indicators* 122, 107218.
13. Nambeye, A (2017) An assessment of heavy metal contamination of groundwater in George compound of Lusaka. Doctoral dissertation. Zambia: The University of Zambia
14. Banda, R. K. (2020) Bacteriological and Chemical Quality of Packaged Water Produced in Lusaka, Zambia and Associated Quality Control Measures.
15. Machona S., Ogendi G. M., Ahana B. S. (2025) Assessment of groundwater quality for drinking using the water quality index. *Water Quality Research Journal*. 60, 1, 151 doi: 10.2166/wqrj.2025.047
16. ZABS (2010) Zambian standard (first revision): Drinking water quality - Specification. Lusaka, Zambia: Zambia Bureau of Standards, 14 p.
17. Nyirenda, M. J. (2016) Non-communicable diseases in sub-Saharan Africa: understanding the drivers of the epidemic to inform intervention strategies, *International Health*, 8 (3), 157-158.
18. World Health Organization (2011) WHO model list of essential medicines: 17th list. Geneva: World Health Organization.
19. Verma, D., Dharan, A & Bangari, B. (2020) Quality assessment of drinking water from groundwater system in Kalindi College, *Journal of Energy Research and Environmental Technology*, 6 (1), 49-55.
20. Amano, K. O. A, Danso-Boateng, E., Adom, E., Kwame Nkansah, D., Amoamah, E. S. & Appiah-Danquah, E. (2021) Effect of waste landfill site on surface and ground water drinking quality, *Water and Environment Journal*, 35 (2), 715-729. <https://doi.org/10.1111/wej.12664>.
21. Hampwaye, G. (2008) The limits of decentralisation in urban Zambia, *Urban Forum*, 19 (4), 347-361. <https://doi.org/10.1007/S12132-008-9040-Y>.
22. DeJarnett, N., Robb, K., Castellanos, I., Dettman, L. & Patel, S. S. (2018) The American Public Health Association's 2017 Year of Climate Change and Health: Time for Action, *American Journal of Public Health*, 108, S76-S77. <https://doi.org/10.2105/AJPH.2017.304168>

23. Atta, H. S., Omar, M. A. S. & Tawfik, A. M. (2022) Water quality index for assessment of drinking groundwater purpose case study: area surrounding Ismailia Canal, Egypt, *Journal of Engineering and Applied Science*, 69 (1), 1-17. <https://doi.org/10.1186/s44147-022-00138-9>.
24. Annapoorna, H. & Janardhana, M. R. (2015) Assessment of groundwater quality for drinking purpose in rural areas surrounding a defunct copper mine, *Aquatic Procedia*, 4 (Icwrcoe), 685-692. <https://doi.org/10.1016/j.aqpro.2015.02.088>.
25. Nalishuwa, L. (2015) Investigation on Copper Levels in and Around Fish Farms in Kitwe, Copperbelt Province, Zambia. Doctoral dissertation, Sokoine University of Agriculture.
26. Jing, M., Liu, Y., Song, W., Yan, Y., Yan, W. & Liu, R. (2016) Oxidative damage induced by copper in mouse primary hepatocytes by single-cell analysis, *Environmental Science and Pollution Research*, 23, 1335-1343.
27. Ghoderao, S. B., Meshram, S. G. & Meshram, C. (2022) Development and evaluation of a water quality index for groundwater quality assessment in parts of Jabalpur District, Madhya Pradesh, India, *Water Supply*, 22 (6), 6002-6012.

Вперше надійшла до редакції 24.01.2025 р.
Рекомендована до друку на засіданні редакційної колегії після рецензування