

УДК 504.45

DOI [https://doi.org/10.15589/znп2023.2-3\(491-492\).18](https://doi.org/10.15589/znп2023.2-3(491-492).18)

RANKING OF THE ENVIRONMENTAL CONDITION OF THE SURFACE WATERS OF THE DNIPROPETROV REGION ACCORDING TO THE ADVANCED QUALITY INDEX

РАНЖУВАННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД ДНІПРОПЕТРОВСЬКОЇ ОБЛАСТІ ЗА ВДОСКОНАЛЕНИМ ІНДЕКСОМ ЯКОСТІ

Vitalii L. Bezsonnyi

bezsonnyi@gmail.com

ORCID: 0000-0001-8089-7724

В. Л. Безсонний,

канд. техн. наук, доцент

*Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics, Kharkiv**Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця, м. Харків*

Purpose. Ranking of the ecological state of surface waters of the Dnipropetrovsk region based on the use of an improved water quality index with an entropy weighting factor.

Method. In the process of calculating water quality indices, the weight of each parameter is usually either not taken into account, and the parameters are considered equivalent, or it is given by experts according to their practical experience, which is subjective and a lot of useful and valuable information about water quality can be lost. These drawbacks can be overcome by using information entropy to assign weights to water quality parameters.

The results. As a result of the application of the entropy-weighted water quality assessment index for the section of the Dnipro River located within the Dnipropetrovsk region, it was established that the quality differs significantly in the warm and cold periods of the year according to the value of the index. For the cold season, the minimum value of $EIYV = 175.75$ is observed at control point t11 (Pokrov, drinking water), the maximum – $EIYV = 328.71$ – in t9 (Prydniprovsk village, KP “Dnipro” Pridniprovsk s/r). For the warm period of the year, the best water quality is observed in t4 – $EIJV = 225.20$, and the worst – again for t9 – $EIJV = 327.47$. In addition, the value of $EIJV$ in t9 for the cold season is higher than for the warm season, which indicates that the pollution is not caused by biochemical processes, and can be explained by the negative environmental impact of the Novopavlivskyi granite quarry. Also a high value of $EIYAV=301.41$ – in t5 (city of Dnipro, VP “PdTES” PJSC “DTEK Dniproenergo”, drinking water). Territorially, the control point t5 is located below the confluence of the Samara River with the Dnipro River, which can be explained by the significant contribution to the pollution processes of the growth of the leaching of mineral fertilizers into the river basin, especially during the warm season.

Scientific novelty. The ranking of the ecological state of surface waters of the Dnipropetrovsk region was carried out based on the use of an improved water quality index with an entropy weighting factor.

Practical significance. Improving the quality of environmental assessment of surface water bodies.

Key words: ecological state of surface waters; entropy-weighted water quality index; Water pollution.

Мета. Ранжування екологічного стану поверхневих вод Дніпропетровської області на основі використання вдосконаленого індексу якості води з ентропійним ваговим коефіцієнтом.

Методика. В процесі розрахунку індексів якості води вага кожного параметра зазвичай або не враховується, і параметри вважаються рівнозначними, або ж надається експертами відповідно до їхнього практичного досвіду що є суб'єктивним і багато корисної та цінної інформації про якість води може втрачатися. Цих недоліків можна позбутися, використовуючи інформаційну ентропію для присвоєння ваг параметрам якості води.

Результати. В результаті застосування ентропійно зваженого індексу оцінки якості води для ділянки р. Дніпро, розташованої в межах Дніпропетровської області, встановлено, за значенням індексу якість у теплий та холодний періоди року суттєво відрізняється. Для холодної пори року мінімальне значення $EIYB=175,75$ спостерігається у пункті контролю t11 (м. Покров, питний в/з), максимальне – $EIYB = 328,71$ – у t9 (с. Придніпровське, КП «Дніпро» Придніпровської с/р). Для теплої пори року найкраща якість води спостерігається у t4 – $EIYB = 225,20$, а найгірша – знову ж таки для t9 – $EIYB = 327,47$. При чому, значення $EIYB$ у t9 для холодної пори року вищі, ніж для теплої, що вказує на те, що забруднення не обумовлено біохімічними процесами,

і може пояснюватися негативним екологічним впливом Новопавлівського гранітного кар'єру. Також високе значення ЕІЯВ=301,41 – у т5 (м. Дніпро, ВП «ПдТЕС» ПАТ «ДТЕК Дніпроенерго», питний в/з). Територіально пункт контролю т5 знаходиться нижче місця впадіння р. Самара у р. Дніпро, що може пояснюватися значним вкладом у процеси забруднення зростання змиву мінеральних добрив у басейн річки саме теплої пори.

Наукова новизна. Проведено ранжування екологічного стану поверхневих вод Дніпропетровської області на основі використання вдосконаленого індексу якості води з ентропійним ваговим коефіцієнтом.

Практична значимість. Підвищення якості екологічного оцінювання поверхневих водних об'єктів.

Ключові слова: екологічний стан поверхневих вод; ентропійно зважений індекс якості води; забруднення води.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Вода є одним із головних джерел енергії усієї екосистеми, і без гідросфери Земля не може нормально функціонувати. Це один із найважливіших природних ресурсів, що глибоко впливає на всю екосистему. Хоча цей ресурс є відновним, інтенсивна індустріалізація та урбанізація, розвиток сільського господарства збільшили споживання води, а зростання населення призвело до величезного тиску на водні ресурси. Вода є важливим природним ресурсом, який має відношення до соціально-економічного процвітання всіх країн.

Оцінка поверхневих вододжерел допомагає визначити їх потенційну водопостачальну здатність та ресурси, які можуть бути використані для забезпечення питної води. Забруднення поверхневих вододжерел стає все більшою проблемою через зростання промислового та сільськогосподарського навантаження, а також надмірну експлуатацію водних ресурсів. Оцінка поверхневих вододжерел допомагає встановити рівень забруднення та визначити потенційні джерела забруднення. Зміна клімату також впливає на поверхневі вододжерела, зокрема збільшення випадіння опадів, швидкість зливу та зменшення рівня води в деяких регіонах; людство стикається зі зростаючим попитом на питну воду, що вимагає збільшення забору води з поверхневих джерел. Оцінка поверхневих вододжерел допомагає визначити, як ці зміни можуть вплинути на доступність питної води та інші водні ресурси. Водні об'єкти, що використовуються для питного водопостачання, є життєво важливими для населення в такому промислово навантаженому регіоні як Дніпропетровська область, де поверхневі води є основним джерелом питної води, тому проблема визначення екологічної оцінки поверхневого вододжерела є актуальною.

Отже, визначення екологічного стану поверхневих вододжерел є дуже важливим для забезпечення доступу до якісної питної води, сталого використання водних ресурсів та збереження навколишнього середовища.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Питання оцінки екологічного стану води досліджуються такими авторами, як Колеснік Д.В., Шмандій В.М., Ригас Т.С., Харламова О.В. [1], питанням

використання індексів якості та удосконалення комплексної екологічної оцінки присвячені роботи Крайнюков О. М., Тімченко В. Д. [2], Аніщенко Л. Я., Полозенцева В. О., Свердлов Б. С. [3], Лобода Н. С., Смалій О. В., Заленська Є.А., Войтенко Л.В. [4; 5]. За визначенням Muangthong і Shrestha [6], зростання населення, розвиток урбанізації, індустріалізація та сільськогосподарська діяльність негативно впливають на якість поверхневих вод, що зробило моніторинг та збереження цих джерел життєво важливим завданням.

Останнім часом набули поширення методи оцінки екологічного стану поверхневих вод за допомогою індексів якості [7 – 11].

Комплексний підхід до оцінки якості води таких вододжерел дозволяє отримати велику кількість фізико-хімічних показників, що інтегруються у показники якості води (ІЯВ, англomовна аббревіатура – WQI) [12]. У 1965 році Хортоном розроблено перший сучасний індекс якості води в як результат численних досліджень в сфері індексів якості води [13]. Найважливішими етапами розробки таких індексів є вибір параметрів, зважування факторів, що відображають значимість кожного параметра і остаточна агрегація в числовий бал шляхом встановлення рейтингової шкали за кожним параметром.

Використання теорії ентропії в оцінці якості води неодноразово використовувалося протягом останнього десятиліття та було визнано більш точним серед інших методів індексування [14 – 16].

Ваги на основі ентропії стали продуктивним методом, що використовує інформаційну ентропію для присвоєння ваг параметрам якості води [17 – 19]. Інформаційна ентропія займається виявленням невизначеності або хаосу в рамках випадкового процесу. Присвоєння ваг тому чи іншому параметру в конкретному місці залежить від невизначеності його виникнення в цьому місці. Більш висока невизначеність виникнення в будь-якому місці означає меншу вагу параметрів у цьому місці [20]. Агрегація ваг і шкали оцінки якості всіх параметрів в сукупно виведений числовий бал називається ентропійним зваженим індексом якості води (EWQI).

ВІДОКРЕМЛЕННЯ НЕВИРІШЕНИХ РАНІШЕ ЧАСТИН ЗАГАЛЬНОЇ ПРОБЛЕМИ

У процесі розрахунку ІЯВ вага кожного параметра зазвичай або не враховується, і параметри вважаються рівнозначними, або ж надається експертами

відповідно до їхнього практичного досвіду що є суб'єктивним і багато корисної та цінної інформації про якість води може втрачатися.

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою даної роботи є ранжування екологічного стану поверхневих вод, що використовуються як джерело питного водопостачання у Дніпропетровській області, на основі використання вдосконаленого індексу якості води з ентропійним ваговим коефіцієнтом.

МЕТОДИ, ОБ'ЄКТ ТА ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ

Водні системи можна охарактеризуватися процесами, що збільшують, так і знижують ентропію. Поняття ентропії є багатозначним. Поряд з ентропією Клаузіуса з'явилися статистичні, інформаційні, математичні, лінгвістичні, інтелектуальні та інші ентропії. Ентропія стала базисним поняттям теорії інформації і виступає мірилом невизначеності будь-якої ситуації. Для характеристики міри складності системи У. Ешбі [12] вперше запропонував використовувати поняття ентропії. Система взаємодіє із зовнішнім світом як єдине ціле. В цілому, система не втрачає своєї організованості або високої впорядкованості. Щоб екологічна система могла діяти і взаємодіяти з навколишнім середовищем, вона повинна споживати інформацію з навколишнього середовища і доносити інформацію до навколишнього середовища.

Цей процес називається інформаційним метаболізмом, який спільно з речовинним та матеріальним метаболізмом утворює повний метаболізм. Вперше пов'язав поняття ентропії та інформації К. Шеннон [13]. З його подачі ентропія – це кількість інформації, що припадає на одне елементарне повідомлення джерела, яке виробляє статистично незалежні повідомлення. Отримання будь-якого обсягу інформації дорівнює втраченій ентропії. Розробка ентропійно-важеного індексу якості води (ЕІЯВ) передбачає наступні етапи [23]:

1) побудова вихідної матриці проб води і оцінюваних параметрів;

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

де x_{ij} – концентрація i -ї речовини для j -го створу, мг/дм³.

2) побудова нормованої матриці, що містить нормовані значення кожного оцінюваного параметра в конкретному зразку з метою усунення похибок, викликаних різними розмірами і одиницями виміру.

$$Y = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & \dots & y_{1n} \\ y_{21} & y_{22} & \dots & y_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{m1} & y_{m2} & \dots & y_{mn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

де y_{ij} – нормоване значення i -ї речовини для j -го створу.

Нормоване значення параметру якості води знаходимо за виразом (2):

$$y_{ij} = \frac{x_{ij} - (x_{ij})_{\min}}{(x_{ij})_{\max} - (x_{ij})_{\min}} \quad (3)$$

Нормоване значення параметру якості води для розчиненого у воді кисню знаходимо за виразом (3):

$$y_{ij} = \frac{(x_{ij})_{\max} - x_{ij}}{(x_{ij})_{\max} - (x_{ij})_{\min}} \quad (4)$$

3) обчислення інформаційної ентропії (I) кожного оцінюваного параметра за формулою, введеної Клодом Шенноном [13] (1):

$$I_n = - \left(\frac{1}{\ln n} \right) \sum_{i=1}^m N_{ij} \ln N_{ij} \quad (1)$$

де n – кількість точок відбору проб, а N_{ij} – ймовірність появи нормалізованого значення (v_{ij}) оцінюваного параметра j у i -й вибірці, що визначається наступним чином:

$$N_{ij} = \frac{v_{ij}}{\sum v_{ij}} \quad (2)$$

4) обчислення ентропійних ваг (B), щоб параметрам з нижчою ентропією або мірою безпорядку призначувалася таким чином більша вага:

$$B_j = (1 - I_j) / \sum_{j=1}^l (1 - I_j) \quad (3)$$

Параметрам з меншою ентропією присвоюється більша вага, оскільки вони вказують на наявність більш структурованої системи, яка є більш організованою і менш випадковою, а тому може бути більш інформативною для оцінки якості води. Нарешті, агрегація ваг ентропії та шкали оцінки якості в індекс ЕІЯВ виражається наступним чином:

$$\text{ЕІЯВ} = \sum_{j=1}^n B_j A_j, \quad (4)$$

де ЕІЯВ – ентропійно-важеним індекс якості води; A_j для кожного параметра задається як відношення контрольованого значення j -го параметра (C_j) до його нормативного значення (D_j):

$$A_j = \left(\frac{C_j}{D_j} \right) \times 100. \quad (5)$$

Відповідно до шкали класифікації якості води, запропонованої [14], якість води визначається за п'ятьма класами (табл. 1):

Таблиця 1. Шкала якості води [24]

ЕІЯВ	Клас	Якість води
<50	1	Відмінна якість води
50~100	2	Хороша якість води
100~150	3	Середня або середня якість води
150~200	4	Погана якість води
>200	5	Надзвичайно погана якість води

ОСНОВНИЙ МАТЕРІАЛ

У дослідженні було використано відкриті дані спостережень за екологічним станом поверхневих вод лабораторії моніторингу вод та ґрунтів Регіонального офісу водних ресурсів у Дніпропетровській області за 2020-2021 рр. Проаналізовано дані за 12 гідрологічними постами р. Дніпро (табл. 2).

Для подальших розрахунків у якості нормативного значення було використано показники нижньої межі 2-го класу якості води за ДСТУ 4808:2007.

Враховуючи, що на процеси, які формують екологічний стан води, має місце вплив температурного режиму, розрахунки ентропійного індексу якості води були проведені для теплого (квітень – жовтень) та холодного (листопад – березень) періоду року. Динаміка ЕІЯВ вздовж русла р. Дніпро за точками контролю показана на графіку (рис. 1). Відповідно до шкали (табл. 1) вода практично для усіх пунктів моніторингу вода відноситься до 5-го класу – надзвичайно погана якість води, крім пунктів т10, т11 та т12 – 4 клас – погана якість води.

ОБГОВОРЕННЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Як видно з таблиці, діапазон коливань ЕІЯВ досить широкий. Для холодної пори року мінімальне значення ЕІЯВ=175,75 спостерігається у пункті контролю т11 (м. Покров, питний в/з), максимальне – ЕІЯВ =328,71 – у т9 (с. Придніпровське, КП «Дніпро» Придніпровської с/р). Для теплої пори року найкраща якість води спостерігається у т4 – ЕІЯВ =225,20, а найгірша – знову ж таки для т9 – ЕІЯВ =327,47. При чому, значення ЕІЯВ у т9 для холодної пори року вищі, ніж для теплої, що вказує на те, що

Таблиця 2. Пости гідроекологічного контролю

№ точки	ID та назва посту
т1	27047 р. Дніпро, 476 км, м. Верхньодніпровськ, питний в/з
т2	27048 р. Дніпро, 462 км, смт. Аули, питний в/з м. Дніпро та м. Кам'янське
т3	27071 р. Дніпро, 420 км, м. Дніпро, правий берег, Кайдакський питний в/з
т4	27072 р. Дніпро, 420 км, м. Дніпро, лівий берег, Ломовський питний в/з
т5	27073 р. Дніпро, 404 км, м. Дніпро, ВП «ПдТЕС» ПАТ «ДТЕК Дніпроенерго», питний в/з
т6	27074 р. Дніпро, 372 км, с. Воронове, питний в/з водоводу ДМП ВКП «Дніпро-Західний Донбас»
т7	27075 р. Дніпро, 365 км, с. Військове, питний в/з Солонянського району
т8	27094. р. Дніпро, 245 км, м. Марганець, питний в/з;
т9	7577, р. Дніпро, 219 км, с. Придніпровське, КП «Дніпро» Придніпровської с/р;
т10	27095, р. Дніпро, 228 км, м. Нікополь, питний в/з;
т11	27096, р. Дніпро, 201 км, м. Покров, питний в/з;
т12	27098, р. Дніпро, 196 км, с. Мар'янське, ГВС каналу Дніпро-Кривий Ріг.

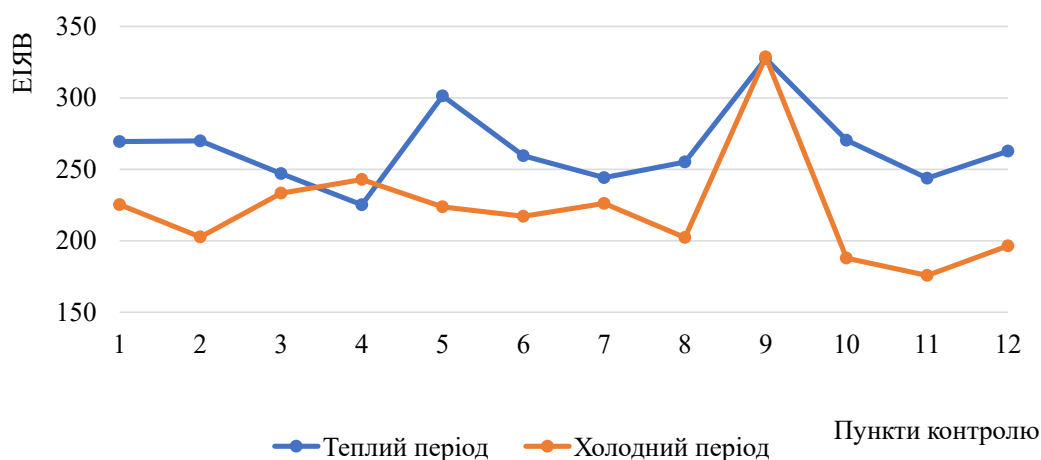


Рис. 1. Динаміка ЕІЯВ за пунктами контролю.

Таблиця 3. Ранжування пунктів моніторингу за ЕІЯВ.

№	ЕІЯВ	Теплий період	Клас	ЕІЯВ	Холодний період	клас
1.	т9	327,49	5	т9	328,71	5
2.	т5	301,41	5	т4	242,90	5
3.	т10	270,39	5	т3	233,31	5
4.	т2	269,92	5	т7	226,17	5
5.	т1	269,42	5	т1	225,30	5
6.	т12	262,75	5	т5	223,76	5
7.	т6	259,50	5	т6	217,14	5
8.	т8	255,18	5	т2	202,70	5
9.	т3	247,03	5	т8	202,30	5
10.	т7	244,18	5	т12	196,46	4
11.	т11	243,80	5	т10	187,88	4
12.	т4	225,20	5	т11	175,75	4

забруднення не обумовлено біохімічними процесами, і може пояснюватися негативним екологічним впливом Новопапівського гранітного кар'єру. Також високе значення ЕІЯВ=301,41 – у т5 (м. Дніпро, ВП «ПДТЕС» ПАТ «ДТЕК Дніпроенерго», питний в/з). Територіально пункт контролю т5 знаходиться нижче місця впадіння р. Самара у р. Дніпро, що може пояснюватися значним вкладом у процеси забруднення зростання змиву мінеральних добрив у басейн річки саме теплої пори.

ВИСНОВКИ

Таким чином, в результаті застосування вдосконаленого індексу якості води з ентропійним ваговим коефіцієнтом для ділянки р. Дніпро, розташованої в межах Дніпропетровської області, встановлено, за значенням індексу якість у теплий та холодний періоди року суттєво відрізняється. Для холодної пори року мінімальне

значення ЕІЯВ=175,75 спостерігається у пункті контролю т11 (м. Покров, питний в/з), максимальне – ЕІЯВ=328,71 – у т9 (с. Придніпровське, КП «Дніпро» Придніпровської с/р). Для теплої пори року найкраща якість води спостерігається у т4 – ЕІЯВ=225,20, а найгірша – знову ж таки для т9 – ЕІЯВ=327,47. При чому, значення ЕІЯВ у т9 для холодної пори року вищі, ніж для теплої, що вказує на те, що забруднення не обумовлено біохімічними процесами, і може пояснюватися негативним екологічним впливом Новопапівського гранітного кар'єру. Також високе значення ЕІЯВ=301,41 – у т5 (м. Дніпро, ВП «ПДТЕС» ПАТ «ДТЕК Дніпроенерго», питний в/з). Територіально пункт контролю т5 знаходиться нижче місця впадіння р. Самара у р. Дніпро, що може пояснюватися значним вкладом у процеси забруднення зростання змиву мінеральних добрив у басейн річки саме теплої пори.

REFERENCES

- [1] Kolyesnik, D., Shmandiy, V., Kharlamova, O., & Rygas T. (2021). Otsinka stanu ekolohichnoi bezpeky akvatorii Kremenchutskoho vodoshkovyshcha zadlia zberezhenia landshaftno-biolohichnoho riznomanittia v umovakh zmin klimatu [Assessment of ecological safety state of the kremenchuk reservoir aquatorium for the preservation of landscape-biological diversity in climate change conditions]. *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi national university*. Kremenchuk: KrNU. Issue 3(128). 24-29 Retrieved from <https://doi.org/10.30929/1995-0519.2021.3.24-29> [in Ukrainian].
- [2] Krainiukov, O.M., & Timchenko, V.D. (2016). Udokonalennia kompleksnoi otsinky ekolohichnoho stanu ta yakosti vody vodnykh ob'ektiv [Environmental improvement of comprehensive assessment of water quality and water bodies]. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University. Series Ecology*, 14. 9–14 [in Ukrainian].
- [3] Anishchenko, L., Polozentseva, V., & Sverdlov, B. (2021). omlpksna otsinka vplyviv diiuchykh vodoim-nakopychuvachiv na dovkillia [The comprehensive evaluation environmental influence of acting accumulating reservoirs]. *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi national university*. – Kremenchuk: KrNU. Issue 3(128). 24-29 Retrieved from <https://doi.org/10.30929/1995-0519.2019.5.65-74> [in Ukrainian].
- [4] Loboda, N.S. & Smalii, O.V. (2019). Rol prytok Donbasu u formuvanni yakosti poverkhnevyykh vod richky Siverskyi Donets [Role of tributaries in Donbas in ensuring the quality of the Siverskyi Donets river surface water]. *Ukrainian hydrometeorological journal*, 24, 64-71 [in Ukrainian].
- [5] Zalenska, Ye., Voitenko, L. (2022). Indeksy yakosti vody: adaptatsiia ta vykorystannia dlia Ukrainy [Water quality indices: adaptation and application for Ukraine]. *Ecological Sciences scientific and practical journal*, 4(43), 58–64 [in Ukrainian].
- [6] Muangthong, S., & Shrestha, S. (2015). Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: case study of the Nampong River and Songkhram River, Thailand. *Environ Monit Assess*, 187(9):548.
- [7] Kadam, A.K., Wagh, V.M., Muley, A.A., Umrikar, B.N., & Sankhua, R.N. (2019). Prediction of water quality index using artificial neural network and multiple linear regression modelling approach in Shivganga River basin, India. *Model Earth Syst Environ* 5:951–962. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s4080-8-019-00581-3>

- [8] Mahato, M.K., Singh, G., Singh, P.K., Singh, A.K., & Tiwari, A.K. (2017). Assessment of mine water quality using heavy metal pollution index in a coal mining area of Damodar River Basin, India. *Bull Environ Contam Toxicol*. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s00128-017-2097-3>
- [9] Pandey, H.K., Tiwari, V., Kumar, S., Yadav, A., & Srivastava, S.K. (2020). Groundwater quality assessment of Allahabad smart city using GIS and water quality index. *Sustain Water Resour Manag*. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s40899-020-00375-x>
- [10] Sajil Kumar, P.J., & James, E.J. (2013). Development of Water Quality Index (WQI) model for the groundwater in Tirupur district, South India. *Chin J Geochem* 32:261–268. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s11631-013-0631-5>
- [11] Shweta, T., Bhavtosh, S., Prashant, S., & Rajendra, D. (2013). Water quality assessment in terms of water quality index. *Am J Resour*. Retrieved from <https://doi.org/10.12691/ajwr-1-3-3>
- [12] Sutadian, A.D., Muttill, N., Yilmaz, A.G., & Perera, B.J.C. (2018) Development of a water quality index for rivers in West Java Province, Indonesia. *Ecol Indic*, 85:966–982
- [13] Sutadian, A.D., Muttill, N., Yilmaz, A.G., & Perera, B.J.C. (2016). Development of river water quality indices a review. *Environ Monit Assess*, 188(1):58
- [14] Amiri, V., Rezaei, M., & Sohrabi, N. (2014). Groundwater quality assessment using entropy weighted water quality index (EWQI) in Lenjanat. *Iran Environ Earth Sci*. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s12665-014-3255-0>
- [15] Mrunmayee, M., Sahoo, K.C., Patra, J.B., Swain, K.K., Khatua (2017) Evaluation of water quality with application of Bayes' rule and entropy weight method, *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 21:6, 730-752, Retrieved from <https://doi.org/10.1080/19648189.2016.1150895>
- [16] Singh, K.R., Goswami, A.P., Kalamdhad, A.S., Kumar, B. (2019) Development of irrigation water quality index incorporating information entropy. *Environ Dev Sustain* 22:3119–3132. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s10668-019-00338-z>
- [17] Bezsonnyi, V. L., Tretyakov, O. V., Plyatsuk, L. D., & Nekos, A. N. (2022). Entropiinyi pidkhd do otsinky ekolohichnoho stanu vodotoku [Entropy approach to assessment of the ecological state of a water course]. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series «Ecology»*, (27), 6–19 [in Ukrainian].
- [18] Li, P., Qian, H., & Wu, J. (2010). Groundwater quality assessment based on improved water quality index in Pengyang County, Ningxia, Northwest China. *J Chem*, 7(S1): S209–S216.
- [19] Bezsonnyi, V. L., Plyatsuk, L. D., & Tretyakov, O. V. (2023). Analiz ekolohichnoho stanu Kakhovskoho vodoshkovyshcha na pidstavi entropiinoho indeksu [Analysis of the environmental state of the Kahav reservoir based on the entropy index]. *Collection of Scientific Papers of Admiral Makarov National University of Shipbuilding*. № 1 (490) 2023. P. 198-208. Retrieved from [https://doi.org/10.15589/znp2023.1\(490\).24](https://doi.org/10.15589/znp2023.1(490).24)
- [20] Ashby, W. (1959). *Introduction to cybernetics*. M.: IL. 432 p.
- [21] Shannon, C. (1963) *Works on information theory and cybernetics*. M.: IL. 830 p.
- [22] Bezsonnyi, V.L. (2023). Metodyka otsinky ekolohichnoho stanu vodoimy na osnovi entropiino zvazhenoho indeksu yakosti vody [Methods of assessment of the ecological status of a water body based on the entropy-weighted index of water quality]. *Ecological Sciences: a scientific and practical journal*. № 2(47). C. 44–48. Retrieved from <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.2-47.7>
- [23] Wu, J., Li, P., & Qian, H. (2011). Groundwater quality in Jingyuan County, a semi-humid area in Northwest China. *J Chem*, 8(2):787–793.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Колеснік, Д.В., Шмандій, В.М., Ригас, Т.Є., & Харламова, О.В. (2021). Оцінка стану екологічної безпеки акваторії Кременчуцького водосховища задля збереження ландшафтно-біологічного різноманіття в умовах змін клімату. *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*. Випуск 3 (128). С. 24-29. Режим доступу: <https://doi.org/10.30929/1995-0519.2021.3.24-29>.
- [2] Крайнюков, О. М., & Тімченко, В. Д. (2016). Удосконалення комплексної оцінки екологічного стану та якості води водних об'єктів. *Вісник ХНУ імені В. Н. Каразіна серія «Екологія»*. Вип. 14. С. 9–14.
- [3] Аніщенко, Л.Я., Полозенцева, В.О., & Свердлов, Б.С. (2019). Комплексна оцінка впливів діючих водойм-накопичувачів на довкілля. *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*. Випуск 5 (118). С. 65–74. Режим доступу: <https://doi.org/10.30929/1995-0519.2019.5.65-74>.
- [4] Лобода, Н. С., & Смалій, О. В. (2019). Роль приток Донбасу у формуванні якості поверхневих вод річки Сіверський Донець. *Український гідрометеорологічний журнал*. № 24. С. 64–71.
- [5] Заленська, Є.А., & Войтенко, Л.В. (2022). Індекси якості води: адаптація та використання для України. *Екологічні науки : науково-практичний журнал*. № 4(43). С. 58 – 64.
- [6] Muangthong, S., & Shrestha, S. (2015). Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: case study of the Nampong River and Songkhram River, Thailand. *Environ Monit Assess*, 187(9):548.
- [7] Kadam, A.K., Wagh, V.M., Muley, A.A., Umrikar, B.N., & Sankhua, R.N. (2019). Prediction of water quality index using artificial neural network and multiple linear regression modelling approach in Shivganga River basin, India. *Model Earth Syst Environ* 5:951–962. <https://doi.org/10.1007/s40808-019-00581-3>
- [8] Mahato, M.K., Singh, G., Singh, P.K., Singh, A.K., & Tiwari, A.K. (2017). Assessment of mine water quality using heavy metal pollution index in a coal mining area of Damodar River Basin, India. *Bull Environ Contam Toxicol*. <https://doi.org/10.1007/s00128-017-2097-3>

- [9] Pandey, H.K., Tiwari, V., Kumar, S., Yadav, A., & Srivastava, S.K. (2020). Groundwater quality assessment of Allahabad smart city using GIS and water quality index. *Sustain Water Resour Manag*. <https://doi.org/10.1007/s40899-020-00375-x>
- [10] Sajil Kumar, P.J., & James, E.J. (2013). Development of Water Quality Index (WQI) model for the groundwater in Tirupur district, South India. *Chin J Geochem* 32:261–268. <https://doi.org/10.1007/s11631-013-0631-5>
- [11] Shweta, T., Bhavtosh, S., Prashant, S., & Rajendra, D. (2013). Water quality assessment in terms of water quality index. *Am J Resour*. <https://doi.org/10.12691/ajwr-1-3-3>
- [12] Sutadian, A.D., Muttill, N., Yilmaz, A.G., & Perera, B.J.C. (2018) Development of a water quality index for rivers in West Java Province, Indonesia. *Ecol Indic*, 85:966–982
- [13] Sutadian, A.D., Muttill, N., Yilmaz, A.G., & Perera, B.J.C. (2016). Development of river water quality indices a review. *Environ Monit Asses*, 188(1):58
- [14] Amiri, V., Rezaei, M., & Sohrabi, N. (2014). Groundwater quality assessment using entropy weighted water quality index (EWQI) in Lenjanat. *Iran Environ Earth Sci*. <https://doi.org/10.1007/s12665-014-3255-0>
- [15] Mrunmayee, M., Sahoo, K.C., Patra, J.B., Swain & K.K. Khatua (2017) Evaluation of water quality with application of Bayes' rule and entropy weight method, *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 21:6, 730-752, <https://doi.org/10.1080/19648189.2016.1150895>
- [16] Singh, K.R., Goswami, A.P., Kalamdhad, A.S., & Kumar, B. (2019) Development of irrigation water quality index incorporating information entropy. *Environ Dev Sustain* 22:3119–3132. <https://doi.org/10.1007/s10668-019-00338-z>
- [17] Безсонний, В. Л., Третьяков, О. В., Пляцук, Л. Д., & Некос, А. Н. (2022). Ентропійний підхід до оцінки екологічного стану водотоку. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Екологія»*. Вип. 28. С. 6-19.
- [18] Li, P., Qian, H., & Wu, J. (2010). Groundwater quality assessment based on improved water quality index in Pengyang County, Ningxia, Northwest China. *J Chem*, 7(S1): S209–S216.
- [19] Безсонний, В.Л., Пляцук, Л.Д., & Третьяков, О.В. (2023). Аналіз екологічного стану Каховського водосховища на підставі ентропійного індексу. *Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова*. № 1 (490). С. 198-208. Режим доступу: [https://doi.org/10.15589/znpr2023.1\(490\).24](https://doi.org/10.15589/znpr2023.1(490).24)
- [20] Ashby, W. (1959). *Introduction to cybernetics*. М.: ІЛ. 432 p.
- [21] Shannon, C. (1963) *Works on information theory and cybernetics*. М.: ІЛ. 830 p.
- [22] Безсонний, В. Л. (2023). Методика оцінки екологічного стану водойми на основі ентропійно зваженого індексу якості води. *Екологічні науки : науково-практичний журнал*, Київ. № 2(47). С. 44–48. Режим доступу: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.2-47.7>
- [23] Wu J., Li P., & Qian H. (2011). Groundwater quality in Jingyuan County, a semi-humid area in Northwest China. *J Chem*. 8(2):787–793.

© Безсонний В. Л.

Дата надходження статті до редакції: 01.06.2023

Дата затвердження статті до друку: 28.06.2023