

## ЕКОЛОГІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ГЕОСИСТЕМ

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2022-27-01>

УДК (UDC): 504.054:628.4.038

**В. Л. БЕЗСОННИЙ**, канд. техн. наук, доц.,  
доцент кафедри екологічної безпеки та екологічної освіти  
e-mail: [bezsonny@gmail.com](mailto:bezsonny@gmail.com) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8089-7724>  
*Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна*

майдан Свободи, 6, м. Харків, 61022, Україна

**О. В. ТРЕТЬЯКОВ**, д-р техн. наук, проф.,  
професор кафедри цивільної та промислової безпеки  
e-mail: [mega\\_ovtr@ukr.net](mailto:mega_ovtr@ukr.net) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0095-5846>

*Національний авіаційний університет*

пр. Гузара Любомира 1, м. Київ, 03058, Україна

**Л. Д. ПЛЯЦУК**, д-р техн. наук, проф.,  
завідувач кафедри екології та природозахисних технологій  
e-mail: [l.plyacuk@ecolog.sumdu.edu.ua](mailto:l.plyacuk@ecolog.sumdu.edu.ua) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0095-5846>

*Сумський державний університет*

вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007, Україна

**А. Н. НЕКОС**, д-р географ. наук, проф.,  
завідувачка кафедри екологічної безпеки та екологічної освіти  
e-mail: [alnekos999@gmail.com](mailto:alnekos999@gmail.com) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1852-0234>

*Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна*

майдан Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна

### ЕНТРОПІЙНИЙ ПІДХІД ДО ОЦІНКИ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ВОДОТОКУ

**Мета.** Оцінка якості води Дніпровського водосховища за допомогою ентропійного індексу.

**Методи.** Аналітико-синтетичний метод, геоінформаційний (картографічне моделювання), аналіз інформаційних джерел, ентропійний аналіз.

**Результати.** Встановлено, що вода за усіма показниками крім БСК<sub>5</sub>, ХСК та завислі речовини не відповідає верхній межі I класу якості за ДСТУ 4808:2007. Спостерігається зниження рівня БСК<sub>5</sub> на постах в м. Дніпро, що свідчить про надходження до водотоку речовин, що пригнічують біохімічні процеси, (t4 та t5) та поступове збільшення цього показника на виході з міста та далі вниз за течією, що свідчить про надходження органічних речовин. Вміст кисню знижується на ділянці водотоку, розташованій у місті (t4 – t6) та збільшується у середній та нижній частині водосховища. Також спостерігається тенденція зростання сульфатів, сполук азоту, фосфатів, СПАР та ХСК для точок контролю, які знаходяться в межах м. Дніпро. Найбільші значення ентропійного індексу якості води характерні для пунктів t2 (0,5444), t7 (0,6264) та t8 (0,5322). Дані пункти контролю знаходяться на значній відстані від промислових центрів, то, ймовірно, вирішальне значення у формуванні якості води відіграють забруднення, спричинені сільськогосподарським виробництвом. Найменше значення індексу (0,3889) характерне для пункту t1 – с. Шульгівка, після ГВК Дніпро-Донбас.

**Висновки.** Встановлено, що основними забруднювачами води є нітрити, нітрати та фосфати і завислі речовини. Це може спричинити негативний вплив на здоров'я, внаслідок мутагенної та канцерогенної дії, також прискорює евтрофікацію водного об'єкту. Спостерігається негативний вплив агропромислового виробництва на екологічний стан Дніпровського водосховища. Величина ентропійного індексу якості води коливається від 0,3889 до 0,6264.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** екологічний стан поверхневих вод, ентропійний індекс якості води, Дніпровське водосховище, забруднення

---

© Безсонний В. Л., Третьяков О. В., Пляцук Л. Д., Некос А. Н., 2022



This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0.

**Як цитувати:** Безсонний В. Л., Третяков О. В., Пляцук Л. Д., Некос А. Н. Ентропійний підхід до оцінки екологічного стану водотоку. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Екологія»*. 2022. Вип. 28. С. 6-19. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2022-27-01>

**In cites:** Bezsonnyi, V. L., Tretyakov, O. V., Plyatsuk, L. D., & Nekos, A. N. (2022). 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. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2022-27-01> (in Ukrainian)

## Вступ

Збільшення чисельності населення, розширення господарської діяльності, розростання міст призводять до збільшення попиту на воду. Надмірне використання поверхневих і підземних вод ставить під загрозу численні ресурси через скорочення наявних кількостей і погіршення їх якості [1].

Водні ресурси та їх якість мають вирішальне значення для здоров'я людини, економічного розвитку та навколишнього середовища [2–3]. Глобальне використання прісної води, в тому числі муніципальними громадами, промисловістю та сільським господарством стрімко зросло за останні 100 років. Проте через забруднення води в різних регіонах і країнах [4] погіршення якості води стало проблемою в усьому світі [5]. Діяльність людини та природні процеси, включаючи вивітрювання гірських порід, ерозію та зміну клімату, впливають на якість води [6 – 7]. Забруднення поверхневих вод створює серйозну проблему для управління якістю води. Оцінка якості води є важливою для управління водними ресурсами. При розробці планів управління водними ресурсами слід оцінювати різні властивості поверхневих вод. Забруднення водою загрожує екологічному середовищу та здоров'ю людей, тому для оцінки якості води були розроблені багато індексів поверхневих вод (наприклад, індекси якості води, індекси трофічного стану та ін) [8, 9]. Хортоном вперше була розроблена система [10] загальних показників, що дозволяють систематизувати різні параметри якості води. Далі ця методологія була вдосконалена Національним фондом санітарії США, що призвело до появи відомого індексу якості води [11], який показує рівень кумулятивного впливу обраних параметрів на загальну якість води єдиним числовим значенням [12 – 15]. Цей підхід знайшов поширення у світовій практиці для оцінки

якості води [16 – 21]. Оцінка якості води є необхідною умовою реалізації водоохоронної політики та оптимального розподілу різних джерел води відповідно до їх використання. Поверхневі води часто оцінювалися за допомогою норм. Оскільки жодна унікальна змінна не може достатньо описати якість води, вона була оцінена шляхом вимірювання ряду фізико-хімічних інтенсивних змінних (наприклад, концентрації катіонів або аніонів тощо). Останніми роками набуває поширення використання ентропійних підходів до оцінки якості води [22 – 23].

У гідроекологічних системах можуть виникати проблеми як зі збільшенням, так і зі зниженням ентропії. Поняття ентропії має безліч тлумачень в найрізноманітніших областях людського знання. Поряд з ентропією Клаузіуса з'явилися статистичні, інформаційні, математичні, лінгвістичні, інтелектуальні та інші ентропії. Ентропія стала базисним поняттям теорії інформації і стала виступати мірилом невизначеності якоїсь ситуації. Для характеристики міри складності системи У. Ешбі [24] вперше запропонував використовувати поняття ентропії. Система взаємодіє із зовнішнім світом як єдине ціле. В цілому, система не втрачає своєї організованості або високої впорядкованості. Відкриті системи можуть обмінюватися енергією, матерією і, не в останню чергу, інформацією з навколишнім середовищем. 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 [25]. 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. Інформаційна ентропія для незалежних випадкових подій  $x$  з  $N$  можливих станів розраховується за формулою (1):

$$H = -\sum_{i=1}^N p_i \log_2 p_i \quad (1)$$

де:  $p_i$  – ймовірність частоти настання якоїсь події.

Вперше для оцінки ступеню структурованості екосистем Мак-Артур в 1955 р. використав загальне рівняння ентропії Шеннона [26], в якому  $p_i = n_i/N$ , де  $n_i$  – загальне число особин виду  $i$ ,  $N$  – загальне число особин в екосистемі). У 1957 р. Р. Маргалєф постулював теоретичну концепцію, згідно з якою різноманітність відповідає ентропії при випадковому відборі видів зі спільноти [27]. В результаті цих робіт набув широкого поширення і загальноновизнаності індекс Шеннона  $H$ , іноді званий індексом інформаційної різноманітності К. Шеннона [25]. При розрахунку ентропії  $H$  за Шенноном вважається, що кожна проба – випадкова вибірка із спільноти як співвідношення видів у пробі відображає їх реальне співвідношення у природі. В якості оцінок ймовірностей незалежних подій  $p_i$  для формули (1):

$$H = -\sum \left( \frac{n_i}{N} \right) \log_2 \left( \frac{n_i}{N} \right) \quad (2)$$

На сьогодні для комплексної оцінки якості поверхневих вод використовується ентропійний індекс якості води –  $G$ , котрий

отримується із індексу Шеннона [25]. Поверхневі води є одним із основних джерел питного водопостачання. Забруднені водойми та водотоки стають не досить придатними для питного, а іноді і технічного водокористування, втрачають рибогосподарське значення та стають не придатними для сільськогосподарських потреб. Тому оцінка екологічного стану водних об'єктів залишається актуальною проблемою.

До головних джерел забруднення Дніпровського водосховища відносяться скиди стічних вод у річку без належної обробки, самовільне скидання стічних та забруднених вод, недотримання водоохоронного режиму в прибережних смугах і водоохоронних зонах, ерозійні процеси узбережжя. Тобто антропогенний вплив є суттєвим фактором функціонування річкової екосистеми, що призводить до порушення природного стану водотоку та погіршує якість води в річці Дніпро та Дніпровському водосховищі. Надходження забруднюючих речовин стічними водами в Дніпро ускладнює процес очищення води і вимагає збільшення на це енергетичних витрат.

Метою роботи є оцінка якості води Дніпровського водосховища за допомогою ентропійного індексу.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- 1) оцінити динаміку зміни основних компонентів екологічного стану поверхневої води;
- 3) визначити ентропійний індекс якості води.

### Об'єкти та методи дослідження

Дніпровське водосховище – одне з водосховищ на Дніпрі, розташоване в межах Дніпропетровської та Запорізької областей. Утворено 1932 р. при спорудженні Дніпрогесу, 1948 р. відбудоване, 1980 р. повністю реконструйоване. Водосховище призначено для виконання лише добового та тижневого регулювання стоку. При цьому коливання рівнів води допускається в межах 0,7 м. При значному маловодді Дніпровське водосховище може бути спрацьоване до рівня мертвого об'єму. З нього відбирається значна кількість води для побутових та господарських потреб (17,4 м<sup>3</sup>/сек.), потреб промисловості (до 148 м<sup>3</sup>/сек.) та зрошення земель (до 39

м<sup>3</sup>/сек.). Площа водного дзеркала водосховища (при підпертому рівні) 41 тис. га, загальна довжина 129 км, максимальна ширина – 7 км, максимальна глибина – 53 м. Сприятливі топографічна. ситуація і гідрогеологічні умови при створенні Дніпровського водосховища дозволили уникнути підтоплення земель і утворення мілководь [28].

При оцінці якості води використані відкриті дані результатів систематичного моніторингу якості поверхневих вод Державного агентства водних ресурсів України за період 2003 – 2022 рр.

Проведено аналіз результатів спостережень 8 гідрологічних постів (табл. 1, рис 1).

Таблиця 1

Гідрологічні пости контролю якості води

Table 1

Hydrological posts of water quality control

№ точки	ID поста	Назва поста
т1	27063	канал Дніпро-Донбас, 0,5 км, с. Шульгівка, після ГВК Дніпро-Донбас
т2	27047	р. Дніпро, 476 км, м. Верхньодніпровськ, питний водозабір
т3	27048	р. Дніпро, 462 км, смт. Аули, питний в/з м. Дніпро та м. Кам'янське
т4	27071	р. Дніпро, 420 км, м. Дніпро, правий берег, Кайдакський питний водозабір
т5	27072	р. Дніпро, 420 км, м. Дніпро, лівий берег, Ломовський питний водозабір
т6	27073	р. Дніпро, 404 км, м. Дніпро, ВП «ПдТЭС» ПАТ «ДТЕК Дніпроенерго», питний водозабір
т7	27075	р. Дніпро, 365 км, с. Військове, питний в/з Солонянського району
т8	27074	р. Дніпро, 372 км, с.Воронове, питний в/з водоводу ДМП ВКП «Дніпро-Західний Донбас»

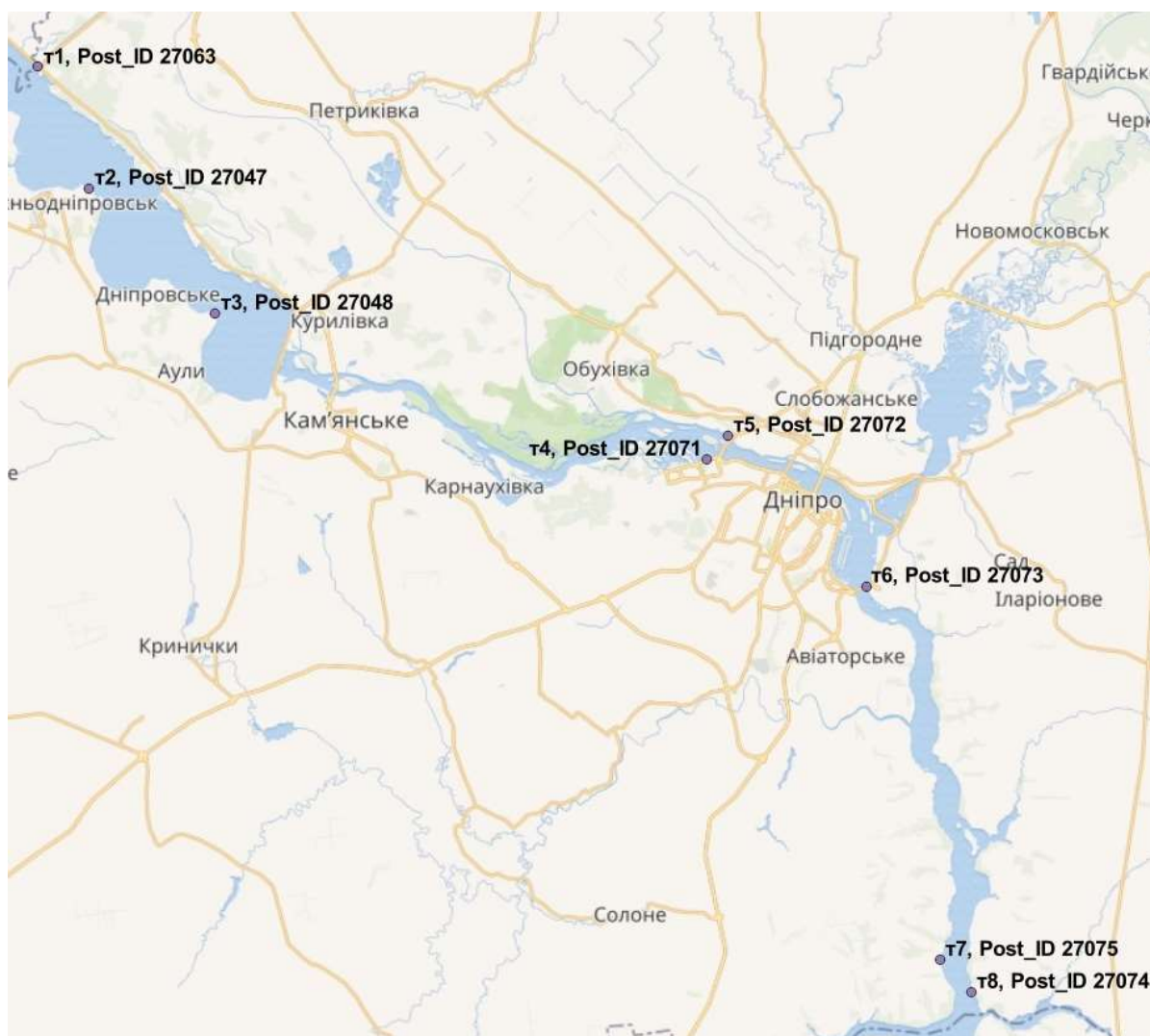


Рис. 1 – Розташування постів контролю якості води  
Fig. 1 – Location of water quality control stations

Забруднення водних систем можна представити у вигляді системи тих гідрохімічних показників (елементів), концентрація яких перевищує нормативні концентрації. Тоді в рівнянні Шеннона  $p_i$  – ймовірність числа перевищень нормативу  $i$ -ї речовини або показника води від загальної суми перевищень нормативу –  $N$ ,  $p_i = n/N$ .  $G$ -функція характеризує гідроекологічні системи з боку співвідношення порядку та хаосу, мірами яких є геоекологічна синтропія –  $I$  [23] та ентропія Шеннона, відповідно,

$$G = \frac{H}{I} \quad (3)$$

$$H = \log_2 N - I \quad (4)$$

$$I = \frac{\sum n \log_2 n}{N} \quad (5)$$

Значення  $G$ -функції вказують на те, що та в якій мірі переважає у системі. Так, якщо  $G < 1$ , то в структурі системи переважає порядок, в іншому випадку, коли  $G > 1$ , – хаос. При  $G > 1$  хаос і порядок урівноважують одне одного, і структурна організація системи є рівноважною.

Для розрахунку  $I$ ,  $H$  та  $G$  скористаємося наступним обчислювальним алгоритмом.

1. Визначається число перевищень нормативу  $i$ -ї речовини чи показника якості води  $n$ .
2. Оцінюється загальна сума перевищень нормативу ( $N$ ):  $N = \sum n$ .
3. Обчислюються  $\log_2 N$ ,  $n \log_2 n$  та  $\sum n \log_2 n$ .
4. Розраховується геоекологічна синтропія  $I$  (5) та ентропія  $H$  (4).
5. Визначається ентропійний індекс якості води  $G$  (3)

### Результати та обговорення

Проаналізуємо динаміку основних показників екологічного стану води за середньорічними показниками. У табл. 2 наведено усереднені дані спостережень за період 2003 – 2022 років за 8 гідрологічними постами контролю якості поверхневих вод ділянки Дніпровського водосховища. Для порівняння додано нормативні значення відповідно до ДСТУ 4808:2007 «Джерела централізованого питного водопостачання. Гігієнічні та екологічні вимоги щодо екологічного стану поверхневих вод і правила вибирання» (для 1-го класу якості) [29].

Як видно з наведено таблиці, вода за усіма показниками не відповідає верхній межі 1-го класу якості за ДСТУ 4808:2007. Також середньорічні значення в перевищують в рази мінімальні значення досліджуваних показників.

Для визначення впливу господарської діяльності в межах річкового басейну розглянемо динаміку основних показників екологічного стану (рис. 2 – рис. 6) за гідрологічними постами від нижньої ділянки Кам'янського водосховища (т2, т3) до середньої ділянки Дніпровського водосховища (т7, т8)

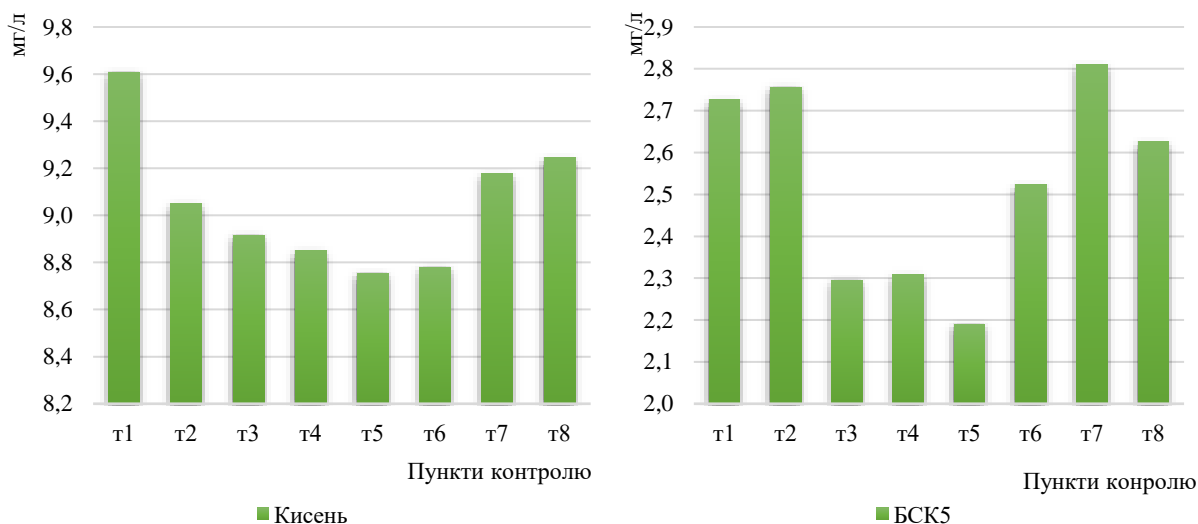
Таблиця 2

Середньорічні значення показників якості води за 2003 – 2021 рр.

Table 2

Average annual values of water quality indicators for 2003 - 2021.

	т1	т2	т3	т4	т5	т6	т7	т8	Норматив
БСК <sub>5</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	2,726	2,756	2,295	2,309	2,190	2,523	2,810	2,625	1,300
Завислі речовини, мг/дм <sup>3</sup>	6,979	6,339	4,408	4,764	5,112	5,104	5,614	5,332	1,000
Кисень, мг/дм <sup>3</sup>	9,608	9,051	8,916	8,849	8,754	8,780	9,178	9,244	10,000
Сульфати, мг/дм <sup>3</sup>	32,85	33,52	31,87	32,91	37,92	58,69	45,45	55,14	20,00
Хлориди, мг/дм <sup>3</sup>	18,58	25,15	24,86	24,36	26,12	35,398	30,623	32,51	10,00
Амоній, мг/дм <sup>3</sup>	0,289	0,328	0,313	0,315	0,318	0,312	0,332	0,30	0,100
Нітрати, мг/дм <sup>3</sup>	1,347	1,604	1,598	1,881	1,610	1,817	1,802	1,79	0,100
Нітрити, мг/дм <sup>3</sup>	0,044	0,051	0,043	0,057	0,060	0,061	0,058	0,05	0,002
Фосфати, мг/дм <sup>3</sup>	0,345	0,292	0,324	0,305	0,349	0,344	0,316	0,28	0,015
СПАР, мг/дм <sup>3</sup>	0,022	0,022	0,026	0,026	0,022	0,026	0,022	0,03	0,020
ХСК, мг/дм <sup>3</sup>	27,00	28,61	26,687	27,157	27,682	29,14	29,609	29,07	9,000

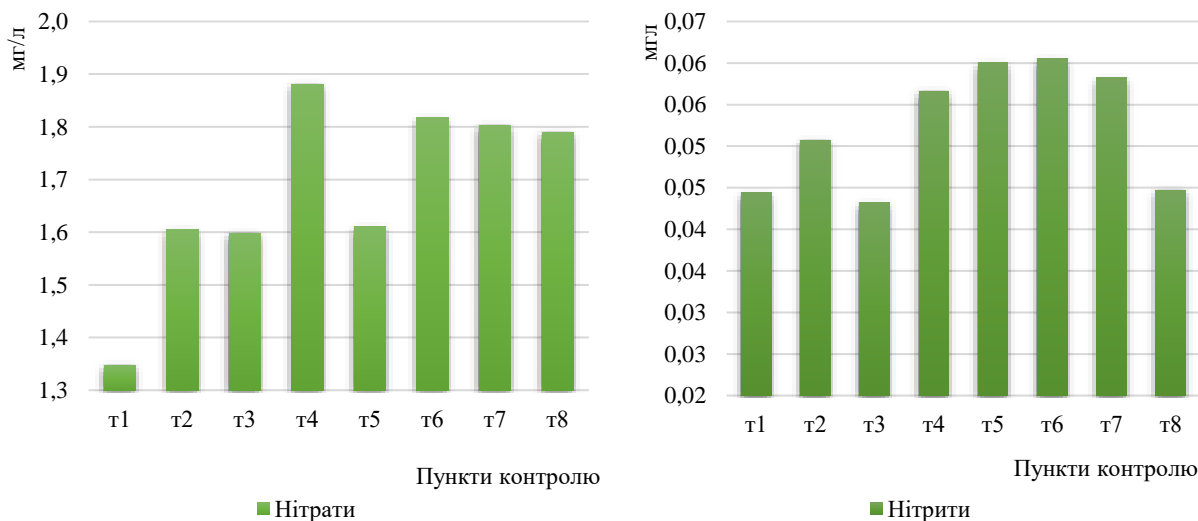


**Рис. 2** – Динаміка показників кисню та БСК<sub>5</sub> за пунктами контролю  
**Fig. 2** – Dynamics of oxygen indicators and BOD<sub>5</sub> at control points

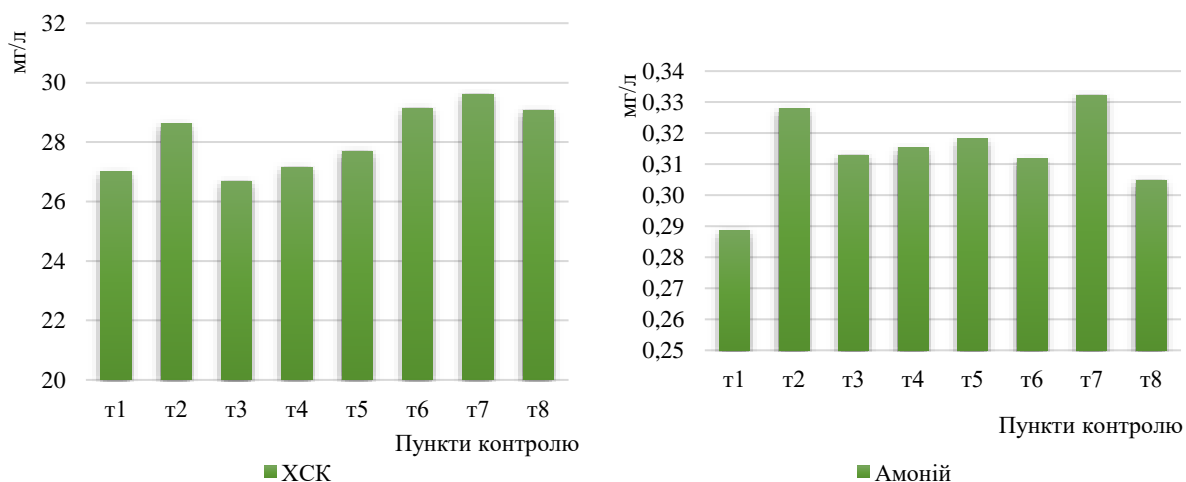
Спостерігається зниження рівня БСК<sub>5</sub> для гідрологічних постів в межах м. Дніпро, що свідчить про надходження до річки речовин, що пригнічують біохімічні процеси, (t4 та t5) та поступове збільшення значень цього показника на виході з міста і далі вниз за течією, що може свідчити про надходження речовин органічного походження. Біохімічне споживання кисню та вміст розчиненого кисню є важливим показником для оцінки стану водойми. БСК – це кількість кисню, яка потрібна для окиснення органічних речовин, що містяться в 1 л води, аеробними

бактеріями до CO<sub>2</sub> і H<sub>2</sub>O впродовж 5 діб без доступу повітря і світла.

Для точки t4 характерне збільшення нітритів та нітратів (рис. 3), зменшення кисню (рис. 2) при практично однаковій концентрації амонію (рис. 4). Оскільки точка t4 (Кайдакський питний водозабір) розташована по правобережжю до промислової зони м. Дніпро, її екологічний стан може бути обумовлений щільно розташованими вище за течією садовими товариствами та дачними поселеннями, а причиною підвищеного вмісту нітратів у водотоці може бути



**Рис. 3** – Динаміка нітратів та нітритів за пунктами контролю  
**Fig. 3** – Dynamics of nitrates and nitrites by control points

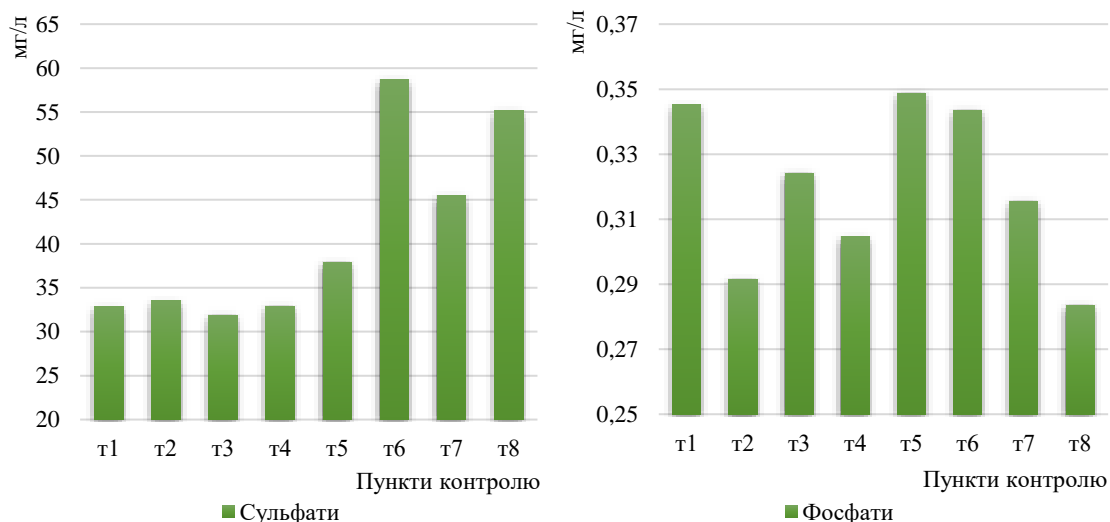


**Рис. 4** – Динаміка ХСК та амонію за пунктами контролю  
**Fig. 4** – Dynamics of COD and ammonium at control points

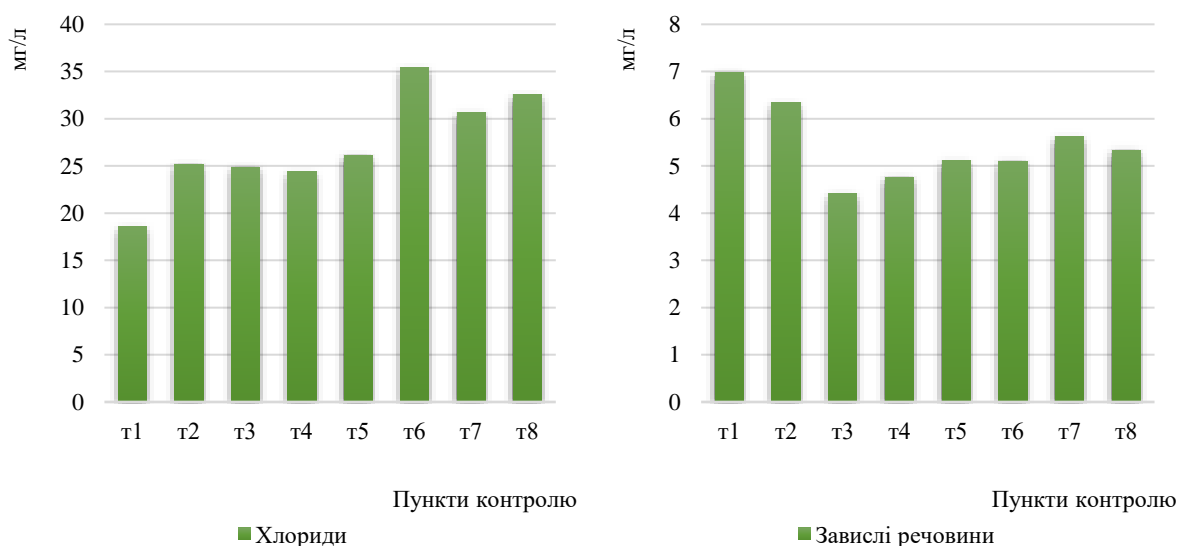
їх надходження разом зі стоками з полів та ділянок, оброблених азотомісними добривами (аміачна та кальцієва селітра). Іони амонію, нітрати, нітрити можуть потрапляти до води за рахунок розкладу органічних речовин тваринного і рослинного походження. Іони амонію, крім того, потрапляють до водосховищ зі стічними промисловими водами. Окислення іонів амонію киснем, розчиненим у воді до нітрат-іонів – одна з причин збільшення нітратів. Підвищений вміст нітратів у воді небезпечний для здоров'я населення. Це пов'язано з роллю нітратів у синтезі нітросамінів і нітросамідів, як у навколишньому середовищі (у

воді, водоймі, ґрунті, рослинах) так і в організмі людини (у травному каналі). Нітросамідам і нітросамінам властива мутагенна й канцерогенна дія. Тому підвищений вміст нітратів у воді сприяє підвищенню ризику щодо онкогенної захворюваності населення. Крім того, підвищений вміст азотних речовин спонукає процеси евтрофікації водойми.

Для точок t5 та t6, що знаходяться в межах міста, спостерігається збільшення вмісту сульфатів, фосфатів та хлоридів (рис. 5, 6). Можна припустити, що причиною цього є потрапляння недостатньо очищених стічних вод підприємств м. Дніпро.



**Рис. 5** – Динаміка сульфатів та фосфатів за пунктами контролю  
**Fig. 5** – Dynamics of sulfates and phosphates by control points



**Рис. 6** – Динаміка хлоридів та завислих речовин за пунктами контролю  
**Fig. 6** – Dynamics of chlorides and suspended substances by control points

Потрапляння фосфатів та сульфатів характерне для процесів діяльності житлово-комунального господарства міста. Не дивлячись на те, що для систем централізованого водовідведення встановлені нормативи вмісту фосфатів у стічних водах, використання фосфатів у побутових миючих засобах залишається ненормованим. Сульфати разом з хлоридами є найпоширенішими видами забруднення у воді. Вони потрапляють у воду внаслідок вимивання осадових гірських порід, вилуговування ґрунту та іноді

внаслідок окислення сульфідів та сірки – продуктів розкладу білку із стічних вод. Великий вміст сульфатів у воді може бути причиною хвороб системи травлення, а також така вода може викликати корозію бетону і залізобетонних конструкцій, що вкрай небезпечно для водосховищ [30].

Результати розрахунку ентропійного індексу за алгоритмом (3) – (5) наведені в табл. 3 та табл. 4. Динаміка ентропійного індексу за пунктами контролю показана на рисунку 7).

**Число перевищень нормативу *i*-го показника якості води**

**The number of violations of the norm of the *i*-th indicator of water quality**

**Таблиця 3**

**Table 3**

Показники якості води	<i>n</i> у пунктах контролю							
	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8
БСК <sub>5</sub>	391	84	193	194	154	205	80	88
Завислі речовини	411	82	195	197	157	207	83	88
Кисень	227	63	152	77	126	74	24	31
Сульфати	409	89	224	230	173	236	86	95
Хлориди	411	92	235	237	178	236	87	95
Амоній	396	92	233	247	185	240	87	95
Нітрати	401	92	235	237	178	235	87	95
Нітрити	397	92	235	237	178	236	87	95
Фосфати	407	92	235	237	178	236	87	95
СПАР	0	51	194	193	134	192	51	59
ХСК	0	92	234	249	186	244	87	95



Таблиця 4

Розрахунки ентропійного індексу якості води

Table 4

Calculations of the entropy index of water quality

Значення	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8
$N$	3883	925	2368	2428	1829	2433	885	964
$\log 2 N$	11,923	9,853	11,209	11,246	10,837	11,249	9,790	9,913
$\sum n \log 2 n$	33332,45	5901,483	18351,64	18920,3	13494,84	18954,75	5327,051	6236,89
$I$	8,5842	6,3800	7,7498	7,7925	7,3783	7,7907	6,0193	6,4698
$H$	3,3388	3,4733	3,4596	3,4530	3,4586	3,4578	3,7703	3,4431
$G$	<b>0,3889</b>	<b>0,5444</b>	<b>0,4464</b>	<b>0,4431</b>	<b>0,4688</b>	<b>0,4438</b>	<b>0,6264</b>	<b>0,5322</b>

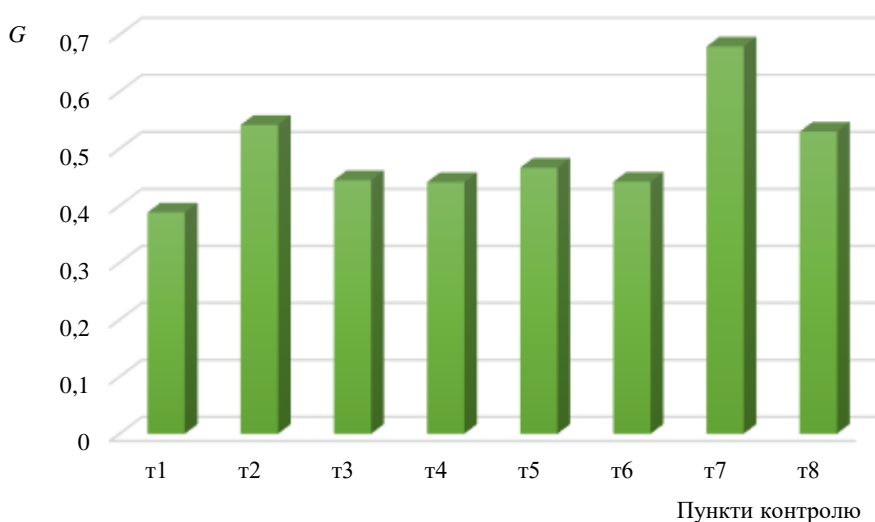


Рис. 7 – Динаміка ентропійного індексу якості води за пунктами контролю  
Fig. 7 – Dynamics of the entropy index of water quality by control points

Як визначено з даних на рис. 7 найбільші значення ентропійного індексу якості води характерні для пунктів t2 (0,5444), t7 (0,6264) та t8 (0,5322). Дані пункти контролю знаходяться на значній відстані від промислових центрів, то, ймовірно, вирішальне значення у формуванні якості води відіграють забруднення, спричинені сільськогосподарським виробництвом. Найменше значення індексу (0,3889) характерне для пункту t1 – с. Шулківка, після ГВК Дніпро-Донбас.

Оскільки Дніпро є одним з найголовніших поверхневих джерел питного водопостачання в Україні, то треба враховувати, що традиційна біологічна очистка дозволяє видалити основну масу органічно забруднюючих речовин, але не спроможна забезпечити достатню, за сучасними вимогами, глибину видалення сполук азоту та фосфору, а також органічних речовин (БСК, ХСК). У процесі

очистки відбувається трансформація та часткове (20–40 %) видалення амонійного азоту та фосфору. При цьому під час очистки протікають процеси амоніфікації та наступної нітрифікації азоту, а також гідроліз сполук фосфору. Сьогодні більше уваги приділяється зменшенню надходження фосфору через те, що вважається, що здійснення контролю над процесом евтрофікації водойм залежить, в основному, від зниження концентрації саме фосфору. Однак, не менш важливо те, що видалити зі стічних вод сполуки азоту набагато важче [31]. Для підвищення ефективності очистки стічних вод від сполук фосфору використовують мінеральні коагулянти. В останні роки застосовують також синтетичні флокулянти самостійно або разом з коагулянтами (солями алюмінію та заліза) і вапном [32]. Серед методів очистки стічних вод від сполук азоту відомі наступні:

фізико-хімічні, електрохімічні, метод іонного обміну, біологічні. Всі ці методи мають своє розповсюдження в різних галузях промисловості, але мають ряд недоліків, і тому не завжди можуть бути застосовані на практиці очистки стічних вод від біогенних елементів. Переваги біологічного видалення

азоту полягають у тому, що у результаті процесу нітрифікації може бути досягнутий необхідний ступінь видалення аміаку (якщо виникає необхідність, потім проводять денітрифікацію). Крім того, таку систему можна пристосувати у якості доповнення до існуючої системи біологічної очистки.

### Висновки

В результаті оцінка якості води Дніпровського водосховища за допомогою ентропійного індексу встановлено, що основними забруднювачами води є нітрити, нітрати та фосфати і завислі речовини. Це може спричинити негативний вплив на здоров'я, внаслідок мутагенної та канцерогенної дії,

також прискорює евтрофікацію водного об'єкту. Спостерігається негативний вплив агропромислового виробництва на екологічний стан Дніпровського водосховища. Величина ентропійного індексу якості води коливається від 0,3889 (пункт т1) до 0,6264 (пункт т7).

### Конфлікт інтересів

Автори заявляють, що конфлікту інтересів щодо публікації цього рукопису немає. Крім того, автори повністю дотримувались етичних норм, включаючи плагіат, фальсифікацію даних та подвійну публікацію.

### Список використаної літератури

1. Massoud M. Assessment of water quality along a recreational section of the Damour River in Lebanon using the water quality index. *Environ. Monit. Assess.* 2012. Vol.184. P. 4151–4160, DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-011-2251-z>
2. Alver A. Evaluation of conventional drinking water treatment plant efficiency according to water quality index and health risk assessment. *Environ Sci Pollut Res.* 2019. Vol. 26. P. 27225–27238 . DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05801-y>
3. Dong Liu, Yingxun Du, Shujie Yu, Juhua Luo, Hongtao Duan, Human activities determine quantity and composition of dissolved organic matter in lakes along the Yangtze River, *Water Research*, 2020, Vol. 168. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.115132>
4. Mohamed Gad, Mamdouh El-Hattab, Integration of water pollution indices and DRASTIC model for assessment of groundwater quality in El Fayoum depression, western desert, Egypt. *Journal of African Earth Sciences*, Vol. 158. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2019.103554>
5. Jin Hwi Kim, Jae-Ki Shin, Hankyu Lee, Dong Hoon Lee, Joo-Hyon Kang, Kyung Hwa Cho, Yong-Gu Lee, Kangmin Chon, Sang-Soo Baek, Yongeun Park, Improving the performance of machine learning models for early warning of harmful algal blooms using an adaptive synthetic sampling method, *Water Research*. 2021. Vol. 207. 117821. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117821>
6. Jianghu Lan, Tianli Wang, Sakonvan Chawchai, Peng Cheng, Kang'en Zhou, Keke Yu, Dongna Yan, Yaqin Wang, Jingjie Zang, Yujie Liu, Liangcheng Tan, Li Ai, Hai Xu, Time marker of 137Cs fallout maximum in lake sediments of Northwest China. *Quaternary Science Reviews*, 2020. Vol. 241. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2020.106413>
7. Hai-Min Lyu, Shui-Long Shen, Annan Zhou, The development of IFN-SPA: A new risk assessment method of urban water quality and its application in Shanghai. *Journal of Cleaner Production*. 2021, Vol. 282. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124542>
8. Podlasek A., Koda E., Markiewicz A., Osinski P. Identification of Processes and Migration Parameters for Conservative and Reactive Contaminants in the Soil-Water Environment: *Towards a Sustainable Geoenvironment*. 2019. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-981-13-2221-1\\_60](https://doi.org/10.1007/978-981-13-2221-1_60)
9. Grinberga L., Grabuža D., Grīnfelde I., Lauva D., Celms A.; Sas, W., Gļuchowski A., Džieciol J. Analysis of the Removal of BOD5, COD and Suspended Solids in Subsurface Flow Constructed Wetland in Latvia. *Acta Sci. Polonorum. Archit.* 2021. Vol. 20. P. 8. DOI: <https://doi.org/10.22630/ASPA.2021.20.4.31>
10. Paun I., Cruceru L., Chiriac F.L., Niculescu M., Vasile G., Marin N. Water quality indices - methods for evaluating the quality of drinking water. *Incd ecoind – international symposium – simi 2016 “The environment and the industry”*, proceedings book, 2016. 395-402. DOI: <https://doi.org/10.21698/simi.2016.0055>

11. Shwetank Suhas, Chaudhary J.K. A Comparative Study of Fuzzy Logic and WQI for Groundwater Quality Assessment. *Procedia Comput. Sci.*, 2020, 171, 1194–1203. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.04.128>
12. Pandey R., Pattanaik L. A. Fuzzy QFD Approach to Implement Reverse Engineering in Prosthetic Socket Development. *Int. J. Ind. Syst. Eng.* 2014. Vol. 17. 1–14. DOI: <https://doi.org/10.1504/IJISE.2014.060819>
13. Безсонний В.Л., Пономаренко Р. В., Третьяков О. В., Иванов С.В., Бородич П. Ю., Луценко Т. О. Інтегральна оцінка екологічного стану Дніпровського водосховища. *Проблеми надзвичайних ситуацій*, 2022, №1(35). С. 209 - 227. DOI: <https://doi.org/10.52363/2524-0226-2022-35-16>
14. Безсонний В.Л., Пономаренко Р. В., Третьяков О. В., Калда Г. С., Асоцький В. В. Моніторинг екологічної безпеки водотоків за кисневими показниками. *Науково-технічний журнал «Техногенно-екологічна безпека»*, 10 (2/2021) С. 75-83. DOI: <https://doi.org/10.52363/2522-1892.2021.2.12>
15. Rezaei A., Hassani H., Hassani S., Jabbari N., Fard Mousavi S.B., Rezaei S. Evaluation of Groundwater Quality and Heavy Metal Pollution Indices in Bazman Basin, Southeastern Iran. *Groundw. Sustain. Dev.* 2019. Vol. 9. P. 100245. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2019.100245>
16. Li R., Zou Z., An Y. Water Quality Assessment in Qu River Based on Fuzzy Water Pollution Index Method. *J. Environ. Sci.* 2016. Vol. 50. P. 87–92. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jes.2016.03.030>
17. Rezaei A., Hassani H., Hayati M., Jabbari N., Barzegar R. Risk Assessment and Ranking of Heavy Metals Concentration in Iran's Rayen Groundwater Basin Using Linear Assignment Method. *Stoch Environ. Res. Risk Assess.* 2018. Vol. 32. P. 1317–1336. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00477-017-1477-x>
18. Chapman Deborah V. World Health Organization, UNESCO & United Nations Environment Programme. Water quality assessments: a guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring / edited by Deborah Chapman, 2nd ed. E & FN Spon. 1996. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/41850>
19. Cao Truong Son; Nguyen Thi Huong Giang; Trieu Phuong Thao; Nguyen Hai Nui; Nguyen Thanh Lam; Vo Huu Cong. Assessment of Cau River water quality assessment using a combination of water quality and pollution indices. *Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua.* 2020. Vol. 69. № 2. P. 160–172. DOI: <https://doi.org/10.2166/aqua.2020.122>
20. Podgorski J., Berg M. Global analysis and prediction of fluoride in groundwater. *Nature Communications.* 2022. Vol.13. N 1. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-022-31940-x>
21. C.W.K. Chow. Potable Water. Water analysis. *Encyclopedia of Analytical Science* (Second Edition), 2005, P. 253-262. DOI: <https://doi.org/10.1016/B0-12-369397-7/00654-3>
22. Simonyan, G. (2020). Systemic-Entropic Approach for Assessing Water Quality of Rivers, Reservoirs, and Lakes. In A. Devlin, J. Pan, & M. M. Shah (Eds.), *Inland Waters - Dynamics and Ecology*. IntechOpen. DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.93220>
23. Simonyan G.; Pirumyan G. Entropy - System Approach to Assess the Ecological Status of Reservoirs in Armenia. *Preprints* 2019, 2019010260. DOI: <https://doi.org/10.20944/preprints201901.0260.v1>
24. Ashby W. Introduction to cybernetics. M.: IL, 1959. 432 p.
25. Shannon C. Works on information theory and cybernetics. M.: IL, 1963. 830 p.
26. MacArthur R.M. Fluctuation of animal populations and measure of community stability. *Ecology.* 1955. Vol. 36. № 3. P. 533-536.
27. Margalef R. Information theory in ecology. *Gen. Syst.* 1958. Vol. 3. Pp. 36.
28. Яцик А. В. Дніпровське водосховище. *Енциклопедія Сучасної України : енциклопедія [електронна версія] / ред.: І. М. Дзюба, А. І. Жуковський, М. Г. Железняк та ін.; НАН України, НТШ. Київ: Інститут енциклопедичних досліджень НАН України, 2008. Т. 8. URL: <https://esu.com.ua/article-22194>*
29. DSTU 4808:2007. Джерела централізованого питного водопостачання. Гігієнічні та екологічні вимоги щодо якості води і правила вибирання. [http://online.budstandart.com.ua/catalog/doc-page?id\\_doc=53159](http://online.budstandart.com.ua/catalog/doc-page?id_doc=53159)
30. Nekos A., Boiaryn M, Lugowska M., Tsos O., Netrobchuk I. Assessment of the ecological condition of the Western Bug river basin according to the macrophyte index for rivers (MIR). *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series «Geology. Geography. Ecology»*; 2021 N 54. P. 316-328. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-54-24>
31. Tretyakov O., Shevchenko T., Bezsonnyi V. Improving the environmental safety of drinking water supply in kharkiv region (Ukraine). *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2015. Vol. 5. N 10(77). P. 40–49. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.51398>
32. Шевченко Т.О. Вивчення впливу біогенних речовин у міських стічних водах, що скидаються, на поверхневі водойми. *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідраліки.* 2016, Вип. 27. С. 437-445. URL: <https://repository.knuba.edu.ua/bitstream/handle/987654321/2115/201627-437-445.pdf?sequence=1>

Стаття надійшла до редакції 25.10.2022

Стаття рекомендована до друку 25.11.2022

**V. L. BEZSONNYI**, PhD (Technical),

Associate Professor of the Department of Environmental Safety and Environmental Education

e-mail: [bezsonny@gmail.com](mailto:bezsonny@gmail.com) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8089-7724>

*V. N. Karazin Kharkiv National University*

6, Svobody Sq., 61022, Kharkiv, Ukraine

**O. V. TRETYAKOV**, DSc (Technical), Prof.,

Professor of the Department of Civil and Industrial Safety

e-mail: [mega\\_ovtr@ukr.net](mailto:mega_ovtr@ukr.net) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0095-5846>

*National Aviation University*

1, Liubomyra Huzara ave., Kyiv, Ukraine, 03058

**L. D. PLYATSUK**, DSc (Technical), Prof.,

Head of the Department of Department of Ecology and Environmental Protection Technologies

e-mail: [l.plyacuk@ecolog.sumdu.edu.ua](mailto:l.plyacuk@ecolog.sumdu.edu.ua) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0095-5846>

*Sumy State University*

2, Rymyskogo-Korsakova st., Sumy, Ukraine, 40007

**A. N. NEKOS**, DSc (Geography), Prof.,

Head of the Department of Environmental Safety and Environmental Education

e-mail: [alnekos999@gmail.com](mailto:alnekos999@gmail.com) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1852-0234>

*V. N. Karazin Kharkiv National University*

6, Svobody Sq., 61022, Kharkiv, Ukraine

## ENTROPY APPROACH TO ASSESSMENT OF THE ECOLOGICAL STATE OF A WATER COURSE

**Purpose.** Water quality assessment of the Dnipro Reservoir using the entropy index.

**Methods.** Analytical-synthetic method, geo-informational (cartographic modeling), analysis of information sources, entropy analysis.

**Results.** It was established that the water does not meet the upper limit of the 1st quality class according to DSTU 4808:2007 by all parameters except BOD<sub>5</sub>, COD and suspended matter. There is a decrease in the level of BOD<sub>5</sub> at posts in the city of Dnipro, which indicates the entry into the watercourse of substances that inhibit biochemical processes (t4 and t5) and a gradual increase of this indicator at the exit from the city and further downstream, which indicates the entry of organic substances. The oxygen content decreases in the part of the watercourse located in the city (t4 - t6) and increases in the middle and lower part of the reservoir. There is also a trend of growth of sulfates, nitrogen compounds, phosphates, SPAR and COD for control points located within the city of Dnipro. The highest values of the entropy index of water quality are characteristic of points t2 (0.5444), t7 (0.6264) and t8 (0.5322). These control points are located at a considerable distance from industrial centers, so pollution caused by agricultural production probably plays a decisive role in the formation of water quality. The lowest value of the index (0.3889) is characteristic of item t1 - s. Shulgivka, after GVK Dnipro-Donbas.

**Conclusions.** It was established that the main water pollutants are nitrites, nitrates, phosphates and suspended solids. It can cause a negative impact on health due to mutagenic and carcinogenic effects, and also accelerates the eutrophication of the water body. A negative impact of agro-industrial production on the ecological condition of the Dnieper Reservoir is observed. The value of the entropy index of water quality ranges from 0.3889 to 0.6264.

**KEYWORDS:** ecological state of surface waters, entropy index of water quality, Dnieper reservoir, pollution

### References

1. Massoud, M. (2012). Assessment of water quality along a recreational section of the Damour River in Lebanon using the water quality index. *Environ. Monit. Assess.*, 184, 4151–4160, <https://doi.org/10.1007/s10661-011-2251-z>
2. Alver, A. (2019). Evaluation of conventional drinking water treatment plant efficiency according to water quality index and health risk assessment. *Environ Sci Pollut Res* 26, 27225–27238. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05801-y>

3. Dong, Liu, Yingxun, Du, Shujie, Yu, Juhua, Luo, & Hongtao, Duan, (2020). Human activities determine quantity and composition of dissolved organic matter in lakes along the Yangtze River. *Water Research*, 168. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.115132>
4. Gad, M., & El-Hattab, M. (2019). Integration of water pollution indices and DRASTIC model for assessment of groundwater quality in El Fayoum depression, western desert, Egypt, *Journal of African Earth Sciences*, 158. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2019.103554>
5. Jin, Hwi Kim, Jae-Ki, Shin, Hankyu, Lee, Dong Hoon, Lee, Joo-Hyon, Kang, Kyung, Hwa Cho, Yong-Gu Lee, Kangmin, Chon, Sang-Soo, Baek, Yongeun Park (2021). Improving the performance of machine learning models for early warning of harmful algal blooms using an adaptive synthetic sampling method. *Water Research*, 207, 117821. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117821>
6. Jianghu, Lan, Tianli, Wang, Sakonvan, Chawchai, Peng, Cheng, Kang'en, Zhou, Keke Yu, Dongna, Yan, Yaqin, Wang, Jingjie Zang, Yujie, Liu, Liangcheng, Tan, Li, Ai, Hai, Xu (2020). Time marker of <sup>137</sup>Cs fallout maximum in lake sediments of Northwest China. *Quaternary Science Reviews*, 241. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2020.106413>
7. Hai-Min Lyu, Shui-Long Shen, Annan Zhou, (2021). The development of IFN-SPA: A new risk assessment method of urban water quality and its application in Shanghai. *Journal of Cleaner Production*, 282, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124542>
8. Podlasek A., Koda E., Markiewicz A., & Osinski P. (2019). Identification of Processes and Migration Parameters for Conservative and Reactive Contaminants in the Soil-Water Environment: Towards a Sustainable Geoenvironment. [https://doi.org/10.1007/978-981-13-2221-1\\_60](https://doi.org/10.1007/978-981-13-2221-1_60)
9. Grinberga L., Grabuža D., Grīnfelde I., Lauva D., Celms A.; Sas, W., Gluchowski A., Dzieciol J. (2021). Analysis of the Removal of BOD<sub>5</sub>, COD and Suspended Solids in Subsurface Flow Constructed Wetland in Latvia. *Acta Sci. Polonorum. Archit.*, 20, 8. <https://doi.org/10.22630/ASPA.2021.20.4.31>
10. Paun, I., Cruceru, L., Chiriac, F.L., Niculescu, M., Vasile, G., & Marin, N. (2016). Water quality indices - methods for evaluating the quality of drinking water. In Proceedings Secoind – international symposium – simi 2016 “The environment and the industry”, 395-402. <https://doi.org/10.21698/simi.2016.0055>
11. Shwetank, Suhas, Chaudhary, J.K. (2020). A Comparative Study of Fuzzy Logic and WQI for Groundwater Quality Assessment. *Procedia Comput. Sci.*, 171, 1194–1203. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.04.128>
12. Pandey, R., & Pattanaik, L. A. (2014). Fuzzy QFD Approach to Implement Reverse Engineering in Prosthetic Socket Development. *Int. J. Ind. Syst. Eng.*, 17, 1–14. <https://doi.org/10.1504/IJISE.2014.060819>
13. Bezsonnyi, V., Ponomarenko R., Tretyakov O., Burmenko O., Borodych, P., Karpets, K. (2021). Environmental risk assessment due to the impact of communal facilities on surface waters/ *Problems of Emergency Situations*. 2(34), 58 – 76. <https://doi.org/10.52363/2524-0226-2021-34-5> (in Ukrainian)
14. Bezsonnyi V., Ponomarenko R., Tretyakov O., Kalda G., Asotskyi V. (2021). Monitoring of ecological safety of watercourses by means of oxygen indicators. *Technogenic and ecological safety*, 10(2/2021), 75–83. <https://doi.org/10.52363/2522-1892.2021.2.12> (in Ukrainian)
15. Rezaei, A., Hassani, H., Hassani, S., Jabbari, N., Fard Mousavi, S.B., Rezaei, S. (2019). Evaluation of Groundwater Quality and Heavy Metal Pollution Indices in Bazman Basin, Southeastern Iran. *Groundw. Sustain. Dev.*, 9, 100245. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2019.100245>
16. Li, R., Zou, Z., An, Y. (2016). Water Quality Assessment in Qu River Based on Fuzzy Water Pollution Index Method. *J. Environ. Sci.*, 50, 87–92. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2016.03.030>
17. Rezaei, A., Hassani, H., Hayati, M., Jabbari, N., Barzegar, R. (2018). Risk Assessment and Ranking of Heavy Metals Concentration in Iran's Rayen Groundwater Basin Using Linear Assignment Method. *Stoch Environ. Res. Risk Assess.*, 32, 1317–1336. <https://doi.org/10.1007/s00477-017-1477-x>
18. Chapman, Deborah, V. (1996). World Health Organization, UNESCO & United Nations Environment Programme. Water quality assessments: a guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring. In Chapman D. (Ed.), 2nd ed., E & FN Spon. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/41850>
19. Cao, Truong Son; Nguyen, Thi Huong Giang; Trieu, Phuong Thao; Nguyen, Hai Nui; Nguyen, Thanh Lam; Vo, Huu Cong. (2020). Assessment of Cau River water quality assessment using a combination of water quality and pollution indices. *Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua.*, 69 (2): 160–172. <https://doi.org/10.2166/aqua.2020.122>
20. Podgorski J., Berg M. (2022). Global analysis and prediction of fluoride in groundwater. *Nature Communications*, 13(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-022-31940-x>
21. Chow, C.W.K. (2005). Potable Water. Water Analysis. *Encyclopedia of Analytical Science (Second Edition)*, 253-262. <https://doi.org/10.1016/B0-12-369397-7/00654-3>
22. Simonyan, G. (2020). Systemic-Entropic Approach for Assessing Water Quality of Rivers, Reservoirs, and Lakes. In A. Devlin, J. Pan, & M. M. Shah (Eds.), *Inland Waters - Dynamics and Ecology*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.93220>

23. Simonyan, G.; Pirumyan, G. (2019). Entropy - System Approach to Assess the Ecological Status of Reservoirs in Armenia. Preprints, 2019010260. <https://doi.org/10.20944/preprints201901.0260.v1>
24. Ashby, W. (1959). Introduction to cybernetics. M.: IL.
25. Shannon, C. (1963). Works on information theory and cybernetics. Moscow: IL.
26. MacArthur, R.M. (1955). Fluctuation of animal populations and measure of community stability. *Ecology*, 36(3), 533-536.
27. Margalef, R. (1958). Information theory in ecology. *Gen. Syst.* 3.
28. Yatsyk, A. V. (2008). Dnipro Reservoir. *Encyclopedia of Modern Ukraine*, 8. Institute of Encyclopedic Research of the National Academy of Sciences of Ukraine. Retrieved from <https://esu.com.ua/article-22194> (in Ukrainian)
29. DSTU 4808:2007, (2007). Dzherela tsentralizovanoho pytnoho vodopostachannya. Hihiyenichni ta ekolohichni vymohy shchodo ekolohichnoho stanu poverkhnevyykh vod i pravyla vybyrannya [Sources of centralized drinking water supply. Hygienic and ecological requirements for water quality and selection rules] Retrieved from [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id\\_doc=53159](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=53159) (in Ukrainian)
30. Nekos, A., BoiarynM., Lugowska, M., Tsos, O., & Netrobchuk, I. (2021). Assessment of the ecological condition of the Western Bug river basin according to the macrophyte index for rivers (MIR). *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series "Geology. Geography. Ecology"*, (54), 316-328. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-54-24>
31. Tretyakov, O., Shevchenko, T., & Bezsonnyi, V. (2015). Improving the environmental safety of drinking water supply in kharkiv region (Ukraine). *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5(10(77)), 40–49. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.51398>
32. Shevchenko, T.O. (2016). Study of the impact of biogenic substances in urban wastewater discharged on surface water bodies. *Problems of water supply, drainage and hydraulics*. (27), 437-445. <https://repository.knuba.edu.ua/bitstream/handle/987654321/2115/201627-437-445.pdf?sequence=1>

The article was received by the editors 25.10.2022

The article is recommended for printing 25.11.2022