

Scientific and technical journal «Technogenic and Ecological Safety»

RESEARCH ARTICLE
OPEN ACCESS

ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ КРЕМЕНЧУЦЬКОГО ВОДОСХОВИЩА НА ОСНОВІ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ЕНТРОПІЇ

В. Л. Безсонний¹, Л. Д. Пляцук², Р. В. Пономаренко³, О. В. Третяков⁴¹Харківський національний економічний університет ім. Семена Кузнеця, Харків, Україна²Сумський державний університет, Суми, Україна³Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна⁴Національний авіаційний університет, Київ, Україна

УДК 504.06:577.4

DOI: 10.52363/2522-1892.2023.1.3

Отримано: 15 березня 2023

Прийнято: 27 квітня 2023

Cite as: Bezsonnyi V., Plyatsuk L., Ponomarenko R., Tretyakov O. (2023). Determination of the ecological state of the Kremenchuk Reservoir on the basis of information entropy. Technogenic and ecological safety, 13(1/2023), 20–26. doi: 10.52363/2522-1892.2023.1.3

Анотація

Встановлено, що вода за усіма показниками крім хлорид-іонів, СПАР та завислими речовини не відповідає верхній межі I класу якості за ДСТУ 4808:2007. Спостерігається зниження рівня БСК5 на посту моніторингу в нижній частині водосховища, що свідчить про надходження до водотоку речовин, що пригнічують біохімічні процеси. Також спостерігається тенденція зростання вмісту у воді сульфатів, фосфатів, сполук азоту та ХСК для пунктів контролю, що розташовані в межах впливу промислових міст, вздовж водосховища. Найбільші значення ентропійного індексу якості води характерні для пунктів п2, с. Адамівка, Чигиринського р-ну (0,59) та п3, с. Пронозівка Глобинського р-ну, (0,63). Дані пункти контролю знаходяться на значній відстані від промислових центрів, то, ймовірно, вирішальне значення у формуванні якості води відіграють забруднення, спричинені сільськогосподарським виробництвом (застосування фосфатних та азотних добрив). Найменше значення індексу (0,39) характерне для пункту п1 – с. Сокірне, питний водозабір м.Черкаси. Значення неторсійного індексу якості води знаходиться в межах від 0,39 (пункт п1) до 0,63 (пункт п3).

Ключові слова: ентропійний індекс якості води, екологічний стан поверхневих вод, Кременчуцьке водосховище, забруднення.

1. Постановка проблеми.

Забруднені водойми та водотоки стають непридатними для питного, а іноді і технічного водокористування, втрачають рибогосподарське значення та стають не придатними для сільськогосподарських потреб. Антропогенне навантаження на території водозборів на тлі скорочення обсягів водоохоронних заходів веде до зростання забруднення поверхневих водних об'єктів.

Якість водних ресурсів має велике значення для здоров'я людини, економічного розвитку та довкілля [1, 2]. Глобальне використання прісної води, в тому числі комунальною сферою, сільським господарством та промисловістю стрімко зросло за останні 100 років. Але через забруднення води в різних регіонах і країнах [3] погіршення якості води переросло у загальносвітову проблему [4]. Забруднення поверхневих вод є великою проблемою при управлінні якістю води. Оцінка якості води – важливий елемент управління водними ресурсами. При розробці планів управління водними ресурсами необхідно оцінювати різні властивості поверхневих вод. Забруднення водойм загрожує навколишньому середовищу та здоров'ю людей, тому для оцінки якості води було розроблено багато індексів якості поверхневих вод [5, 6].

Антропогенна діяльність та природні процеси, включаючи вивітрювання гірських порід, ерозію та зміну клімату, впливають на якість води [7, 8]. Збільшення кількості населення, розширення сфер та видів діяльності, розростання міст призводять до

збільшення попиту на воду. Надмірне використання підземних і поверхневих вод ставить під загрозу безпеку багатьох ресурсів через скорочення їх обсягів та погіршення їх якості [9].

2. Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Система загальних показників, що дозволяють систематизувати різні параметри якості води, вперше була розроблена Хортоном [10]. Потім ця методологія була вдосконалена Національним фондом санітарії США, це призвело до виникнення відомого індексу якості води [11], що показував рівень сумарного впливу обраних параметрів на загальну якість води одним числовим значенням [12–15]. Цей підхід став дуже поширеним у світовій практиці для оцінки якості води [16–19]. Екологічна оцінка якості води є вкрай необхідною умовою для реалізації водоохоронної політики і оптимального розподілу різноманітних джерел води відповідно до видів використання. Поверхневі води часто оцінюються на підставі нормативів. Оскільки жодна окрема змінна не може достатньо описати якість води, оцінюється ряд фізико-хімічних інтенсивних змінних (наприклад, концентрації аніонів або катіонів, тощо). Також набуває поширення використання ентропійних підходів до оцінки якості води [20, 21].

У гідроекологічних системах можливе виникнення проблем як із збільшенням, так і зниженням ентропії. Поняття ентропії має багато тлумачень в різноманітних наукових галузях. Поряд з ентропією Клаузюса з'явилися інформаційні, статистичні, математичні, лінгвістичні,

інтелектуальні та інші ентропії. Ентропія стала базовим поняттям теорії інформації і виступає мірилом невизначеності ситуації. Для характеристики міри складності системи У. Ешбі першим запропонував використовувати поняття ентропії [22]. Система взаємодіє із зовнішнім світом як єдине ціле. Загалом, система не втрачає своєї організованості або високої впорядкованості. Відкриті системи можуть обмінюватися матерією, енергією і, не в останню чергу, інформацією з довкіллям. Щоб екологічна система могла діяти і взаємодіяти з довкіллям, вона повинна отримувати інформацію з нього і доносити інформацію до зовнішнього середовища. Це процес інформаційного метаболізму, що спільно з матеріальним метаболізмом утворює повний метаболізм. Вперше поняття ентропії та інформації пов'язав К. Шеннон [23]. За Шенноном ентропія – це кількість інформації, яка припадає на одне елементарне повідомлення джерела, що виробляє статистично незалежні повідомлення. Отримання будь-якої кількості інформації дорівнює втраченій ентропії. Інформаційна ентропія незалежних випадкових подій x з N можливих станів розраховуються за формулою (1):

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

де p_i – ймовірність частоти настання якоїсь події.

Першим для оцінки ступеню структурованості екосистем Мак-Артур 1955 року використав загальне рівняння ентропії Шеннона [24], де $p_i = n_i/N$, в якому n_i – загальне число особин виду i , N – загальне число особин в екосистемі). У 1957 році Р. Маргалєф постулював теоретичну концепцію, відповідно до якої різноманітність відповідає ентропії при випадковому відборі видів з угруповання [25]. Результатом цих робіт є широке поширення і загально визнаність індексу Шеннона H , який іноді називають індексом інформаційної різноманітності К. Шеннона [23]. При розрахунку ентропії H за Шенноном вважається, що кожна проба – це випадкова вибірка із сукупності, де співвідношення видів у пробі відображає їх реальне співвідношення у природі. У випадку оцінки ймовірності незалежних подій p_i для формули (1) маємо

$$H = -\sum_{i=1}^N \left(\frac{n_i}{N}\right) \log_2 \left(\frac{n_i}{N}\right). \quad (2)$$

Для комплексної оцінки екологічного стану поверхневих вод використовується ентропійний індекс якості води – G , що отримується із індексу Шеннона [23]. Поверхневі води – це одне із основних джерел питного водопостачання. Забруднені водні об'єкти стають не придатними для питного, а іноді і технічного водокористування, втрачають рибогосподарське значення та стають не придатними для сільського господарства. Тому

оцінка екологічного стану поверхневих водних об'єктів є актуальною проблемою.

Головними джерелами забруднення Кременчуцького водосховища є 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 Кременчуцькому водосховищі. Надходження забруднюючих речовин зі стічними водами в Дніпро ускладнює процес очищення води і вимагає збільшення на це енергетичних витрат.

3. Постановка завдання та його вирішення.

Мета роботи: оцінка якості води Кременчуцького водосховища за допомогою ентропійного індексу.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

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

Наукова новизна отриманих результатів:

- набули подальшого розвитку дослідження динаміки забруднювачів поверхневих вод;
- вперше для оцінки екологічного стану Каховського водосховища застосовано ентропійний індекс якості води.

Кременчуцьке водосховище – одне з водосховищ на Дніпрі, головний регулятор його стоку. Довжина 172 км, ширина близько 40 км, середня глибина 6 м, площа дзеркала 2250 км². Режим роботи Кременчуцького водосховища визначається вимогами усіх учасників водогосподарського комплексу і економією водних ресурсів у літньо-осінній період, а також корегується з режимом роботи Каховського водосховища, з якого відбирається найбільше дніпровської води [26].

Для оцінки якості води було використано відкриті дані щодо моніторингу якості поверхневих вод Державного агентства водних ресурсів України (період спостережень 2003 – 2022 роки).

Аналізувалися результати спостережень за 5 пунктами моніторингу (рис. 1):

- p1 – ID 27016, р. Дніпро, 678 км, с. Сокірне, питний водозабір м. Черкаси;
- p2 – ID 27042, р. Дніпро, 615 км, с. Адамівка Чигиринського р-ну, Адамівська ЗС;
- p3 – ID 27043, р. Дніпро, 594 км, с. Пронозівка Глобинського р-ну, (Кременчуцьке водосховище) Градижська ЗС;
- p4 – ID 27018, р. Дніпро, 580 км, с. Власівка, лівий берег, питний водозабір м.Кременчук;
- p5 – ID 27019, р. Дніпро, 580 км, питний водозабір м. Світловодськ, (Кременчуцьке водосховище) правий берег.

Забруднення поверхневих водних систем можна подати у вигляді системи тих гідрохімічних показників (елементів), концентрація яких перевищує нормативно встановлені концентрації.

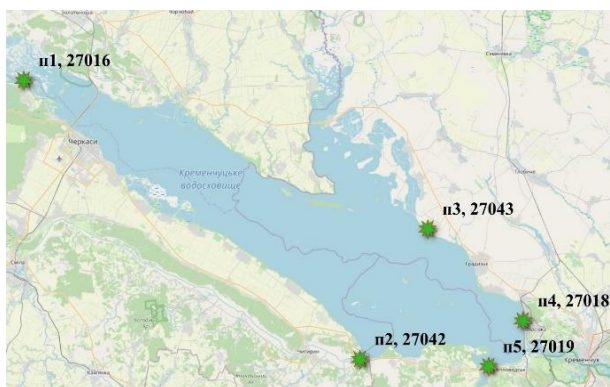


Рисунок 1 – Розташування постів контролю якості води (Карта: QGIS, OpenStreetMap)

Тоді у рівнянні Шеннона p_i – це ймовірність числа перевищень нормативу i -ї речовини чи показника якості води від загальної суми перевищення нормативу – N , $p_i = n_i / N$.

G -функція характеризує гідроекологічні системи з позиції співвідношення порядку та хаосу, мірами яких є геоєкологічна синтропія – I [21] та ентропія Шеннона, відповідно,

$$G = \frac{H}{I}; \tag{3}$$

$$H = \log_2 N - I; \tag{4}$$

$$I = \frac{\sum n \log_2 n}{N}. \tag{5}$$

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

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

1. Визначимо число перевищень нормативу i -ї речовини (показника якості води) n .

2. Оцінимо загальну суму перевищень нормативу (N): $N = \sum n$.

3. Обчислимо $\log_2 N$, $n \log_2 n$ та $\sum n \log_2 n$.

4. Розрахуємо геоєкологічну синтропію I (5) та ентропію H (4).

5. Визначаємо ентропійний індекс якості води G (3).

Оцінимо ретроспективну динаміку зміни показників екологічного стану води Кременчуцького водосховища. У табл. 1 наведено усереднені дані спостережень за період 2003–2022 років за 5 пунктами моніторингу поверхневих вод ділянки Кременчуцького водосховища. Для порівняння додано нормативні значення показників, що відповідають нижній межі 2-го класу якості води за ДСТУ 4808:2007 [27]. Усього в ДСТУ 4808:2007 виділяється 4 класи якості води:

- 1 клас – відмінна, бажана якість води;
- 2 клас – добра, прийнятна якість води;
- 3 клас – задовільна, прийнятна якість води;
- 4 клас – посередня, обмежено придатна, небажана якість води.

Таблиця 1 – Середньорічні значення показників якості води за 2003 – 2022 рр.

Показник якості води в	Пункти контролю					Норма-тив	Клас якості
	п1	п2	п3	п4	п5		
БСК ₅ , мг/дм ³	2,3962	2,3505	3,8066	2,8317	2,4400	1,3	3
Завислі речовини, мг/дм ³	7,2634	7,1795	7,0616	5,4193	6,1257	20	1
Кисень розчинений, мг/дм ³	8,6412	7,2464	8,2157	8,1832	9,1843	8	2
Сульфат-іони, мг/дм ³	25,4813	27,6385	42,0930	27,7557	26,6422	40	2
Хлорид-іони, мг/дм ³	21,4867	20,6077	25,0349	17,5133	20,7686	30	1
Амоній-іони, мг/дм ³	0,4490	0,4690	0,5259	0,4092	0,4183	0,1	3
Нітрат-іони, мг/дм ³	2,7857	2,8505	0,9674	1,2228	1,8847	0,2	4
Нітрит-іони, мг/дм ³	0,0504	0,0456	0,0427	0,0626	0,0523	0,002	4
Фосфат-іони, мг/дм ³	0,4177	0,3233	0,1670	0,1961	0,3372	0,015	4
СПАР, мг/дм ³	0,0328	0,0424	0,0158	0,0213	0,0407	10	1
Перманганатна окислюваність, мг/дм ³	0,0000	0,0000	6,4792	9,2194	0,0000	3	2
ХСК, мг/дм ³	28,6509	28,4795	35,7514	32,4977	32,1415	9	2

З наведеної таблиці видно, що вода за показниками нітратів, нітритів і фосфатів згідно ДСТУ 4808:2007 відноситься до 4 класу – посередня, обмежено придатна, небажана якість води (клас води визначається найгіршим показником). Також із таблиці можна бачити, що показник сульфат-іонів у пункті 3 с. Пронозівка Глобинського р-ну, (Кременчуцьке водосховище) Градижська ЗС переводить клас якості з 2 до 3-го; знижується вміст розчиненого кисню у пункті р. Дніпро, 615 км, с. Адамівка, Адамівська ЗС, Чигиринського р-ну.

Відслідкуємо динаміку основних забруднювачів вздовж за постами вздовж водосховища.

Спостерігається збільшення рівня БСК₅ (рис. 2) на постах 3 і 4 в с. Пронозівка Глобинського р-ну та с. Власівка, що свідчить про надходження до водотоку органічних речовин, що активізують біохімічні процеси. Біохімічне споживання кисню є важливим показником оцінки стану водного об'єкту, це кількість кисню, потрібна для окиснення органічних речовин, що містяться в 1 дм³ води, аеробними бактеріями до вуглекислого газу та води впродовж 5 діб без доступу повітря і світла.

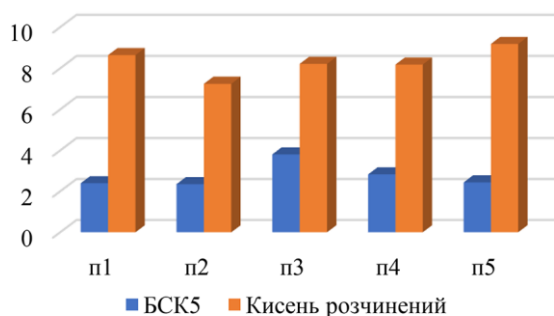


Рисунок 2 – Динаміка БСК₅ та розчиненого кисню за пунктами контролю (мг/дм³)

Така ж тенденція спостерігається щодо динаміки сполук азоту, сульфатів, фосфатів – підвищення в межах точок контролю поблизу в зоні впливу сільськогосподарських угідь та промислових центрів (рис. 3 – рис. 6).

Сполуки азоту можуть потрапляти до води за рахунок розкладу органічних речовин тваринного та рослинного походження. Крім того, іони амонію потрапляють до водосховищ зі стічними промисловими водами. Окислення іонів амонію розчиненим у воді киснем до нітрат-іонів – одна з причин збільшення нітратів. Це небезпечно для здоров'я населення, оскільки пов'язано з роллю нітратів у синтезі нітрозамінів та нітрозамідів, у навколишньому середовищі (у воді, ґрунті, рослинах) та в організмі людини (у травному каналі). Нітрозамідам та нітрозамінам властива мутагенна та канцерогенна дія. Тому підвищений вміст нітратів у воді сприяє підвищенню ризику онкогенної захворюваності населення. Крім того, підвищений вміст азотовмісних речовин провокує процеси евтрофікації водойми.

Потрапляння води водосховища сульфатів та фосфатів характерне для процесів діяльності житлово-комунального господарства прилеглих міст. Хоча для систем централізованого водовідведення і встановлені нормативи вмісту фосфатів у стічних водах, але використання фосфатів у побутовій хімії 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. Вміст сульфатів у воді вище нормативного може бути причиною захворювань органів системи травлення, також ця вода може викликати корозію бетону та залізобетонних конструкцій, що є небезпечним для водосховищ [28].

Розрахунок ентропійного індексу відповідно до алгоритму (3) – (5) наводиться в табл. 2 та табл. 3. Динаміка індексу за пунктами контролю зображена на графіку (рис. 7).

Як видно з графіку (рис. 7) найбільші значення ентропійного індексу якості води характерні для пунктів п2 (0,59015) та п3 (0,63092), що можна

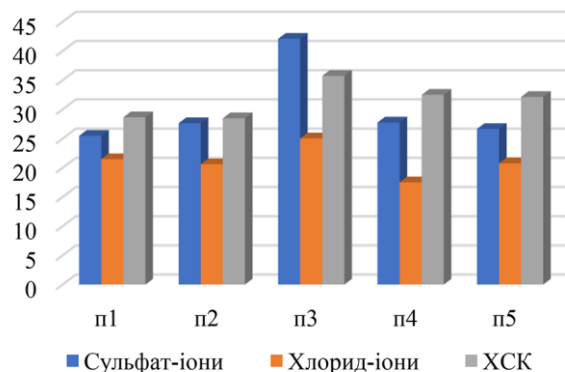


Рисунок 3 – Динаміка сульфатів, ХСК та хлоридів за пунктами контролю (мг/дм³)

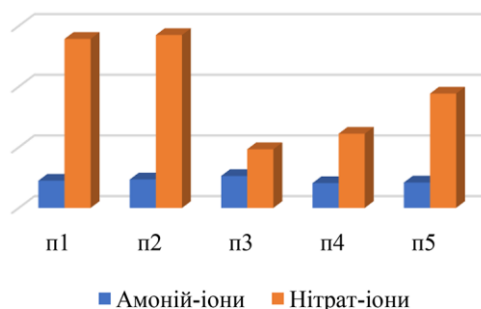


Рисунок 4 – Динаміка нітратів за пунктами контролю (мг/дм³)

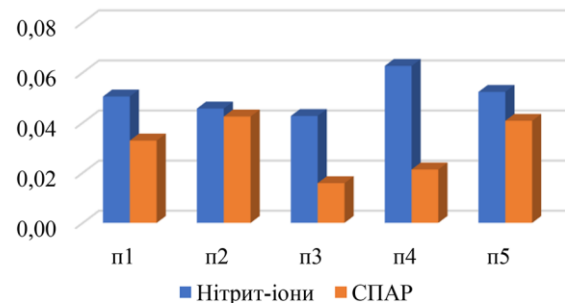


Рисунок 5 – Динаміка нітритів та СПАР за пунктами контролю (мг/дм³)

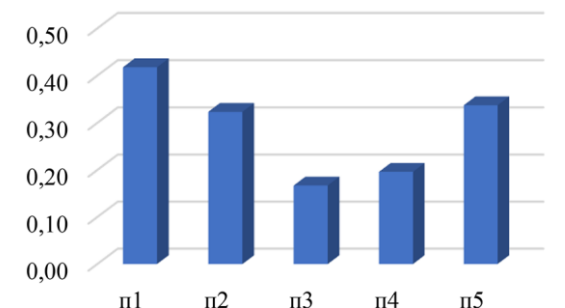


Рисунок 6 – Динаміка фосфатів за пунктами контролю (мг/дм³)

пояснити впливом результатів діяльності сільськогосподарських підприємств (застосування фосфатних та азотних добрив).

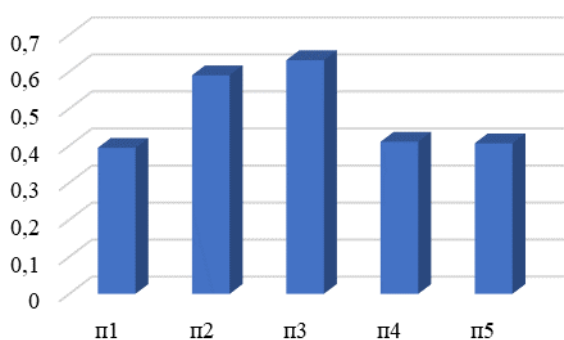


Рисунок 7 – Динаміка ентропійного індексу якості води за пунктами контролю

Дніпро є одним з головних поверхневих джерел питного водопостачання нашої держави, у зв'язку з чим потрібно враховувати, що традиційна біологічна очистка дозволяє видалити основну масу органічних забруднюючих речовин, але не спроможна забезпечити достатню, відповідно до сучасних вимог, 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.

Таблиця 2 – Число перевищень нормативу i -го показника якості води

Показники якості води	n у пунктах контролю				
	п1	п2	п3	п4	п5
БСК ₅	226	36	83	235	191
Завислі речовини	237	36	84	236	182
Кисень розчинений	140	15	45	147	135
Сульфат-іони	9	2	42	21	13
Хлорид-іони	16	1	15	1	5
Амоній-іони	239	39	84	268	205
Нітрат-іони	235	39	81	232	199
Нітрит-іони	238	39	83	237	197
Фосфат-іони	238	39	82	228	197
СПАР	0	0	0	0	0
Перманганатна окислюваність	0	0	44	206	0
ХСК	239	36	85	262	204

Таблиця 3 – Розрахунки ентропійного індексу якості води

Значення	п1	п2	п3	п4	п5
N (загальна сума перевищень нормативу)	1817	282	728	2073	1528
$\log_2 N$	10,83	8,14	9,51	11,08	10,58
$\sum n \log_2 n$	14113,20	1443,48	4244,03	16190,30	11491,00
I (геоекологічна синтропія)	7,77	5,12	5,83	7,81	7,52
H (ентропія)	3,06	3,02	3,68	3,20	3,06
G (ентропійний індекс якості води)	0,39	0,59	0,63	0,41	0,41

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 важливим є те, що видаляти зі стічних вод сполуки азоту набагато важче [29, 30]. Для підвищення ефективності очистки стічних вод від сполук фосфору використовують мінеральні коагулянти. Всі методи очищення вод отримали своє розповсюдження в різних галузях промисловості, мають ряд недоліків і не завжди можуть бути застосовані на практиці для очищення стічних вод від біогенних елементів.

Висновки.

В результаті аналізу екологічного стану вод Кременчуцького водосховища за допомогою

ентропійного індексу встановлено, що основними забруднювачами води є нітрати, нітрити та фосфати. Це може викликати негативний вплив на здоров'я внаслідок канцерогенної та мутагенної дії, а також прискорює евтрофікацію водотоку. Значення ентропійного індексу якості води знаходиться в межах від 0,39 (пункт п1) до 0,63 (пункт п3). Найбільші значення ентропійного індексу якості води характерні для пунктів п2, с. Адамівка, Чигиринського р-ну (0,59) та п3, с. Пронозівка Глобинського р-ну, (0,63). Дані пункти контролю знаходяться на значній відстані від промислових центрів, тому, ймовірно, вирішальне значення у формуванні якості води відіграють забруднення, спричинені сільськогосподарським виробництвом (а саме, застосуванням фосфатних та азотних добрив).

ЛІТЕРАТУРА

1. Alver A. Evaluation of conventional drinking water treatment plant efficiency according to water quality index and health risk assessment. *Environmental Science and Pollution Research*. 2019. Vol. 26. P. 27225–27238. DOI: 10.1007/s11356-019-05801-y.
2. Human activities determine quantity and composition of dissolved organic matter in lakes along the Yangtze River / Liu D. et al. *Water Research*. 2020. Vol. 168. Art. 115132. DOI: 10.1016/j.watres.2019.115132.
3. Gad M, El-Hattab M. 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*. 2019. Vol. 158. Art. 103554. DOI: 10.1016/j.jafrearsci.2019.103554.
4. Improving the performance of machine learning models for early warning of harmful algal blooms using an adaptive synthetic sampling method / Kim J. H. et al. *Water Research*. 2021. Vol. 207. Art. 117821. DOI: 10.1016/j.watres.2021.117821.
5. Identification of Processes and Migration Parameters for Conservative and Reactive Contaminants in the Soil-Water Environment / Podlasek A., Koda E., Markiewicz A., Osinski P. *Towards a Sustainable Geoenvironment*. 2019. DOI: 10.1007/978-981-13-2221-1_60.
6. Analysis of the Removal of BOD5, COD and Suspended Solids in Subsurface Flow Constructed Wetland in Latvia / Grinberga L. et al. *Acta Scientiarum Polonorum Architectura*. 2021. Vol. 20. P. 8. DOI: 10.22630/ASP.A.2021.20.4.31
7. Time marker of ¹³⁷Cs fallout maximum in lake sediments of Northwest China / Lan J. et al. *Quaternary Science Reviews*. 2020. Vol. 241. Art. 106413. DOI: 10.1016/j.quascirev.2020.106413.
8. Massoud M. Assessment of water quality along a recreational section of the Damour River in Lebanon using the water quality index. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2012. Vol. 184. P. 4151–4160. DOI: 10.1007/s10661-011-2251-z.
9. Lyu H.-M., Shen S.-L., Zhou A. 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. Art. 124542. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.124542.
10. Water quality indices – methods for evaluating the quality of drinking water / Paun I. et al. *Incd ecoind – international symposium – simi 2016 “The environment and the industry”*, proceedings book. 2016. P. 395–402. DOI: 10.21698/simi.2016.0055.
11. Shwetank S., Chaudhary J. K. A Comparative Study of Fuzzy Logic and WQI for Groundwater Quality Assessment. *Procedia Computer Science*. 2020. Vol. 171. P. 1194–1203. DOI: 10.1016/j.procs.2020.04.128.
12. Pandey R., Pattanaik L. A. Fuzzy QFD Approach to Implement Reverse Engineering in Prosthetic Socket Development. *International Journal of Industrial and Systems Engineering*. 2014. Vol. 17. P. 1–14. DOI: 10.1504/IJISE.2014.060819.
13. Інтегральна оцінка екологічного стану Дніпровського водосховища / Безсонний В. Л. та ін. *Проблеми надзвичайних ситуацій*. 2022. № 1 (35). С. 209–227. DOI: 10.52363/2524-0226-2022-35-16.
14. Моніторинг екологічної безпеки водотоків за кисневими показниками / Безсонний В. Л. та ін. *Техногенно-екологічна безпека*. 2021. № 10 (2/2021). С. 75–83. DOI: 10.52363/2522-1892.2021.2.12.
15. Evaluation of Groundwater Quality and Heavy Metal Pollution Indices in Bazman Basin, Southeastern Iran / Rezaei A. et al. *Groundwater for Sustainable Development*. 2019. Vol. 9. Art. 100245. DOI: 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. *Journal of Environmental Sciences*. 2016. Vol. 50. P. 87–92. DOI: 10.1016/j.jes.2016.03.030.
17. Risk Assessment and Ranking of Heavy Metals Concentration in Iran's Rayen Groundwater Basin Using Linear Assignment Method / Rezaei A. et al. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*. 2018. Vol. 32. P. 1317–1336. doi: 10.1007/s00477-017-1477-x
18. Assessment of Cau River water quality assessment using a combination of water quality and pollution indices / Son C. T. et al. *Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua*. 2020. Vol. 69 (2). P. 160–172. DOI: 10.2166/aqua.2020.122.
19. Podgorski J., Berg M. Global analysis and prediction of fluoride in groundwater. *Nature Communications*. 2022. Vol. 13(1). DOI: 10.1038/s41467-022-31940-x.
20. Simonyan G. 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, 2020. DOI: 10.5772/intechopen.93220.
21. Simonyan G., Pirumyan G. Entropy – System Approach to Assess the Ecological Status of Reservoirs in Armenia. *Preprints*. 2019. 2019010260. DOI: 10.20944/preprints201901.0260.v1.
22. Ashby W. Introduction to cybernetics. M.: IL, 1959. 432 p.
23. Shannon C. Works on information theory and cybernetics. M.: IL, 1963. 830 p.
24. MacArthur R. M. Fluctuation of animal populations and measure of community stability. *Ecology*. 1955. Vol. 36. No. 3. P. 533–536.
25. Margalef R. Information theory in ecology. *General Systems*. 1958. Vol. 3. P. 36.
26. 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> (дата звернення 10.03.2023).
27. ДСТУ 4808:2007. Джерела централізованого питного водопостачання. Гігієнічні та екологічні вимоги щодо якості води і правила вибирання. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=53159 (дата звернення 10.03.2023).
28. Assessment of the ecological condition of the Western Bug river basin according to the macrophyte index for rivers (MIR) / Nekos A. et al. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series «Geology. Geography. Ecology»*. 2021. Vol. 54. P. 316–328. DOI: 10.26565/2410-7360-2021-54-24.
29. 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> (дата звернення 10.03.2023).
30. 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(10(77)). P. 40–49. DOI: 10.15587/1729-4061.2015.51398.

Bezsonnyi V., Plyatsuk L., Ponomarenko R., Tretyakov O.**DETERMINATION OF THE ECOLOGICAL STATE OF THE KREMENCHUK RESERVOIR ON THE BASIS OF INFORMATION ENTROPY**

It was established that the water does not meet the upper limit of the 1st quality class according to DSTU 4808:2007 by all indicators except for chloride ions, SPAR and suspended substances. There is a decrease in the level of BSK5 at the monitoring post in the lower part of the reservoir, which indicates the entry of substances into the watercourse that inhibit biochemical processes. There is also an increasing trend in the content of sulfates, phosphates, nitrogen compounds and HSC in water for control points located within the influence of industrial cities, along the reservoir. The highest values of the entropy index of water quality are characteristic of points p2, p. Adamivka, Chygyryn district (0.59015) and p3, village. Pronozivka Globyn district, (0.63092). These control points are located at a considerable distance from industrial centers, so pollution caused by agricultural production (application of phosphate and nitrogen fertilizers) probably plays a decisive role in the formation of water quality. The smallest value of the index (0.39397) is characteristic of item p1 – c. Sokirne, drinking water intake in the city of Cherkasy. The value of the non-torsion water quality index is in the range from 0.39397 (point p1) to 0.63092 (point p3).

Key words: entropy index of water quality, ecological state of surface waters, Kremenchuk Reservoir, pollution.

REFERENCES

- Alver, A. (2019). Evaluation of conventional drinking water treatment plant efficiency according to water quality index and health risk assessment. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 27225–27238. DOI: 10.1007/s11356-019-05801-y.
- Liu, D., Du, Y., Luo, J., Yu, S., & Duan, H. (2020). Human activities determine quantity and composition of dissolved organic matter in lakes along the Yangtze River. *Water Research*, 168, 115132. DOI: 10.1016/j.watres.2019.115132.
- 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, 103554. DOI: 10.1016/j.jafrearsci.2019.103554.
- Kim, J. H., Shin, J. K., Lee, H., Lee, D. H., Kang, J. H., Cho, K. H., Lee, Y. G., Chon, K., Baek, S. S., & Park, Y. (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. DOI: 10.1016/j.watres.2021.117821.
- 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. *ICEG 2018: Proceedings of the 8th International Congress on Environmental Geotechnics*, 1, 551–559. DOI: 10.1007/978-981-13-2221-1_60.
- Grinberga, L., Grabuža, D., Grinfelde, I., Lauva, D., Celms, A., Sas, W., Gluchowski, A., & Dziecioł, J. (2021). Analysis of the Removal of BOD₅, COD and Suspended Solids in Subsurface Flow Constructed Wetland in Latvia. *Acta Scientiarum Polonorum Architectura*, 20, 8. DOI: 10.22630/ASPA.2021.20.4.31.
- Lan, J., Wang, T., Chawchai, S., Cheng, P., Zhou, K., Dongna, K.Y., Yaqin, Y., Jingjie Zang, W., Liu, Y., Tan, L., Ai, L., & Xu, H. (2020). Time marker of ¹³⁷Cs fallout maximum in lake sediments of Northwest China. *Quaternary Science Reviews*, 241, 106413. DOI: 10.1016/j.quascirev.2020.106413.
- Massoud, M. (2012). Assessment of water quality along a recreational section of the Damour River in Lebanon using the water quality index. *Environmental Monitoring and Assessment*, 184, 4151–4160. DOI: 10.1007/s10661-011-2251-z.
- Lyu, H.-M., Zhou, A., & Shen, S.-L. (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, 124542. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.124542.
- 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. *Incd ecoind – international symposium – simi 2016 “The environment and the industry”, proceedings book*, 395–402. DOI: 10.21698/simi.2016.0055.
- Shwetank, S., & Chaudhary, J. K. (2020). A Comparative Study of Fuzzy Logic and WQI for Groundwater Quality Assessment. *Procedia Computer Science*, 171, 1194–1203. DOI: 10.1016/j.procs.2020.04.128.
- Pandey, R., & Pattanaik, L. A. (2014). Fuzzy QFD Approach to Implement Reverse Engineering in Prosthetic Socket Development. *International Journal of Industrial and Systems Engineering*, 17, 1–14. DOI: 10.1504/IJISE.2014.060819.
- Bezsonnyi, V., Tretyakov, O., Ponomarenko, R., Borodych, P., Burmenko, O., & Karpets, K. (2021). Integral'na ocinka ekologichnogo stanu Dniprovskogo vodoshovyshha [Environmental risk assessment due to the impact of communal facilities on surface waters]. *Problems of Emergency Situations*, 2(34), 58–76. DOI: 10.52363/2524-0226-2021-34-5. [in Ukrainian].
- Bezsonnyi, V., Tretyakov, O., Ponomarenko, R., Kalda, G., & Asotskyi, V. (2021). Monitoryng ekologichnoi' bezpeky vodotokiv za kysnevnyi pokaznykamy [Monitoring of ecological safety of watercourses by means of oxygen indicators]. *Technogenic and ecological safety*, 10(2/2021), 75–83. DOI: 10.52363/2522-1892.2021.2.12. [in Ukrainian].
- 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. *Groundwater for Sustainable Development*, 9, 100245. DOI: 10.1016/j.gsd.2019.100245.
- Li, R., Zou, Z., & An, Y. (2016). Water Quality Assessment in Qu River Based on Fuzzy Water Pollution Index Method. *Journal of Environmental Sciences*, 50, 87–92. DOI: 10.1016/j.jes.2016.03.030.
- 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. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 32, 1317–1336. DOI: 10.1007/s00477-017-1477-x.
- Son, C. T., Giang, N. T. H., Thao, T. P., Nui, N. H., Lam, N. T., & Cong, V. H. (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. DOI: 10.2166/aqua.2020.122.
- Podgorski, J., & Berg, M. (2022). Global analysis and prediction of fluoride in groundwater. *Nature Communications*, 13(1), 4232. DOI: 10.1038/s41467-022-31940-x.
- 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: 10.5772/intechopen.93220.
- Simonyan, G., & Pirumyan, G. (2019). Entropy – System Approach to Assess the Ecological Status of Reservoirs in Armenia. *Preprints*, 2019010260. DOI: 10.20944/preprints201901.0260.v1.
- Ashby, W. (1959). *Introduction to cybernetics*. M.: IL, 432.
- Shannon, C. (1963). *Works on information theory and cybernetics*. M.: IL, 830.
- MacArthur, R. M. (1955). Fluctuation of animal populations and measure of community stability. *Ecology*, 36(3), 533–536.
- Margalef, R. (1958). Information theory in ecology. *General Systems*, 3, 36.
- Yatsyk, A. V. (2008). Kakhov'ske vodoshkovyshche [Kakhov Reservoir]. *Entsyklopediya Suchasnoyi Ukrainy*, 8. Institute of Encyclopedic Research of the National Academy of Sciences of Ukraine. <https://esu.com.ua/article-11146> (access date: 10.03.2023). [in Ukrainian].
- DSTU 4808:2007. (2007). *Dzherela tsentralizovanoho pytnoho vodopostachannya. Hihiyenichni ta ekolohichni vymohy shchodo ekolohichnogo stanu poverkhnivykh vod i pravyla vybyrannya* [Sources of centralized drinking water supply. Hygienic and ecological requirements for water quality and selection rules]. http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=53159 (access date: 10.03.2023). [in Ukrainian].
- Nekos, A., Boiaryn, M., Tsos, O., Lugowska, M., & 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. DOI: 10.26565/2410-7360-2021-54-24.
- Shevchenko, T. O. (2016). Vychennja vplyvu biogenykh rehovyn u mis'kyh stichnykh vodah, shho skydajut'sja, na poverhnevi vodojmy [Study of the impact of biogenic substances in urban wastewater discharged on surface water bodies]. *Problemy vodopostachannya, vodovidvedennja ta gidravliki*, 27, 437–445. URL: <https://repository.knuba.edu.ua/bitstream/handle/987654321/2115/201627-437-445.pdf?sequence=1> (access date: 10.03.2023). [in Ukrainian].
- 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. DOI: 10.15587/1729-4061.2015.51398.