УДК 614.777:504.064.3 (282.247.32)

ЕКОЛОГО-ГІГІЄНІЧНА ОЦІНКА ЯКОСТІ ДНІПРОВСЬКОЇ ВОДИ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДІВ ІНТЕГРАЛЬНОГО ОЦІНЮВАННЯ ТА КЛАСТЕРНОГО АНАЛІЗУ

М. Ю. АНТОМОНОВ, доктор біологічних наук, професор

E-mail: antomonov@gmail.com

О. В. ЗОРІНА, кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник

E-mail: wateramnu@ukr.net

ДУ «Інститут громадського здоров'я ім. О. М. Марзєєва НАМНУ»

<https://doi.org/10.31548/bio2018.03.004>

Виявлено, що якість води річки Дніпро із 12 пунктів відбору проб, що були розташовані від верхньої до нижньої частини річки, протягом 2015 – 2017 рр. характеризувався підвищеним умістом органічних та біогенних речовин, що збігається з даними 90-х років минулого століття. Середній уміст ХСК майже не змінився ($27,66 \pm 0,203$) та перевищував гігієнічний норматив для джерел питного водопостачання (15,0 мг/л) майже у 2 рази. Інтегральна оцінка екологічного стану річкової води дозволила виділити схожі за якістю зони екологічного стану річки щодо вмісту органічних речовин та оцінити їх кількісно. Виявлено, що найпроблемнішу якість мала вода із пункту відбору проб 6 Кам'янського водосховища (біля м. Горішні Плавні). Пункти відбору проб щодо величини розрахованого інтегрального індексу можливо поділити на групи та розташувати у наступний ряд: $6 > 5 > 1 - 4 > 7 - 11 > 12$. Виявлено суттєвий зріст індексу у пункті 5 (у 1,5 рази) та 6 (ще у 1,2 рази), його зниження у пункті 12 (у 1,8 разів). З використанням методу кластерного аналізу за схожими ознаками угруповано показники якості річкової води (розчинений кисень, кольоровість, амоній, хімічне споживання кисню, фосфат-іон, залізо та марганець). Встановлено, що найближче у багатомірному просторі розташовано такі показники, як залізо, марганець, фосфат-іон та амоній, потім до них примикає кисень, зазначені показники утворюють перший кластер; до другого кластеру віднесено ХСК та кольоровість. Відокремлено також два основних кластери з пунктів відбору проб: 1 – 6 (біля м. Київ – біля м. Горішні Плавні) та 7 – 12 (біля м. Кам'янське – м. Херсон). У двох кластерах знаходяться чотири кластери з мінімальними відстанями, що за їх величинами можливо розташувати у наступний ряд: $7 - 8 < 9 - 10 < 11 - 12$ (перший кластер) $< 2 - 4$ (другий кластер). Якість річкової води у двох пунктах відбору проб однієї пари має схожі властивості.

Ключові слова: поверхневі води, органічні речовини, інтегральна оцінка, кластерний аналіз

Актуальність. Аналіз ситуації, що склалася на теперішній час в Україні із санітарним станом водойм, у тому числі, як джерел питного водопостачання, свідчить про реальну загрозу водного фактору для здо-

ров'я людей [1, 2]. Майже всі поверхневі джерела України в останні десятиріччя зазнають суттєвого антропогенного впливу. Особливу занепокоєність щодо якості води викликає річка Дніпро, яка забезпечує пит-

ною водою близько 80 % населення України [3]. Систематична акумуляція і перевищення значень гранично допустимих концентрацій важких металів та біогенних речовин у поверхневих водах р. Дніпро унеможливує забезпечення сприятливих умов для використання води для рекреаційного, рибогосподарського та питного призначення [4]. Пріоритетними забруднювачами поверхневих вод вважають загальні органічні сполуки, сполуки азоту, фосфору, заліза тощо [5].

Розробка науково-обґрунтованих критеріїв оцінки екокризису прісноводних екосистем, що знаходяться під антропогенним впливом різної природи стає все більш актуальною і надзвичайно складним завданням. Необхідна методологія побудови узагальнених критеріїв як для контролю «критичності» антропогенного навантаження, так і для оцінки ступеню трансформації екосистеми. Для практичної оцінки екологічного стану водних об'єктів раціональний, на наш погляд, шлях комплексування тим чи іншим способом параметрів функціонування екосистеми в один або кілька індексів, що грають роль інтегрального критерію. Для розрахунку індексу можливо використовувати найбільш інформативні та широко використовувані у практиці гідрохімічні (органічна речовина, фосфати і ін.) показники [6]. У монографії [7] розглянуто інтегральну оцінку якості води на основі індексу-показника «трьох Б» (безпеки, нешкідливості, сприятливості), який дозволяє вести статистичні бази даних за складом питної води в масштабі регіонів і країни в цілому. В екології існує ряд прийомів, що дозволяють об'єднувати сотні характеристик в одну величину, наприклад, «якість життя». Однак такий підхід має і свої недоліки через різний вплив речовин на організм людини, ефекту синергізму, нерівнозначність точок контролю тощо [8].

Чому методика інтегральної оцінки стає популярною, хоча має свої недоліки? Можливо через доступність, уніфікованість процедури розрахунку, розробки математичного апарату, коли on-line можливо за кілька хвилин вирішити завдання.

Автори монографії [9] наводять повну картину існуючих методик інтегральної оцінки якості води. Методологічною основою уніфікації повинен бути індекс якості води із зазначенням, для якого виду водокористування чи функціонування водних екосистем її розраховано [10].

Отже, вивчення характеристик природних та питних вод може базуватися на використанні різноманітних методичних підходів. Як технологію системного аналізу вирішення багатьох завдань дослідники використовують математичне моделювання, тобто представлення тих чи інших явищ та об'єктів навколишнього середовища в уніфікованому вигляді з метою порівняння їх протягом часу або аналізу сценаріїв розвитку, у тому числі, складних надзвичайних ситуацій, а також кластерний аналіз та інтегральне оцінювання [11, 12].

Мета. Надати еколого-гігієнічну оцінку якості природних вод р. Дніпро на підставі кластерного аналізу та інтегральної оцінки з метою виявлення закономірностей її формування.

Матеріали та методи. Для роботи був використаний масив даних Державного агентства водних ресурсів «Дніпровське басейнове управління водних ресурсів» [13]. Було проаналізовано результати санітарно-хімічних досліджень води р. Дніпро з 2015 р. до 2017 р. із 12 пунктів відбору проб уздовж русла в межах України (1409 проб), а саме в: Київському водосховищі (1 – н/б Київської ГЕС, в/з м. Києва); Канівському водосховищі (2 – м. Канів, н/б Канівської ГЕС); Кременчуцькому водосховищі (3 – в/з м. Черкаси с. Сокирне; 4 – в/з м. Світловодська; 5 – в/з м. Кременчука, с. Власівка); Кам'янському (Дніпродзержинському)

водосховищі (6 – в/з м. Горішні Плавні (Комсомольськ); 7 – в/б Середньодніпровської ГЕС, с. Аули, в/з м. Кам'янське); Дніпровському (Запорізькому) водосховищі (8 – с. Н. Кайдаки, в/з м. Дніпро; 9 – в/б ДніпроГЕС, в/з м. Запоріжжя, ДВС-1, ДВС-2); Каховське водосховище (10 – м. Енергодар; 11 – н/б Каховської ГЕС); р. Дніпро-понижся (12 – м. Херсон). Якість поверхневої води аналізували за показниками: розчинений кисень, кольоровість, амоній, хімічне споживання кисню (ХСК), фосфат-іон, залізо та марганець. Використані методи: експертної оцінки та математичні (статистична обробка кількісних даних - параметричний критерій Стюдента, метод кластерного аналізу та інтегральної оцінки) [11].

Результати досліджень та їх обговорення. Встановлено, що в цілому якість води річки Дніпро за вмістом досліджених показників з 12 пунктів відбору проб, що були розташовані від верхньої до нижньої частини річки Дніпро, відповідала переважно 2–3 класу згідно з ДСТУ 4808:2007 «Джерела централізованого питного водопостачання. Гігієнічні та екологічні вимоги щодо якості води і правила вибирання» та характеризувалася підвищеним вмістом органічних та біогенних речовин, що збігається з даними 1994 – 1998 рр. [14]. Середній уміст ХСК ($27,66 \pm 0,203$) перевищував гігієнічний норматив для джерел питного водопостачання (15,0 мг/л) майже у 2 рази (табл. 1).

Зміни у принципах моніторингу якості природних вод диктують необхідність інтеграції підходів до їх оцінки. Для спрощення оцінювання якості річкової води щодо вмісту органічних речовин у різних пунктах відбору проб використовували інтегральний показник (ІП). Суть інтегральної оцінки полягає у трансформації в одну цифру результатів моніторингу якості природної води за показниками, що можуть впливати на вміст органічних речовин (кисень, кольоровість, амоній, ХСК). Методика формування ІП включала наступні етапи: вибір «норми» показника, розрахунок безрозмірних еквівалентів, визначення вагових коефіцієнтів значимості показників, згортка всіх змінних в ІП [11]. Розрахунок вагових коефіцієнтів здійснювався експертним шляхом по методу ієрархій Т. Сааті [11]. Результати розрахунку індексів екологічного стану р. Дніпро щодо вмісту органічних речовин свідчать, що найпроблемнішу якість мала вода у пункті відбору проб 6 Кам'янського водосховища (біля м. Горішні Плавні) (рис. 1).

Інтегральні індекси щодо якості води збігаються у пунктах 1 – 4, а також 7 – 11, зокрема у першій зазначеній групі індекси були у 2 рази більші, ніж у пунктах другої групи. Виявлено суттєве збільшення індексу у пунктах 5 (у 1,5 разів) та 6 (ще у 1,2 рази), його зниження у пункті 12 (у 1,8 разів). Різниця у індексах між пункта-

Вміст показників якості води р. Дніпро протягом 2015 – 2017 рр.

Показник	Значення концентрації у воді, мг/л		
	максимальна	мінімальна	середня
Розчинений кисень	14,4	4	$8,722 \pm 0,065$
Кольоровість	59	6	$24,499 \pm 0,448$
Амоній	1,43	0,1	$0,315 \pm 0,006$
ХСК	50,5	15,2	$27,66 \pm 0,203$
Залізо	0,52	0,02	$0,206 \pm 0,003$
Марганець	0,32	0,01	$0,058 \pm 0,001$
Фосфат-іон	0,9	0,05	$0,332 \pm 0,014$

Рис. 1. Модель просторової тенденції зміни якості води із використанням індексу забруднення води: ИП – інтегральний показник, ПВП – пункти відбору проб

Рис. 2. Дендрограма результатів кластеризації щодо показників якості річкової води: O₂ – розчинений кисень, COLOR – кольоровість, NH₄ – амоній, Fe – залізо, Mn – марганець, P – фосфат-іон

ми 6 та 12 максимальна та дорівнює 6,9 разів. Отже, інтегральна оцінка дозволила виділити схожі за якістю зони екологічного стану річки щодо вмісту органічних речовин та оцінити їх кількісно.

Для оцінки якості річкової води застосовано один з ефективніших інструментів класифікації – метод кластерного аналізу. З використанням методу кластерного аналізу за схожими ознаками утворювано показники якості річкової води (розчинений кисень, кольоровість, амоній, хімічне споживання кисню, фосфат-іон, залізо та марганець). Кількість кластерів визначалася автоматично. Для здійснення кластерного аналізу був обраний метод одиночного зв'язку, для чого попередньо була розрахована матриця відстаней. У цілому відокремлено два кластери з показників якості річкової води. Найближче у багатомірному просторі розташовано залізо, марганець фосфор

та азот, потім до них примикає кисень, зазначені показники утворюють перший кластер; до другого кластеру віднесено ХСК та кольоровість, що характеризують вміст органічних речовин (рис. 2).

Відокремлено також два основних кластери з пунктів відбору проб (ПВП): 1 – 6 (біля м. Київ – біля м. Горішні Плавні) та 7 – 12 (біля м. Кам'янське – м. Херсон). Зазначене можливо пояснити тим, що виявлено суттєві зменшення вмісту ХСК, кольоровості, амонію та збільшення кисню між пунктами 6 та 7, тобто в межах одного Кам'янського водосховища. У двох кластерах знаходяться чотири кластери з мінімальними відстанями (до 2-х одиниць), що можливо розташувати у наступний ряд: $7 - 8 < 9 - 10 < 11 - 12$ (перший кластер) $< 2 - 4$ (другий кластер). Якість річкової води у двох пунктах відбору проб однієї пари має схожі властивості (рис. 3).

Рис. 3. Дендрограма результатів кластеризації щодо якості води у пунктах відбору проб: C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6, C_7, C_8, C_9, C_10, C_11, C_12 – пункти відбору проб

За результатами кластерного аналізу виявлено не дуже близьку схожість характеристик води у пунктах 6 та 5 Кременчуцького водосховища (біля м. Кременчука).

Застосування методів інтегральної оцінки та кластерного аналізу дозволять підвищити ефективність моніторингу якості природних вод згідно з вимогами європейського законодавства.

Висновки

Підтверджено, що якість води річки Дніпро за дослідженими показниками відповідає переважно 2 – 3 класу якості згідно з ДСТУ 4808:2007 «Джерела централізованого питного водопостачання. Гігієнічні та екологічні вимоги щодо якості води і правила вибирання» та характеризується підвищеним вмістом органічних та біогенних речовин, що збігається з даними 90-х років минулого століття. Інтегральна оцінка екологічного стану річкової води дозволила виділити схожі за якістю зони екологічного стану річки щодо вмісту органічних речовин та оцінити їх кількісно. За результатами розрахунку індексів інтегральної оцінки виявлено, що найпроблемнішу якість мала вода із пункту відбору проб 6 Кам'янського водосховища (біля м. Горішні Плавні). Пункти відбору проб щодо величини інтегрального індексу можливо поділити на групи та розташувати у наступний ряд: $6 > 5 > 1 - 4 > 7 - 11 > 12$. Виявлено суттєве збільшення індексу у пунктах 5 (у 1,5 разів) та 6 (ще у 1,2 рази), його зниження у пункті 12 (у 1,8 разів).

З використанням методу кластерного аналізу за схожими ознаками угруповано показники якості річкової води (розчинений кисень, кольоровість, амоній, хімічне споживання кисню, фосфат-іон, залізо та марганець). Встановлено, що найближче у багатомірному просторі розташовано такі показники, як залізо, марганець, фосфат-іон та амоній, потім до них примикає кисень, зазначені показники утворюють перший кластер; до другого кластеру віднесено ХСК та кольоровість. Відокремлено також два основних кластери з пунктів відбору проб: 1 – 6 (біля м. Київ – біля м. Горішні Плавні) та 7 – 12 (біля м. Кам'янське – м. Херсон). У двох кластерах знаходяться чотири кластери з мінімальними відстанями, що за їх величинами можливо розташувати у наступний ряд: $7 - 8 < 9 - 10 < 11 - 12$ (перший кластер) $< 2 - 4$ (другий кластер). Отже, якість річкової води у двох пунктах відбору проб однієї пари має схожі властивості.

Підтверджено, що з метою ефективного проведення державного моніторингу якості природних вод згідно з вимогами європейського законодавства, у тому числі джерел питного водопостачання, доцільно використовувати методи кластерного аналізу та інтегрального оцінювання. Особливої актуальності методи математичної обробки даних мають у разі обробки великої бази даних з метою виявлення динаміки змін якості природних вод у просторово-часовому аспекті.

Література

1. Прокопов В.О. Гігієнічні проблеми водопостачання в Україні // Досвід та перспективи наукового супроводу проблем гігієнічної науки та практики, Київ, 2011. С. 106-132.
2. Станкевич В.В., Тарабарова С.Б., Гуменнікова Н.М., Беньке Л.В. Гігієнічні аспекти щодо санітарного та екологічного стану затоки Дніпра «Осокорки» та прилеглої до неї території в районі ж/м «Осокорки» та забезпечення оптимальних умов їх використання для рекреаційних цілей / Актуальні питання гігієни та екологічної безпеки України: зб. тез доп. наук.-практ. конф. Київ, 2016. Вип. 16. С. 195 – 197.

3. Прокопов В.О. Проблеми централізованого водовідведення та очистки стічних вод населених пунктів України і шляхи їх вирішення / Актуальні питання гігієни та екологічної безпеки України: зб. тез доп. наук.-практ. конф. Київ, 2011. С. 89-91.
4. Пічура В.І., Шахман І.О., Бистрякова А.М. Просторово-часова закономірність формування якості води в річці Дніпро // Біоресурси і природокористування, 2018. Том 10. № 1-2. С. 25-46.
5. Основи екології / за ред. В.Г. Бардова, В.І. Федоренко. МОЗ України. К.: Нова книга, 2013. 424 с.
6. Гелашвили Д.Б., Зинченко Т.Д., Выхристюк Л.А., Карандашова А.А. Интегральная оценка экологического состояния водных объектов по гидрохимическим и гидробиологическим показателям. 2016. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://cyberleninka.ru/article/n/integralnaya-otsenka-ekologicheskogo-sostoyaniya-vodnyh-obektov-po-gidrohimicheskim-i-gidrobiologicheskim-pokazatelyam>
7. Онищенко Г.Г., Рахманин Ю.А., Кармазинов Ф.В. Бенчмаркинг качества питьевой воды. СПб.: Новый журнал, 2013. 464 с.
8. Василенко С.Л., Кобилянський В.Я. Інтегральне оцінювання якості питної води в сильно розгалуженій водопровідній мережі // Комунальне господарство міст, 2015. Вип. 121. С. 21 – 25. [Електронне видання]. Ресурс доступу: <http://eprints.kname.edu.ua/41917/1/4.pdf>.
9. Abbasi T., Abbasi S.A. Water quality indias. Amsterdam: Elsevier Science Ltd, 2012. 384 p.
10. Войтенко Л.В., Копілева В.А., Срокаль М.П. Концепція інтегральної оцінки якості води для різних видів водоспоживання з використанням функції бажаності Харрінгтона // Біоресурси та природокористування, 2015. № 1-2. Т.5. С. 25-36.
11. Антомонов М.Ю. Математическая обработка и анализ медико-биологических данных. К.: МИЦ «МЕДИНФОРМ», 2018. 579 с.
12. Азаров І.С., Сидоренко В.Л., Демкін А.М., Серeda Ю.П. Аналіз методів математичного моделювання екологічної безпеки / Проблеми екологічної безпеки: зб. тез доп. XV міжнар. наук.-тех. конф. Кременчук, 2017. С. 11.
13. Дніпровське басейнове управління водних ресурсів. Державне агентство водних ресурсів URL: <http://dbuwr.com.ua/upravlinnya-vodnimi-resursami/monitoring-yakosti-vodi.html> (in Ukrainian).
14. Прокопов В.О., Тетенева І.А., Тарабарова С.Б., Мартыщенко Н.В., Некрасова Л.С. и др. Комплексный мониторинг р. Днепр: итоги исследования качества воды и прогноз его изменения // Гигиена населенных мест. 2001. № 38. С. 203 - 207.

References

1. Prokopov V. (2011). Gigienichni problem vodopostachania v Ukraine [Hygienic issues of water supply in Ukraine]. Experience and perspectives of scientific accompaniment and practice. Kyiv, 106-132 (in Ukrainian).
2. Stankevich V., Tarabarova S., Gumennikova N., Benke L. (2016). Gigienichni aspekty shchodo sanitarnogo ta ekologicheskogo stanu zatoki Dnipro "Osokorki" ta prylegloi teritorii v rayoni zh/m "Osokorki" ta zabezpechenia optimalnykh umov ikh vykorystania dlia rekreatsinykh tsiley [Hygienic aspects of sanitary condition and ecological state of Dnipro gulf "Osokorky" and surrounding area in area of housing estate "Osokorky" and providing of optimal conditions of their usage for recreational purposes]. Topical issues of hygiene and ecological safety in Ukraine: collection of thesis of academic and practical conference. Kyiv. Vol.16, 195-197 (in Ukrainian).
3. Prokopov V. (2011). Problemy tsentralizovanago vodovidvedenia ta ochistki stichnykh vod naselennykh punktiv Ukrainy I shliakhy ikh vyrishenia [Problemy tsentralizovanago vodovidvedenia ta ochistki stichnykh vod naselennykh punktiv Ukrainy I shliakhy ikh vyrishenia]. Topical issues of hygiene and ecological safety of Ukraine: collection of thesis of academic and practical conference. Kyiv, 89-91 (in Ukrainian).
4. Pichura V., Shahnam I., Bustryakova A. (2018). [Space-time regularity of water quality formation in Dnipro River]. Bio-resources and environmental management. Vol.10. №1-2, 25-46 (in Ukrainian).
5. Osnovy ekologii (2013). [The Fundamentals of Ecology]. Edited by Bardova V., Fedorenko V.: Ministry of Health of Ukraine. K.: New book, 424 (in Ukrainian).
6. Helashvili D., Zinchenko T., Virchystuk L., Karandashova A. (2016). Integralnaia otsenka ekologicheskogo sostoiania vodnykh obektov po gidrokhimicheskim I gidrobiologicheskim pokazateliam [Integral assessment of ecological state of water bodies according to the hydrochemical and hydro-

- biological indicators]. [Electronic source]. Access mode: file:///C:/Users/user%20Pr2016/Downloads/integralnaya-otsenka-ekologicheskogo-sostoyaniya-vodnyh-obektov-po-gidrohimi-cheskim-i-gidrobiologicheskim-pokazatelyam.pdf (in Russian).
7. Onyshchenko G., Rahmanyn Y., Karmazynov F. (2013). Benchmarking kachestva pitievoy vody [Benchmarking of potable water quality]. Spb.: New journal, 464 (in Russian).
 8. Vasylenko S., Kobylanskiy V. Integralne otsiniuvanie iakosti pitnoi vody v synno rozgaluzheniy vodo- providniy mrezhi [Integral assessment of potable water quality in multi-brench water network]. [Electronic publication]. Access mode: <http://eprints.kname.edu.ua/41917/1/4.pdf> (in Ukrainian).
 9. Abbasi T., Abbasi S.A. Water quality indias. Amsterdam: Elsevier Science Ltd, 2012, 384.
 10. Voitenko L., Kopileva V., Srokal M. (2015). Kontseptsia integralnoi otsinki iakosni vody dlia riznykh vydiv vodospozhyvania z vykoristaniem funktsii bazhanosti Kharringtona [Concept of integral assessment of water quality for different types of water consumption with the use of Harrington's desirability function]. Bio-resources and environmental management. № 1-2, Vol.5, 25-36 (in Ukrainian).
 11. Antomonov M. (2018). Matematicheskaia obrabotka i analiz medico-biologicheskikh danykh [Mathematical treatment and analysis of medical and biological data 2nd edition]. Kyiv: MIC "Medinform", 579 (in Russian).
 12. Azarov I., Sydorenko V., Demkin A., Sereda Y. (2017). Analiz metodiv matematychnogo modeliuvania ekologichnoi bezpeky [Analysis of methods for mathematical modeling of ecological safety]. Issues of ecological safety: collection of thesis of academic and practical XV conference. Kremenchuk, 11 (in Ukrainian).
 13. Dniprovskie baseynove upravlinia vodnykh resursiv. Derzhavne agentstvo vodnykh resursov [Dnipro Basin Department of Water Resources. State Agency for Water Resources]. URL: <http://dbuwr.com.ua/upravlinnya-vodnimi-resursami/monitoring-yakosti-vodi.html> (in Ukrainian).
 14. Prokopov V., Teteneva I., Tarabarova S., Martyschenko N., Nekrasova L. et al. (2001). Kompleksnyi monitoring r. Dnepr: itogi issledovaniia kachestva vody I prognoz ego izmeneniia [Complex monitoring of Dnipro River: results of research of water quality and forecast of its change]. Hygiene of settlements. № 38, 203-207 (in Russian).

SUMMARY

M. Y. Antomonov, O. V. Zorina. Ecological and hygienic assessment of water quality in Dnipro river using the methods of integral assessment and cluster analysis // *Biological Resources and Nature Managment*. – 2018. – 10, №3–4. – P.32–40. <https://doi.org/10.31548/bio2018.03.004>

It was determined that the water quality in Dnipro River in the water of 12 sampling locations, which were located from the upper part to the lower part of the Dnipro River, during 2015-2017 had elevated levels of organic and bioorganic substances, what coincides with the data of 1990s. The average content of COD remained virtually unchanged ($27,66 \pm 0,203$) and exceeded the hygienic standard for the sources of potable water ($15,0 \text{ mg/l}$) by almost two times. Integral assessment of ecological state of river water allowed identifying of the areas with the similar quality of ecological state of the river regarding the content of organic substances and conducting of the quantitative assessment. It was found that the most problematic quality was in the water from the sampling location of the 6th Kamianets Reservoir (near Goryshni Plavni). According to the calculated integral index value sampling locations can be divided and can be put in the following row: $6 > 5 > 1 - 4 > 7 - 11 > 12$. The significant increase of index was determined in location 5 (1,5 times) and

6 (1,2 times more), its decrease – in location 12 (nearly 1,8 times). Indicators of water quality in river water (dissolved oxygen, color, ammonium, chemical oxygen demand, phosphate ion, iron, and manganese) were grouped based on the method of cluster analysis according to the similar characteristics. It was determined that the nearest location in multidimensional space have iron, manganese, phosphorus, and nitrogen, and then they are adjoined by oxygen; mentioned indicators create the first cluster, COD and color belong to second cluster. Two main clusters were also delineated from the sampling locations: 1 – 6 (near Kyiv – near Goryshni Plavni) and 7 – 12 (Kamianske – Kherson). Two clusters contain four clusters with minimum distances, according to these distances they can be put in the following row: $7 - 8 < 9 - 10 < 11 - 12$ (first cluster) $< 2 - 4$ (second cluster). Quality in the river water in two sampling locations has similar characteristics.

Keywords: surface water, organic substances, integral assessment, cluster analysis

АННОТАЦІЯ

М. Ю. Антомонов, О. В. Зоріна. *Еколого-гігієнічна оцінка якості дніпровської води з використанням методу інтегральної оцінки та кластерного аналізу // Біоресурси та природокористування. – 2018. – 10, №3–4. – С.32–40. <https://doi.org/10.31548/bio2018.03.004>*

Установлено, що якість води річки Дніпр із 12 пунктів відбору проб, які були розташовані від верхньої до нижньої частини річки, в період 2015 - 2017 рр. характеризувалося підвищеним вмістом органічних та біогенних речовин, що відповідає даним 90-х років минулого століття. Середній вміст ХПК майже не змінився ($27,66 \pm 0,203$ мг/л) і перевищував гігієнічний норматив для джерел питв'яної водопостачання (15,0 мг/л) майже в 2 рази. Інтегральна оцінка екологічного стану річкової води дозволила виділити ідентичні за якістю зони екологічного стану річки відносно вмісту органічних речовин та оцінити їх кількісно. Виявлено, що найгірше якість води мала вода з пункту відбору проб 6 Каменського водозахисного району (біля м. Верхні Плавні). Пункти відбору проб за величиною розрахованого інтегрального індексу можна розділити на групи та розташувати в наступному ряді: $6 > 5 > 1 - 4 > 7 - 11 > 12$. Виявлено суттєве збільшення індексу в пунктах 5 (в 1,5 рази) та 6 (в 1,2 рази), його зниження в пункті 12

(в 1,8 рази). З використанням методу кластерного аналізу за подібними ознаками сгрупувані показники якості річкової води (розчинений кисень, кольорність, амоній, хімічне споживання кисню, фосфат-іон, залізо та марганець). Встановлено, що найближчий до багатомірного простору розташовані залізо, марганець, фосфат-іон та амоній, далі до них примикає кисень, зазначені показники утворюють перший кластер; до другого кластеру віднесені ХПК та кольорність. Виділено також два основні кластери з пунктів відбору проб: 1 - 6 (біля м. Києва - біля м. Горішні Плавні) та 7 - 12 (біля м. Кам'янське - біля м. Херсон). В обох кластерах знаходяться чотири кластери з мінімальними відстанями, що за їх величинами можливо розташувати в наступному ряді: $7 - 8 < 9 - 10 < 11 - 12$ (перший кластер) $< 2 - 4$ (другий кластер). Якість річкової води в двох пунктах відбору проб однієї пари має схожі властивості.

Ключові слова: поверхневі води, органічні речовини, інтегральна оцінка, кластерний аналіз.