

УДК 004.932.2 DOI 10.36910/6775-2313-5352-2021-19-5

¹Н.В. Глухова, ²Л.А. Пісоцька¹НТУ «Дніпровська політехніка», ²Дніпровський державний медичний університет

ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА ТЕХНОЛОГІЯ ОЦІНКИ БІОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОДИ

Наявність високого рівня забруднення навколишнього середовища вимагає постійного удосконалення систем екологічного моніторингу, у тому числі розробки нових методів дослідження стану гідросфери. Оскільки вода є невід'ємною частиною будь-якої екосистеми, то актуальним завданням є вивчення не тільки фізико-хімічних, але і біологічних її властивостей.

Стаття присвячена проблемам розробки сучасних способів оцінки біологічних характеристик води. Запропонована інформаційно-вимірвальна технологія побудована на базі параметризації зафіксованих зображень газорозрядного випромінювання. Метод ґрунтується на можливості виявлення специфічних ознак зображень випромінювання рідини у полі високовольтного розряду, пов'язаних з біологічними властивостями води. Інструментальні засоби інформаційно-вимірвальної технології забезпечують отримання кількісних ознак гістограм зображень. Розроблена методика класифікації зображень на базі розрахунку евклідової відстані між медіанами у інтервалах яскравості гістограм. Запропонована інформаційно-вимірвальна технологія забезпечує надання комплексної оцінки біологічних характеристик води.

Ключові слова: *якість води, інформаційно-вимірвальна технологія, газорозрядне випромінювання, цифрова обробка зображень*

Вступ та постановка проблеми. Завдання розробки і удосконалення інформаційно-вимірвальної технології дослідження якості води виявляється актуальним вже декілька десятиліть, оскільки контроль якості води є невід'ємною частиною екологічного моніторингу. Дослідження якості води є комплексним завданням, з питаннями контролю її властивостей пов'язано багато різноманітних галузевих досліджень. Сучасні умови забруднення навколишнього середовища, особливо у техногенно навантажених регіонах з суттєвим скупченням промислових підприємств, вимагають здійснення постійного екологічного моніторингу, який забезпечить оперативний контроль якості ресурсів гідросфери.

У більшості країн прийнято стандарти, що регламентують якість води. Переважна частина вимог стандартів стосується фізико-хімічних властивостей води, але в останні роки все більше уваги приділяється встановленню вимог щодо біологічних властивостей води [1-2]. Серед найважливіших фізичних параметрів, які суттєво впливають на якість води, виділяють показники каламутності, температуру, смак і запах, наявність твердих домішок, електропровідність; серед хімічних властивостей – рівень рН, жорсткість, лужність, аніонний та катіонний склад, вміст органічних і неорганічних речовин.

На теперішній час розроблений великий спектр методів та засобів вимірювання, призначених для оцінки фізичних та хімічних параметрів води, у тому числі питної. Що стосується розробки засобів вимірювань для оцінки біологічних якостей води, то можна констатувати той факт, що унаслідок різноманітності біологічних властивостей води і тенденції появи відповідних нових стандартів та вимог у цій сфері, проблема розробки засобів вимірювань для дослідження саме біологічних властивостей води є актуальною.

Серед біологічних характеристик води виділяють наступні: розчинений кисень, вміст токсичних і радіоактивних речовин, структура будова води. Виявлення та кількісна оцінка переважної більшості біологічних параметрів води потребують залучення достатньо складних засобів вимірювання. Відомі на теперішній час методи дослідження біологічних властивостей води можна умовно поділити на дві групи:

1) кількісна оцінка біологічних параметрів води з використанням технічних засобів вимірювань;

2) якісна оцінка біологічних параметрів води з використанням спеціальних індикаторів, у тому числі біологічного походження (бактерій, мікроорганізмів, водорості тощо).

Зокрема в Україні впроваджено декілька нормативних документів, які регламентують способи дослідження біологічних властивостей води на базі застосування біоіндикаторів [3-6].

Недоліком застосування способів оцінки якості води, які ґрунтуються на залученні біоіндикаторів є трудомісткість, необхідність залучення кваліфікованого персоналу, обмеження при транспортуванні та зберіганні біоіндикаторів, якісний характер отриманих результатів.

Як свідчить ряд наукових досліджень на біологічні властивості води впливає не тільки вміст певних речовин, але і її молекулярна структура та квантові властивості [7-11].

Метою роботи є розробка інформаційно-вимірювальної технології оцінки біологічних характеристик води на базі методу газорозрядного випромінювання.

Результати роботи. При розробці інформаційно-вимірювальної технології дослідження біологічних характеристик води використано базу даних, яка складається з вибірок зображень газорозрядного випромінювання різних типів води. З метрологічної точки зору, розробка методу вимірювань, заснованому на реєстрації і подальшій обробці зображень, вимагає визначення способів оцінки точності та достовірності результатів вимірювань, які ґрунтуються на використанні зображень.

Зрозуміло, що з метою надання не тільки якісної, але й кількісної оцінки біологічних характеристик води, необхідно виділення з наявних зображень певних параметрів, які дозволять реалізувати мету досліджень. На відміну від описаних вище способів дослідження біологічних властивостей води з використанням біоіндикаторів, аналіз зображень газорозрядного випромінювання зразків рідини дозволяє забезпечити отримання результатів у кількісній формі завдяки залученню сучасних методів цифрової обробки зображень.

В основу інформаційно-вимірювальної технології дослідження біологічних характеристик води покладено побудову гістограм зображень, які є інформативним способом аналізу як геометричних, так і яскравісних ознак зображень. Однак, гістограма зображення являє собою графічне представлення розподілу пікселів за яскравістю, тому безпосередньо не може слугувати для кількісної оцінки параметрів та класифікації. Стандартно побудована гістограма зображення являє собою ступінчасту фігуру, що налічує 256 стовпчиків для градацій яскравості, прийнятої в переважній більшості пакетів прикладних програм цифрової обробки зображень. Принципи побудови гістограм зображень відрізняються від широко застосованих у метрологічній практиці способів побудови гістограм при обробці результатів багатократних вимірювань.

Як було встановлено в результаті попередніх досліджень, при формуванні бази даних зображень газорозрядного випромінювання, доцільним виявилось скорочення кількості стовпчиків гістограми зображення для подальшого аналізу та параметризації [12]. Застосовуючи спосіб розбиття гістограми зображення на 12 інтервалів яскравості та з використанням бази зображень випромінювання для типових зразків води [13], запропоновано інформаційно-вимірювальну технологію дослідження біологічних характеристик води.

Розроблена інформаційно-вимірювальна технологія передбачає виконання наступних операцій отримання і обробки зображень:

- 1) формування дослідних зразків рідини;
- 2) експериментальна реєстрація зображень світіння рідини у полі високовольтного розряду на базі методу газорозрядного випромінювання [14];
- 3) побудова гістограм зображень для 12-ти інтервалів яскравості;
- 4) параметризація гістограм шляхом розрахунку значень медіан у 12-ти інтервалах яскравості і значень різниць між ними у сусідніх інтервалах.

При дослідженнях біологічних характеристик води було використано 8 різних зразків води, у тому числі дистильованої, з природних джерел (свердловин), водопровідної води мегаполісу. З використанням інструментальних засобів розробленої інформаційно-вимірювальної технології виконаний порівняльний аналіз параметрів гістограм.

Для кожного досліджуваного зразка води сформовано вибірку, яка складалася щонайменше з 50 окремих зображень газорозрядного світіння у полі високовольтного розряду. В межах кожної вибірки було отримано усереднені по вибірці параметри гістограм для 12-ти інтервалів розбиття. Таким чином, оцінені кількісно параметри випромінювання для кожного досліджуваного зразка рідини склали вектори значень медіан яскравості в 12-ти інтервалах, різниць медіан у сусідніх інтервалах розбиття.

На наступному етапі виконувалося порівняння оцінених кількісних параметрів між досліджуваними зразками вод та типовими з попередньо сформованої бази даних зображень, а також між собою. З метою здійснення автоматизованої класифікації за типами води, у складі

розробленої інформаційно-виміральної технології використовується програмний блок класифікації на базі розрахунку евклідової відстані.

В результаті було експериментально встановлено, що кількісні показники яскравості випромінювання для двох зразків дистильованої води володіють найнижчими показниками біодоступності. Аналогічний результат був отриманий і при проведенні паралельних досліджень біологічних ростових тестів, які полягали у регулярному поливі культурної рослини (цибулі) відповідними зразками води. Сутність біологічного дослідження полягала у вирощуванні цибулі на вологих підложках (просочених відповідними зразками досліджуваних вод) упродовж 20 днів. На протязі біологічного експерименту вимірювали довжину коріння, ростків, масу сухого залишку.

Середні показники для біологічних характеристик води були отримані для зразка зі свердловини, зразка водопровідної води з мегаполісу та зразка природної води з м. Приморськ. Аналогічні результати отримані також при проведенні паралельного біологічного ростового тесту. Фізико-хімічний аналіз відповідних зразків дозволив виявити, що у зазначених зразках водопровідної та природної води був перевищений вміст нітратів, а у зразку води зі свердловини спостерігалось перевищення сполук заліза.

Інші три зразка води з природних джерел володіли високими показниками біодоступності, що було підтверджено як за результатами застосування інформаційно-виміральної технології аналізу зображень випромінювання води, так і на базі використання ростових тестів культурних рослин. Результати побудови гістограм та параметризації зображень представлено на рис. 1 та 2.

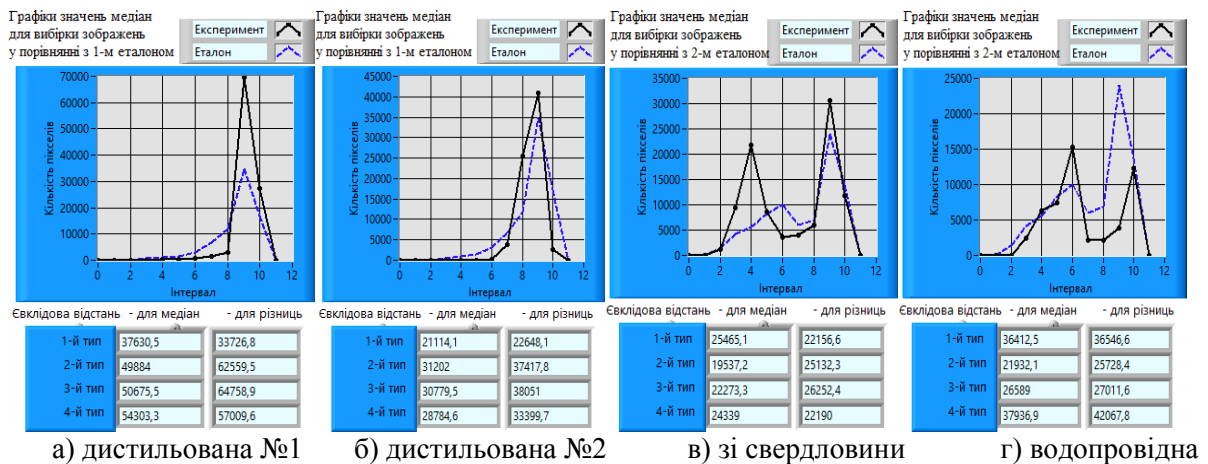


Рис. 1. Гістограми та кількісні параметри для зображень випромінювання зразків води №1-4

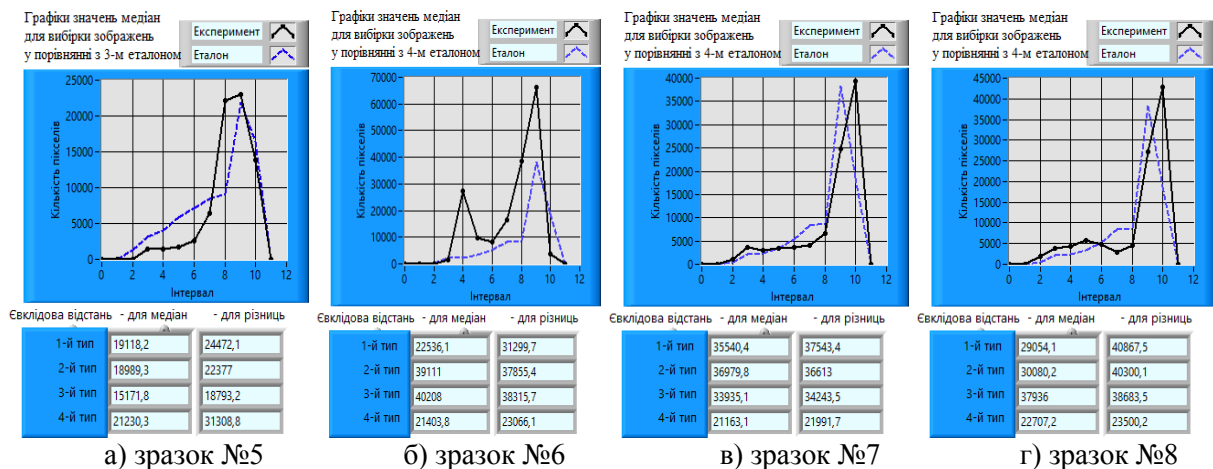


Рис. 2. Гістограми та кількісні параметри для зображень випромінювання зразків №5-8 природної води

На рис. 1 показано результати цифрової обробки зображень для двох зразків дистильованої води, а також для зразків зі свердловини і водопровідної. На рис. 2 представлено аналогічні результати розрахунків для зразків води з різних природних джерел. Інтерфейс користувача програмного забезпечення для аналізу зображень газорозрядного випромінювання забезпечує побудову 8 графіків (4 графіки гістограм досліджуваного зразку у порівнянні з типовими водами з бази даних зображень; 4 графіки для відображення різниць в інтервалах яскравості). На рис. 1 та 2 представлено графіки гістограм для 12-ти інтервалів тільки для зображень гістограм досліджуваного зразка у порівнянні з тим типовим (еталонним), для якого на базі розрахунку евклідової відстані було встановлено максимальну збіжність параметрів випромінювання.

На рис. 1 та 2 порівняння гістограм досліджуваного зразку відбувається з типовими (еталонними) водами наступних типів: 1 – дистильована; 2 – водопровідна; 3 – природна; 4 – функціональна. Усі типи води у базі даних еталонів сформовані в результаті обробки зображень зразків певного типу води (кожна з вибірок налічує щонайменше 800 зразків). У межах кожної вибірки оцінено усереднені значення медіан та різниць медіан, з якими відбувається порівняння шляхом розрахунку евклідової відстані між медіанами та їх різницями.

Висновки. Розроблена інформаційно-вимірвальна технологія дозволяє виконувати оцінку біологічних характеристик води та може виступати складовою частиною сучасних систем екологічного моніторингу за станом гідросфери.

Перевагами запропонованої інформаційно-вимірвальної технології є:

- можливість реалізації експрес моніторингу стану води та інших рідиннофазних об'єктів;
- відсутність необхідності залучення специфічних біоіндикаторів для здійснення моніторингу біологічних властивостей води;
- наявність прикладного програмного забезпечення для автоматизації аналізу зображень і їх класифікації, що відкидає необхідність присутності персоналу зі спеціальною кваліфікацією або експертів;
- при застосуванні у якості первинної інформації зображень газорозрядного випромінювання досягається можливість виконання комплексної оцінки властивостей води;
- завдяки поєднанню у складі інформаційно-вимірвальної технології сучасних інструментів обробки зображень та спеціально розроблених інструментальних засобів для параметризації специфічних ознак, що корелюють з біологічними властивостями, досягається можливість не тільки якісної оцінки біодоступності води на базі класифікації, але й кількісна оцінка у вигляді числових значень евклідової відстані між параметрами досліджуваного зразка і типовими класами.

Достовірність та ефективність методів оцінки біологічних характеристик води, використаних при розробці інформаційно-вимірвальної технології, підтверджена експериментально шляхом проведення біологічних ростових тестів при вирощуванні культурних рослин.

Інформаційні джерела

1. Nayla Omer. Water Quality Parameters / In book: Water Quality - Science, Assessments and Policy. – 2020. DOI:10.5772/intechopen.89657.
2. Spellman F.R. The Drinking Water: Handbook. 3rd ed. Boca Raton: CRC Press. – 2017. – 386 p.
3. ДСТУ 4174:2003. Якість води. Визначання сублетальної та хронічної токсичності хімічних речовин та води на *Daphnia magna* Straus та *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg (Cladocera, Crustacea).
4. ДСТУ 7387:2013. Якість води. Метод визначення цито- та генотоксичності води і водних розчинів на клітинах крові прісноводної риби Даніо репіо (*Brachydanio rerio* Hamilton-Buchanan). – Введ. 2013.
5. ДСТУ EN 26461-1-2002. Якість води. Виявлення і підрахунок спор сульфитредукуючих анаеробів (клостридіум). Частина 1. Метод збагачення в рідкому середовищі.
6. ДСТУ EN 26461-2:2004. Якість води. Виявлення і підраховування спорсульфитредукувальних анаеробів (клостридіум). Частина 2. Метод мембранного фільтрування.
7. Messori C. The Super-Coherent State of Biological Water. Open Access Library Journal. - Vol.6 No.2. 2019. - PP. 1-17. DOI:10.4236/oalib.1105236.

8. Messori C., Prinzera S.V., F.B. di Bardoni. Deep into the water: exploring the hydro-electromagnetic and quantum-electrodynamic properties of interfacial water in living systems. - Open Access Library Journal.- Vol.06, No.05(2019), PP. 47-62. DOI:10.4236/oalib.1105435.
9. Dolveck J.Y. Study of Phase Coherence of Molecular Orientations in Coherence Domains of Water by Dynamic Molecular Simulation. – Water. - №6. – 2020. DOI: 10.14294/WATER.2020.6.
10. Глухова Н.В. Інформаційна технологія для дослідження когерентного стану рідини / Н.В. Глухова // Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. - Том 32 (71). - №4. – 2021. – С.60-65. DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.4/09>.
11. Глухова Н.В. Метод визначення ступеня когерентності води з використанням методології фліккер-шумової спектроскопії / Н.В.Глухова, Л.А. Пісоцька // Системи обробки інформації. – 2015. – № 5(130). – С.167-171.
12. Глухова Н.В. Виявлення інформативних ознак зображень на базі аналізу гістограм яскравості / Н.В. Глухова // Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. - Том 31 (70). - № 4. – 2020. – С.75-80.
13. Глухова Н.В. Розробка системи експрес-класифікації води на основі бази даних зображень газорозрядного випромінювання / Н.В.Глухова, Л.А. Пісоцька, Н.Г. Кучук // Збірник наукових праць Харківського університету повітряних сил ім. І. Кожедуба. – 2015. – Вип. 3(44). – С. 112-118.
14. Спосіб визначення ступеня когерентності стану води: пат. на винахід №112809 Україна: МПК G01N 21/00, номер заявки а 2015 01841/ Л.А. Пісоцька, О.П. Мінцер, Н.В. Глухова; заявник та патентовласник Пісоцька Л.А. – Заявл. 02.03.2015; опубл. 12.09.2016, Бюл. №17. – 8с.

N. Glukhova, L. Pesotskaya

INFORMATION AND MEASUREMENT TECHNOLOGY OF EVALUATION OF BIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF WATER

The presence of a high level of environmental pollution requires constant improvement of environmental monitoring systems, including the development of new methods for studying the state of the hydrosphere. Since water is an integral part of any ecosystem, the urgent task is to study not only its physicochemical but also biological properties.

The article is devoted to the problems of developing modern methods for assessing the biological characteristics of water. The proposed information and measurement technology is based on the parameterization of recorded images of gas discharge radiation. The method is based on the possibility of detecting specific features of images of liquid radiation in the field of high-voltage discharge associated with the biological properties of water. Information and measuring technology tools provide quantitative features of image histograms. The method of image classification based on the calculation of the Euclidean distance between the medians in the brightness intervals of histograms is described. The proposed information and measurement technology provides a comprehensive assessment of the biological characteristics of water.

Keywords: *water quality, information and measuring technology, gas discharge radiation, digital image processing*

Н.В. Глухова, Л.А. Песоцкая.

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОЦЕНКИ БИОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОДЫ

Наличие высокого уровня загрязнения окружающей среды требует постоянного совершенствования систем экологического мониторинга, включая разработку новых методов исследования состояния гидросферы. Поскольку вода является неотъемлемой частью любой экосистемы, актуальной задачей является изучение не только физико-химических, но и биологических ее свойств.

Статья посвящена проблемам разработки современных способов оценки биологических характеристик воды. Предложенная информационно-измерительная технология построена на базе параметризации зафиксированных изображений газоразрядного излучения. Метод

© ¹Н.В. Глухова, ²Л.А. Пісоцька

основан на возможности выявления специфических признаков изображений излучения жидкости в поле высоковольтного разряда, связанных с биологическими свойствами воды. Инструментальные средства информационно-измерительной технологии обеспечивают получение количественных признаков гистограмм изображений. Разработана методика классификации изображений на основе расчета евклидова расстояния между медианами в интервалах яркости гистограмм. Предлагаемая информационно-измерительная технология обеспечивает предоставление комплексной оценки биологических характеристик воды.

Ключевые слова: *качество воды, информационно-измерительная технология, газоразрядное излучение, цифровая обработка изображений*