

УДК 556.541

Н.В. Глухова¹, Л.А. Пісоцька², Н.Г. Кучук³¹ДВНЗ «Національний гірничий університет», Дніпропетровськ²ДВНЗ «Дніпропетровська медична академія МОЗ України», Дніпропетровськ³Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Харків

РОЗРОБКА СИСТЕМИ ЕКСПРЕС-КЛАСИФІКАЦІЇ ВОДИ НА ОСНОВІ БАЗИ ДАНИХ ЗОБРАЖЕНЬ ГАЗОРОЗРЯДНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Виконаний аналіз сучасних методів оцінки якості питної води. Представлено результати експериментальних досліджень властивостей води на основі реєстрації зображень газорозрядного світіння зразків в імпульсному електромагнітному полі. Запропоновано методикку приведення зображень до стандартної яскравості фону. Сформовано базу даних зображень газорозрядного випромінювання. Розроблено систему класифікації води на основі обчислення евклідової відстані між медіанами кількості пікселів у піддіапазонах яскравості.

Ключові слова: газорозрядне випромінювання, цифрова обробка зображень.

Вступ

Згідно зі статистичними даними ВООЗ, більш ніж 80% хвороб сучасної людини обумовлено проблемами з якістю питної води [1]. Це пояснюється тим, що стан, структура та властивості води безпосередньо впливають на організм людини. Живі клітини здатні «працювати» тільки у водному середовищі, при цьому вода відіграє роль компоненту, який забезпечує синтез білків, протікання ферментативних реакцій та усіх процесів метаболізму.

Останні наукові дані дозволили встановити, що структура води в організмі суттєво відрізняється від тих властивостей, які притаманні їй у відкритих природних системах. Саме цей факт дозволив вчепним спочатку висунути припущення, а потім знайти підтвердження гіпотези про важливість не тільки фізико-хімічних, але й так званих біологічних властивостей води для існування живих організмів.

Таким чином, не тільки фізико-хімічний склад, але й певні структурні особливості води впливають на її якість з точки зору біологічної активності.

Постановка проблеми та аналіз літератури. Одна з перших спроб комплексної оцінки якості води реалізована у Німеччині у 1948 році, коли була встановлена кореляція між рівнем забруднення води та розповсюдження певних співтовариств організмів, таких як риби, придонні організми та рослини.

Необхідність оцінки не тільки фізичних та хімічних, але й біологічних властивостей води підкреслюється у роботі [2]. При цьому фізико-хімічні та біологічні параметри можуть бути поєднані до єдиного показника – індексу якості води (WQI). Актуальність сучасних досліджень якості води обумовлена зростаючим глобальним антропогенним впливом на водні ресурси планети.

Комплексний підхід з метою біотестування якості води було розроблено в Інституті колоїдної хімії і

хімії води НАН України [3]. У роботі підкреслюється необхідність біотестування з метою комплексної оцінки якості питної води наряду зі стандартними методами хімічного та мікробіологічного аналізів. Комплексний аналіз питної води рекомендовано проводити методами біотестування на двох рівнях. Перший з них – це дослідження токсичності на рівні організму, що передбачає аналіз реакцій гострої або хронічної токсичності для представників систематичних груп та трофічних рівнів. Другий рівень дослідження призначений для оцінки впливу характеристик води на клітинному рівні. З цією метою визначаються структурні та функціональні зміни, зокрема гено- і цитотоксичність спадкового апарату [4, 5].

Гостра та хронічна види токсичності зразків води досліджувалися на безхребетних тваринах (цефіадафнії, гідри *Hydra attenuata*), на хребетних тваринах (риби) та рослинах (цибуля *Allium cepa*). Авторами роботи зазначається [3], що саме використання декількох біотестів забезпечує об'єктивну оцінку впливу води на організм, а визначення тільки фізико-хімічного складу недостатньо.

При цьому для практичного застосування біотести вимагають кількісної інтерпретації отриманих результатів. Для вирішення завдання було запропоновано індекс загальної токсичності, який враховує ефекти від усіх біотестів [6].

Класифікація питної води включає чотири категорії [7]. На основі біотестування фасованої питної води авторами роботи [3] запропоновано три категорії. Окрім фізико-хімічного складу та біологічних властивостей води, в останній час особливу увагу науковців з різних галузей привертає питання структурної побудови води.

Уперше модель рідкої води, побудована на базі концепції існування водневих зв'язків була запропонована Берналом та Фаулером [8]. Спираючись на дослідження, в результаті яких було встановлено,

що структура льоду складається з тривимірної неперервної сітки, вчені висунули припущення щодо існування подібної сітки у структурі рідкої води. Найважливішими досягненнями наукових досліджень Дж. Бернала та П. Фаулера вважаються ідея існування неперервної тетраедричної сітки та збереження елементу двохструктурності.

Відтоді та й досі з точки зору класичних фізико-хімічних моделей приймається припущення, що молекули в структурі води поєднані водневими зв'язками, які утворюють неперервну тривимірну сітку. Однак запропонована модель була нездатна пояснити немонотонні залежності багатьох властивостей води (об'єм, стисливість, теплоємність) від температури та деяких параметрів (коефіцієнт дифузії, в'язкість) від тиску.

Саме ці проблеми невідповідності теоретичних припущень реальним експериментальним даним, отриманим шляхом вимірювань, призвели до необхідності пошуку нових теорій та моделей, однією з яких стала модель двох станів, яка у тому або іншому вигляді застосовується вченими й досі.

З початку ХХ ст. набули розвитку так звані «гідроліні» або «кластерні» моделі води. Незвичайні характеристики води намагалися пояснити на основі ідеї, що вода є асоційованою рідиною. Поняття асоціації передбачає існування зв'язаних сильними хімічними зв'язками молекул.

Сучасний підхід до оцінки структурних особливостей рідкої фази води вимагає визначення наявності кластерів або інших сполук молекул. Ідея існування води у двох станах передбачає наявність у її структурі індивідуальних водних молекул, а також певних конгломератів – сукупностей молекул, поєднаних один з одним на основі водневих зв'язків. Експериментально така побудова води була доведена методами статистичного та механічного аналізів [9].

Автор роботи [10] відзначає важливість оцінки структурного стану води. Пропонується визначення наявності гігантських гетерофазних кластерів води з метою виявлення з високою точністю фальсифікатів лікарських препаратів, питної води, харчових та інших продуктів з використанням води у вигляді розчинника. Спосіб реалізується шляхом почергового вимірювання світлорозсіювання, цифрової обробки різницевого зображення, що дозволяє отримати залежність процентного вмісту кластерів від їх розмірів або значення концентрації кластерів.

Аналіз сучасного стану питання оцінки якості води наявно демонструє загальний висновок науковців з різних галузей про необхідність формування комплексних критеріїв якості води, що включають не тільки стандартні фізико-хімічні показники, але й обов'язкове урахування біологічних та структурних особливостей рідини. Однак оцінка останніх двох властивостей на сьогоднішній день нестандартизо-

вана, що викликає підвищений науковий інтерес та сприяє розробці різноманітних нових підходів до питання. Основним недоліком переважної кількості запропонованих способів оцінки якості та класифікації типів води, безумовно, є їх складність, трудомісткість та значні витрати часу на проведення експериментальних досліджень. Саме тому виявляється актуальною задача експрес-оцінки та експрес-класифікації зразків води.

Метою даної роботи є розробка системи експрес-класифікації води на основі бази даних зображень газорозрядного випромінювання зразків різних типів води.

Основна частина

Метод газорозрядного випромінювання полягає в реєстрації картини газорозрядного випромінювання від зразка рідиннофазного об'єкта, який піддається короткочасному впливу зовнішнього імпульсного електромагнітного поля.

Зазвичай метод отримання зображень такого типу використовується у галузі медицини з метою підтримки прийняття діагностичних рішень. Застосування цього методу розповсюджується також на великий спектр різноманітних прикладних завдань з різних галузей – від способів неруйнівного контролю до визначення складу медичних препаратів.

Прилади для реалізації принципу вимірювань, який базується на фізичних ефектах, що породжуються газорозрядним світінням об'єктів, характеризуються відносно низькою вартістю, можливістю портативного виконання, не потребують спеціальної кваліфікації персоналу для проведення експерименту. Однак широке розповсюдження та практичне застосування методу вимірювань, заснованому на отриманні зображень газорозрядного випромінювання, суттєво гальмується недостатньою розробкою методичного, метрологічного, алгоритмічного забезпечення методу та відсутності стандартизованих методик інтерпретації результатів вимірювань.

Ситуація ще більше ускладнюється тим фактом, що результатом вимірювань виступають зображення. Як відомо, на сьогоднішній день методи обробки та параметризації зображень мають принципово евристичний характер та вимагають індивідуальних підходів при необхідності адаптації до розв'язання певного класу задач.

Проте вже існує низка перспективних інноваційних розробок методик оцінки характеристик рідиннофазних об'єктів саме методом отримання зображень газорозрядного випромінювання.

Розглянемо декілька конкретних прикладів застосування методу:

1. Виявлення відмін між хімічно близькими за складом рідиннофазними об'єктами (натуральні та синтетичні ефірні масла) [11].

2. Виявлення слабких змін фізико-хімічних властивостей у рідиннофазних об'єктах [12].

3. Підвищення достовірності та ефективності визначення стану рідиннофазних об'єктів при експрес-контролі якості та чистоти використаних у медицині водних розчинів [13].

4. Аналіз якості мінеральних вод [14-15].

5. Кількісна оцінка фізичних властивостей води (в'язкість та поверхневий натяг, електропровідність, концентрація електролітів) на основі аналізу геометричних ознак зображень газорозрядної візуалізації [16-18].

6. Визначення ступеня впливу різних композицій іонів рідиннофазних об'єктів на коронний розряд навколо крапель [19-21].

7. Дослідження розчинів низьких концентрацій, зокрема аналіз гомеопатичних препаратів [22].

8. Метод експрес-оцінки біологічних властивостей води [23-24].

9. Оцінка ступеня когерентності води на базі методології фліккер-шумової спектроскопії [25].

Наведений список можна продовжувати ще декількома десятками праць аналогічної тематики. Однак, навіть з аналізу цього далеко не повного огляду зрозуміло, що на даний момент існують теоретично та експериментально обґрунтовані наукові результати, які свідчать про спроможність методу вимірювань, заснованому на реєстрації зображень газорозрядного випромінювання, виявляти як фізико-хімічні, так і біологічні та структурні особливості води та водних розчинів.

Узагальнюючи результати, отримані науковцями з різних країн у різних галузях, можна стверджувати, що саме метод визначення властивостей води на основі аналізу зображень газорозрядного випромінювання здатний забезпечити комплексну оцінку стану води. Першим кроком розв'язання завдання щодо розробки методу оцінки якості води методом газорозрядного випромінювання є встановлення певних геометричних та яскравісних ознак зображень випромінювання води шляхом параметризації картин світіння. Другим кроком є накопичення та систематизація великої кількості зображень випромінювання різних типів води таким чином, щоб отримати вибірку, достатню до реалізації статистичних розрахунків. Третім кроком є розробка методичного, алгоритмічного та програмного забезпечення для експрес-класифікації води на основі використання синтезованої бази даних зображень випромінювання.

На сьогодні існують принципові проблеми у сфері обробки даних експериментів з отриманням картин газорозрядного світіння з точки зору метрологічної оцінки невизначеності та відтворюваності результатів. На перший план виходять проблеми відсутності значних за обсягом баз експериментальних даних [13, 26]. Як було зазначено вище, в прак-

тичному аспекті застосування методу найбільша увага приділяється дослідженню стану біологічних об'єктів. Що стосується експериментів, присвячених дослідженню газорозрядного випромінювання рідиннофазних об'єктів, то вони незначні. Тому авторами було поставлено завдання побудувати базу експериментальних даних саме для зображень випромінювання рідиннофазних об'єктів. Основною метою було виділення в перспективі декількох типів води з інтуїтивно зрозумілими для споживача характеристиками.

Результати та їх обговорення

При побудові експериментальної бази дослідженню методом газорозрядного випромінювання підлягали 4 типи води: дистильована, водопровідна, природна, функціональна (з підтвердженими лікувальними властивостями). Для кожного типу води отримано вибірки експериментальних даних у вигляді зображень газорозрядного випромінювання зразків. Обсяг вибірок складав не менш, ніж 400 зображень.

Алгоритм статистичної обробки результатів будуватиметься на виконанні морфологічного аналізу, який передбачає виділення окремих операцій параметризації цифрових зображень та обробки даних. Оскільки при використанні методів вимірювань, заснованих на газорозрядному світінні, та їх апаратних реалізацій у вигляді певних конструктивних рішень основним результатом вимірювань є зображення, то ключовим моментом обробки результатів виявляється параметризація цифрових зображень.

З точки зору статистичної обробки вибірок експериментальних даних обґрунтованим та ефективним виявляється варіант аналізу гістограм яскравості зображень газорозрядного світіння [27]. При переході від обробки одиничних зображень до аналізу великих за обсягом вибірок з метою формування бази даних необхідно врахувати ряд важливих моментів.

При побудові бази даних типових зразків води у якості конструктивної реалізації методу досліджень було обрано класичний метод реєстрації на рентгенівський фотоплівці з подальшим скануванням отриманих фотографій. Відомо, що властивості фотоматеріалів різних виробників і навіть окремих партій продукції одного виробника можуть суттєво розрізнятися. При отриманні зображень газорозрядного світіння це, у першу чергу, впливає на яскравість отриманого зображення в цілому.

Для приведення усіх зображень до стандартної яскравості розроблений алгоритм обчислення середньої яскравості пікселів фону та нормування яскравості фону до 1 (рис. 1).

У матриці яскравості пікселів для напівтонового растрового зображення їх значення стандартно кодуються цілими числами з діапазону 0-255.

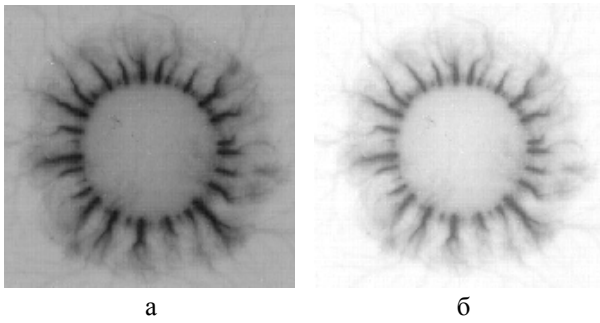


Рис. 1. Приведення зображень газорозрядного випромінювання до стандартної яскравості:
а, б – вихідне зображення та з перетворенням фону

Значення яскравості пікселів, які відповідають кольору рентгенівської плівки коливаються у певних межах, тому для встановлення яскравості фону пропонується обчислення середньої яскравості для області фону:

$$bg_{\Sigma} = \sum_{i=n_1}^{n_2} \sum_{j=m_1}^{m_2} f(i, j),$$

де (n_1, m_1) , (n_2, m_2) – координати меж області фону.

Оскільки для різних зображень значення середньої яскравості фону bg_{Σ} виявляється різним, то для отримання стандартизованої шкали на гістограмі, усі значення яскравості ділять на середню яскравість фону bg_{Σ} .

Треба особливо підкреслити, що запропонована операція стандартизації фону зображення принципово відрізняється від таких операцій покращення зображень як відсікання за порогом яскравості або фільтрація. Дві останні неодмінно призводять до викривлення вихідного зображення, оскільки фактично виконують фільтрацію та видалення «шумової» компоненти, яка у такому випадку апріорі вважається неінформативною складовою, завадою. У методі газорозрядної візуалізації з реєстрацією на цифрову камеру на основі використання ПЗЗ-матриць необхідність операції фільтрації завад обґрунтовується обов'язковою присутністю шумів самої цифрової камери. При використанні класичного способу реєстрації випромінювання на фотоматеріалі джерело випадкової похибки у вигляді завад ПЗЗ-матриць відсутнє, тому неможливо апріорі вважати існуючий на фотоплівці шум неінформативним.

Наступним кроком алгоритму статистичної обробки вибірок зображень газорозрядного випромінювання є параметризація та їх усереднення у межах вибірок оцінка. При обробці експериментальних даних, а саме при обчисленні вибіркового середнього, дисперсії та довірчого інтервалу, необхідно володіти інформацією щодо закону розподілу ймовірностей значень вимірюваної величини. Оскільки при параметризації цифрових зображень газорозрядного випромінювання використовувалися гістограми як

равості пікселів, то ідентифікацію закону розподілу випадкових складових даних експерименту, будемо проводити, спираючись на цифровий матеріал у вигляді кількості пікселів певного відтінку сірого кольору напівтонового растрового зображення.

Нажаль багато дослідників «за умовчанням» використовують при обробці експериментальних даних нормальний закон розподілу, використовуючи у якості підґрунтя центральну граничну теорему. У такому випадку застосовуються стандартні статистичні процедури. Але такий підхід не завжди виправданий, оскільки стандартні процедури достатньо чутливі до незначних відхилень від гіпотез про нормальність розподілу. При наявності сумнівів рекомендовані до використання так звані робастні процедури, нечутливі до малих відхилень до гіпотез.

Нерідко на практиці виникають ситуації, коли розподіл невідомий. Експериментальні дані не «вписуються» у відомі моделі законів розподілу. У такому випадку класичні стандартні методи виявляються неефективними. Для ідентифікації закону розподілу використовуються графічні та аналітичні методи. На першому етапі (висунення гіпотези про можливий закон розподілу випадкових величин) рекомендується впровадження графічного методу, що полягає у побудові гістограм. За певним видом гістограм висувається гіпотеза про можливий закон розподілу. Надалі вона перевіряється аналітичними методами (застосування критеріїв узгодження).

При цифровій обробці зображень стандартно використовується гістограма яскравості пікселів, кількість стовпчиків якої для напівтонового растрового зображення визначається кількістю градацій сірого кольору. Зазвичай це число дорівнює 256. Відомо, що при такій кількості стовпчиків гістограма набуває так званого «гребінчастого», мультимодального типу. Для уникнення цієї проблеми кількість стовпчиків при статистичній обробці було скорочено до 12. Таким чином, для кожного з 12 інтервалів оцінюється кількість пікселів зі значеннями яскравості, які належать цьому інтервалу.

Наступний етап обробки вибірок зображень для чотирьох типів води полягає в усередненні кількості пікселів у кожному інтервалі розбиття в цілому для вибірки, яка відповідає типу води з певними властивостями. Для однотипних зразків води обсяг вибірок складає 400-450. Для експериментальних даних побудовано гістограми.

На основі аналізу гістограм розподілу можна зробити висновок про невідповідність розподілу експериментальних даних нормальному. У такому випадку застосування стандартної методики обробки виявляється некоректним. Тому для обчислення усереднених значень яскравості пікселів у межах певних інтервалів розбиття оцінюються значення не середніх арифметичних, а медіан.

З метою забезпечення достовірності результатів класифікації було експериментально отримано, збережено та систематизовано значну кількість зображень газорозрядного випромінювання для чотирьох класів води. Розроблено прикладне програмне забезпечення, що реалізує такі задачі:

1. Обчислення для кожного типу води найбільш ймовірного значення кількості пікселів, що розташовано у кожному з дванадцяти піддіапазонів яскравості. Розрахунки проведено на базі оцінки медіани для вибірок, обсяг яких перевищує 400 зображень газорозрядного випромінювання. Розроблене програмне забезпечення дозволяє за необхідності відновлювати та розширювати базу даних.

2. Розроблено методику, алгоритми та відповідне програмне забезпечення для порівняння досліджуваних зразків води з існуючою базою даних типових класів води. У якості вхідних даних можуть використовуватися як одне зображення світіння краплі рідини, так і вибірка довільного обсягу. У разі використання низки зображень газорозрядного випромінювання висувається вимога до їх однотипності: вони повинні бути виконані для одного й того ж зразка води та являти собою серію зображень з однаковими умовами отримання. Це забезпечує достовірність виконаних розрахунків та класифікації. Якщо в якості вхідних даних використовується вибірка зображень, то для неї аналогічно описаному вище алгоритму реалізується розрахунок усереднених у межах вибірки оцінок кількості пікселів у піддіапазонах яскравості.

3. Віднесення досліджуваного зразка води до одного з виділених типів (процедура класифікації) виконується на основі обчислення евклідової відстані між значеннями кількості пікселів у піддіапазонах яскравостей:

$$d(k, z) = \sqrt{(k_1 - z_1)^2 + (k_2 - z_2)^2 + \dots + (k_{12} - z_{12})^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^{12} (k_i - z_i)^2},$$

де k_i – найбільш ймовірна кількість пікселів, що потрапили в i -й інтервал для типового класу води; z_i – кількість пікселів, що потрапили в i -й піддіапазон яскравостей для зображень досліджуваного зразка води, який необхідно віднести до одного з відомих класів.

4. Побудова графіків медіан кількості пікселів для піддіапазонів, а також графіку різниць цих значень у сусідніх діапазонах. Побудова графіків дозволяє наявно продемонструвати відміну геометричних та яскравісних ознак між типовими класами зображень та картиною світіння досліджуваного зразка. Графіки різниць наявно демонструють яскравісну динаміку для зображень.

5. Прикладне програмне забезпечення дозволяє також автоматично сформулювати звіт про виконання досліджень, записує результати розрахунків у

виділі таблиці числових значень у форматі електронної таблиці Excel. На рис. 2 представлено результати застосування програми при обробці експериментальних даних. З результатів розрахунків можна зробити висновок про віднесення досліджуваного зразка до типової водопровідної води.

Висновки

Проблема якості питної води на сьогоднішній час займає одне з перших місць в аспекті охорони здоров'я людини та захисту навколишнього середовища від техногенних забруднень. Однак, як показує аналіз екологічної ситуації, що склалася в багатьох країнах світу, виявляється низка нерозв'язаних питань не тільки на етапі очищення, але вже на етапі санітарного та екологічного моніторингу стану води.

Значна кількість науковців з різних галузей, які займаються проблемою якості води, сходяться на думці, що класичних методів аналізу фізико-хімічного складу води недостатньо для формування комплексної оцінки її стану.

Однак ті методи оцінки біологічних та структурних властивостей води, які пропонуються на сьогоднішній день, володіють низкою недоліків. Головні з них – це трудомісткість, коштовність, потреба у великих витратах часу та вимоги щодо персоналу певної кваліфікації.

Метод реєстрації газорозрядного випромінювання рідиннофазних об'єктів, стимульованих зовнішнім впливом у вигляді імпульсного електромагнітного поля, виявляється перспективною альтернативою існуючим. Широкі можливості методу щодо оцінки не тільки фізико-хімічних, але й біологічних та структурних особливостей води, підтверджено рядом досліджень вчених з декількох країн.

Основним недоліком методу, заснованому на отриманні та обробці зображень газорозрядного світіння, виявляється відсутність стандартизованих методів аналізу зображень, а також відповідного метрологічного, алгоритмічного та програмного забезпечення. У даній роботі виконано декілька кроків для вирішення цієї проблеми.

Основними результатами є наступні:

1. Розробка способу приведення зображень на фотоматеріалі до стандартної яскравості фону.
2. Формування бази експериментальних даних зображень газорозрядного випромінювання.
3. Розробка методики розрахунку усереднених оцінок яскравісних ознак виділених класів води.
4. Розробка методики класифікації вод на основі обчислення евклідової відстані між значеннями медіан у піддіапазонах яскравості.

Розглянуті методики обробки та експрес-класифікації зображень газорозрядного випромінювання рідиннофазних об'єктів пропонуються для використання у системах екологічного моніторингу.

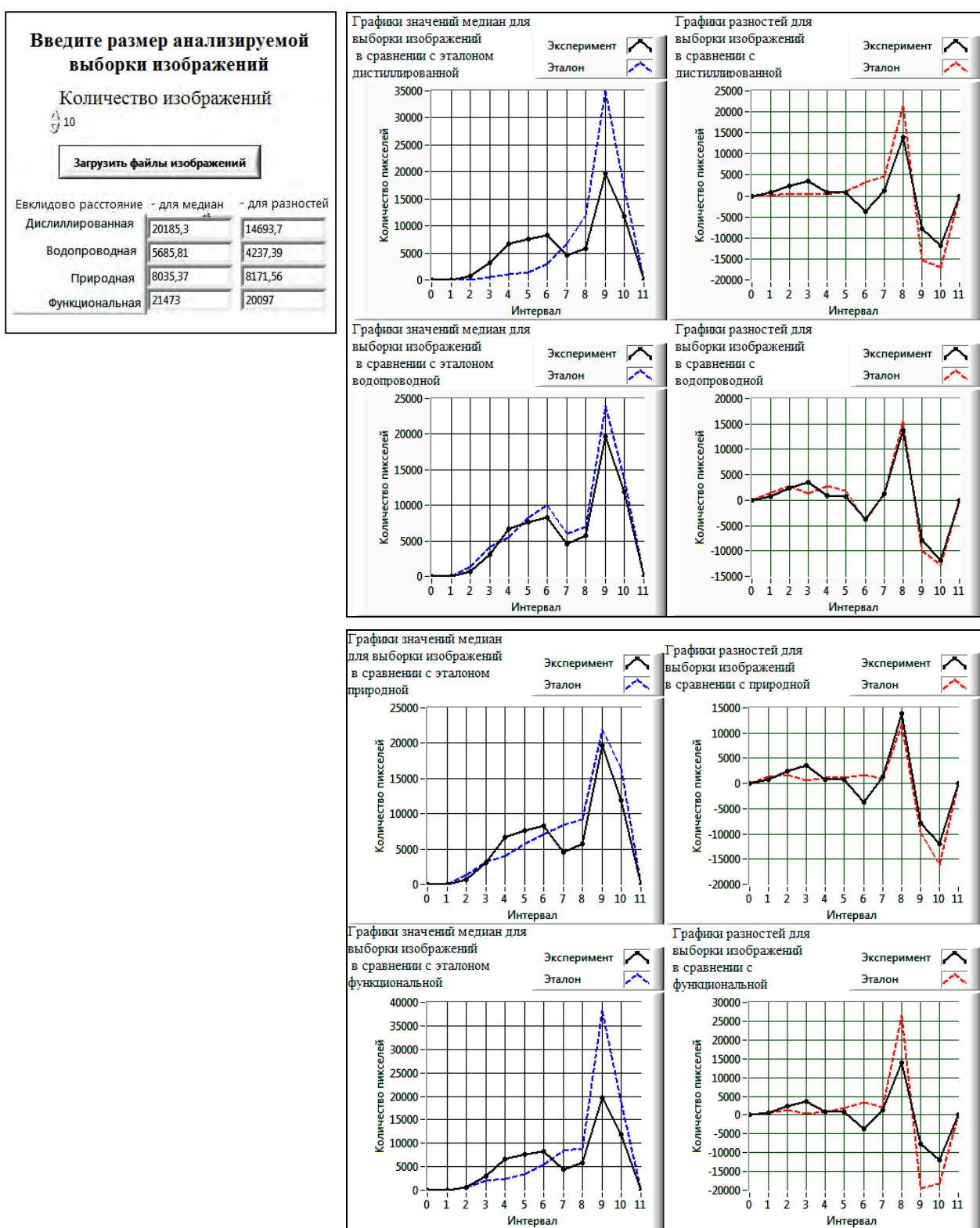


Рис. 2. Інтерфейс користувача програми класифікації для чотирьох типів води

Список літератури

1. Курик М.В. Проблеми якості питної води в Україні / М.В. Курик, Г.М. Семчук, В.Ф. Скубченко // Фізична екологія людини. – №6. – 2012. – С.46-56.
2. Ribeiro Alves M.T. A literatura científica global de pesquisa sobre os índices de qualidade da água: tendências, vieses e direções futuras [Електронний ресурс] / M.T. Ri-

- beiro Alves, F.B. Teresa, J. C. Nabout. // Acta Limnol. Bras., vol. 26, no.3, 2014. – Режим доступу: <http://dx.doi.org/10.1590/S2179-975X2014000300004>.
3. Комплексна оцінка якості фасованих вод / В. Гончарук, В. Архитчук, Г. Терлецька, Г. Корчак // Вісник НАН України. – 2005. – N 3. – С. 47-58.
4. Архитчук В.В. Применение комплексного подхода в биотестировании природных вод / В.В. Архитчук, М.В. Малиновская // Химия и технология воды. – 2000. – №4. – С. 428-443.

5. Архипчук В.В. Биотестирование качества воды на клеточном уровне / В.В. Архипчук, В.В. Гончарук // Химия и технология воды. – 2001. - №5. – С.531-544.
6. Toxicity assessment of water samples with a set of animal and plant bioassays / V.V. Arkhipchuk, V.D. Romanenko, M.V. Malinovskaya et al. // Environ. Toxicol. – 2000. – N. 4. – P. 277-286.
7. Архипчук В.В. Оценка качества питьевых бутылированных вод методами биотестирования / В.В. Архипчук, В.В. Гончарук // Химия и технология воды. – 2004. – №5. – С. 485-525.
8. Bernal J.D., Fowler R.H. // J. Chem. Phys. – 1933. – 1. – P. 515 – 548. Русский перевод: Дж. Бернал, Р. Фаулер // Успехи физ. наук. – 1934. – 14. – С. 586 – 644.
9. Considini D.M. Encyclopedia of Chemistry / D.M. Considini. – Van Nostrand Reinhold Co., New York. – 1984.
10. Способ определения структурного состояния воды. Патент RU 2346263.
11. Исследование временных рядов характеристик газоразрядного свечения жидкофазных объектов / К.Г. Коротков, Э.В. Крыжановский, С.А. Короткина и др. // Изв. вузов. Приборостроение. – 2003. – Т. 45, № 6. – С. 18-24.
12. Крыжановский Э.В. Метод контроля жидкофазных объектов на основе газоразрядной визуализации: Дисс. на соискание уч. степени канд. техн. наук., СПб. – 2003. – 103 с.
13. Коломієць Р.О. Біотехнічна система на основі ефекту Кірліан для аналізу рідиннофазних об'єктів / Р.О. Коломієць // Автореф. дис. к.т.н. Вінниця. – 2011. – 19 с.
14. Ignatov I., Mosin O.V. (2013) Possible Processes for Origin of Life and Living Matter with modeling of Physiological Processes of Bacterium Bacillus Subtilis in Heavy Water as Model System, Journal of Natural Sciences Research, Vol. 3, No. 9, pp. 65-76.
15. Ignatov I. Origin of Life and Living Matter in Hot Mineral Water / I. Ignatov, O.V. Mosin // Advances in Physics Theories and Applications, –2015. – Vol. 39. – P. 1-22.
16. Korotkov K. Concentration dependence of gas discharge around drops of inorganic electrolytes / K. Korotkov, D. Korotkin // J. Appl. Phys. – 2001. – N. 89. – P. 47-52.
17. Крыжановский Э.В. Исследование газоразрядной визуализации растворов электролитов при различных концентрациях и взаимодействии с электромагнитным полем / Э.В. Крыжановский // Современные технологии, Сб. трудов молодых ученых. – СПб., СПбИТМО, 2001. – С. 15-26.
18. Time dynamics of the gas discharge around drops of liquids / K. Korotkov, E. Krizhanovsky, M. Borisova, D. Korotkin et al. // J. Appl. Phys. – 2004. – 95. – P. 33.34-33.38.
19. Influence of ionic composition of water on the corona discharge around water drops / M. Skarja, M. Berden, P. Papuga, I. Jerman // J. of Applied Physics. – 1998. – Vol. 84, N 5. – P. 2436-2560.
20. SInstrumental measuring of different homeopathic dilutions of KI in water / M. Skarja, M. Berden, P. Papuga, I. Jerman // J. of Acupuncture & Electro-Therapeutics Res. – 1999. – Vol.24, N.1. – P. 29-44.
21. Skarja M. Indirect instrumental detection of ultraweak, presumably electromagnetic radiation from organism / M. Skarja, M. Berden, I. Jerman // Electro and Magnitobiology. – 1997. – Vol. 16, N3. – P. 249-258.
22. Thirumaal A. Kirlian Photography...a novel concept [Електронний ресурс] / A. Thirumaal. – Homoeo Times (2005), December, Vol. 2, – P.14-22. – Режим доступу: <http://www.homoeotimes.com/archive/autthirumal.htm>.
23. Глухова Н.В. Розробка методу експрес-оцінки біологічних властивостей води / Н.В. Глухова // Східно-європейський журнал передових технологій. - № 6/5(72). – 2014. – С. 18-25.
24. Глухова Н.В. Методи реєстрації та вейвлет-аналізу зображень газорозрядного випромінювання / Н.В. Глухова, Л.А. Пісоцька // Системи обробки інформації. – X: ХУПС, 2015. – Вип. 1 (126). – С. 16-19.
25. Глухова Н.В. Оцінка ступеня когерентності води на базі методології фліккер-шумової спектроскопії / Н.В. Глухова // Досягнення науки та практики // Матеріали XVIII Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми и перспективи развития науки в условиях евроинтеграции», Чернівці, 27-28 лютого 2015 р. - Т. 1. – К.: Науково-видавничий центр «Лабораторія думки», 2015. – С. 11-13.
26. Коротков К.Г. Основы ГРВ биоэлектрографии / К.Г. Коротков. – СПб. СПбИТМО (ТУ), 2001. – 360 с.
27. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.

Надійшла до редколегії 30.06.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.В. Слесарев, ДВНЗ «Національний гірничий університет», Дніпропетровськ.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ЭКСПРЕСС-КЛАССИФИКАЦИИ ВОДЫ НА ОСНОВЕ БАЗЫ ДАННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ГАЗОРАЗРЯДНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Н.В. Глухова, Л.А. Песоцкая, Н.Г. Кучук

Выполнен анализ современных методов оценки качества питьевой воды. Представлены результаты экспериментальных исследований свойств воды на основе регистрации изображений газоразрядного свечения образцов в импульсном электромагнитном поле. Предложена методика приведения изображений к стандартной яркости фона. Сформирована база данных изображений газоразрядного излучения. Разработана система классификации воды на основе вычисления евклидова расстояния между медианами количества пикселей в поддиапазонах яркости.

Ключевые слова: газоразрядное излучение, цифровая обработка изображений.

THE DEVELOPMENT OF WATER EXPRESS CLASSIFICATION SYSTEM, THAT BASED ON A DATABASE OF GAS-DISCHARGE EMISSION IMAGES

N.V. Glukhova, L.A. Pesockaya, N.G. Kuchuk

Evaluation modern methods of drinking water quality were analyzed. The results of experimental investigations of water properties, that based on the samples of gas-discharge emission images in a pulse electromagnetic field were submitted. The methods of bringing the image to the standard background brightness had been proposed. The database of database of gas-discharge emission images was formed. The water classification system, that based on calculation of the Euclidean distance between the medians of the pixels number in the brightness sub-bands was developed.

Keywords: gas-discharge radiation, digital image processing.