

ВІДГУК

офіційного опонента, доктора фізико-математичних наук

Ващенко Володимира Миколайовича

на дисертаційну роботу

КВАТЕРНЮКА СЕРГІЯ МИХАЙЛОВИЧА

“Розвиток наукових основ мультиспектральних методів та технічних засобів контролю екологічного стану водних об’єктів”

що подана на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 21.06.01 – екологічна безпека

Актуальність теми дисертаційного дослідження.

Оперативний контроль екологічного стану водних об’єктів необхідний для своєчасного прийняття науково обґрунтованих рішень в системі управління їх екологічною безпекою. Нормативно-правове забезпечення державного моніторингу вод в Україні поступово наближається та узгоджується до законодавства ЄС, зокрема, до вимог Водної Рамкової Директиви 2000/60/ЄС. У новому «Порядку здійснення державного моніторингу вод» встановлено, що державний моніторинг масивів поверхневих та підземних вод здійснюється за біологічним, фізико-хімічними, хімічними та гідроморфологічними показниками. При цьому, достовірний контроль комплексного забруднення водних об’єктів різними хімічними сполуками, що враховує їх взаємодію, можливий саме за біологічними показниками з використанням методів біоіндикації та біотестування. Нажаль, сучасні методи вимірювань таких показників не забезпечують достатню точність вимірювань, а, відтак, і достовірність контролю. При цьому, зрозуміло, коли мова йде про технічні засоби і системи контролю забруднення водних середовищ, то найбільш ефективними, точними, оперативними є оптичні, зокрема, мультиспектральні, що дозволяють здійснювати експресний контроль забруднення водних середовищ вибраних спектральних діапазонах.

Тому, комплексна розробка нових мультиспектральних методів та технічних засобів екологічного контролю, що враховують вплив їх характеристик і параметрів на ефективність процесу контролю забрудненості водних середовищ та оцінювання екологічного стану водних об'єктів, необхідна для забезпечення комплексного розв'язання завдань управління екологічною безпекою водних об'єктів.

Відтак, актуальність тематики та поставлених у роботі завдань, мети, проблеми та основної ідеї не викликає сумніву.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Тематика наукових досліджень у повній мірі узгоджується з основними положеннями “Концепції національної екологічної політики України на період до 2020 року” та «Основних засад (стратегії) державної екологічної політики України на період до 2020 року». Наукові дослідження по дисертаційній роботі здійснювались у рамках проведення ряду держбюджетних та госпдоговірних науково-дослідних робіт у Вінницькому національному технічному університеті за період з 2011 по 2018 р., зокрема, держбюджетних НДР “Розроблення заходів екологічної безпеки у сфері поводження з небезпечними відходами та дослідження їх впливу на водні об'єкти із використанням біосенсорних технологій” (реєстраційний номер 0118U000208); “Розробка методів та засобів мультиспектрального телевізійного вимірювального контролю та діагностування параметрів неоднорідних біологічних середовищ” (реєстраційний номер 0116U004706); “Розробка методів та засобів вимірювального контролю оптичних параметрів неоднорідних середовищ на основі мультиспектральних зображень” (реєстраційний номер 0114U003459); “Розроблення спектрополяриметричних методів та засобів локації і контролю для дослідження полідисперсних середовищ в екологічному моніторингу” (реєстраційний номер 0111U001107); “Розроблення оптичних засобів та вдосконалення методів контролю концентрації фітопланктону у водних об'єктах” комплексної держбюджетної НДР “Розроблення вимірювальних засобів та нових методів оперативного контролю інтегральних параметрів забруднення водних середовищ” (реєстраційний номер 0114U003739С); госпдоговірної НДР “Еколого-економічне обґрунтування та розроблення природоохоронних

заходів для водних об'єктів та прибережної території підприємства «Енергогарант» ТОВ» (реєстраційний номер 0114U004573), у яких здобувач був відповідальним виконавцем.

Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації.

Наукові положення, основні теоретичні і практичні результати, отримані і сформульовані в дисертаційній роботі, за рівнем обґрунтованості й достовірності є достатніми і належним чином обґрунтованими. Для їх одержання автором проведені необхідні теоретичні та експериментальні дослідження, що базуються на результатах аналізу великої кількості вітчизняних та закордонних літературних джерел. Достовірність результатів дисертаційної роботи підтверджується використанням науково обґрунтованих методик досліджень та обробки експериментальних даних, коректністю математичного моделювання та його задовільним збігом з експериментальними результатами. Крім того, за результатами роботи автором отримано патенти на корисну модель, а також здійснено успішні впровадження розроблених методів та засобів, що відзначено відповідними актами у додатках дисертації.

Наукова новизна роботи полягає у розвитку наукових основ мультиспектральних методів та технічних засобів, які враховують вплив їх характеристик і параметрів на ефективність процесу контролю показників забруднення водних середовищ та оцінювання екологічного стану водних об'єктів.

Основні наукові результати такі:

– *вперше* запропоновано метод мультиспектрального контролю екотоксичності, як інтегрального показника забруднення поверхневих вод з використанням опосередкованого вимірювання концентрації частинок мікроводоростей з обробленням результатів із застосуванням нейромережі та нейро-нечіткої мережі;

– *вперше* запропоновано метод мультиспектрального контролю забруднення поверхневих вод водних об'єктів, що полягає у визначенні відносних розмірів сегментів поверхні водного середовища з вищими

водними рослинами, які мають морфологічні зміни за результатами аналізу їх мультиспектральних зображень;

– *вперше* за результатами моделювання процесу світлорозсіювання у шарах водного середовища з фітопланктоном із застосуванням запропонованої удосконаленої моделі виявлено відносний внесок окремих шарів у загальний коефіцієнт дифузного відбиття, що дозволяє оцінити глибину приповерхневого шару водного об'єкта до якої здійснюються мультиспектральні дослідження;

– *удосконалено* метод оцінювання екологічного стану водних об'єктів, що використовує мультиспектральний аналіз частинок фітопланктону з визначенням їх видового складу та розрахунком індексів біорізноманіття;

– *удосконалено* метод оцінювання екологічного стану водних об'єктів, що полягає у опосередкованому мультиспектральному вимірюванні біомаси фітопланктону та співвідношення між його основними пігментами у приповерхневому шарі водних об'єктів з використанням запропонованих регресійних рівнянь;

– *набула подальшого розвитку* математична модель поширення випромінювання у водних середовищах з вищими водними рослинами, яка враховує ефект локалізованого поглинання випромінювання на їх спектральні характеристики, який залежить від форми та розмірів розсіювачів;

– *набуло подальшого розвитку* застосування методу мультиспектрального контролю інтегральних параметрів забруднення у очисному комплексі з використанням вищих водних рослин на основі аналізу їх мультиспектральних зображень із застосуванням запропонованої експертної системи на базі нечіткої логіки або нейромережі.

Практична значимість результатів роботи полягає у розробленні технічних засобів мультиспектрального контролю екологічного стану водних об'єктів на основі вдосконалених методів мультиспектральних вимірювань. При цьому було розроблено та виготовлено дослідні зразки технічних засобів мультиспектрального контролю; розроблено програмне забезпечення що здійснює управління засобами контролю та обробку мультиспектральних зображень з використанням регресійних рівнянь, нейромережі та нейро-

нечіткої мережі; розроблено науково-методичні рекомендації використання розроблених мультиспектральних методів та технічних засобів у системі управління екологічною безпекою водних об'єктів.

Повнота викладу наукових положень в опублікованих працях.

Публікації охоплюють основний зміст дисертаційної роботи та достатньо повно відображають основні результати та наукові положення дисертаційної роботи.

Матеріали дисертаційної роботи опубліковано в 93 наукових працях, з яких: 1 монографія, 3 розділи у монографіях, 28 статей у наукових фахових виданнях України, 12 публікацій у наукових періодичних виданнях інших держав, 6 патентів України на корисну модель, 42 тези на міжнародних конференціях.

Основні наукові положення та результати отримані в ході виконання дисертаційної роботи доповідалися і обговорювалися здобувачем на 23 наукових конференціях.

Аналіз змісту дисертації.

Дисертаційна робота Кватернюка С.М. представляє собою завершену наукову працю, яка складається із вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел, що містить 564 найменування, 6 додатків, 103 рисунків та 46 таблиць. Загальний обсяг роботи – 464 сторінки.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми, сформульовано наукову проблему, ідею, мету і задачі досліджень, наведено головні наукові положення та результати, винесені на захист, а також відомості про практичне значення та впровадження результатів роботи.

У **першому розділі** дисертаційної роботи на основі наукових літературних джерел досліджено світовий досвід контролю комплексного забруднення водних середовищ та оцінювання екологічного стану водних об'єктів. Для забезпечення ефективного контролю і управління екологічною безпекою водних об'єктів встановлено необхідність удосконалення мультиспектральних методів та технічних засобів контролю, що повинні забезпечити вищу точність вимірювання показників водних середовищ та оцінювання екологічного стану водних об'єктів за біологічними показниками фітопланктону та вищих водних рослин. При цьому, необхідні вимірювані

показники, періодичність вимірювань та суб'єкти моніторингу вказані у «Порядку здійснення державного моніторингу вод», а методи, технічні засоби та науково-методичні рекомендації для здійснення контролю екологічного стану водних об'єктів необхідно розробити.

У **другому розділі** вдосконалено математичні моделі водних середовищ з фітопланктоном та вищими водними рослинами для визначення їх спектральних характеристик на основі параметрів біомаси та співвідношення між основними пігментами. При моделюванні багат шарових водних середовищ встановлено внесок окремих шарів у загальний коефіцієнт дифузного відбиття на поверхні, що дозволяє оцінити максимальну глибину водного об'єкта до якої зберігається можливість мультиспектральних вимірювань і відносний внесок шару буде суттєво більшим похибки вимірювань.

У **третьому розділі** науково обґрунтовано та розроблено нові методи мультиспектрального екологічного контролю параметрів забруднення водних середовищ та оцінювання екологічного стану водних об'єктів, а також запропоновано схеми технічних засобів контролю для їх реалізації. Зокрема, вдосконалено методи контролю показників водних середовищ з використанням запропонованих регресійних рівнянь для їх визначення за мультиспектральними вимірюваннями. Для контролю екотоксичності проб поверхневих вод запропоновано метод мультиспектрального контролю, що використовує обробку мультиспектральних зображень блоку кювет з мікроводоростями, які застосовуються для біотестування, що забезпечує вищу швидкість у порівнянні з традиційними спектрофотометричними дослідженнями. Крім того, за рахунок використання нейромережі та нейронечіткої мережі для обробки результатів та її навчання на кюветах з відомими концентраціями мікроводоростей підвищується достовірність контролю.

Далі було запропоновано метод мультиспектрального контролю забруднення поверхневих вод водних об'єктів на основі сегментації поверхні водного середовища з вищими водними рослинами. При цьому відносна частина вищих водних рослин, що були ушкоджені (хлороз, некроз) внаслідок дії забруднюючих речовин визначається за допомогою їх

мультиспектральних зображень та класифікації за пігментними параметрами. Точність такого методу обмежується роздільною здатністю мультиспектральної камери та розсіюванням випромінювання у приповерхневому шарі води і відповідним розмиттям зображення. Метод набув подальшого розвитку у комплексі для очищення стічних вод із використанням вищих водних рослин. Експертна система, що контролює стан вищих водних рослин у біореакторі оцінює їх стан за мультиспектральними зображеннями та визначає, таким чином, інтегральні параметри забруднення стічних вод.

Для оцінювання екологічного стану водних об'єктів за допомогою біоіндикації вдосконалено мультиспектральні методи для контролю показників фітопланктону та вищих водних рослин, що дозволяють отримати необхідні показники біомаси та видового складу на основі мультиспектральних зображень. При цьому дослідження зразків фітопланктону здійснюється за допомогою автоматизованої мікроскопії з використанням декількох спектральних каналів та обробкою зображень за допомогою нейромережі. Після визначення видового складу фітопланктону автоматично здійснюється розрахунок індексів біорізноманіття, що дозволяє кількісно оцінити стан водної екосистеми. Для дослідження вищих водних рослин безпосередньо на водних об'єктах використано квадрокоптер з мультиспектральною камерою, що визначає площу покриття водного об'єкта макрофітами, їх видовий склад та площу угруповань макрофітів кожного з видів. При цьому використовується калібрування спектральних характеристик приладу відносно ламбертівського еталону.

У **четвертому розділі** проаналізовано структурні схеми технічних засобів мультиспектрального контролю, розроблено дослідні зразки приладів та оцінено їх похибки. Важливим є обґрунтування оптимальної кількості спектральних вимірювальних каналів та їх характеристик з використанням покрокової множинної регресії. При цьому було визначено, які спектральні характеристики засобів контролю необхідно отримати для забезпечення найменшої похибки вимірювань, а, відповідно, і більшої достовірності контролю. Здійснено аналіз спектральних характеристик водних середовищ з вищими водними рослинами з метою оцінювання впливу

ефекту локалізованого поглинання випромінювання та розрахунку поправочних коефіцієнтів, які враховують форму та розміри розсіювачів. Оцінено достовірність контролю розроблених технічних засобів, що склала від 0,939 до 0,974 та дає можливість їх використовувати для підтримки прийняття рішень у системі управління екологічною безпекою водних об'єктів.

У **п'ятому розділі** дисертації розроблено спеціалізоване програмне забезпечення Multispectral devices 1.029 для технічних засобів мультиспектрального контролю екологічного стану водних об'єктів, що забезпечує управління їх вимірювальними блоками з персонального комп'ютера, обробку мультиспектральних зображень з отриманням необхідних показників забруднення водних середовищ чи екологічного стану водних об'єктів. У програмному забезпеченні використано регресійні рівняння 5-того порядку, а також нейромережа та нейро-нечітка мережа для обробки мультиспектральних зображень.

У **шостому розділі** розроблено науково-методичні рекомендації для використання розроблених методів та технічних засобів контролю для оцінювання комплексного впливу небезпечних компонентів відходів на екологічний стан водних об'єктів. Здійснено експериментальні дослідження контролю розробленими технічними засобами токсичного впливу на обрані тест-об'єкти непридатних пестицидних препаратів, косметичних та миючих засобів, шламу гальванічного виробництва тощо, що є складовими промислових та побутових відходів і можуть потрапити зі стічними водами чи поверхневим стоком у водні об'єкти. Крім того здійснено експериментальні дослідження екологічного стану водних об'єктів на прикладі р. Південний Буг та штучних водних об'єктів підприємства «Енергогарант» ТОВ з використанням біоіндикації за характеристиками угруповань макрофітів з використанням мультиспектральних досліджень з квадрокоптера. При цьому на р. Південний Буг досліджувалось площа покриття та видовий склад угруповань макрофітів та кореляція цих показників з гідрохімічними та гідроморфологічними показниками, що дозволяє оцінити вплив зарегульованості річки на зміну її екологічного стану. На водних об'єктах підприємства «Енергогарант» ТОВ здійснювався

контроль стану та розвитку ейхорнії, що використовувалась для біофільтрації води. Розроблені науково-методичні рекомендації використання запропонованих мультиспектральних методів та засобів створюють передумови підвищення ефективності екологічного контролю та управління екологічною безпекою водних об'єктів.

Загальні висновки містять основні результати дисертаційної роботи, які достатньо повно характеризують проведені науково-практичні дослідження. Робота створює позитивне враження послідовним розв'язанням поставлених задач.

Основні результати досліджень впроваджені:

- у Вінницькому регіональному управлінні водних ресурсів, Олевській об'єднаній територіальній громаді та ПП «Інтер-Еко» для мультиспектрального контролю токсичності стічних вод, побутових та промислових відходів де дозволило підвищити ефективність екологічного контролю та оцінити їх комплексний вплив на водні об'єкти, що зазначено у актах впровадження дисертаційної роботи;
- у навчальному процесі Вінницького національного технічного університету, для студентів спеціальності 101 “Екологія”, 183 “Технології захисту навколишнього середовища” при проведенні лабораторних та практичних робіт з дисциплін “Методи вимірювань параметрів в екології”, “Прилади та методи контролю параметрів навколишнього середовища”, “Аналіз якості навколишнього середовища”, що підтверджується отриманим актом впровадження.

Оцінка мови та стилю викладення матеріалу.

Дисертаційна робота за структурою, мовою та стилем подання відповідає вимогам Міністерства освіти і науки України (наказ № 40 від 12 листопада 2017 року). Текст дисертації представлено технічно грамотною мовою, логічно та послідовно. Забезпечено взаємозв'язок проведених досліджень та отриманих результатів, викладення наукових положень, результатів та висновків здійснено аргументовано. Використана в роботі термінологія є загально визнаною, стиль викладення результатів теоретичних і практичних досліджень, наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечує доступність їх сприйняття.

Відповідність змісту автореферату основним положенням дисертації.

Зміст автореферату відповідає розділам дисертаційної роботи та її основним положенням.

Дисертаційна робота є одноособово створеною кваліфікаційною науковою працею, яка містить сукупність результатів та наукових положень, поданих автором для публічного захисту, має внутрішню єдність і свідчить про особистий внесок автора в науку.

Тематика дисертаційної роботи повністю відповідає паспорту спеціальності 21.06.01 – екологічна безпека за формулою спеціальності та напрямкам досліджень.

Зауваження щодо змісту та оформлення дисертації і автореферату:

1. У розділі 2 не зрозуміло, чому у математичній моделі використовується коефіцієнт дифузного відбиття, а не яскравість?

3. У математичній моделі формування мультиспектральних зображень не зрозуміло внесок атмосферного аерозолію.

5. Яким чином враховується вплив хвиль на поверхні води на точність мультиспектральних вимірювань?

4. При виборі оптимальної кількості спектральних каналів засобу контролю оцінюється похибка вимірювань лише для одного типу мультиспектральної камери. Зрозуміло, що при використанні більш досконалих камер з більшою кількістю каналів і застосуванням охолодження можливо досягти більшої точності вимірювань. Чи доцільно в даному випадку використовувати камери з більшою кількістю спектральних каналів?

2. У розділі 4 не пояснено, яким чином здійснювалось калібрування роботи технічних засобів мультиспектрального контролю?

6. Яка похибка вимірювання біомаси фітопланктону у водних середовищах буде при використанні розроблених технічних засобів і врахуванні впливу усіх додаткових факторів?

7. Як враховується динаміка водних мас у водному об'єкті при використанні Вашого методу?

8. Яким чином вибирається необхідна висота при мультиспектральному контролі водних об'єктів з квадрокоптера?

Наведені недоліки не знижують значимості отриманих у ході виконання дисертаційної роботи результатів.

Загальний висновок.

Дисертаційна робота Кватернюка Сергія Михайловича є завершеною науковою працею, в якій розв'язано важливу наукову проблему розвитку наукових основ мультиспектральних методів та технічних засобів контролю екологічного стану водних об'єктів для забезпечення більш ефективного контролю забрудненості водних середовищ та оцінювання екологічного стану водних об'єктів, що є підґрунтям прийняття науково обґрунтованих управлінських рішень у сфері екологічної безпеки водних об'єктів.

Дисертаційна робота виконана на високому науковому рівні і є цілісним науковим дослідженням, має наукову та практичну цінність, відповідає паспорту спеціальності 21.06.01 – екологічна безпека і вимогам п.п. 9, 10, 12–14 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567, а її автор – **Кватернюк Сергій Михайлович** – заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 21.06.01 – екологічна безпека.

Офіційний опонент

Професор кафедри екологічного моніторингу,
геоінформаційних та аерокосмічних технологій

Державної екологічної академії післядипломної освіти

та управління,

лауреат Державної премії України

в галузі науки і техніки

д.ф-м.н., с.н.с.



В.М. Ващенко