

РОЗВИТОК НАУКОВИХ ОСНОВ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНИХ МЕТОДІВ ТА ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ КОНТРОЛЮ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ

Вінницький національний технічний університет

Анотація У роботі викладено результати досліджень, які спрямовані на підвищення ефективності екологічного контролю і управління екологічною безпекою водних об'єктів шляхом розвитку наукових основ мультиспектральних методів та розроблених для їх застосування відповідних технічних засобів.

Ключові слова: екологічна безпека, технічні засоби контролю, водні середовища, водний об'єкт, мультиспектральний контроль, спектральні характеристики, фітопланктон, біомаса, достовірність.

Abstract This thesis presents the results of research aimed at improving the efficiency of environmental controlling and management of environmental safety of water bodies through the development of scientific foundations of multispectral methods and the corresponding technical tools developed for their application.

Keywords: environmental safety, technical means of control, water environments, water body, multispectral control, spectral characteristics, phytoplankton, biomass, reliability..

Актуальність роботи зумовлена необхідністю забезпечення екологічної безпеки шляхом підвищення достовірності контролю параметрів неоднорідних водних середовищ відповідно до задач екологічного моніторингу з урахуванням їх оптико-фізичних характеристик за рахунок вдосконалення мультиспектральних методів та розроблення відповідних апаратно-програмних засобів.

Удосконалення мультиспектральних методів та технічних засобів екологічного контролю параметрів забруднення неоднорідних водних середовищ, які у сукупності забезпечують комплексне розв'язання завдань управління екологічною безпекою водних об'єктів є актуальною науково-прикладною проблемою, вирішенню якої присвячена дана робота [1-93].

Об'єктом дослідження є процес мультиспектрального екологічного вимірювального контролю параметрів неоднорідних водних середовищ.

Предметом дослідження є методи і засоби мультиспектрального екологічного контролю параметрів неоднорідних водних середовищ, що у сукупності забезпечують прийняття ефективних управлінських рішень у сфері екологічної безпеки водних об'єктів.

Тому метою роботи є забезпечення екологічної безпеки водних об'єктів шляхом підвищення достовірності контролю їх параметрів та вдосконалення відповідних мультиспектральних методів і технічних засобів контролю.

Традиційне оцінювання забруднення водних об'єктів зводиться до вимірювання вмісту забруднювальних речовин і порівнянню отриманих результатів із гранично допустимими концентраціями та має такі недоліки:

– регулярно контролюється лише незначна частка реально присутніх у водному середовищі речовин;

– не враховується ступінь шкідливості комплексного впливу забруднювальних речовин;

– не виявляються ефекти синергізму і антагонізму.

Комплексну інтегральну оцінку дії всіх присутніх у воді забруднювальних речовин можливо отримати лише за допомогою параметра токсичності.

Відповідно до міжурядових угод комплексне оцінювання забруднення вод повинне базуватись на водній токсичності, що визначається біотестуванням.

Критерієм токсичності є кількісне значення тест-параметра, на підставі якого робиться висновок про токсичність води. Індекс токсичності є безрозмірною величиною і визначається за такою формулою.

При цьому ступінь токсичності виражається такими граничними рівнями:

- допустимий рівень (індекс токсичності до 20%),
- середній рівень (індекс токсичності від 20% до 50%),
- високий рівень (індекс токсичності понад 50%).

Проведений аналіз існуючих методів та засобів контролю токсичності водних середовищ показав, що їх загальним недоліком є низька достовірність контролю пов'язана з недостатньою точністю вимірювання тест-параметрів.

Питання екологічних ризиків розглядаються у ряді Директив ЄС. Показником детермінованого ризику є співвідношення токсичності та концентрації TER. При цьому у ЄС вказано безпечні концентрації забруднювальних речовин, що відповідають допустимим значенням TER для певних тест-організмів, зокрема, $TER > 10$ для фітопланктону чи вищих водних рослин.

Для подальших досліджень у якості тест-об'єктів обрано фітопланктон (хлорелу та сценедесмус) і макрофіти (ряску малу, ейхорнію, жабурник та латаття жовте), а тест-параметрами обрано концентрацію біомаси та співвідношення між пігментами.

Існуючі оптичні методи контролю параметрів неоднорідних водних середовищ є недосконалими та неспроможні вирішити поставлену задачу, що зумовило необхідність вдосконалення методів та засобів мультиспектрального контролю.

Метод мультиспектрального вимірювального контролю полягає у аналізі цифрових зображень об'єкту, отриманих у відповідних спектральних діапазонах. Координати у мультиспектральному n -вимірному просторі визначаються за такими формулами на основі спектральних характеристик джерел випромінювання, фільтрів, фотоматриці та об'єкта контролю.

Для отримання мультиспектральних зображень об'єкту контролю необхідно розв'язати пряму оптичну задачу. При відомих параметрах водного середовища у ході математичного моделювання необхідно отримати його спектральні характеристики. Далі, при відомих спектральних характеристиках розрахувати координати у мультиспектральному просторі та отримати мультиспектральні зображення.

Розрахунок оптичних характеристик водного середовища з відовими параметрами здійснено у малокутовому наближенні для частинок сферичної форми.

У математичну модель введено апроксимовані спектральні характеристики показників поглинання, розсіювання та фактору анізотропії водного середовища без фітопланктону, а також його основних пігментів.

Розраховано внесок кожного із шарів водного середовища у загальний коефіцієнт дифузного відбиття на його поверхні, що дозволяє оцінити на якій глибині вплив на спектральні характеристики стане меншим похибки вимірювання.

Аналогічно здійснено математичне моделювання спектральних характеристик водного середовища при зміні співвідношення між хлорофілом а та загальним хлорофілом.

За умови зміни пігментних параметрів водного середовища за нормальним законом розподілу розраховано діаграми розмаху коефіцієнту дифузного відбиття при зміні концентрації біомаси фітопланктону.

Ці ж діаграми розмаху показані окремо на вибраних довжинах хвиль, що дозволяє розрізнити об'єкти контролю з різною концентрацією за результатами мультиспектральних вимірювань.

Після підстановки спектральних характеристик об'єкта контролю, джерел випромінювання та фотоматриці у формулу для розрахунку координат у мультиспектральному просторі отримаємо такі залежності мультиспектральних параметрів від параметрів неоднорідних водних середовищ *in vitro*.

Для отримання параметрів водних середовищ з мультиспектральних зображень необхідно розв'язати обернену оптичну задачу. Це буде проведено за допомогою множинної регресії; нейромережі та нейронечіткої мережі.

Іншим варіантом реалізації мультиспектрального контролю є багатопараметричний контроль безпосередньо за результатами мультиспектральних вимірювань без використання регресійного рівняння.

Вперше запропоновано методологію контролю параметрів водних середовищ з використанням опосередкованого вимірювання мультиспектральним методом з обробкою результатів за допомогою нейромережі та нейро-нечіткої мережі.

Проаналізовано залежності інструментальної та методичної складової похибки мультиспектрального вимірювання від кількості спектральних каналів, що дозволяє обрати оптимальну кількість спектральних каналів виходячи з мінімального значення загальної похибки.

Випадкова складова інструментальної похибки для опосередкованого вимірювання параметрів визначається випадковими складовими похибки вимірювання у кожному із спектральних каналів, які потрапили у регресійне рівняння, а також складовими, що враховують кореляційний зв'язок між мультиспектральними параметрами.

Проаналізовано критерій забезпечення точності вимірювання площі порушеної ділянки поверхні водного середовища у порівнянні з нормою та отримано похибку вимірювання площі 0,48%.

Враховано вплив ефекту локалізованого поглинання випромінювання у водних середовищах. Це дозволило ввести поправочні коефіцієнти, що зменшують загальну похибку вимірювань біомаси та співвідношення між пігментами.

В результаті було вдосконалено метод мультиспектрального контролю токсичності з використанням біоіндикації по фітопланктону. Метод використовує вимірювання параметрів водних середовищ за допомогою регресійного рівняння з подальшим розрахунком токсичності. Для реалізації методу було розроблено структурну схему засобу мультиспектрального контролю токсичності з використанням біоіндикації по фітопланктону.

Вперше запропоновано метод мультиспектрального контролю екологічного стану водних об'єктів за параметрами фітопланктону, який використовує проточний контроль частинок фітопланктону у режимі реального часу з розрахунком індексів Сімпсона та Шеннона, що дозволяє достовірно оцінити екологічний стан водного об'єкту.

Для реалізації методу було розроблено структурну схему засобу мультиспектрального контролю екологічного стану водних об'єктів за параметрами фітопланктону.

Вдосконалено метод мультиспектрального вимірювального контролю забруднення водних об'єктів за допомогою ряски малої, який визначає відносні розміри зон водного середовища, які відповідають рослинам ряски без змін, з морфологічними змінами і чистій поверхні води за допомогою аналізу мультиспектральних зображень з подальшим розрахунком індексів токсичності, що дозволяє підвищити достовірність контролю.

Для реалізації методу було розроблено структурну схему засобу мультиспектрального контролю забруднення водних об'єктів за допомогою ряски малої.

Дістав подальшого розвитку метод мультиспектрального контролю інтегральних параметрів забруднення з використанням вищих водних рослин у комплексі для очищення стічних вод, який контролює за допомогою обробки відповідних мультиспектральних зображень стан вищих водних рослин у біореакторі, що дозволяє підвищити ефективність очищення стічних вод, а також забезпечити достовірний контроль параметрів забруднення води.

При дослідженні екологічного стану водних об'єктів великих розмірів дистанційними методами мультиспектрального контролю необхідно використовувати корекцію впливу атмосферного аерозолу та відбиття від поверхні водного об'єкту.

Розроблено спеціалізоване програмне забезпечення для мультиспектрального контролю параметрів неоднорідних водних середовищ. У програмі використовуються регресійні рівняння у виді поліномів 5 порядку. При опрацюванні результатів мультиспектрального контролю за допомогою біоіндикації по макрофітам здійснюється сегментація зображень.

За допомогою розроблених засобів здійснено експериментальні дослідження контролю концентрації пестицидних препаратів у водних середовищах мультиспектральним методом.

Також здійснено експериментальні дослідження контролю небезпечних компонентів промислових відходів на прикладі шламу гальванічного виробництва.

Здійснено експериментальні дослідження контролю параметрів водних середовищ з квадрокоптера на прикладі угруповань латаття жовтого у р. Південний Буг.

При використанні у засобі мультиспектрального екологічного контролю чотирьох каналів з довжинами хвиль 450, 470, 530 та 660 нм достовірність багатопараметричного контролю концентрації біомаси фітопланктону отримана 0,974. При використанні у засобі контролю чотирьох каналів з довжинами хвиль 530, 590, 620 та 730 отримано значення достовірності контролю співвідношення між хлорофілом а і загальним хлорофілом 0,939. При використанні у засобі контролю трьох каналів з довжинами хвиль 450, 470 та 660 нм отримано значення достовірності контролю співвідношення між каротиноїдами і загальним хлорофілом 0,972.

Отже, наукова новизна одержаних результатів полягає у таких положеннях:

1. Вперше запропоновано метод мультиспектрального вимірювального контролю екологічного стану водних об'єктів за параметрами фітопланктону, який використовує проточний мультиспектральний вимірювальний контроль та дозволяє достовірно оцінити екологічний стан водного об'єкту.

2. Вперше запропоновано методологію контролю токсичності водних середовищ з використанням опосередкованого вимірювання параметрів водних середовищ за допомогою мультиспектрального методу з обробкою результатів з використанням нейромережі та нейронечіткої мережі, що дозволило підвищити достовірність контролю.

3. Вдосконалено математичні моделі спектральних характеристик водних середовищ при зміні їх параметрів, що дозволило дослідити глибинну структуру освітленості.

4. Вдосконалено метод мультиспектрального вимірювання параметрів водних середовищ, який використовує опосередковане вимірювання параметрів за допомогою регресійних рівнянь.

5. Вдосконалено математичні моделі поширення випромінювання у водних середовищах з урахуванням ефекту локалізованого поглинання випромінювання на спектральні характеристики.

6. Вдосконалено метод мультиспектрального вимірювального контролю забруднення водних об'єктів за допомогою ряски малої який визначає відносні розміри зон водного середовища за допомогою аналізу мультиспектральних зображень з подальшим розрахунком індексів токсичності.

7. Дістав подальшого розвитку метод мультиспектрального контролю інтегральних параметрів забруднення з використанням вищих водних рослин у комплексі для очищення стічних вод.

8. Вдосконалено метод мультиспектрального вимірювального контролю параметрів флуоресцентних неоднорідних водних середовищ.

Висновки

За результатами досліджень вирішено актуальну наукову проблему розвитку наукових основ мультиспектральних методів та технічних засобів контролю екологічного стану водних об'єктів, які враховують вплив їх характеристик і параметрів, на ефективність процесу контролю забрудненості водних середовищ та оцінювання екологічного стану водних об'єктів, що є передумовою та підґрунтям ефективного управління їх екологічною безпекою. Отже, основні наукові результати роботи такі:

1. В результаті аналізу наукової проблеми з'ясовано, що при оцінюванні комплексного впливу забруднюючих речовин на екологічний стан водного об'єкта з використанням синергетичного підходу необхідно обов'язково врахувати вплив на біологічні показники, зокрема, на показники біомаси і видового складу фітопланктону та вищих водних рослин. Крім того, відповідно до Водної Рамкової Директиви 2000/60/ЄС, контроль інтегральних показників забруднення вод повинен базуватись на їх екотоксичності, яка визначається за допомогою біотестування і дозволяє врахувати синергетичну взаємодію забруднюючих речовин. Було проаналізовано сучасні методи і засоби контролю параметрів забруднення водних середовищ та оцінювання екологічного стану водних об'єктів, що показало їх недосконалість та неспроможність вирішення задачі за рахунок низької достовірності контролю пов'язаної з недостатньою точністю вимірювання параметрів та зумовило необхідність вдосконалення методів і засобів мультиспектрального екологічного контролю.

2. Обґрунтовано методологію і методи проведення теоретичних та експериментальних досліджень, що включили теоретичні методи аналізу та узагальнення світового досвіду; методи теорії перенесення випромінювання у багатошарових світлорозсіювальних водних середовищах; методи математичної статистики для обробки параметрів водних середовищ та оптимального вибору спектральних каналів технічних засобів контролю; методи математичного моделювання динаміки популяцій фітопланктону на основі систем рекурентних рівнянь; використання нейромереж та нейро-нечітких мережі для розв'язання оберненої задачі визначення параметрів водних середовищ; традиційні фізико-хімічні методи вимірювання параметрів забруднення водних середовищ; методи аналізу мультиспектральних зображень, їх сегментації та фільтрації для обробки експериментальних результатів; методи теорії вимірювань для оцінювання метрологічних характеристик та параметрів розроблених дослідних технічних засобів мультиспектрального контролю.

3. Вдосконалено математичні моделі водних середовищ з фітопланктоном та вищими водними рослинами для розв'язку прямої задачі формування їх мультиспектральних зображень технічними засобами мультиспектрального контролю. Зокрема, вдосконалено математичні моделі процесу світлорозсіювання у шарах водного середовища з фітопланктоном, що дозволило вперше виявити відносний його внесок окремих шарів у загальний коефіцієнт дифузного відбиття та розраховувати глибину водного об'єкта, на якій цей внесок матиме значення в межах похибки вимірювань. Також, вдосконалено математичну модель процесу поширення випромінювання у водних середовищах з вищими водними рослинами, що враховує ефект локалізованого поглинання випромінювання на їх спектральні характеристики, що дозволило ввести відповідні поправочні коефіцієнти, які враховують форму та розміри розсіювачів, і зменшити похибку вимірювань біомаси та співвідношення між пігментами.

4. На основі розв'язання оберненої задачі визначення параметрів забруднення водних середовищ і екологічного стану водних об'єктів за їх мультиспектральними зображеннями запропоновано методи мульти-спектрального екологічного контролю поверхневих вод, зокрема:

- науково обґрунтовано та розроблено метод мультиспектрального контролю екоотоксичності, як інтегрального показника забруднення поверхневих вод, з використанням опосередкованого вимірювання концентрації частинок мікрободоростей з обробленням результатів із застосуванням нейромережі та нейро-нечіткої мережі;

- науково обґрунтовано та запропоновано метод мультиспектрального контролю забруднення поверхневих вод водних об'єктів, сутність якого полягає у визначенні відносних розмірів сегментів поверхні водного середовища з вищими водними рослинами, які мають морфологічні зміни за результатами аналізу мультиспектральних зображень, отриманих ширококутковою цифровою камерою при освітленні поверхні водного середовища вузькосмуговими джерелами випромінювання;

- вдосконалено метод оцінювання екологічного стану водних об'єктів, що передбачає застосування мультиспектрального визначення видового складу фітопланктону з розрахунком індексів біорізноманіття;

- вдосконалено метод опосередкованого мультиспектрального вимірювання біомаси та співвідношення пігментних параметрів у приповерхневому шарі водних об'єктів з використанням запропонованих регресійних рівнянь;

- набуло подальшого розвитку застосування методу мультиспектрального контролю інтегральних параметрів забруднення стічних вод з використанням вищих водних рослин у очисному комплексі, що полягає у оцінюванні стану вищих водних рослин у біореакторі на основі аналізу їх мультиспектральних зображень з визначенням концентрацій основних пігментів із застосуванням запропонованої експертної системи на базі нечіткої логіки або нейромережі.

5. Науково обґрунтовано оптимальну кількість спектральних каналів та їх параметри для технічних засобів мультиспектрального контролю забрудненості водних середовищ та екологічного стану водних об'єктів за допомогою покрокової множинної регресії з включенням незалежних змінних. Для розроблених засобів мультиспектрального екологічного контролю параметрів забруднення водних середовищ оцінена достовірність контролю, що склала від

0,939 до 0,974 в залежності від спектральних характеристик вимірювальних каналів та їх кількості.

6. Науково обґрунтовано схемні рішення та виготовлено дослідні зразки удосконалених технічних засобів мультиспектрального екологічного контролю параметрів забруднення водних середовищ та екологічного стану водних об'єктів на основі опосередкованих вимірювань біомаси фітопланктону та вищих водних рослин, а також співвідношень між їх основними пігментами.

7. Розроблено програмне забезпечення Multispectral devices 1.029 для технічних засобів мультиспектрального контролю параметрів забруднення водних середовищ та екологічного стану водних об'єктів, що здійснює управління технічними засобами контролю, а також сегментацію та фільтрацію мультиспектральних зображень і їх обробку з використанням регресійних рівнянь, нейромережі та нейро-нечіткої мережі.

8. Розроблено науково-методичні рекомендації щодо реалізації запропонованих наукових основ використання мультиспектральних методів та технічних засобів, які враховують вплив їх характеристик і параметрів на ефективність процесу контролю забрудненості водних середовищ та оцінювання екологічного стану водних об'єктів, в системі управління їх екологічною безпекою.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Черноволик Г. О., Петрук В. Г., Кватернюк С. М. Мультиспектральний вимірювальний контроль та діагностування стану неоднорідних біологічних середовищ на основі нечіткої логіки : монографія. Вінниця : ВНТУ, 2015. 140 с.
2. Petruk V., Kvaternyuk S., Pohrebennyk V. et al. Experimental studies of phytoplankton concentrations in water bodies by using of multispectral images. Water Supply and Wastewater Removal : monograph / editors: Henryk Sobczuk, Beata Kowalska. Lublin : Lublin University of Technology, 2016. P. 161–171.
3. Petruk V., Kvaternyuk S., Bondarchuk O. et al. Multispectral Methods and Means of Water Pollution Monitoring by Using Macrophytes for Bioindication. Water Security : monograph / editors: O. Mityrasova, C. Staddon. Mykolaiv: PMBSNU – Bristol: UWE, 2016. P. 131–141.
4. Ishchenko V., Kvaternyuk S., Styskal O. Assessment of water pollution by bioindication method. Water Security : monograph / editors: O. Mityrasova, C. Staddon. Mykolaiv: PMBSNU – Bristol: UWE, 2016. P. 21–30.
5. Кватернюк С. М. Математичне моделювання переносу випромінювання у багатошарових неоднорідних біологічних середовищах для задач мультиспектрального вимірювального контролю та діагностики. Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. 2016. № 2(32). С. 57–63.
6. Кватернюк С. М. Метод та засоби мультиспектрального телевізійного вимірювального контролю стану неоднорідних біологічних середовищ. Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2017. № 1. С. 15–22.
7. Кватернюк С. М. Аналіз структурних схем засобів мультиспектрального телевізійного вимірювального контролю параметрів та діагностування стану неоднорідних біологічних середовищ. Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. 2017. № 1. С. 54–60.
8. Кватернюк С. М. Оптиміальний синтез засобів мультиспектрального телевізійного вимірювального контролю параметрів та діагностування стану неоднорідних біологічних середовищ. Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. 2017. № 2. С. 4–11.
9. Кватернюк С.М. Аналіз похибок засобу мультиспектрального телевізійного вимірювального контролю параметрів та діагностування стану неоднорідних біологічних середовищ. Вісник ХНУ. Серія: Технічні науки. 2017. № 4. С. 116–119.
10. Кватернюк С. М. Аналіз похибок вимірювання площі ушкоджених ділянок неоднорідних біологічних середовищ мультиспектральним методом. Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2017. № 4. С. 15–21.
11. Кватернюк С. М. Дослідження впливу ефекту локалізованого поглинання випромінювання у розсіювальних частинках на мультиспектральні вимірювання. Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2017. № 5. С. 24–30.
12. Kvaternyuk S. M. Multispectral television measuring control of integral parameters of pollution using higher aquatic plants in a complex for sewage treatment. Environmental problems. 2017. Vol. 2, No. 3. P. 121–126.
13. Kvaternyuk S. M. Multispectral control of pesticide concentrations in aquatic environments using bioindication on phytoplankton. Environmental problems. 2017. Vol. 2, No. 4. P. 205–210.

14. Кватернюк С. М. Контроль екологічної безпеки стічних вод за допомогою мультиспектрального методу та біоіндикації по фітопланктону. Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2017. № 6. С. 26–33.
15. Кватернюк С. М. Оцінювання достовірності контролю токсичності стічних вод мультиспектральним методом з використанням нейромережі. Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. 2017. № 3. С. 76–81.
16. Кватернюк С. М. Математичне моделювання природних водних середовищ для задач екологічного контролю. Вісник ХНУ. Серія: Технічні науки. 2018. № 2. С. 252–255.
17. Кватернюк С. М. Мультиспектральні вимірювання біомаси фітопланктону у водних середовищах для задач екологічного контролю. Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2018. № 2. С. 7–13.
18. Кватернюк С. М. Оцінювання достовірності мультиспектрального екологічного контролю біомаси фітопланктону у водних середовищах. Вісник ХНУ. Серія: Технічні науки. 2018. № 3. С. 275–278.
19. Кватернюк С. М. Мультиспектральні вимірювання пігментних параметрів фітопланктону у водних середовищах [Електронний ресурс] Наукові праці Вінницького національного технічного університету: електрон. наук. фахове вид. 2018. № 2. С. 1–8. URL: <https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/545/530> (дата звернення: 17.10.2018).
20. Кватернюк С. М. Дослідження впливу пігментних параметрів на спектральні характеристики природних водних середовищ для задач екологічного контролю. Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. 2017. № 2. С. 89–96.
21. Кватернюк С. М. Оцінювання достовірності мультиспектрального екологічного контролю пігментних параметрів фітопланктону у водних середовищах. Вісник ХНУ. Серія: Технічні науки. 2018. № 5. С. 128–131.
22. Кватернюк С. М., Петрук В. Г. Мультиспектральний екологічний контроль інтегральних параметрів забруднення водних об'єктів. Екологічні науки. 2018. № 2(21). С. 133–137.
23. Kvaternyuk S. M., Petruk V. G. Multispectral ecological control of biomass of phytoplankton in aqueous media in situ using quadcopter. Environmental problems. 2018. Vol. 3(2). P. 133–138.
24. Кватернюк С. М. Мультиспектральний екологічний контроль пігментних параметрів фітопланктону у водних середовищах з використанням квадрокоптера. Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. 2018. Том 29 (68), № 4. С. 47–52.
25. Іщенко В. А., Коріненко М. С., Кватернюк С. М. Розроблення схеми екологічної мережі Немирівського району Вінницької області. Екологічна безпека та природокористування. 2012. Вип. 11. С. 88–94.
26. Кватернюк С. М., Іщенко В. А., Кватернюк О. Є. Оцінювання екологічного стану водних об'єктів м. Вінниці на основі показників біоіндикації по фітопланктону. Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2011. № 6. С. 13–16.
27. Петрук В. Г., Кватернюк С. М., Левченко О. Ю. та ін. Обробка зображень частинок для автоматизованого контролю забруднення водних середовищ. Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. 2011. № 1(21). С. 44–50.
28. Петрук В. Г., Кватернюк С. М., Слободянюк А. О., Безусяк Я. І. Мульти-спектральний телевізійний вимірювальний контроль екологічного стану водних об'єктів за параметрами фітопланктону. Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. 2015. № 1(29). С. 145–149.
29. Абрамович М. Д., Дік С. К., Кватернюк С. М., Петрук В. Г. Вивчення глибинної структури когерентної складової і некогерентного фону багатократно розсіяного світлового поля при широкій варіації структурних і біофізичних параметрів біотканин. Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2016. № 6. С. 90–95.
30. Петрук В. Г., Кватернюк С. М., Кватернюк О. Є. та ін. Аналіз сучасного стану оптичних засобів вимірювального контролю та діагностування параметрів біотканин на основі цифрової колориметрії. Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. 2015. № 1. С. 172–177.
31. Петрук В. Г., Кватернюк О. Є., Любчак Ю. С., Кватернюк С. М. Розвиток методу цифрової колориметрії біотканин та алгоритм опрацювання результатів. Вісник ХНУ. Технічні науки. 2015. № 3. С. 198–201.

32. Петрук В. Г., Кватернюк С. М., Кватернюк О. Є. та ін. Математичне моделювання впливу параметрів окремих шарів на спектральні характеристики неоднорідних біотканин. Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2015. № 3. С. 50–56.
33. Petruk R. V., Pohrebennyk V. D., Kvaternyuk S. M. et al. Multispectral television monitoring of contamination of water objects by using macrophyte-based bioindication. 16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2016 : SGEM2016 Conference Proceedings. (Albena, Bulgaria, June 30 – July 6, 2016). Book 5, Vol. 2. P. 597–602. doi: 10.5593/sgem2016B52. ISBN 978-619-7105-66-7. ISSN 1314-2704.
34. Petruk V., Kvaternyuk S., Yasynska V. et al. The method of multispectral image processing of phytoplankton for environmental control of water pollution. Proc. SPIE. 2015. Vol. 9816, 98161N. P. 98161N-1–98161N-5. doi: 10.1117/12.2229202. ISSN 0277-786X.
35. Petruk V., Kvaternyuk S., Kozachuk A. et al. Multispectral television measuring control of the ecological state of waterbodies on the characteristics macrophytes. Proc. SPIE. 2015. Vol. 9816, 98161Q. P. 98161Q-1–98161Q-4. doi: 10.1117/12.2229343. ISSN 0277-786X.
36. Petruk V. G., Kvaternyuk S. M., Denysiuk Y. M. et al. The spectral polarimetric control of phytoplankton in photobioreactor of the wastewater treatment. Proc. SPIE. 2012, Vol. 8698, 86980H. P. 86980H-1–86980H-4. doi: 10.1117/12.2019736. ISSN 0277-786X.
37. Барун В. В., Иванов А. П., Петрук В. Г., Кватернюк С. М. Развитие оптических методов диагностики биологических тканей по рассеянному излучению. I. Спектры отражения. Вестник Фонда фундаментальных исследований. 2010. № 3. С. 90–98. ISSN 1818-9830.
38. Барун В. В., Иванов А. П., Петрук В. Г., Кватернюк С. М. Развитие оптических методов диагностики биологических тканей по рассеянному излучению. II. Поляризационная пространственно-разрешающая спектроскопия. Вестник Фонда фундаментальных исследований. 2010. № 4. С. 79–89. ISSN 1818-9830.
39. Petruk V., Kvaternyuk S., Kvaternyuk O. et al. Assessment of the validity of the diagnosis of damage of tissues by multispectral method using neural network. Przegląd elektrotechniczny. 2017. Vol. 93. № 5. P. 106-109. doi:10.15199/48.2017.05.21. ISSN 0033-2097.
40. Kvaternyuk S., Pohrebennyk V., Petruk R. et al. Multispectral television measurements of parameters of natural biological media. 17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2017 : SGEM2017 Conference Proceedings. (Albena, Bulgaria, June 29 – July 5, 2017). Issue 51, Vol. 17. P. 689–696. doi: 10.5593/sgem2017/51. ISBN 978-619-7105-66-7. ISSN 1314-2704.
41. Kvaternyuk S., Petruk V., Kvaternyuk O. et al. Multispectral measurement of parameters of particles in heterogeneous biological media. Proc. SPIE, 2018. Vol. 10808, 108083K. P. 108083K-1–108083K-8. doi: 10.1117/12.2501590. ISSN 0277-786X.
42. Kvaternyuk S., Pohrebennyk V., Petruk R., Kvaternyuk O. Increasing the accuracy of multispectral television measurements of phytoplankton parameters in aqueous media. 17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2017 : SGEM2017 Vienna GREEN Conference Proceedings. (Vienna, Austria, 27–29 November, 2017). Vol. 17, Issue 33. P. 219–225. doi: 10.5593/sgem2017H/33/S12.027. ISBN 978-619-7408-27-0. ISSN 1314-2704.
43. Kvaternyuk S., Kvaternyuk O., Petruk R. et al. Indirect measurements of the parameters of inhomogeneous natural media by a multispectral method using fuzzy logic. Proc. SPIE. 2018. Vol. 10808, 108082P. P. 108082P-1–108082P-7. doi: 10.1117/12.2501636. ISSN 0277-786X.
44. Kvaternyuk S., Pohrebennyk V., Petruk V. et al. Mathematical modeling of light scattering in natural water environments with phytoplankton particles. 18th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2018 : SGEM2018 Conference Proceedings. (Albena, Bulgaria, 2–8 July, 2018). Vol. 18, Issue 2.1. P. 545–552. doi: 10.5593/sgem2018/2.1. ISBN 978-619-7408-39-3. ISSN 1314-2704.
45. Martsenyuk V., Petruk V. G., Kvaternyuk S. M. et al. Multispectral control of water bodies for biological diversity with the index of phytoplankton. 2016 16th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS 2016) : ICCAS 2016 Conference Proceedings. (HICO, Gyeongju, Korea, Oct. 16-19, 2016). – P. 988–993. doi: 10.1109/ICCAS.2016.7832429. ISBN: 978-89-93215-11-3.
46. Бондарчук О. В., Кватернюк С. М. Біотестування як інструмент екологічного моніторингу якості водних об'єктів річки Південний Буг. Сучасний стан та якість навколишнього середовища окремих регіонів : матеріали міжнар. наук.-практ. конф. мол. вчених. (м. Одеса, 1–3 червня 2016 р.). Одеса, 2016. С. 43–45.
47. Петрук В. Г., Кватернюк С. М., Петрук Р. В. та ін. Телевізійний вимірювальний контроль забруднення води хлороорганічними сполуками методом біоіндикації по фітопланктону.

- Оптоелектронні інформаційні технології «Фотоніка ОДС-2015» : тез доп. VII міжнар. наук.-техн. конф. (м. Вінниця, 21–23 квітня 2015 р.). Вінниця, 2015. С. 120.
48. Петрук В. Г., Кватернюк С. М., Колесник Т. В., Попапенко О. В. Математичне моделювання переносу оптичного випромінювання у водному середовищі з водоростями для задач екологічного контролю. Екологічна безпека держави : тези доп. IX Всеукр. наук.-практ. конф. мол. учених та студ. (м. Київ, 16 квітня 2015 р.). Київ, 2015. С. 116.
49. Петрук В. Г., Кватернюк С. М., Животун Я. І., Каська І. І. Екологічний контроль стану водних об'єктів за характеристиками макрофітів на основі мультиспектральних зображень. Екологічна безпека держави : тези доп. IX Всеукр. наук.-практ. конф. мол. учених та студ. (м. Київ, 16 квітня 2015 р.). Київ, 2015. С. 117.
50. Петрук В. Г., Кватернюк С. М., Стискал О. А. та ін. Мультиспектральний телевізійний вимірювальний контроль інтегральних параметрів забруднення водних об'єктів за допомогою біоіндикації по фітопланктону. Екологічна безпека держави : тези доп. IX Всеукр. наук.-практ. конф. мол. учених та студ. (м. Київ, 16 квітня 2015 р.). Київ, 2015. С. 118.
51. Петрук В. Г., Кватернюк С. М., Безусяк Я. І. Використання мультиспектрального телевізійного вимірювального контролю для дослідження угруповань макрофітів. V-й Всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю : зб. наук. праць. (м. Вінниця, 23–26 вересня 2015 р.). Вінниця, 2015. С. 245.
52. Петрук В. Г., Кватернюк С. М., Безусяк Я. І. Мультиспектральний контроль забруднення атмосферного повітря з використанням біосенсорів та ліхеноіндикації. V-й Всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю : зб. наук. праць. (м. Вінниця, 23–26 вересня 2015 р.). Вінниця, 2015. С. 246.
53. Петрук В. Г., Кватернюк С. М., Іванов А. П. та ін. Дистанційний мультиспектральний телевізійний моніторинг забруднення за концентрацією частинок фітопланктону. V-й Всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю : зб. наук. праць. (м. Вінниця, 23–26 вересня 2015 р.). Вінниця, 2015. С. 247.
54. Petruk V., Kvaterniuk S., Pohrebennyk V., Bezusiak Ya. Multispectral control of water bodies for biological diversity with the index of phytoplankton. *New Trends in Ecological and Biological Research : proc. of the intern. conf. (Presov, Slovak Republic, 9–11 September, 2015)*. Presov. 2015. P. 92.
55. Петрук В. Г., Кватернюк С. М., Кватернюк О. С. Контроль екологічного стану водних об'єктів за характеристиками макрофітів на основі цифрової колориметрії та мультиспектральних зображень. Наука. Молодь. Екологія : матеріали міжнар. наук.-практ. конф в рамках I Всеукраїнського молодіжного з'їзду екологів з міжнародною участю. (м. Житомир, 21–23 травня 2014 р.). Житомир, 2014. С. 160–163.
56. Петрук В. Г., Кватернюк С. М., Петрова О. А. Методи та засоби контролю оптичних параметрів природних середовищ на основі мультиспектральних зображень. Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування : матеріали 3-го міжнар. конгресу. (м. Львів, 17–19 вересня 2014 р.). Львів, 2014. С. 44.
57. Петрук В. Г., Кватернюк С. М., Васильківський І. В., Козак Я. Л. Оптичні засоби та методи контролю концентрації фітопланктону у водних об'єктах. Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування : матеріали 3-го міжнар. конгресу. (м. Львів, 17–19 вересня 2014 р.). Львів, 2014. С. 45.
58. Петрук В. Г., Кватернюк С. М., Гончарук В. В., Гриник Л. І. Екологічний контроль забруднення р. Згар біогенними та токсичними речовинами методами біоіндикації по фітопланктону. Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування : матеріали 3-го міжнар. конгресу. (м. Львів, 17–19 вересня 2014 р.). Львів, 2014. С. 46.
59. Петрук В. Г., Іщенко В. А., Кватернюк С. М., Майка Л. М. Дослідження впливу хімічних сполук у складі косметичних миючих засобів на довкілля методом біоіндикації по фітопланктону. Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування : матеріали 3-го міжнар. конгресу. (м. Львів, 17–19 вересня 2014 р.). Львів, 2014. С. 29.
60. Петрук В. Г., Кватернюк С. М., Києнко-Романюк Є. С., Бучинський С. А. Засоби телевізійного вимірювального контролю забруднення водних середовищ. Приладобудування: стан і перспективи : тези доп. XII міжнар. наук.-техн. конф. (м. Київ, 23-24 квітня 2013 р.). Київ, 2013. С. 162–163.
61. Петрук В. Г., Кватернюк С. М., Васильківський І. В., Цимбалюк В. А. Контроль якості питної води м. Вінниці за вмістом нітратів. IV-ий Всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю : зб. наук. стат. (м. Вінниця, 25–27 вересня 2013 р.). Вінниця, 2013. С. 512–513.

62. Петрук В. Г., Кватернюк С.М., Васильківський І.В. та ін. Контроль забруднення екосистеми р. Снивода за характеристиками макрофітів. IV-ий Всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю : зб. наук. стат. (м. Вінниця, 25–27 вересня 2013 р.). Вінниця, 2013. С. 513–515.
63. Петрук В., Кватернюк С., Лука А., Юрченко Ю. Підвищення точності вимірювань спектрів дифузного відбивання природних полідисперсних середовищ. Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах (ВКДТС–2013) : зб. тез доп. II-ої міжнар. наук. конф. (м. Вінниця, 29–30 жовтня 2013 р.). Вінниця, 2013. С. 28–29.
64. Петрук В., Кватернюк С., Васильківський І. та ін. Контроль забруднення водних об'єктів біогенними сполуками на основі дослідження фітопланктону. Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах (ВКДТС–2013) : зб. тез доп. II-ої міжнар. наук. конф. (м. Вінниця, 29–30 жовтня 2013 р.). Вінниця, 2013. С. 30.
65. Цимбалюк В. А., Денисюк Ю. М., Кватернюк С. М. Контроль якості питної води у м. Вінниця за допомогою традиційних методів та біоіндикації. Охорона навколишнього середовища та раціональне використання природних ресурсів : зб. тез доп. XXIII-ої всеукраїнської наук. конф. асп. і студ. (м. Донецьк, 16–18 квітня 2013 р.). Донецьк, 2013. С. 80–81.
66. Петрук В. Г., Кватернюк С. М., Сидорчук Ю. Ю. Контроль концентрації фітопланктону у фотобіореакторах. Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування : матеріали 2-го міжнар. конгресу. (м. Львів, 19–22 вересня 2012 р.). Львів, 2012. С. 46.
67. Петрук В. Г., Кватернюк С. М., Васильківський І. В., Слободиський А. П. Контроль забруднення водних середовищ у видимому та ближньому ІЧ діапазоні. Контроль і управління в складних системах (КУСС-2012) : матеріали XI міжнар. конф. (м. Вінниця, 9–11 вересня 2012 р.). Вінниця, 2012. С. 120–121.
68. Петрук В. Г., Кватернюк С. М., Барун В. В. и др. Оптический контроль содержания загрязняющих веществ в водных средах на основе метода биоиндикации по фитопланктону. Медэлектроника–2012: Средства медицинской электроники и новые медицинские технологии : тезисы докладов VII междунар. науч.-техн. конф. (г. Минск, Республика Беларусь, 13–14 декабря 2012 р.). Минск, 2012. С. 80–81.
69. Петрук В. Г., Моканюк О. І., Кватернюк С. М. та ін. Цифрова колориметрія приповерхневого прошарку полідисперсних природних середовищ. Проблеми екології та енергозбереження в суднобудуванні : матеріали VII міжнар. наук.-техн. конф. (м. Миколаїв, 8–12 червня 2012 р.). Миколаїв, 2012. С. 176–177.
70. Петрук В. Г., Кватернюк С. М., Вишневецька Я. Ю. та ін. Методика оцінювання токсичності стічних вод за допомогою біоіндикації по фітопланктону. III-ій Всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю : зб. наук. ст. (м. Вінниця, 21–24 вересня 2011 р.). Вінниця, 2011. Том 2. С. 373–377.
71. Петрук В. Г., Кватернюк С. М., Васильківський І. В. та ін. Контроль інтегрального рівня забруднення р. Південний Буг за характеристиками макрофітів. III-ій Всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю : зб. наук. ст. (м. Вінниця, 21–24 вересня 2011 р.). Вінниця, 2011. Том 2. С. 377–380.
72. Петрук В. Г., Кватернюк С. М., Кватернюк О. Є. Контроль інтегрального рівня токсичності стічних вод за допомогою біоіндикації по фітопланктону. Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах (ВКДТС–2011) : зб. тез. доп. I-ої міжнар. наук. конф. (м. Вінниця, 18–20 жовтня 2011 р.). Вінниця, 2011. С. 211.
73. Кватернюк С. М., Петрук В. Г., Дубчак О. В. та ін. Вдосконалення засобів мультиспектрального телевізійного вимірювального контролю параметрів неоднорідних біологічних середовищ. Приладобудування: стан і перспективи : тези доп. XVI міжнар. наук.-техн. конф. (м. Київ, 16–17 квітня 2017 р.). Київ, 2017. С. 109–110.
74. Кватернюк С. М., Петрук В. Г., Дубчак О. В. та ін. Математичне моделювання оптичних характеристик неоднорідних біологічних середовищ. Приладобудування: стан і перспективи : тези доп. XVI міжнар. наук.-техн. конф. (м. Київ, 16–17 квітня 2017 р.). Київ, 2017. С. 30–31.
75. Кватернюк С. М., Варушечкіна М. В., Мандебура С. В., Козачук А. Ю. Опосередковані мультиспектральні вимірювання біофізичних і структурних параметрів неоднорідних біологічних середовищ. Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах (ВКДТС–2017) : зб. тез. доп. IV-ої міжнар. наук. конф. (м. Вінниця, 31 жовтня – 2 листопада 2017 р.). Вінниця, 2017. С. 241.
76. Кватернюк С. М., Петрук В. Г., Варушечкіна М. В. та ін. Мульти-спектральний контроль інтегральних параметрів забруднення стічних вод з використанням вищих водних рослин.

- Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах (ВКДТС–2017) : зб. тез. доп. IV-ої міжнар. наук. конф. (м. Вінниця, 31 жовтня – 2 листопада 2017 р.). Вінниця, 2017. С. 242.
77. Кватернюк С. М., Варушечкіна М. В., Мандебура С. В., Козачук А. Ю. Мультиспектральний телевізійний контроль середніх розмірів частинок у неоднорідних біологічних середовищах. Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах (ВКДТС–2017) : зб. тез. доп. IV-ої міжнар. наук. конф. (м. Вінниця, 31 жовтня – 2 листопада 2017 р.). Вінниця, 2017. С. 243.
78. Кватернюк С. М., Кватернюк О. Є., Варушечкіна М. В. та ін. Сегментація мультиспектральних зображень пошкоджених ділянок неоднорідних біологічних середовищ. Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах (ВКДТС–2017) : зб. тез. доп. IV-ої міжнар. наук. конф. (м. Вінниця, 31 жовтня – 2 листопада 2017 р.). Вінниця, 2017. С. 245.
79. Петрук В. Г., Кватернюк С. М., Безусяк Я. І. Вплив температури та освітлення на первинну продукцію фітопланктону на прикладі екосистеми річки Дохни. VI-й Всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю : зб. наук. праць. (м. Вінниця, 20–22 вересня 2017 р.). Вінниця, 2017. С. 49.
80. Петрук В. Г., Кватернюк С. М., Безусяк Я. І. Визначення видової різноманітності фітопланктону. VI-й Всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю : зб. наук. праць. (м. Вінниця, 20–22 вересня 2017 р.). Вінниця, 2017. С. 129.
81. Петрук В. Г., Кватернюк С. М., Безусяк Я. І. Мультиспектральний телевізійний вимірювальний контроль параметрів біореактора для вирощування хлорели. VI-й Всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю : зб. наук. праць. (м. Вінниця, 20–22 вересня 2017 р.). Вінниця, 2017. С. 168.
82. Петрук В. Г., Кватернюк С. М., Безусяк Я. І. Дослідження екологічного впливу пестицидних препаратів на фітопланктон. VI-й Всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю : зб. наук. праць. (м. Вінниця, 20–22 вересня 2017 р.). Вінниця, 2017. С. 192.
83. Безусяк Я. І., Кватернюк С. М. Обґрунтування заходів екологічної безпеки та впливу небезпечних відходів на водні об'єкти методом біоіндикації по фітопланктону. Екологія : матеріали наук.-практ. конф. всеукр. конкурсу студ. наук. робіт. (м. Полтава, 28–30 березня 2018 р.). Полтава, 2018. С. 7.
84. Кватернюк С. М., Петрук В. Г., Варакса В. В. Методи та засоби мультиспектрального екологічного контролю забруднення водних середовищ. Сталій розвиток: Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування : матеріали 5-го міжнар. конгресу. (м. Львів, 26–29 вересня 2018 р.). Львів, 2018. С. 21.
85. Кватернюк С. М., Петрук В. Г., Мандебура А. Ю., Мандебура С. В. Мультиспектральний вимірювальний контроль параметрів природних водних об'єктів для забезпечення їх екологічної безпеки. Оптиелектронні інформаційні технології «Фотоніка ОДС-2018» : тез доп. VIII міжнар. наук.-техн. конф. (м. Вінниця, 2 – 4 жовтня 2018 р.). Вінниця, 2018. С. 192-193.
86. Кватернюк С. М., Петрук В. Г., Мандебура А. Ю., Мандебура С. В. Розв'язок прямої та оберненої задачі для мультиспектральних вимірювань параметрів природних водних середовищ. Оптиелектронні інформаційні технології «Фотоніка ОДС-2018» : тез доп. VIII міжнар. наук.-техн. конф. (м. Вінниця, 2 – 4 жовтня 2018 р.). Вінниця, 2018. С. 194-195.
87. Петрук В.Г., Кватернюк С. М., Кватернюк О. Є., Петрук Р. В. Спосіб мультиспектрального телевізійного вимірювального контролю екологічного стану водних об'єктів за параметрами фітопланктону: пат. 99580 Україна. № 201500058; заявл. 05.01.2015; опубл. 10.06.2015, Бюл. № 11. 5 с.
88. Петрук В. Г., Кватернюк С. М., Васильківський І. В. та ін. Пристрій для контролю концентрацій частинок у полідисперсних водних середовищах: пат. 74380 Україна. № 201204439; заявл. 09.04.2012; опубл. 25.10.2012, Бюл. № 20. 6 с.
89. Петрук В. Г., Кватернюк С. М., Бондарчук О. В. Спосіб мульти-спектрального телевізійного вимірювального контролю забруднення водних об'єктів за допомогою ряски малої (*Lemna minor* L.): пат. 117336 Україна. № 201613426; заявл. 27.12.2016; опубл. 26.06.2017, Бюл. № 12. 6 с.
90. Кватернюк С. М., Петрук В. Г., Кватернюк О. Є. Спосіб мульти-спектрального телевізійного вимірювання біофізичних і структурних параметрів неоднорідних біологічних середовищ: пат. 124253 Україна. № 201711352; заявл. 20.11.2017; опубл. 26.03.2018, Бюл. № 6. 12 с.
91. Кватернюк С. М., Петрук В. Г., Кватернюк О. Є. Комплекс для очищення стічних вод та мультиспектрального телевізійного вимірювального контролю інтегральних параметрів забруднення з використанням вищих водних рослин: пат. 124230 Україна. № 201711020; заявл. 10.11.2017; опубл. 26.03.2018, Бюл. № 6. 5 с.

92. Кватернюк С. М., Петрук В. Г., Кватернюк О. Є. Спосіб мультиспектрального телевізійного контролю розмірів розсіювальних частинок у неоднорідних біологічних середовищах: пат. 124914 Україна. № 201711325; заявл. 20.11.2017; опубл. 25.04.2018, Бюл. № 8. 7 с.
93. Петрук В. Г., Кватернюк С. М., Гайдей Ю. А. Контроль інтегральних параметрів якості поверхневих вод р. Південний Буг за характеристиками макрофітів. Екологічні науки. 2012. № 1. С. 65–70.

Кватернюк Сергій Михайлович – к.т.н., доцент кафедри екології та екологічної безпеки;

Петрук Василь Григорович – д.т.н., професор, директор Інституту екологічної безпеки та моніторингу довкілля, e-mail: petrukvg@gmail.com;

Kvaternyuk Sergei Mikhailovich – Ph.D., Associate Professor of the Department of Ecology and ecological safety, Vinnytsia National Technical University, e-mail: serg.kvaternuk@gmail.com;

Petruk Vasyl Grygorovych – Dr. Sc., Professor, Director of the Institute of Environmental Security and Environmental Monitoring, Vinnytsia National Technical University, e-mail: petrukvg@gmail.com.