

РОЗРОБЛЕННЯ ЗАХОДІВ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ У СФЕРІ ПОВОДЖЕННЯ З НЕБЕЗПЕЧНИМИ ВІДХОДАМИ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЇХ ВПЛИВУ НА ВОДНІ ОБ'ЄКТИ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розроблення заходів для забезпечення екологічної безпеки у сфері поводження з небезпечними відходами та підвищення ефективності оцінювання їх комплексного впливу на водні об'єкти за допомогою методів і засобів мультиспектрального екологічного моніторингу та біосенсорів.

Ключові слова: екологічна безпека, небезпечні відходи, водний об'єкт, мультиспектральний контроль, біосенсор.

Abstract

Development of measures to ensure environmental safety in the field of hazardous waste management and increase the efficiency of assessing their complex impact on water bodies using methods and means of multispectral environmental monitoring and biosensors.

Keywords: environmental safety, hazardous waste, water body, multispectral control, biosensor.

Вступ

Даний проект передбачає проведення дослідження забруднення водних об'єктів речовинами, що містяться у складі небезпечних відходів, а також оцінювання комплексного антропогенного впливу на водні об'єкти з використанням вдосконалених методів та засобів мультиспектрального екологічного моніторингу та біосенсорів. Даний проект передбачає проведення дослідження і вдосконалення вимірювальних засобів та нових методів контролю інтегральних параметрів забруднення водних середовищ для підвищення ефективності екологічного моніторингу водних об'єктів та оцінювання впливу на них антропогенних факторів, що дозволить розвинути нові концепції та методи охорони навколишнього природного середовища і раціонального природокористування. Крім того, буде проведено оцінювання екологічних ризиків забрудненням водних об'єктів небезпечними речовинами, які містяться в складі відходів, у процесі експлуатації полігонів для зберігання сміття, сміттепереробних комплексів чи при транспортуванні небезпечних відходів. Прикладні результати роботи можуть мати подвійне використання, що має особливо важливе значення для підвищення обороноздатності та національної безпеки держави. Зокрема, планується вдосконалення мультиспектральних засобів дистанційного екологічного моніторингу, які можливо використати у безпілотних літальних апаратах для розвідки місцевості.

У процесі експлуатації полігонів для зберігання сміття, сміттепереробних комплексів чи при транспортуванні небезпечних відходів можуть виділятися у довкілля та потрапляти у водні об'єкти речовини, що містяться у складі небезпечних відходів. Необхідно визначити їх наявність у водних об'єктах, концентрації цих речовин у водних середовищах, а також оцінити комплексний антропогенний вплив на водні об'єкти.

Системи мультиспектрального екологічного моніторингу параметрів водних середовищ в своїй основі мають спільні принципи і закономірності розсіювання та поглинання світла неоднорідними біологічними середовищами. Оцінювання екологічного стану водних об'єктів здійснюється на основі біоіндикації по фітопланктону чи макрофітам. Частинки фітопланктону мають певні особливості форми, структури та спектральних властивостей пігментів, що дозволяє розрахувати результуючі оптичні характеристики відбивання світлового випромінювання, які впливають на формування мультиспектральних зображень. При розв'язання оберненої задачі параметри фітопланктону (наприклад, об'ємна концентрація частинок) у приповерхневому шарі водного середовища визначаються за допо-

могою множинної регресії на основі отриманого масиву мультиспектральних зображень поверхні водного об'єкту. При використанні біоіндикації екологічного стану водних об'єктів за макрофітами метод мультиспектрального екологічного моніторингу дозволяє визначити концентрацію основних хромофорів у вищих водних рослинах (хлорофіл а, хлорофіл b, каротиноїди тощо), видовий склад угруповань вищих водних рослин, відносні розміри пошкоджених ділянок листків. Оцінювання екологічного стану водних об'єктів здійснюється на основі індексів біорізноманіття отриманим на основі дослідження видового складу фітопланктону чи макрофітів. Оцінювання токсичності водних середовищ здійснюється за допомогою розрахунку відносних розмірів площі поверхні водного об'єкта вкритого неушкодженими та патологічно ушкодженими плаваючими макрофітами.

Для контролю забруднення водних об'єктів іонами важких металів та непридатними пестицидними препаратами плануються вдосконалити методи мультиспектрального телевізійного вимірювального контролю з використанням біосенсорних технологій, що дозволять відділити токсичні речовини у водних зразках. Результати досліджень за допомогою мультиспектральних біосенсорів планується порівняти з результатами, отриманими стандартними традиційними методами аналізу токсичних речовин.

Крім того, прикладні результати роботи можуть мати подвійне використання, що має особливо важливе значення для підвищення обороноздатності та національної безпеки держави. Зокрема, у роботі планується вдосконалення мультиспектральних засобів дистанційного екологічного моніторингу, які можливо використати у безпілотних літальних апаратах для розвідки місцевості.

Мета роботи – забезпечення екологічної безпеки у сфері поводження з небезпечними відходами та підвищення ефективності оцінювання їх комплексного впливу на водні об'єкти за допомогою методів і засобів мультиспектрального екологічного моніторингу та біосенсорів.

Результати дослідження

Проведено аналіз методів комплексної оцінки техногенного забруднення природних водних об'єктів, який підтвердив, що контроль інтегральних показників забруднення вод повинен базуватись на їх екоотоксичності. При цьому оцінювання комплексного впливу забруднювальних речовин на екосистему водного об'єкта здійснюється за індексами біорізноманіття. Також було проаналізовано сучасні методи і засоби контролю комплексного забруднення природних водних об'єктів, що показало низьку достовірність контролю пов'язану з недостатньою точністю вимірювання параметрів. Здійснено аналіз існуючих оптичних методів контролю параметрів забруднення водних середовищ, який підтвердив їх недосконалість та неспроможність вирішення прикладної задачі для потреб екологічного моніторингу та достовірного контролю інтегральних показників забруднення вод, що зумовило необхідність вдосконалення методів і засобів мультиспектрального екологічного контролю параметрів забруднення водних середовищ.

Вдосконалено математичні моделі спектральних характеристик водних середовищ з частинками фітопланктону, що дозволило дослідити глибинну структуру освітленості у приповерхневих шарах цих середовищ та обрати спектральні діапазони для роботи засобів екологічного контролю. Вдосконалено математичні моделі поширення випромінювання у водних середовищах з вищими водними рослинами з урахуванням ефекту локалізованого поглинання випромінювання на їх спектральні характеристики, що дозволило ввести відповідні поправочні коефіцієнти, які враховують форму та розміри розсіювачів, що дозволяє зменшити загальну похибку вимірювань біомаси та співвідношення між пігментами.

Розв'язана задача оптимального вибору структури засобів мультиспектрального контролю, зокрема вибору робочих довжин хвиль спектральних каналів та їх ширини за допомогою покрокової множинної регресії з включенням незалежних змінних, що дозволяє забезпечити необхідну точність опосередкованого вимірювання та достовірність контролю параметрів забруднення водних середовищ.

Розроблено алгоритмічне і програмне забезпечення технічних засобів мультиспектрального екологічного контролю параметрів забруднення водних середовищ для впровадження у природоохоронних установах. Вдосконалено систему контролю індексу токсичності стічних вод за допомогою мультиспектрального методу з використанням біоіндикації по фітопланктону та нейромережі для обробки результатів. Для розв'язання оберненої задачі опосередкованого вимірювання концентрації частинок фітопланктону у водних середовищах використано нейро-нечітку мережу, що дозволяє підвищити достовірність контролю параметрів природних водних середовищ для задач екологічного

моніторингу.

Проаналізовано методики оцінювання відносної екологічної небезпеки різних хімічних впливів на довкілля. Кожна з існуючих методик розрахунків екологічних ризиків має певні недоліки, основними з яких є відсутність вихідних даних для розрахунків, дороговизна, складність прикладних досліджень та експериментів. Запропонована методика спрощеного розрахунку екологічних ризиків дозволяє швидко і ефективно визначати відносну екологічну небезпеку різних хімічних впливів на довкілля, що дозволяє підбирати оптимальні механізми мінімізації шкідливих впливів.

Встановлено параметри транспортної мережі та їх вплив на величину ризику аварійної ситуації і можливих нещасних випадків при транспортуванні небезпечних відходів (ТНВ). Проаналізовано небезпечні ефекти, які можуть бути викликані ТНВ з врахуванням параметрів дороги, транспортної мережі, типу і видів транспорту тощо. Для мінімізації ризиків аварій під час ТНВ запропоновано використовувати відповідні підходи та критерії, які дозволяють оцінити безпечність системи перевезень та обраного маршруту.

Здійснено аналіз забруднень водного середовища, розглянуто класифікацію токсикантів. Також розглянуто детальний огляд впливу забрудників на живі компоненти водного середовища та на здоров'я людей. Дані про отруєння та забруднення водоносних горизонтів, поверхневих стоків, басейнів рік і акваторій морів переконливо свідчать про гостроту проблеми. Крім того, наведено методику біотестування та біоіндикації забруднення водного середовища. Здійснено графічне зображення залежності росту рослини від внесеного отрутохіміката, динаміка проростання зерен у контрольному зразку та при додаванні відповідного пестициду.

Обґрунтовані моделі техногенно-антропогенних ризиків під час транспортування небезпечних відходів, якими є, зокрема, пестицидні препарати, інші ХЗЗР та небезпечні вантажі. При цьому перевезення таких небезпечних речовин може супроводжуватись відповідними катастрофічними наслідками як для людей, так і для довкілля в цілому. Встановлено, що потенційну загрозу, а також величину цих наслідків можна оцінити кількісно з певною імовірністю. В результаті, ці ризики можна спрогнозувати, управляти ними і вживати відповідних управлінських рішень та заходів щодо попередження загроз або їх усунення як під час передзагрозної, так і післязагрозної фаз.

Здійснено попередню оцінку даних та параметрів, які впливають на ефективність оцінювання зони ураження, що може виникнути внаслідок аварії під час транспортування небезпечних вантажів, якими можуть бути, зокрема, пестициди та інші хімічні засоби захисту рослин, радіоактивні речовини, вибухові засоби тощо. Запропонований також алгоритм побудови карт ураження з врахуванням розподілу населення, яке може перебувати в момент транспортної аварії саме в зоні ураження. Крім того, удосконалені відомі та розроблено нові моделі розрахунку індивідуального та соціального ризиків, які враховують всі можливі сценарії і частоту надзвичайних ситуацій. Все це дає можливість передбачити можливі загрози і негативні наслідки як для окремих людей, так і значних соціальних груп населення, що опиняться в зоні ураження, усунути ці загрози і управляти відповідними ризиками, зокрема, при необхідності змінивши маршрути, технічні засоби, види транспорту тощо.

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 екотоксичності, як інтегрального показника забруднення поверхневих вод, з використанням опосередкованого вимірювання концентрації частинок мікроводоростей 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 рослинам, 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.

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.

Висновки

Використання розроблених мультиспектральних методів та засобів для екологічного контролю екологічного стану водних об'єктів дозволило зменшити похибки вимірювання параметрів тест-об'єктів у порівнянні над вітчизняними або зарубіжними аналогами чи прототипами. Зокрема, при використанні нейро-нечіткої мережі для обробки результатів мультиспектральних вимірювань отримано похибку опосередкованого вимірювання біомаси фітопланктону до 3,7%. Для розроблених засобів мультиспектрального екологічного контролю параметрів забруднення водних середовищ з використанням квадрокоптерів оцінена достовірність контролю, що склала від 0,939 до 0,974 в залежності від спектральних характеристик вимірювальних каналів та їх кількості. Традиційні закордонні методики біотестування токсичності поверхневих та стічних вод з використанням одноклітинних прісноводних водоростей *Scenedesmus quadricauda* (Turp) Vreb та підрахунком їх чисельності за допомогою мікроскопу і лічильної камери Горяєва або за допомогою фотоколориметра мають похибку до 34%. У зарубіжних аналогах досліджується масовий розвиток («цвітіння») ціанобактерій у водних об'єктах за допомогою методів мультиспектрального моніторингу з супутника Landsat-8, літаків та безпілотних літальних апаратів. Мультиспектральні дослідження з літаків дозволили виявити невеликі зони цвітіння ціанобактерій пов'язані з несанкціонованим скидом стічних вод та визначити джерела скиду. Однак похибка вимірювань при цьому склала до 10%.

Запропонована методика розрахунку екологічних ризиків дозволяє швидко і ефективно визначити відносну екологічну небезпеку різних хімічних впливів на довкілля, що дозволяє підбирати оптимальні механізми мінімізації шкідливих впливів. Удосконалені та розроблено моделі розрахунку індивідуального та соціального ризиків, які враховують всі можливі сценарії і частоту надзвичайних ситуацій, що дає можливість передбачити можливі загрози і негативні наслідки. Відомі методики оцінювання екологічних ризиків не дозволяють проводити експрес визначення і порівняння екологічних ризиків через складність математичних розрахунків та необхідність використання масивів статистичних даних. 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. Використання розроблених мультиспектральних методів дозволило зменшити похибки вимірювання параметрів у порівнянні над вітчизняними або зарубіжними аналогами чи прототипами. Зокрема, при врахуванні ефекту локалізованого поглинання випромінювання у водних середовищах загальна похибка вимірювань становить не більше 0,5%.

За результатами досліджень вдосконалено методи опрацювання мультиспектральних зображень водних середовищ для визначення параметрів забруднення водних середовищ і екологічного стану водних об'єктів, вдосконалено методи мультиспектрального екологічного моніторингу забруднення водних об'єктів компонентами небезпечних відходів з використанням біосенсорних технологій. Використанням опосередкованого вимірювання концентрації частинок мікроводоростей з обробленням результатів із застосуванням нейромережі та нейро-нечіткої мережі дозволило підвищити достовірність контролю та отримувати результати вимірювань з похибкою до 0,5 % у порівнянні з відомими аналогами, що мають похибку до 10 %.

Запропоновано мультиспектральний біосенсор для екологічного моніторингу водних середовищ у якому розширено функціональні можливості та підвищено точність опосередкованого вимірювання параметрів забруднення із застосування біосенсорів на основі плівки біологічно активної речовини,

що змінює свої спектральні характеристики під дією зовнішніх факторів. Використання запропонованих біосенсорів дозволило підвищити достовірність контролю екоотоксичності до значення 0,96 у порівнянні з відомими закордонними аналогами на основі мікробних біоломінесцентних сенсорів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. 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. <https://doi.org/10.1117/12.2501590>
2. 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. <https://doi.org/10.1117/12.2501636>
3. Kvaterniuk S., Kvaterniuk O., Petruk V., Rakytyanska H., Mokanyuk O., Omiotek Z., Syzdykpayeva A. Determination of the time of occurrence of superficial damage to human biological tissues on the basis of colorimetry and fuzzy estimates of color types. Proc. SPIE, 2019. Vol. 11176, 111762B. P. 111762B -1–111762B -8. doi: 10.1117/12.2536411.
4. Kvaterniuk S., Kvaterniuk O., Petruk V., Mandebura A., Mandebura S., Grądz Ż. M., Rakhmetullina S., Arshidinova M. Multispectral environmental monitoring of phytoplankton pigment parameters in aquatic environments. Proc. SPIE, 2019. Vol. 11176, 111762R. P. 111762R -1– 111762R -7. doi: 10.1117/12.2536809.
5. Kvaterniuk 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/S07.069
6. Кватернюк С. М. Математичне моделювання природних водних середовищ для задач екологічного контролю. Вісник ХНУ. Серія: Технічні науки. 2018. № 2. С. 252–255.
7. Кватернюк С. М. Мультиспектральні вимірювання біомаси фітопланктону у водних середовищах для задач екологічного контролю. Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2018. № 2. С. 7–13.
8. Кватернюк С. М. Оцінювання достовірності мультиспектрального екологічного контролю біомаси фітопланктону у водних середовищах. Вісник ХНУ. Серія: Технічні науки. 2018. № 3. С. 275–278.
9. 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.
10. Кватернюк С. М. Оцінювання достовірності мультиспектрального екологічного контролю пігментних параметрів фітопланктону у водних середовищах. Вісник ХНУ. Серія: Технічні науки. 2018. № 5. С. 128–131.
11. Кватернюк С. М., Петрук В. Г. Мультиспектральний екологічний контроль інтегральних параметрів забруднення водних об'єктів. Екологічні науки. 2018. № 2(21). С. 133–137.
12. 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.
13. 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.
14. Ishchenko V. Environment contamination with heavy metals contained in waste. Environmental Problems 3 (1), 2018, pp. 21-24.
15. Петрук Р. В., Кравець Н. М., Трач І. А., Кватернюк С. М., Варакса В. В. Аналіз фітотоксичного ефекту небезпечних пестицидних препаратів за допомогою біоіндикації. Техногенно-екологічна безпека. 2019. № 2(6). С. 42–48. doi: 10.5281/zenodo.3559014.
16. Petruk R. Environmental safety management of substandard pesticide residues and remediation and reclamation of contaminated soil / R. Petruk, M. Katkov. // Environmental Problems. – 2019., Vol. 4, Num. 3 – pp.125–129.

17. Петрук Р.В. Аналіз екологічно безпечних методів відновлення забруднених пестицидами ґрунтів / Р.В. Петрук, Т.Ф. Яковишина // Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування. – 2019. – С. 102–111.

18. Петрук Р. В. Методологія оцінювання зон ураження та наслідків від аварій під час транспортування небезпечних відходів/ Екологічна безпека. – 2019. – С. 58–65.

19. Петрук Р.В. Обґрунтування моделей техногенно-антропогенних ризиків і методології управління під час транспортування пестицидів та пестицидвмісних відходів. Екологічні науки: науково-практичний журнал. 2019 - №2 (25). Т.1 – 220 с. С.191- 198.

20. Петрук Р.В. Аналіз методів оцінки екологічних ризиків впливів небезпечних речовин / Петрук Р.В., Петрук Г.Д., Костюк В.В. // Екологічні науки: науково-практичний журнал. – 2019., №1 (24). – С. 160–164.

21. Петрук Р. В. Аналіз квантово-хімічних розрахунків перебігу лужного гідролізу як реагентного методу при знешкодженні фосфорвмісних пестицидів / Р. В. Петрук, Г. Д. Петрук. // Збірник наукових праць національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова. – 2019., №1 – С. 259–263.

22. Петрук Р.В. Аналіз хімічних загроз екологічній безпеці Вінницької області Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві Вінниця: 2020. – №2 (27). – С. 160-165.

23. Petruk R. Environmental safety management of used packaging of pesticides and other dangerous substances / Roman Peruk, Ihor Petrushka, Volodymyr Pohrebennyk // Environmental Problems. – 2020., Vol. 5, Num. 1 – С. pp. 30–34.

Петрук Василь Григорович – д-р техн. наук, директор Інституту екологічної безпеки та моніторингу довкілля, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

Кватернюк Сергій Михайлович – д-р техн. наук, професор кафедри екології та екологічної безпеки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

Petruk Vasil G. — Dr. Sc. (Eng.), Director of the Institute of Environmental Safety and Environmental Monitoring, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

Kvaterniuk Serhii M. — Dr. Sc. (Eng.), Professor of the Department of Ecology and Environmental Safety, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia