

**С. М. Кватернюк, В. Г. Петрук**

**МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНІ МЕТОДИ  
ТА ЗАСОБИ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОГО  
ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ  
ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ**



Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет

**С. М. Кватернюк, В. Г. Петрук**

**МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНІ МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ  
КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОГО ЕКОЛОГІЧНОГО  
МОНІТОРИНГУ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ**

Монографія

Вінниця  
ВНТУ  
2023

УДК 504.064.3  
К32

Рекомендовано до видання Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 4 від 29.11.2022 р.).

Рецензенти:

**Т. В. Дудар**, доктор технічних наук, професор

**І. М. Петрушка**, доктор технічних наук, професор

**Кватернюк, С. М.**

К32 Мультиспектральні методи та засоби комп'ютеризованого екологічного моніторингу водних об'єктів: монографія [Електронний ресурс] / С. М. Кватернюк, В. Г. Петрук. – Вінниця : ВНТУ, 2023. – (PDF, 314 с.)  
ISBN 978-966-641-930-2

Монографія присвячена вирішенню актуальної наукової проблеми розвитку наукових основ мультиспектральних методів та технічних засобів моніторингу екологічного стану водних об'єктів, які враховують вплив їх характеристик і параметрів на ефективність процесу вимірювання параметрів і визначення показників водних середовищ та оцінювання екологічного стану водних об'єктів, що є передумовою та підґрунтям ефективного управління їх екологічною безпекою.

Розроблено методи мультиспектрального контролю екотоксичності з використанням опосередкованого вимірювання параметрів тест-об'єктів. Удосконалено мультиспектральні методи оцінювання екологічного стану водних об'єктів за характеристиками фітопланктону та вищих водних рослин. Розроблено науково-методичні рекомендації щодо реалізації запропонованих наукових основ використання мультиспектральних методів та засобів екологічного моніторингу.

УДК 504.064.3

ISBN 978-966-641-930-2

© С. Кватернюк, В. Петрук, 2023

## ЗМІСТ

<i>ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ</i> .....	8
ВСТУП .....	9
<b>РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ПАРАМЕТРІВ ЗАБРУДНЕННЯ ВОДНИХ СЕРЕДОВИЩ</b> .....	10
1.1 Аналіз методів контролю комплексного техногенного забруднення та оцінювання екологічного стану водних об'єктів .....	10
1.2 Система екотоксикологічного контролю природних водних об'єктів .....	15
1.3 Аналіз сучасних методів і засобів екотоксикологічного контролю водних середовищ .....	19
1.4 Оцінювання екологічного стану водних об'єктів методами біоіндикації по фітопланктону і вищим водним рослинам .....	29
1.5 Екологічний моніторинг водних об'єктів на прикладі регіональної екологічної мережі Вінницької області .....	34
1.6 Особливості водних середовищ, як об'єктів екологічного контролю оптичними методами .....	37
1.7 Аналіз оптичних методів контролю параметрів водних середовищ .....	38
1.8 Мультиспектральний метод контролю параметрів водних середовищ .....	42
1.9 Засоби мультиспектрального моніторингу водних середовищ .....	45
1.10 Висновки, обґрунтування та конкретизація задач дослідження .....	52
<b>РОЗДІЛ 2. МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ВОДНИХ СЕРЕДОВИЩ ДЛЯ ЗАДАЧ ЕКОЛОГІЧНОГО ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ ЗАБРУДНЕННЯ НА ОСНОВІ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНИХ ЗОБРАЖЕНЬ</b> .....	54
2.1 Математична модель шару суспензії частинок фітопланктону у водних середовищах .....	54
2.1.1 Спектральні характеристики фактору анізотропії розсіювальних частинок .....	55
2.1.2 Математична модель шару суспензії частинок .....	58
2.1.3 Математичне моделювання динаміки популяцій фітопланктону у водних екосистемах .....	60
2.2 Математичне моделювання спектральних характеристик окремого шару водного середовища із завислими частинками фітопланктону при зміні біомаси фітопланктону .....	63
2.3 Математичне моделювання переносу випромінювання у багат шаровій структурі водного середовища .....	70

2.4 Математичне моделювання спектральних характеристик окремого шару водного середовища із завислими частинками фітопланктону при зміні співвідношення між пігментами .....	72
2.5 Математичне моделювання спектральних характеристик коефіцієнту дифузного відбиття водного середовища при зміні його параметрів за відомим законом розподілу .....	79
2.6 Спектральні особливості поширення випромінювання у водних середовищах з сильно поглинаючими водоростями .....	84
2.7 Моделювання глибинної структури когерентної складової і некогерентного фону багатократно розсіяного світлового поля при широкій варіації параметрів водних середовищ .....	95
2.8 Математичне моделювання опосередкованого вимірювання параметрів забруднення водних середовищ .....	101
2.9 Висновки .....	104

### РОЗДІЛ 3. РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ

МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНОГО ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ВОДНИХ СЕРЕДОВИЩ .....	105
3.1 Метод та засіб мультиспектрального контролю параметрів забруднення водних середовищ .....	105
3.2 Метод та засіб мультиспектрального контролю розмірів розсіювальних частинок у водних середовищах .....	109
3.3 Методи та засоби мультиспектрального контролю концентрацій забруднювальних речовин та екотоксичності поверхневих вод з використанням біотестування по мікрводоростях .....	111
3.3.1 Методи та засоби мультиспектрального контролю концентрацій забруднювальних речовин у водних середовищах з використанням біотестування по мікрводоростях .....	111
3.3.2 Метод та засіб мультиспектрального контролю екотоксичності поверхневих вод з використанням біотестування по мікрводоростях .....	113
3.4 Метод та засіб мультиспектрального контролю забруднення водних середовищ за допомогою ряски малої ( <i>Lemna minor</i> L.) .....	116
3.5 Мультиспектральний вимірювальний контроль інтегральних параметрів забруднення з використанням вищих водних рослин у комплексі для очищення стічних вод .....	119
3.6 Метод та засіб мультиспектрального вимірювального контролю екологічного стану водних об'єктів за параметрами фітопланктону .....	123
3.7 Метод дистанційного мультиспектрального екологічного моніторингу водних об'єктів .....	126

3.8	Метод та засіб локації забруднення на основі мультиспектрального моніторингу водних об'єктів .....	130
3.9	Метод та засіб мультиспектрального контролю параметрів водних середовищ з флуоресцентними барвниками .....	133
3.10	Висновки .....	135

**РОЗДІЛ 4. РОЗРОБЛЕННЯ СТРУКТУРНИХ СХЕМ ЗАСОБІВ  
МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНОГО ЕКОЛОГІЧНОГО  
ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ ТА АНАЛІЗ ЇХ  
МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК .....**

		137
4.1	Аналіз структурних схем засобів мультиспектрального екологічного контролю параметрів забруднення водних середовищ .....	137
4.2	Розроблення структурних схем засобів мультиспектрального екологічного контролю .....	141
4.2.1	Засоби мультиспектрального екологічного контролю параметрів водних середовищ in vitro .....	141
4.2.2	Засоби мультиспектрального екологічного моніторингу водних об'єктів з використанням квадрокоптера .....	153
4.3	Аналіз похибок засобів мультиспектрального вимірювального контролю екологічного стану водних об'єктів .....	161
4.3.1	Аналіз структурної схеми засобу мультиспектрального контролю екологічного стану водних об'єктів .....	162
4.3.2	Аналіз інструментальних похибок вимірювання параметрів забруднення водних середовищ .....	161
4.3.3	Аналіз методичної та загальної похибки вимірювання параметрів забруднення водних середовищ .....	164
4.3.4	Аналіз похибок вимірювань біомаси фітопланктону у водних середовищах in vitro .....	166
4.3.5	Аналіз похибок вимірювання пігментних параметрів фітопланктону у водних середовищах in vitro .....	167
4.3.6	Аналіз похибок вимірювань біомаси фітопланктону у водних середовищах з використанням квадрокоптера .....	168
4.3.7	Аналіз похибок вимірювання пігментних параметрів фітопланктону у водних середовищах з використанням квадрокоптера .....	169
4.4	Аналіз похибок вимірювання площі порушеної ділянки поверхні водного середовища мультиспектральним методом .....	171
4.4.1	Аналіз забезпечення критерію глибини різкості оптичною схемою первинного вимірювального перетворювача засобу мультиспектрального екологічного контролю .....	172
4.4.2	Аналіз забезпечення критерію точності вимірювання площі порушеної ділянки поверхні водного середовища .....	177

4.5 Дослідження впливу ефекту локалізованого поглинання випромінювання на мультиспектральні вимірювання .....	180
4.5.1 Комп'ютерне моделювання ефекту локалізованого поглинання випромінювання у водних середовищах .....	180
4.5.2 Розрахунок поправочних коефіцієнтів у робочому діапазоні засобів мультиспектрального екологічного вимірювального контролю .....	185
4.6 Оцінювання достовірності мультиспектрального екологічного вимірювального контролю біомаси фітопланктону у водних середовищах .....	187
4.7 Оцінювання достовірності мультиспектрального екологічного контролю пігментних параметрів фітопланктону у водних середовищах .....	191
4.8. Висновки .....	199

## Розділ 5. РОЗРОБЛЕННЯ АЛГОРИТМІЧНОГО І ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАСОБІВ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНОГО ЕКОЛОГІЧНОГО ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ .....

5.1. Система контролю параметрів забруднення водних середовищ за допомогою мультиспектрального методу з використанням біотестування та нейромережі для обробки результатів .....	202
5.2 Оцінювання достовірності контролю токсичності стічних вод мультиспектральним методом з використанням нейромережі .....	205
5.3 Обробка результатів мультиспектральних вимірювань концентрації частинок фітопланктону з використанням нечіткої логіки .....	208
5.4 Обробка результатів мультиспектрального контролю параметрів природних водних середовищ з використанням нечіткої логіки .....	213
5.5 Розробка спеціалізованого програмного забезпечення для мультиспектрального контролю параметрів забруднення водних середовищ .....	214
5.6 Висновки .....	217

## РОЗДІЛ 6. НАУКОВО-МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ВДОСКОНАЛЕННЯ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНОГО МОНІТОРИНГУ ПАРАМЕТРІВ ЗАБРУДНЕННЯ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ .....

6.1 Методики визначення токсичності за допомогою біотестування з використанням мультиспектральних методів і засобів .....	219
6.1.1 Призначення і область застосування методик визначення токсичності з використанням мультиспектральних методів і засобів .....	219

6.1.2 Підготовка до біотестування, відбір, транспортування і зберігання проб .....	221
6.1.3 Контроль інтегрального рівня токсичності стічних вод за допомогою біотестування .....	231
6.1.4 Дослідження впливу хімічних сполук у складі косметичних та миючих засобів на довкілля методом біотестування по фітопланктону .....	235
6.1.5 Експериментальні методики контролю концентрації пестицидних препаратів у водних середовищах мультиспектральним методом з використанням біотестування .....	238
6.1.6 Експериментальні методики контролю концентрації небезпечних компонентів промислових та побутових відходів у водних середовищах мультиспектральним методом з використанням біотестування .....	244
6.1.7 Контроль токсичності питної води децентралізованого водопостачання мультиспектральними методами і засобами за допомогою біотестування .....	247
6.2 Експериментальні дослідження екологічного стану водних об'єктів мультиспектральними методами з використанням біоіндикації .....	252
6.2.1 Дослідження інтегральних параметрів якості поверхневих вод р. Південний Буг за характеристиками макрофітів .....	252
6.2.2 Дослідження екологічного стану р. Снівода за характеристиками макрофітів .....	261
6.2.3 Експериментальні дослідження екологічного стану водних об'єктів підприємства ТОВ «Енергогарант» .....	264
6.2.4 Експериментальні дослідження інтегральних параметрів якості поверхневих вод мультиспектральним методом з використанням біоіндикації по фітопланктону .....	268
6.3 Висновки .....	270
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ .....	271
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	274



## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АЦП – аналогово-цифровий перетворювач;  
АФ – автофлюоресценція;  
ВОХ – волоконно-оптичний хвилевод;  
ВРД – Водна Рамкова Директива;  
ГДК – гранично допустима концентрація;  
ІЧ – інфрачервоний;  
ЄС – Європейський союз;  
ЄЕК – Європейська екологічна комісія;  
ЕК – ефективна концентрація;  
ОК – об'єкт контролю;  
ОД – об'єкт дослідження;  
ЛК – летальна концентрація;  
МКН – малокутове наближення;  
МСП – мультиспектральні параметри;  
ОПП – оптичний первинний перетворювач;  
ПВС – полідисперсні водні середовища;  
ПЗЗ – пристрій з зарядовим зв'язком;  
СПЦ – скануюча проточна цитометрія;  
СПАР – синтетичні поверхневоактивні речовини;  
БСК – біохімічне споживання кисню;  
ХСК – хімічне споживання кисню;  
ВВР – вищі водні рослини;  
ФМ – фотоматриця.

## ВСТУП

При гармонізації природоохоронної системи України із законодавством ЄС у зв'язку із зобов'язаннями України та відповідно до міжурядових угод необхідно удосконалювати систему контролю параметрів забруднення водних середовищ та оцінювання екологічного стану водних об'єктів [1]. З метою забезпечення екологічної безпеки водних об'єктів необхідно створення системи контролю параметрів забруднення, що дозволить оцінювати екологічний стан водних об'єктів, ефективність роботи очисних споруд, екоотоксичність хімічних речовин, ефективність природоохоронних заходів на території промислових об'єктів, комплексний вплив небезпечних компонентів відходів на водні екосистеми тощо.

При цьому перспективним напрямком вдосконалення засобів екологічного контролю комплексного антропогенного забруднення водних об'єктів є оптичні методи контролю, зокрема, мультиспектральний метод. Загалом, мультиспектральний екологічний вимірювальний контроль параметрів забруднення водних середовищ та екологічного стану водних об'єктів займає важливе місце при вирішенні різних прикладних задач екологічного моніторингу. Вимірювальний контроль параметрів забруднення приповерхневого шару водних середовищ та вмісту у ньому певних хімічних сполук може здійснюватись на основі обробки мультиспектральних зображень об'єкта отриманих ПЗЗ камерою на характеристичних довжинах хвиль. Концентрацію певних речовин у приповерхневому шарі об'єкта контролю можна аналізувати, порівнюючи отриманий масив мультиспектральних зображень з результатами вимірювань для модельних середовищ з відомими концентраціями пігментів, які отримані при певних визначених умовах проведення експерименту.

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

**Метою роботи** є розвиток наукових основ мультиспектральних методів та технічних засобів, які враховують вплив їх характеристик і параметрів на ефективність процесу вимірювання параметрів і визначення показників водних середовищ та оцінювання екологічного стану водних об'єктів.

# РОЗДІЛ 1

## АНАЛІЗ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ПАРАМЕТРІВ ЗАБРУДНЕННЯ ВОДНИХ СЕРЕДОВИЩ

### 1.1 Аналіз методів контролю комплексного техногенного забруднення та оцінювання екологічного стану водних об'єктів

Одним із важливих складових моніторингу та контролю якості вод є комплексна оцінка екологічного стану поверхневих водних об'єктів, що підлягають антропогенному забрудненню [2]. Найбільш розповсюдженими методами, які застосовуються для зазначених цілей, є розрахунок коефіцієнта забрудненості води та екологічного індексу якості води, недостатня ефективність яких пов'язана з використанням обмеженого переліку (в основному гідрохімічних) показників, що не дозволяє отримати ґрунтовну комплексну оцінку стану абіотичної та біотичної складових водної екосистеми. Оцінити стан екосистеми лише за фізико-хімічними показниками неможливо, оскільки не враховується її основна характеристика – стан гідробіоти. Аналітичний контроль ускладнюється синергетичною дією більшості сполук. Реакція гідробіоти залежить не лише від окремих фізико-хімічних факторів, але й від їх взаємодії. Інтегральну оцінку біологічної повноцінності води, як середовища мешкання біоти, з урахуванням різних проявів взаємодії хімічних речовин – адитивності, синергізму, антагонізму, можна отримати за допомогою методу біотестування, який набув поширення у природоохоронній практиці багатьох країн, коли суспільство усвідомило небезпеку для здоров'я людей через забруднення води токсичними речовинами [2–6, 402, 421].

При цьому біотестування води – це оцінювання якості вод по реакції тест-організмів. Існує думка, що результати біотестування важко пов'язати зі станом природних водних угруповань, тобто вони не можуть характеризувати відгук водної екосистеми на вплив. Однак біотестування дозволяє вирішити ряд практичних питань, пов'язаних з оцінюванням токсичної дії окремих хімічних речовин, їх сумішей, стічних і природних вод.

Біологічна індикація якості вод (біоіндикація) – оцінювання якості вод по наявності водних організмів, що є індикаторами її забруднення. Методи біоіндикації встановлені у [7,8]. За результатами біоіндикації отримують інформацію про видову різноманітність і структурний склад гідробіоніків, що виражається у якісних та кількісних характеристиках біоценозів. За цими хара-

ктеристикам розраховують індекс сапробності, визначають рівні трофності і забрудненості. Біоіндикація передбачає виявлення видів-індикаторів сапробності у водних об'єктах.

Дослідження екологічного стану водних об'єктів методами біоіндикації використовується у більшості розвинутих країн світу. Оскільки процес визначення чисельності концентрації частинок планктонних організмів, що використовуються у якості біоіндикатора, потребує менших витрат ніж вимірювання чисельних гідрохімічних показників, це дозволяє опрацювати більшу кількість проб. А тому з'являється можливість контролю забруднення води у більшій кількості створів при незмінних витратах на лабораторні вимірювання. У випадку, коли біоіндикація вказує на підвищений рівень токсичності чи вмісту біогенних сполук є сенс проводити більш ретельні хімічні дослідження.

Існуюча система контролю якості води водних об'єктів, екологічно непродуктивна із-за неефективності прийнятих нині нормативів якості – гранично допустимих концентрацій (ГДК) забруднювальних речовин. ГДК приймають у вигляді єдиних нормативів для великих адміністративних територій, тоді як дія чинників залежить від специфічних фонових, кліматичних, господарських і багатьох інших характеристик конкретного регіону [9]. Кількість речовин, для яких встановлені ГДК, складає близько 1,5 тис., тоді як кількість забруднювальних речовин антропогенного походження перевищило мільйон найменувань. Традиційна оцінка екологічного стану водних об'єктів в районах зосередження підприємств різних галузей економіки зводиться до виміру за допомогою фізико-хімічних методів аналізу вмісту нафтопродуктів, важких металів, інших токсичних речовин у поверхневих і стічних водах і порівнянню отриманих результатів з гранично допустимими їх концентраціями, де також не враховуються непрямі ефекти і віддалені наслідки шкідливих дій, адаптаційний потенціал біоти, цільове призначення і категорії використання природних об'єктів. З іншого боку, тільки методи біотестування дозволяють отримати інтегральну токсикологічну характеристику компонентів навколишнього природного середовища незалежно від складу забруднювальних речовин [10].

Існуюча методологія нормування і аналітичного контролю не відповідає сучасним вимогам екологічного контролю за забрудненням навколишнього середовища, оскільки:

– охоплює лише незначну частину реально присутніх в навколишньому природному середовищі показників забруднення,

- не враховує ступеня шкідливості комплексного впливу всіх забруднювальних речовин на процеси самоочищення в водоймах і ґрунті,
- регулярно контролює в скидах, в воді поверхневих водойм і в ґрунті лише незначну частку речовин, що виявляються аналітичними методами,
- не виявляється ефектів синергізму і антагонізму хімічних сполук, присутніх в природних водах і ґрунті.

У роботі [1] проведено аналіз законодавства ЄС у галузі водної політики. Розглянуто питання з проблем гармонізації стратегії у галузі водної політики в Україні з Європейським законодавством. Показано необхідність удосконалення системи нормування і контролю антропогенного забруднення принципово новим підходом з використання для цього однієї з важливих властивостей води – її токсичності, яка визначається методом біотестування, що дає можливість отримати інтегральну характеристику токсичної дії всіх присутніх у воді забруднювальних речовин.

Актуальність використання екотоксикологічного методу при здійсненні водоохоронних заходів підтверджується також положеннями Водної Рамкової Директиви 2000/60/ЄС, яка встановлює структуру дій країн ЄС у галузі водної політики. Згідно зі статтею 16 Директиви стратегія запобігання забруднення води повинна базуватись виключно на водній екотоксичності та на оцінці ризику токсичності води для людей через водне середовище [11, 12]. Показник «токсичність води» визначається за допомогою експериментального методу біотестування, який ґрунтується на зміні певних показників життєдіяльності відповідних тест-об'єктів під впливом токсичних речовин [11]. Доповнення існуючої системи нормування забруднення поверхневих вод інтегральним токсикологічним показником їх якості є ефективним засобом обмеження подальшого антропогенного навантаження на водні об'єкти [13].

У зв'язку із зобов'язаннями України, відповідно до міжурядових угод щодо спільного використання і охорони транскордонних вод особливо важливим є комплексний, системний підхід до оцінки екологічного стану транскордонних водних об'єктів. Рекомендації щодо оцінки якості води транскордонних водних об'єктів запропоновано «Правилами ведення моніторингу та оцінки якості води транскордонних річок», які розроблені Робочою групою ООН/ЄЕК [14]. Зокрема, у зазначеному документі відзначається, що для загальної екологічної оцінки якості води конче важливим є врахування абіотичних і біотичних чинників функціонування екосистеми водного об'єкта. Така оцінка повинна включати визначення біологічного статусу водного середовища, екологічну оцінку якості води та донних відкладів, оцінку взаємодії угруповань водних організмів з абіотичними факторами. При цьому особлива

увага приділяється визначенню токсичних властивостей води. У зв'язку з цим, тест на токсичність повинен бути обов'язковим як доповнення до хімічного аналізу.

У роботі [15] представлено результати оцінки набору методик біотестування (біотестів) з метою відбору найбільш ефективних для визначення токсичних і генотоксичних властивостей різних категорій вод. Вибір ефективної методики біотестування для визначення рівня токсичності будь-якої категорії води – це важлива методологічна проблема, яка потребує вирішення за допомогою використання спеціальних критеріїв. Для оцінки ефективності біотестів було розроблено ряд критеріїв:

- чутливість: кількість позитивних відповідей на вплив токсичних проб води з числа проаналізованих;

- мінімальна діюча концентрація найбільш токсичної проби води згідно з критерієм токсичності, %;

- експресність: тривалість біотеста, год.;

- трудомісткість: витрати часу на підготовку та проведення біотестування, обчислення результатів, год.;

- економічність: стартові та експлуатаційні витрати (придбання спеціального обладнання, матеріалів, реактивів, культури тест-об'єкта, тощо), грн.;

- особливості біотеста (можливість визначення гострої і хронічної токсичності, генотоксичності, відсутність суб'єктивізму в оцінюванні тест-реакції) і тест-об'єкта (спосіб отримання та можливість безперервного культивування в лабораторних умовах);

- наявність метрологічних характеристик: похибки одиночного визначення токсичності, нормативу оперативного контролю відтворюваності результатів, діапазону реагування тест-об'єкта;

- наявність нормативно-правових документів, національних та міжнародних стандартів;

- можливість та ефективність використання за умов виробничих і контролюючих лабораторій; розповсюдженість використання в інших країнах.

У роботі [9] на основі використання великого масиву експериментальних даних методами регресійного аналізу (покрокової множинної регресії) здійснено моделювання зв'язку результатів біотестування і вимірювань компонентного складу поверхневих і стічних вод. Показано, що у кожному із випадків набір значимих фізико-хімічних показників, які корелюють з даними біотестування, різний і залежить від компонентного складу поверхневих і стічних вод. Перевірка рівнянь регресії на значущість за критерієм Фішера довела, що їх можна вважати адекватними і значними. За результатами моделювання

зв'язку між даними біотестування і вимірювання фізико-хімічних показників поверхневих і стічних вод показано, що у кожному із випадків набір значимих фізико-хімічних показників, які корелюють з даними біотестування, різний і залежить від компонентного складу стічних вод.

У роботі [3] досліджено залежність між результатами вимірювань складу стічних і поверхневих вод за фізико-хімічними і токсикологічним показниками. Встановлено відсутність статистично значущої лінійної залежності між результатами біотестування та вимірювань фізико-хімічного складу стічних вод хімічного і нафтохімічного виробництв та води водних об'єктів, проби з яких відібрані вище та нижче скиду стічних вод.

Якість поверхневих вод є важливою проблемою екологічної безпеки України. В результаті техногенної діяльності значна кількість небезпечних відходів потрапляє у водні об'єкти. Це призводить до зростання рівня евтрофікації, заростання вищими водними рослинами (макрофітами), збільшення концентрації фітопланктону, замулювання, знекиснення тощо. Процес евтрофікації полягає у збільшенні продуктивності екосистеми в основі чого лежить зростання первинної продукції. У зв'язку з цим використовують біологічні показники, що характеризують процес первинного продукування органічної речовини і концентрацію основного фотосинтетичного пігменту – хлорофілу а. Інтегральний контроль забруднення можливо здійснювати за допомогою біоіндикації по різноманітним водним організмам [7].

У ряді сучасних досліджень [16–28] здійснюється розвиток синергетичної теорії управління складними природно-техногенними системами, що може бути використано для оцінювання екологічного стану водних об'єктів. При цьому властивості екосистеми, її синергетичні характеристики проявляються при взаємодії з факторами навколишнього середовища [19]. Екосистеми відповідають вимогам, що висуваються до систем, яким властива самоорганізація [20, 21]: незамкнутість, нестійкість, нелінійність, динамічна ієрархічність. Тому екосистемні підходи доцільно розглядати з точки зору синергетичної концепції з використанням системного підходу для проведення дослідження зміни їх стану [20, 29]. Формалізація біфуркаційних процесів у біосфері невід'ємно пов'язана з розумінням синергетичних закономірностей еволюційного розвитку біоти [20].

При моделюванні динаміки популяцій у водних екосистемах використовують системи нелінійних диференціальних рівнянь, а екологічний стан водних об'єктів при цьому описується фазовим портретом коливань. При цьому коливання популяцій в екосистемах відбуваються відносно певних точок рівноваги. Атрактор це множина точок у фазовому просторі, до якої збігаються

фазові траєкторії дисипативної системи. Простір всередині атрактора, у якій система, що туди потрапила поступово зміщується у заданому напрямку називають зоною атрактора [27].

Реакція на незначні на перший погляд зміни довкілля (поява поллютанта, інтродукції, інвазії і т.д.) характерна в першу чергу для «живої речовини» біосфери: особин, видів, біоценозів. Якщо зміни торкаються певних граничних умов, що забезпечують підтримку рівноваги екосистеми, то з часом можлива суттєва перебудова її структури і функціонування, аж до руйнування самої екосистеми [20].

У роботі [16] розроблені методичні підходи до оцінювання екологічної безпеки екосистем, які базуються на встановленні комплексного показника деградації компонентів природного середовища, що дозволяє оцінювати неадитивні властивості різномасштабних водних екосистем. Здійснюється аналіз причин та меж стійкості складних екосистем, що дозволяє прогнозувати їх реакцію на прямий чи опосередкований вплив людини, а також вирішувати завдання раціонального природокористування за допомогою синергетичного підходу.

Для оцінювання екологічного стану водних об'єктів, з використанням синергетичного підходу, необхідно здійснювати контроль динаміки популяцій водних організмів, що дозволить визначити фазовий портрет коливань динаміки популяцій водних організмів. У цьому контексті можливо використати розроблені мультиспектральні методи і засоби контролю, що дозволять визначити необхідні характеристики популяцій для фітопланктону і вищих водних рослин у природних водних об'єктах та модельних екосистемах.

## **1.2 Система екотоксикологічного контролю природних водних об'єктів**

Екотоксикологічний контроль здійснюється з метою регулярного спостереження за дотриманням нормативів якості навколишнього середовища і попередження потрапляння токсичних речовин у водні об'єкти. При цьому токсичність – це ступінь прояву отруйної дії різноманітних хімічних сполук та їх сумішей, один з важливих факторів, що визначає якість води і дає уявлення про небезпеку при її використанні. Контроль токсичності є необхідною складовою частиною комплексної системи контролю якості води. Визначення токсичності методом біотестування, полягає у проведенні аналізів за допомогою живих тест-організмів. Результати оперативно сигналізують про небезпечний вплив хімічного забруднення на життєдіяльність організмів.



мів, причому не за окремими компонентами, а по їх суміші досить часто невідомої природи. Токсичні ефекти, зареєстровані методами біотестування, включають комплексний синергічний, антагоністичний і додаткові впливи всіх хімічних, фізичних і біологічних компонентів, присутніх у досліджуваній воді, що несприятливо впливають на фізіологічні, біохімічні та генетичні функції тест-організмів. Токсичність, що встановлюється методами біотестування, є інтегральним показником забруднення природних середовищ [30, 31].

Токсичні речовини можуть надходити в середу з природних і антропогенних джерел. Антропогенне забруднення може бути первинним і вторинним. Первинне забруднення обумовлено надходженням забруднювальних речовин з антропогенних джерел. Вторинне забруднення викликається появою в середовищі надмірної кількості продуктів життєдіяльності та залишків організмів, пов'язаних з порушенням природних екологічних взаємовідносин у результаті первинного забруднення. І те й інше здатне викликати токсичний ефект. Токсичність, що встановлюється методами біотестування, є інтегральним показником забруднення природних середовищ. Як і всі інтегральні показники, він має той недолік, що не розкриває забруднювальні речовини, присутні в пробі, тому результати біотестування можуть в окремих випадках не збігатися з висновками про забруднення води, отриманими на підставі гідрохімічних аналізів.

З метою забезпечення екологічної безпеки стічних вод необхідно створення системи контролю їх токсичності, що дозволить оцінювати ефективність роботи очисних споруд та обґрунтувати способи очищення стічних вод, визначати гранично допустимі скиди для промислових об'єктів, оцінювати екологічний стан природних вод, оцінювати токсичність хімічних матеріалів, оцінювати ефективність природоохоронних заходів на території промислового об'єкта.

Критерієм токсичності є кількісне значення тест-параметра, на підставі якого робиться висновок про токсичність води. Серед тест-параметрів найбільш часто використовуються виживання, плідючість, придушення ферментативної й метаболічної активності організмів. Тест-реакція – це зміна будь-якого біохімічного, морфологічного, поведінкового або функціонального показника у тест-об'єкта під впливом токсикантів або їх сумішей. Графік залежності зміни тест-параметра від концентрації забруднювальних речовин у досліджуваній пробі наведено на рис. 1.1.

Індекс токсичності (Т) є безрозмірною величиною і визначається за виразом:

$$T = 100\% \frac{I_c - I_e}{I_c}, \quad (1.2)$$

де  $I_c$  і  $I_e$  відповідно значення тест-параметр контрольної і досліджуваної проби при фіксованому часу експозиції досліджуваного розчину з тест-об'єктом.

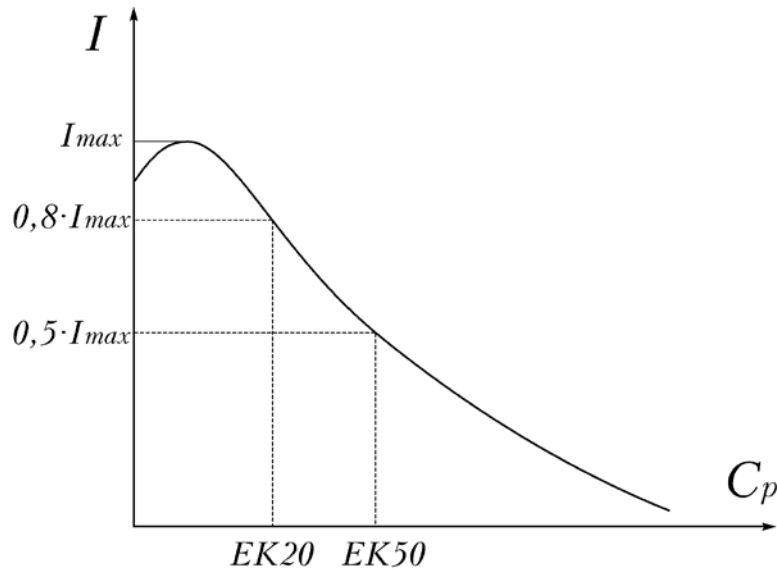


Рисунок 1.1 – Залежність зміни тест-параметра від концентрації забруднювальних речовин у досліджуваній пробі

Обробку результатів вимірювань токсичності виконують шляхом розрахунку середньоарифметичного значення величини індексу токсичності  $T$  для серії досліджуваних проб. При цьому виконуються не менше трьох вимірювань для кожної досліджуваної проби у короткий у порівнянні з експозицією час.

Ступінь токсичності повинна виражатися трьома граничними рівнями індексу токсичності:

- допустимий рівень (індекс токсичності  $T < 20\%$ ),
- середній рівень (індекс токсичності  $20\% \leq T < 50\%$ ),
- високий рівень (індекс токсичності  $T \geq 50\%$ ).

При цьому середня ефективна концентрація (ЕК50), це концентрація токсичної речовини, що викликає зміну тест-реакції на 50% при встановлених умовах експозиції протягом заданого терміну спостережень. Якщо під тест-реакцією мають на увазі загибель 50% тест-об'єктів, то в цьому випадку така концентрація токсичної речовини буде відповідати середній летальній кон-

центрації (ЛК50). Крім того, концентрація токсичної речовини, яка викликає зміну тест-реакції на 20% відповідає ЕК20, а у випадку загибелі 20% тест-об'єктів – ЛК20. У англомовній літературі використовуються позначення LC20 та LC50, відповідно.

У роботі [32] узагальнено досвід вітчизняної та міжнародної практики щодо методичних підходів у дослідженні екологічної небезпеки й оцінки екологічних ризиків на прикладі використання пестицидів. Питання екологічних ризиків розглядаються у ряді Директив ЄС [33, 34]. Існує два підходи для оцінки екологічного ризику небезпечних речовин: імовірнісний, який повністю відповідає класичному визначенню поняття ризику, і детермінований. Імовірнісний підхід дає змогу врахувати варіабельність розподілу небезпечних речовин в навколишньому природному середовищі і невизначеності, зумовлені обмеженою кількістю піддослідних видів організмів. Для оцінки імовірнісного ризику використовується розподіл екологічних показників (наприклад, концентрацій небезпечних речовин у воді і його токсичності для гідробіонтів), які охоплюють весь їх можливий діапазон. Результатом оцінки такого ризику є розрахована ймовірність настання несприятливих наслідків при потраплянні небезпечних речовин у водне середовище, наприклад, загибелі або пригнічення розвитку водних організмів. Істотним недоліком оцінки імовірнісного ризику є великий обсяг необхідних експериментальних даних, що обмежує застосування такого підходу у практиці регулювання обігу пестицидів. У ЄС розпочато розроблення системи оцінки імовірнісного ризику пестицидів. За думкою європейських експертів імовірнісні методи повинні вводитися поступово, насамперед (коли вони найбільше потрібні), щоб допомогти у прийнятті рішень з екологічної безпеки. Система оцінки детермінованого екологічного ризику небезпечних речовин простіша, оскільки вона використовує фіксовані значення токсичності і концентрацій небезпечних речовин у водних середовищах. Показником детермінованого ризику є співвідношення токсичності та концентрації (TER – Toxicity Exposure Ratio). Наприклад, для водних організмів:

$$TER_{i,j} = \frac{LC_{50j}(NOEC_j)}{C_i}, \quad (1.3)$$

де  $TER_{i,j}$  – співвідношення для  $i$ -ї речовини при використанні  $j$ -го тест-об'єкта;

$LC_{50j}$  – напівлетальна концентрація для  $j$ -го тест-об'єкта;

$NOEC_j$  – недіюча концентрація для  $j$ -го тест-об'єкта;

$C_i$  – концентрація  $i$ -ї речовини у водному середовищі.

При цьому у Директивах ЄС вказано безпечні концентрації забруднювальних речовин, що відповідають допустимим значенням TER для певних тест-організмів, зокрема,  $TER > 100$  для дафній та риб, а також  $TER > 10$  для фітопланктону чи вищих водних рослин [35, 36].

### **1.3 Аналіз сучасних методів і засобів екотоксикологічного контролю водних середовищ**

Для біологічної оцінки токсичності води існують ряд методів і засобів з використанням різноманітних тест-організмів (табл. 1.1). Зокрема, у роботах [30, 37–44] запропоновано способи біологічної оцінки токсичності води з використанням в якості тест-об'єктів церіодафній (*Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg). При цьому у роботах [38–45] у якості показника фізіологічного стану церіодафній використовують чисельність живих рухомих церіодафній  $N$  (шт.). У роботі [45] запропоновано пристрій для біологічної оцінки токсичності води, що містить резервуар для досліджуваної води і тест-організмів, верхня частина якого виконана у вигляді усіченого конуса, спрямованого меншою основою вгору, лічильну камеру і клапан. Недоліком пристрою є можливі помилки оператора при підрахунку кількості рухомих дафній.

У роботі [37] у якості показника фізіологічного стану церіодафній використовують середню частоту рухів їх епіподітів  $F_E$  (Гц). Відомий пристрій, який включає камери для дафній, систему підведення і відведення води з патрубками і систему реєстрації частоти рухів епіподітів, що складається з джерела світла, оптичного приладу, фотоприймача і блоку реєстрації [37]. Недоліком є низька чутливість і недостатня експресивність у виявленні токсичності, що викликано виміром частоти руху епіподітів при постійній температурі.

У ряді робіт запропоновано способи біологічної оцінки токсичності води з використанням в якості тест-об'єктів інфузорій. При цьому використовують інфузорії *Colpoda steinii*, *Paramecium Caudatum* Ehrenberg, *Tetrahymena rugiformis*, а у якості тест-параметра – чисельність живих рухомих інфузорій  $N$  (шт.). Недоліком пристрою є можливі помилки при підрахунку кількості живих рухомих інфузорій. У роботі [46] вдосконалено лазерно-доплерівський пристрій для дослідження рухомих живих мікроорганізмів, наприклад, інфузорій (*Tetrahymena rugiformis*), тест-параметр – середня швидкість руху частинок  $V_{\text{сер}}$  (мкм/с), рухливість (частка клітин, що рухаються)  $R$  (%).

Таблиця 1.1 – Методи контролю екотоксичності водних середовищ

Тест-об'єкт	Тест-параметр	Метод вимірювання
Церіодафнії	Чисельність живих рухомих церіодафній	Автоматизована мікроскопія
	Середня частота рухів епіподітів	Оптико-електронний метод
Інфузорії	Чисельність живих рухомих інфузорій	Автоматизована мікроскопія
	Середня швидкість руху	Лазерно-доплерівський
Біоломінесцентні бактерії	Інтенсивність біоломінесценції	Оптико-електронний метод
Бактеріопланктон	Координати кольору у системі RGB	Цифрова колориметрія
Молюски	Відносна кількість молюсків з закритими стулками	Цифровий таймер
Риби	Відносна кількість риб, що вийшли із зони переважного перебування	Оптико-електронний метод
	Біопотенціали інтенсивності дихання	Потенціометрія
	Теплопродукція	Калориметрія
Одноклітинні водорості	Чисельність клітин	Автоматизована мікроскопія
Ряска мала	Відносна частка рослин з морфологічними змінами	Автоматизована мікроскопія
Клітинні біосенсори:		
Культури клітин кишківника свині ІРЕС-1	Пригнічення розвитку	Автоматизована мікроскопія
Культура тканин печінки	Поглинання кисню	Полярографія
Клітини букального епітелію людини	Кількість гранул гетерохроматину у ядрах	Автоматизована мікроскопія
Культура ракових клітин організму людини Нер-2	Відносна площа руйнування клітинного моношару	Автоматизована мікроскопія
Клітини тканин і крові риб	Відносна частота клітин з мікроядрами	Автоматизована мікроскопія

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

За результатами досліджень вирішено актуальну наукову проблему розвитку наукових основ мультиспектральних методів та засобів екологічного моніторингу водних об'єктів, які враховують вплив їх характеристик і параметрів, на ефективність процесу вимірювання параметрів і визначення показників 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 розрахувати 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 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 рослинами, які мають морфологічні зміни за результатами аналізу мультиспектральних зображень, отриманих широкосмуговою 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

ням 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.

*Автори щиро вдячні колективу кафедри ЕХТЗД та студентам-екологам ВНТУ за сприяння у проведенні окремих наукових досліджень з тематики моніторингу та аналізу якості водних середовищ.*



## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Крайнюков О. М. Особливості системи нормування антропогенного забруднення поверхневих вод в Україні та країнах ЄС. *Молодий вчений*. 2016. №3 (30). С. 300–303.
2. Крайнюков О. М., Тімченко В. Д. Удосконалення комплексної оцінки екологічного стану та якості води водних об'єктів. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н.Каразіна серія «Екологія»*. 2016. Вип. 14. С. 9–14.
3. Крайнюков О. М. Регресійний аналіз взаємозв'язку результатів біотестування і вимірювання фізики-хімічного складу води. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2013. № 1–2. С. 68–73.
4. Олексів І. Т., Ялинська Н. С., Брагінський Л. П. та ін. Гідроекологічна токсикометрія та біоіндикація: Теорія, методи, практика використання. Львів : Світ, 1995. 440 с.
5. Брагинский Л. П., Величко И. М., Щербань Э. П. Пресноводный планктон в токсической среде. Киев : Наукова думка, 1987. 180 с.
6. Сніжко С. І. Оцінка та прогнозування якості природних вод. Київ : Ніка-Центр, 2001. 264 с.
7. Барінова С. С., Медведева Л. А., Анисимова О. В. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. Тель Авив : PiliesStudio, 2006. 498 с.
8. Арсан О. М., Давидов О. А., Дьяченко Т. М. та ін. Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод / під ред. В. Д. Романенко. Київ : Логос, 2006. 408 с.
9. Крайнюков О. М. Моделювання зв'язку результатів біотестування і компонентного складу води. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н.Каразіна серія «Екологія»*. 2013. Вип. 9. С. 55–58.
10. Крайнюков О. М. Показник токсичності в системі моніторингу і оцінки якості води транскордонних річок. *Науковий вісник Чернівецького університету : збірник праць. Сер.: Географія*. 2012. №1–2. С. 614–615.
11. Крайнюков О. М. Сучасний екологічний стан водних об'єктів басейну річки Сіверський Донець. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2015. №3–4. С. 71–77.
12. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. *Official Journal of the European Communities*. L. 327. 72 p.

13. Крайнюков О. М. Встановлення нормативів гранично допустимих рівнів токсичності стічних вод на основі застосування конструктивно-географічної методології суб'єкт-об'єктних відносин. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н.Каразіна серія «Екологія»*. 2017. Вип. 16. С. 22–28.
14. Правила ведення моніторингу та оцінки якості води транскордонних річок/ Схвалено комітетом ЄЕК. Гельсинки, 1996. 49 с.
15. Крайнюков О.М. Критерії оцінки чутливості організмів та ефективності методик біотестування для визначення токсичних властивостей води. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н.Каразіна серія «Екологія»*. 2013. Вип. 8. С. 80–85.
16. Azarov S., Zadunaj O. Analysis of the stability of water bodies to the action of destabilizing factors. *Екологічна безпека та природокористування*. 2018. Том 26, № 2. С. 34–42. URL: <http://www.es-journal.in.ua/index.php/esanr/article/view/11/4> (дата звернення: 17.10.2018).
17. Гродзинський М. Д. Стійкість геосистем до антропогенних навантажень. Київ : Лікей, 1995. 233 с.
18. Азаров С. І., Сидоренко В. Л., Задунай О. С. Аналіз безпеки потенційно небезпечних об'єктів. Техногенно-екологічна безпека. 2017. № 1. С. 3–7. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/techecolsaf\\_2017\\_1\\_3](http://nbuv.gov.ua/UJRN/techecolsaf_2017_1_3) (дата звернення: 17.09.2018).
19. Пляцук Л. Д., Черниш Є. Ю. Синергетичний підхід до екологічної проблеми накопичення мулових осадів. *Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування*. 2015. № 2 (12). С. 94–100.
20. Пляцук Л. Д., Черниш Є. Ю. Формалізація нелінійних закономірностей розвитку екосистемних процесів при впливі антропогенезу. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2016. № 2/4(80). С. 25–31.
21. Фритеф К. Паутина жизни. Новое научное понимание живых систем / пер. с англ. под ред. В. Г. Трилиса. Киев : София, 2003. 336 с.
22. Сидоренко Е. С., Халиль В. В. Фракталы в моделировании экологических систем. *Енергоефективність в будівництві та архітектурі*. 2013. № 5. С. 125–129.
23. Wang S. L., Jin X. L., Huang Z. L., Cai G. Q. Break-out of dynamic balance of nonlinear ecosystems using first passage failure theory. *Nonlinear Dynamics*. 2015. Vol. 80, Issue 3. P. 1403–1411.
24. Mastruk V., Abdella K. Modelling the Effects of Pollution on a Population and a Resource in a Polluted Environment. *Applied Mathematics*. 2011. Vol. 2011. P. 1–31.

25. Tian D., Niu S., Pan Q. et al. Nonlinear responses of ecosystem carbon fluxes and water-use efficiency to nitrogen addition in Inner Mongolia grassland. *Functional Ecology*. 2015. Vol. 30, Issue 3. P. 490–499.
26. Destania Y., Jaharuddin, Sianturi P. Stability Analysis of Plankton Ecosystem Model: Affected by Oxygen Deficit. *Applied Mathematical Sciences*. 2015. Vol. 9, Issue 81. P. 4043–4052.
27. Пляцук Л. Д., Черныш Е. Ю. Синергетика: нелинейные процессы в экологии : монография. Сумы : Сумский государственный университет, 2016. 229 с.
28. Пляцук Л. Д., Черныш Е. Ю., Пляцук Д. Л. Синергетика: экосистемные процессы. *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*. 2014. № 6(89). Част. 1. С. 137–142.
29. Nauhs M., Neal C., Hooper R., Christophersen N. Summary of a workshop on ecosystem modeling: The end of an era? *Science of the Total Environment*. 1996. Vol. 183. P. 1–5.
30. Frear H., Boyd J. Use of *Daphnia magna* for microbioassay of pesticides. *J. Econom. Entomol.* 1967. № 60. P. 1228–1236.
31. Tonkopii V., Zagrebin A., Iofina I. Bioidentification of xenobiotics as a basis of water management. *Sustainable use and development of watersheds*. Berlin: Springer, 2008. P. 349–353.
32. Моклячук Л. І., Ліщук А. М., Матусевич Г. Д. Аналіз міжнародної практики та методичних підходів щодо вивчення екологічних ризиків пестицидів. *Збалансоване природокористування*. 2012. № 1. С. 46–50.
33. Директива 2004/35/ЄС Європейського Парламенту та Ради «Про екологічну відповідальність за попередження та ліквідацію наслідків завданої навколишньому середовищу шкоди» від 21 квітня 2004 року URL: [http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994\\_965](http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_965) (дата звернення: 15.11.2017).
34. Directive 2001/688/EC: Commission Decision of 28 August 2001 establishing ecological criteria for the award of the Community eco-label to soil improvers and growing media (notified under document number C (2001) 2597). *Official Journal of the European Communities*. L. 242, 12.9.2001. P. 17–22.
35. Working Document Guidance Document on Aquatic Ecotoxicology in the context of the Directive 91/414/EEC. Sanco/3268/2001 rev.4 (final). 17 October 2002. 62 p.
36. Ecotoxicology, Ecological Risk Assessment and Multiple Stressors / Eds. G. Arapis, N. Goncharova, Ph. Baveye, NATO Security through Science Series – C: Environmental Security, Series IV: Earth and Environmental Series. Vol. 6. Springer, 2006. 382 p.

37. Ємельяненко В. В., Крайнюкова А. М., Катріченко Г. М., Васенко О. Г. Спосіб біологічної оцінки токсичності води та пристрій для біологічної оцінки токсичності води: пат. 8530 Україна. № 3470469/SU; заявл. 14.07.1982; опубл. 30.09.1996, Бюл. № 3. 8 с.
38. Крайнюков О. М., Крайнюкова А. М. Спосіб біологічного тестування: пат. 45053 Україна. № u200904798; заявл. 15.05.2009; опубл. 26.10.2009, Бюл. № 20. 3 с.
39. OECD Guidelines for the Testing of Chemicals / Section 2: Effects on Biotic Systems Test No. 202: *Daphnia* sp. Acute Immobilisation Test. Adopted: 13 April 2004. 12 p.
40. Крайнюков О. М., Крайнюкова А. М. Спосіб визначення рівня гострої летальної токсичності зворотної води: пат. 65090 Україна. № u201105646; заявл. 04.05.2011; опубл. 25.11.2011, Бюл. № 22. 3 с.
41. Крайнюков О. М., Крайнюкова А. М. Спосіб визначення рівня хронічної токсичності природної води: пат. 67014 Україна. № u201109029; заявл. 19.07.2011; опубл. 25.01.2012, Бюл. № 2. 3 с.
42. Persoone G., Baudo R., Cotman M. et al. Review on the acute *Daphnia magna* toxicity test Evaluation of the sensitivity and the precision of assays performed with organisms from laboratory cultures or hatched from dormant eggs. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*. 2009. Vol. 393 (1). P. 1–29.
43. Крайнюков О. М. Спосіб визначення ступеня ураженості водної екосистеми: пат. 85333 Україна. № u201308369; заявл. 03.07.2013; опубл. 11.11.2013, Бюл. № 21. 5 с.
44. Крайнюков О. М. Спосіб встановлення гранично допустимого рівня токсичності зворотної води: пат. 85348 Україна. № u201309275; заявл. 23.07.2013; опубл. 11.11.2013, Бюл. № 21. 5 с.
45. Ємельяненко В. В., Крайнюкова А. М., Алексахин Л. І., Кілячков П. П. Пристрій для біологічної оцінки токсичності води: пат. 7631 Україна. № 4341747/SU; заявл. 09.12.1987; опубл. 26.12.1995, Бюл. № 4. 4 с.
46. Мацківський В. І., Чернишов С. І., Ластовський В. В. Лазерно-доплерівський пристрій для оцінки токсичності та біологічної активності хімічних речовин: пат. 45481 Україна. № 99084597; заявл. 10.08.1999; опубл. 15.04.2002, Бюл. № 4. 16 с.
47. Кацев А. М., Абдураманова Е. Р., Стародуб М. Ф. Спосіб визначення токсичності речовин у водних розчинах: пат. 24287 Україна. № u200701375; заявл. 09.02.2007; опубл. 25.06.2007, Бюл. № 9. 4 с.

48. Завильгельский Г. Б., Котова В. Ю., Манухов И. В. Сенсорные биолюминесцентные системы на основе lux оперонов для детекции токсичных веществ. *Химическая физика*. 2012. Том 31, № 10. С. 15–20.
49. Грузіна Т. Г., Резніченко Л. С., Назаренко В. І. Спосіб експресного визначення рівня інтегральної забрудненості, вмісту токсичних органічних сполук та важких металів в об'єктах довкілля: пат. 86175 Україна. № а201108519; заявл. 07.07.2011; опубл. 25.12.2013, Бюл. № 24. 10 с.
50. Грузіна Т. Г., Резніченко Л. С., Назаренко В. І. Пристрій для експресного визначення рівня інтегральної забрудненості, вмісту токсичних органічних сполук та важких металів в об'єктах довкілля: пат. 90605 Україна. № u201311195; заявл. 07.07.2011; опубл. 10.06.2014, Бюл. № 11. 9 с.
51. Multilabel Tester "TRIATHLER", Hidex, Finland URL: <http://www.hidex.com/media/8046/triathler2009.pdf> (дата звернення: 15.11.2017).
52. Беспалов Ю.Г., Бондаренко Т.П., Дереча Л.М., Носов К.В., Псарьев В.О. Спосіб дослідження токсичності водного середовища: пат. 28938 Україна. № u200709895; заявл. 03.09.2007; опубл. 25.12.2007, Бюл. № 21. 4 с.
53. Оскольська О. І., Тимофеев В. А., Бондаренко Л. В. Спосіб визначення токсичності морської води: пат. 34783 Україна. № 99073833; заявл. 06.07.1999; опубл. 15.03.2001, Бюл. № 2. 6 с.
54. Афанасьев С. О., Цибульській О. І., Усов О. Є., Шевцова Л. В. Спосіб визначення екологічного стану водойм: пат. 89288 Україна. № а200806287; заявл. 13.05.2008; опубл. 11.01.2010, Бюл. № 1. 3 с.
55. Беспалов Ю. Г., Висоцька О. В., Жолткевич Г. М. та ін. Спосіб дистанційного біологічного тестування наявності гострої токсичності водного середовища: пат. 115829 Україна. № u201612161; заявл. 30.11.2016; опубл. 25.04.2017, Бюл. № 8. 5 с.
56. Антонов С. В., Крайнюкова А. М., Беліченко Ю. П. та ін. Пристрій для оцінки токсичності стічних вод: пат. 8520 Україна. № 3472845/SU; заявл. 15.07.1982; опубл. 30.09.1996, Бюл. № 3. 6 с.
57. Катриченко Г. М., Васенко О. Г., Крайнюкова А. М., Антонов С. В. Пристрій для оцінки токсичності стічних вод: пат. 8529 Україна. № 3251904/SU; заявл. 19.02.1981; опубл. 30.09.1996, Бюл. № 3. 6 с.
58. Kurt Kerren Kunststoffte. Pat. 2170514 France. Priority date: 27.12.1971; Publication info: 14.09.1973.
59. Руднева І. І., Вахтіна Т. Б., Скуратовська К. М. Спосіб біологічної оцінки токсичності морського середовища: пат. 27484 Україна. № а200603935; заявл. 10.04.2006; опубл. 12.11.2007, Бюл. № 18. 3 с.

60. Руднева І. І., Шайда В. Г., Кузьміна Н. С. Спосіб біологічної оцінки токсичності морського середовища: пат. 78606 Україна. № а200503910; заявл. 25.04.2005; опубл. 10.04.2007, Бюл. № 4. 3 с.
61. Thermometric 2277 Thermal Activity Monitor (TAM) System, American Laboratory Trading, USA URL: [http://americanlaboratorytrading.com/lab-equipment-products/thermometric-2277-thermal-activity-monitor-\(tam\)-system\\_10808](http://americanlaboratorytrading.com/lab-equipment-products/thermometric-2277-thermal-activity-monitor-(tam)-system_10808) (дата звернення: 15.11.2017).
62. Гончаренко Н. І. Спосіб біологічного контролю води на токсичність: пат. 92553 Україна. № а200903517; заявл. 13.04.2009; опубл. 10.11.2010, Бюл. № 21. 3 с.
63. Руупа М., Хейнонен П. Биологические методы исследования водоемов в Финляндии. Helsinki : Suomen Ymparistokeskus, 2006. 112 с.
64. Rodrigues-Mozaz S., Marco M.-P., Lopez de Alda M., Barcelo D. Biosensors for environmental applications. Future development trends. *Pure and Applied Chemistry*. 2004. V. 76, №4. P.723–752.
65. Vilarino N., Fonfria E., Louzao C., Botana L. Use of Biosensor as Alternatives to Current Regulatory Methods for Marine Biotoxins. *Sensors*. 2009. №9. P. 9414–9443.
66. Kiersch J., Siltanen Ch., Zhou Q. et al. Biosensor technology: recent advances in threat agent detection and medicine. *Chemical Society Review*. 2013. V. 42. P. 8733–8768.
67. Кузьміна Н. С. Спосіб визначення впливу токсичності стічних вод на водні солоні середовища: пат. 76248 Україна. № 20040604487; заявл. 09.06.2004; опубл. 17.07.2006, Бюл. № 7. 6 с.
68. КНД 211.1.4.047-95. Біотестування морської води та стічної, яка відводиться в море. Методика. Затв. наказом Мінекобезпеки України №46 від 30.05.1995 р. Київ. 1995. 37 с.
69. Беспалов Ю. Г., Жолткевич Г. М., Коваленко М. В. та ін. Спосіб дослідження гострої токсичності водного середовища: пат. 61159 Україна. № u201015386; заявл. 20.12.2010; опубл. 11.07.2011, Бюл. № 13. 4 с.
70. Жукова І. О., Стегній Б. Т., Малінін О. О. Спосіб встановлення ступеня токсичності комбінованих пестицидів за допомогою визначення швидкості і ефективності дихання мітохондрій печінки: пат. 41847 Україна. № u200900369; заявл. 19.01.2009; опубл. 10.06.2009, Бюл. № 11. 3 с.
71. Березовский В. А., Бернштейн С. А., Гуревич М. И., Кочерга Д. А. Полярграфическое определение кислорода в биологических объектах. Київ : Наукова думка, 1974. 292 с.

72. Шкорбатов Ю. Г., Савенкова А. Л. Спосіб визначення токсичності водних розчинів за станом хроматину клітин людини: пат. 48139 Україна. № u200900369; заявл. 31.08.2009; опубл. 10.03.2010, Бюл. № 5. 4 с.
73. Біляєва О. О., Бойко І. І., Перепадя В. М., Беляєв В. В. Спосіб визначення токсичності біологічних середовищ: пат. 52951 А Україна. № 2001128944; заявл. 24.12.2001; опубл. 15.01.2003, Бюл. № 1. 3 с.
74. Столяр О. Б., Фальфушинська Г. І., Гнатишина Л. Л. Спосіб оцінки токсичності водного середовища: пат. 52992 Україна. № u201000637; заявл. 22.01.2010; опубл. 27.09.2010, Бюл. № 18. 6 с.
75. Сенік Ю. І., Хоменчук В. О., Курант В. З., Грубінко В. В. Спосіб оцінки токсичності водного середовища за допомогою ліпідів організму риб: пат. 86248 Україна. № u201306528; заявл. 27.05.2013; опубл. 25.12.2013, Бюл. № 24. 5 с.
76. Shckorbatov Y. G. He-Ne laser light induced changes in the state of chromatin in human cells. *Naturwissenschaften*. 1999, V. 86, № 9. P. 452–453.
77. Shckorbatov Y. G., Zhuravleva L. A., Navrotskaya V. V. et al. Chromatin structure and the state of human organism. *Cell Biol. Internat.* 2005. V. 29. P. 77–81.
78. Архипчук В. В., Гаранько Н. М., Гончарук В. В. Спосіб оцінки генотоксичності водного середовища: пат. 67315 Україна. № 2003088029; заявл. 28.08.2003; опубл. 15.02.2006, Бюл. № 2. 4 с.
79. Архипчук В. В., Гончарук В. В. Спосіб визначення цитотоксичності водних розчинів за морфологічними змінами ядер і ядерце клітин тваринних тест-організмів: пат. 71783 Україна. № 20031212052; заявл. 22.12.2003; опубл. 15.11.2006, Бюл. № 11. 3 с.
80. Архипчук В. В., Гончарук В. В. Спосіб оцінки цитотоксичності водного середовища: пат. 71793 Україна. № 20031212364; заявл. 25.12.2003; опубл. 15.06.2006, Бюл. № 6. 4 с.
81. Гончарук В. В., Верголяс М. Р. Спосіб визначення цито- та генотоксичності питної води: пат. 104175 Україна. № a201113123; заявл. 07.11.2011; опубл. 10.01.2014, Бюл. № 1. 8 с.
82. Секретарюк К. В., Лобойко Ю. В. Спосіб визначення ступеня забрудненості рибогосподарських водоймищ: пат. 53244А Україна. № 2002042964; заявл. 12.04.2002; опубл. 15.01.2003, Бюл. № 1. 2 с.
83. Гончарук В. В., Верголяс М. Р., Болтіна І. В. Спосіб визначення генотоксичності водного середовища: пат. 95717 Україна. № a201004569; заявл. 19.04.2010; опубл. 25.08.2011, Бюл. № 16. 4 с.

84. Водна Рамкова Директива. Спільна стратегія впровадження Водної Рамкової Директиви (2000/60/ЄС). Керівництво №7. Моніторинг відповідно до Водної Рамкової Директиви (частина). Люксембург: Офіс офіційних публікацій Європейського союзу, 2003. 126 с. URL: [http://arena.com.ua/images/documents/translations/Guidance\\_07\\_Ukr.pdf](http://arena.com.ua/images/documents/translations/Guidance_07_Ukr.pdf)
85. Порядок здійснення державного моніторингу вод. Затверджений постановою Кабінету Міністрів України від 19 вересня 2018 р. № 758. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/758-2018-%D0%BF> (дата звернення: 01.10.2018).
86. Пилипенко Ю. В. Екологія малих водосховищ Степу України : монографія. Херсон : Олди-плюс, 2007. 303 с.
87. Гейны С., Сытник К. Макрофиты – индикаторы изменений природной среды. Киев : Наукова думка, 1993. 433 с.
88. Пазич В. М. Ріст і розвиток ейхорнії прекрасної в забрудненому водному середовищі. *Наук. зап. Терноп. нац. пед. ун-ту. Сер. Біол.* 2010. № 2 (43). С. 383–386.
89. Васенков Г. І., Васильок Т. П., Дема В. М., Пазич В. М. Біофільтр для очистки стічних вод різного походження з використанням вищої водної рослинності виду *Eichornia crassipes*. *Наук. вісник ЖНАЕУ: зб.наук.-техн.праць.* 2009. Вип. 1. С. 283–289.
90. Єльнікова Т. О. Автоматизована система для вимірювання геометричних параметрів фітопланктону. *Вісник ЖДТУ.* 2009. № 1. С. 160–164.
91. Kudela R. M., Palacios S. L., Austerberry D. C. et al. Application of hyperspectral remote sensing to cyanobacterial blooms in inland waters. *Remote Sensing of Environment.* 2015. V. 167. P. 196–205.
92. Enriquez S. Light absorption efficiency and the package effect in leaves of the seagrass *Thalassia testudinum*. *Marine Ecology Progress.* 2005. V. 289. P. 141–150.
93. Dell'Uomo A. Use of algae for monitoring rivers in Italy: current situation and perspectives. *Use of algae for monitoring rivers.* Agence de l'Eau Artos-Picardie, 1997. P. 17–25.
94. Олейниченко В. Д. Екологічна мережа як шлях до відтворення екологічної стабільності. *III-ій Всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю* : зб. наук. ст. (м. Вінниця, 21–24 вересня 2011 р.). Вінниця, 2011. Том 1. С. 233–236.
95. Мовчан Я. І. Екомережа України: обґрунтування структури та шляхів втілення. *Конвенція про біологічне різноманіття: громадська обізнаність та участь.* Київ : Стилос, 1997. С. 98–110.



96. Кудінов В. О. Заповідна справа: навчальний посібник. Одеса : Наука і техніка, 2012. 163 с.
97. Національна доповідь про стан формування національної екологічної мережі України за 2006–2014 роки. Херсон : Грінь Д. С., 2014. 200 с.
98. Про Загальнодержавну програму формування національної екологічної мережі України на 2000-2015 роки : Закон України від 21.09.2000 р. № 1989-III. *Відомості Верховної Ради України*. 2000. № 47. С. 405.
99. Всеєвропейська стратегія збереження біологічного та ландшафтного різноманіття. Київ: Авалон, 1998. – 52 с.
100. Про екологічну мережу України : Закон України від 24.06.2004 р. № 1864-IV. *Відомості Верховної Ради України*. 2004. № 45. С. 502.
101. Формування регіональних схем екомережі (методичні рекомендації) / за ред. Ю. Р. Шеляга-Сосонко. Київ : Фітосоціоцентр, 2004. 71 с.
102. Розбудова екомережі України / наук. ред. Ю. Р. Шеляг-Сосонко. Київ : ПРООН, Проект «Екомережі», 1999. 127 с.
103. Стейн Ж. Всеєвропейська екологічна мережа. *Збереження та моніторинг біологічного та ландшафтного різноманіття в Україні* : матер. міжн. конф. (м. Київ, 19–20 червня 2000 р.). Київ, Національний екологічний центр України. С. 22–25.
104. *Conserving Europe's Natural Heritage. Towards a European Ecological Network* / Ed. by G. Behrett. London-Dordrecht-Boston, 1994. 334 p.
105. Костюшин В. А., Василюк О. В., Коломицев Г. О. Індикативна схема екологічної мережі басейну р. Південний Буг та методичні підходи до створення національної екомережі України. Київ : Інституту зоології ім. І. І. Шмальгаузена НАНУ, Національний екологічний центр України, 2011. 28 с.
106. Яцентюк Ю. В. Сполучні території екомережі Вінницької області. *III-й Всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю* : зб. наук. ст. (м. Вінниця, 21–24 вересня 2011 р.). Вінниця, 2011. Том 1. С. 279–282.
107. Корогода Н. П. Використання ГІС при проектуванні екомереж. *Вісник КНУ імені Тараса Шевченка. Географія*. 2005. Вип. 51. С.47–48.
108. Крижанівський Є. М., Гребенюк Н. О. Створення схем екомереж обласного рівня із застосуванням сучасних технологій. *V-й Всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю* : зб. наук. праць. (м. Вінниця, 23–26 вересня 2015 р.). Вінниця, 2015. С. 63.
109. Корогода Н. П., Самойленко В. М. Методика геоінформаційного моделювання проектної регіональної екомережі. *Вісник геодезії та картографії*. 2005. № 2(37). С. 46–52.

110. Кондратюк Т. М. Організаційно-правове забезпечення формування екологічної мережі України. *Науковий вісник Ужгородського національного університету. Серія Право*. 2016. Вип. 41, Т. 1. С. 175–178.
111. Максименко М. І. Правове забезпечення оптимізації структури землекористування в Україні: дис. ... канд. юрид. Наук : 12.00.06. Київ : Київський національний університет імені Тараса Шевченка, 2013. 239 с.
112. Методичні рекомендації щодо розроблення регіональних та місцевих схем екологічної мережі: наказ Міністерства охорони навколишнього природного середовища України від 13 листопада 2009 р. № 604. URL: <http://www.menr.gov.ua> (дата звернення: 17.10.2018).
113. Про затвердження Порядку включення територій та об'єктів до переліків територій та об'єктів екологічної мережі : постанова Кабінету Міністрів України від 16 грудня 2015 р. № 1196. Офіційний вісник України. 2016. № 17. С. 15.
114. Шеляг-Сосонко Ю. Р., Гродзинский М. Д., Романенко В. Д. Концепция, методы и критерии создания экосети Украины. Киев : Фитосоциоцентр, 2004. 144 с.
115. Гудзевич А. В. Природно-заповідна Вінниччина. Вінниця : ТОВ «Консоль», 2002. 128 с.
116. Про затвердження регіональної схеми екологічної мережі Вінницької області. Затверджена Рішенням Вінницької обласної ради від 14.02.2012 р. № 282. URL: <https://vinrada.gov.ua/upload/file/6%20sklikanna/10%20ses/282.rar> (дата звернення: 01.10.2018).
117. Посудин Ю. И. Лазерная фотобиология : учебное пособие для вузов. Київ : Вища школа, 1989. 248 с.
118. Mishchenko M. I., Travis L. D., Lacis A. A. Scattering, absorption, and emission of light by small particles. Cambridge : Cambridge University Press, 2002. 445 p.
119. Венгер Є. Ф., Гончаренко А. В., Дмитрук М. Л. Оптика малих частинок і дисперсних середовищ. Київ : Наукова думка, 1995. 346 с.
120. Pother T., Schmidt K. The discretized Mie-formalism for plane wave scattering on dielectric objects with nonseparable geometries. *JQSRT*. 1996. V. 55. P. 615–625.
121. Петрук В. Г. Оптичні методи та інтерактивні засоби контролю в діагностиці неоднорідних середовищ: дис. ... д-ра. тех. наук : 05.11.13. Вінниця : ВНТУ, 1998. 330 с.
122. Кватернюк С. М., Петрук В. Г. Спектрополяриметричний контроль концентрацій частинок полідисперсних водних середовищ : монографія. Вінниця : ВНТУ, 2012. 156 с.

123. Roggan A., Minet O., Schroder O, Muller G. The determination of optical tissue properties with double integrating sphere technique and Monte Carlo simulations. *Proc. SPIE*. 1994. Vol. 2100. P. 42–56.
124. Pickering J. W., Moes C. J. M., Sterenborg H. J. C. M. et al. Two integrating spheres with an intervening scattering sample. *J. Opt. Soc. Am. A*. 1992. Vol. 9. P. 621–631.
125. Pickering J. W., Prahl S. A., van Wieringen N. et al. Doubling-integrating sphere system for measuring the optical properties of tissue. *Appl. Opt.* 1993. Vol. 32. P. 399–410.
126. Roggan A., Minet O., Schroder C, Muller G. Measurement of optical tissue properties using integrating sphere technique. *SPIE Inst. Ser.* 1993. Vol. 11. P. 149–165.
127. Star W. M. The relationship between integrating sphere and diffusion theory calculations of fluence rate at the wall of a spherical cavity. *Phys. Med. Biol.* 1995. Vol. 40. P.1–8.
128. Hammer M., Roggan A., Schweitzer D., Muller G. Optical properties of ocular fundus tissues – an in vitro study using the double-integrating-sphere technique and inverse Monte Carlo simulation. *Phys. Med. Biol.* 1995. Vol. 40. P. 963–978.
129. Beek J. F., Blokland P., Posthumus P. et al. In vitro double-integrating-sphere optical properties of tissues between 630 and 1064 nm. *Phys. Med. Biol.* 1997. Vol. 42. P. 2255–2261.
130. Kubelka P. New contributions to the optics of intensely light-scattering materials. Part 1. *J. Opt Soc. Am.* 1948. Vol. 38. P. 448–457.
131. Kubelka P. New contributions to the optics of intensely light-scattering materials. Part II. *J. Opt Soc. Am.* 1954. Vol. 44. P. 330–335.
132. Кватернюк О. Є. Метод і засіб цифрової колориметрії поверхневих пошкоджень біотканин у судовій медицині: дис. ... канд. тех. наук : 05.11.17. Вінниця : ВНТУ, 2017. 186 с.
133. Rostom N. G., Shalaby A. A., Issa Y. M., Afifi A. A. Evaluation of Mariut Lake water quality using Hyperspectral Remote Sensing and laboratory works. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*. 2017. Vol. 20, Supplement 1. P. S39–S48.
134. Alparslan E, Coskun G, Alganci U. Water quality determination of Küçükçekmece Lake, Turkey by using multispectral satellite data. *The Scientific World JOURNAL*. 2009. № 9. P. 1215–1229.
135. Kišević M., Morović M., Andričević R. The use of hyperspectral data for evaluation of water quality parameters in the River Sava. *Fresenius environmental bulletin*. 2016. № 25 (11). P. 4814–4822.

136. Dubucq D., Sicot G., Lennon M., Miegebielle V. Detection and discrimination of the thick oil patches on the sea surface. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2016. Vol. XLI-B8. P. 417–421.
137. Subiyanto S., Ramadhanis Z. and Baktiar A. H. Integration of Remote Sensing Technology Using Sentinel-2A Satellite images For Fertilization and Water Pollution Analysis in Estuaries Inlet of Semarang Eastern Flood Canal. *The 2nd International Conference on Energy, Environmental and Information System (ICENIS 2017) E3S Web of Conferences : Conference Proceedings (Semarang, Indonesia, 15-16 August 2017)*. 2018. Vol. 31, 12008. P. 1–6.
138. K. Vamshi Sharath Nath Integration of multispectral satellite and hyperspectral field data for aquatic macrophyte studies. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2014. Vol. XL-8. P. 581–588.
139. Trinh L., Zablotskii V. R., Le T. at al. Estimation of suspended sediment concentration using VNREDSat – 1A multispectral data, a case study in Red River, Hanoi, Vietnam. *Geography, Environment, Sustainability*. 2018. Vol. 11, № 3. P. 49–60.
140. Xiao X., Jian X., Xiongfei W. at al. Evaluation method of water quality for river based on multi-spectral remote sensing data. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2015. Vol. XL-7/W3. P. 1517–1523.
141. Wittke S. a, Karila K., Puttonen E. at al. Extracting urban morphology for atmospheric modeling from multispectral and sar satellite imagery. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2017. Vol. XLII-1/W1. P. 425–431.
142. Shi L., Mao Z., Wang Z. Retrieval of total suspended matter concentrations from high resolution WorldView-2 imagery: a case study of inland rivers. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2018. Vol. 121, 032036. P. 1–12.
143. Lega M., Endreny T. Quantifying the environmental impact of pollutant plumes from coastal rivers with remote sensing and river basin modelling. *International Journal of Sustainable Development and Planning*. 2016. Vol. 11, № 5. P. 651–662.
144. Teta R., Romano V., Della Sala G. at al. Cyanobacteria as indicators of water quality in Campania coasts, Italy: a monitoring strategy combining remote/proximal sensing and in situ data. *Environmental Research Letters*. 2018. Vol. 12, № 2. P. 1–12.

145. Nyström D. Colorimetric and Multispectral Image Acquisition: Licentiate Thesis. Norrköping, Sweden : Linköping University, 2006. 138 p.
146. Thanh Hai Bui. Group-Theoretical Structure in Multispectral Color and Image Databases: Dissertation. Norrköping, Sweden : Linköping University, 2005. 183 p.
147. Zhang D., Guo Z., Gong Y. Multispectral Biometrics Systems and Applications. Cham : Springer, 2016. 229 p.
148. Kumar N. Multispectral image analysis using the object-oriented paradigm. Boca Raton : CRC Press, Taylor & Francis Group, 2007. 204 p.
149. Cem Ünsalan, Kim L. Boyer Multispectral Satellite Image Understanding From Land Classification to Building and Road Detection. London : Springer, 2011. 185 p.
150. David A. Landgrebe Signal Theory Methods in Multispectral Remote Sensing. Hoboken, New Jersey : Wiley, 2003. 520 p.
151. Chein-I Chang. Hyperspectral imaging techniques for spectral detection and classification. New York : Springer, 2003. 370 p.
152. ISO 7724-1: 1984 Paints and varnishes – Colorimetry – Part 1: Principals. Edition: 1. Committee: ISO/TC 35/SC 9, 1984. 12 p.
153. ISO 787-1:1982 General methods of test for pigments and extenders – Part 1: Comparison of colour of pigments. Edition: 1. Committee: ISO/TC 256, 1982. 12 p.
154. ISO 3534-1:2006 Statistics - Vocabulary and symbols - Part 1: General statistical terms and terms used in probability. Edition: 1. Committee ISO/TC 69/SC 1, 2010. 105 p.
155. Huang T., Xu X.-H. N. Multicolored nanometre-resolution mapping of single protein–ligand binding complexes using far-field photo-stable optical nanoscopy (PHOTON). *Nanoscale*. 2011. № 3. P. 3567–3572.
156. Garbuzov G. P., Sukhorukov B. L. Investigation of ecological state of water bodies according to the remotely sensing optical spectra. *1st Int. Airborne Remote Sensing Conf. and Exhibit. : Conference Proceedings*. (Strasbourg, France, 1994). 1994. Vol. 3. P. 37–45.
157. Окснюк О. П., Жукинский В. Н., Брагинский Л. П. и др. Комплексная экологическая классификация поверхностных вод суши. *Гидробиологический журнал*. 1993. Т. 29, № 4. С. 62–76.
158. ДСТУ ISO 10260:2007. Якість води. Вимірювання біохімічних параметрів. Спектрометричний метод визначання концентрації хлорофілу-а. Видання офіційне. Київ : Держспоживстандарт України. 2007. 11 с.

159. Richards F. A., Thompson T. G. The estimation and characterisation of plankton populations by pigment analysis. II Spectrophotometric method for estimation of plankton pigments. *Journal of Marine Research*. 1952. Vol. 11, № 2. P. 156–172.
160. Shi S., Song S., Gong W. et al. Improving Backscatter Intensity Calibration for Multispectral LiDAR. *Geoscience and Remote Sensing Letters, IEEE*. 2015. Vol. 12, № 7. P. 1421–1425.
161. Starovoitov V., Makarau A., Zakharov I. et al. Multispectral image enhancement based on fusion and super-resolution. *15th European Signal Processing Conference : Conference Proceedings (Poznan, Poland, 3–7 September 2007)*. Poznan, 2007. P. 2174–2178.
162. Сахацький О. І. Спосіб оцінки площинного розподілу вологи верхнього шару відкритого ґрунту за даними багатоспектральної аерокосмічної зйомки високої розрізненності: пат. 92970 Україна. № а200904948; заявл. 19.05.2009; опубл. 27.12.2010, Бюл. № 24. 6 с.
163. 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.
164. Кватернюк С. М. Математичне моделювання переносу випромінювання у багат шарових неоднорідних біологічних середовищах для задач мультиспектрального вимірювального контролю та діагностики. *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*. 2016. № 2(32). С. 57–63.
165. Кватернюк С. М. Метод та засоби мультиспектрального телевізійного вимірювального контролю стану неоднорідних біологічних середовищ. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2017. № 1. С. 15–22.
166. 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.
167. 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.
168. 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.

169. 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.
170. Кватернюк С. М. Математичне моделювання природних водних середовищ для задач екологічного контролю. *Вісник ХНУ. Серія: Технічні науки*. 2018. № 2. С. 252–255.
171. Кватернюк С. М. Мультиспектральні вимірювання біомаси фітопланктону у водних середовищах для задач екологічного контролю. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2018. № 2. С. 7–13.
172. Кватернюк С. М. Оцінювання достовірності мультиспектрального екологічного контролю біомаси фітопланктону у водних середовищах. *Вісник ХНУ. Серія: Технічні науки*. 2018. № 3. С. 275–278.
173. 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).
174. 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.
175. Кватернюк С. М., Петрук В. Г. Мультиспектральний екологічний контроль інтегральних параметрів забруднення водних об'єктів. *Екологічні науки*. 2018. № 2(21). С. 133–137.
176. Kvaternyuk S. M., Petruk V. G. Multispectral ecological control of biomass of phytoplankton in aqueous media in situ using quadrocopter. *Environmental problems*. 2018. Vol. 3(2). P. 133–138.
177. 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.
178. 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.
179. 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.

180. 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.
181. Петрук В. Г., Кватернюк С. М., Слободянюк А. О., Безусьяк 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.
182. 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.
183. 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.
184. 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.
185. Petruk V., Kvaternyuk S., Kozachuk A. et al. Multispectral televisional 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.
186. 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.
187. Барун В. В., Иванов А. П., Петрук В. Г., Кватернюк С. М. Развитие оптических методов диагностики биологических тканей по рассеянному излучению. II. Поляризация пространственно-разрешающая спектроскопия. *Вестник Фонда фундаментальных исследований*. 2010. № 4. С. 79–89.
188. 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.



189. 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.
190. 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.
191. 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.
192. 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.
193. 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.
194. 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.
195. Петрук В. Г., Кватернюк С. М., Кватернюк О. Є. 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.
196. 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.

197. 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.
198. Петрук В. Г., Кватернюк С. М., Вишневська Я. Ю. та ін. Методика оцінювання токсичності стічних вод за допомогою біоіндикації по фітопланктону. *III-й Всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю* : зб. наук. ст. (м. Вінниця, 21–24 вересня 2011 р.). Вінниця, 2011. Том 2. С. 373–377.
199. Кватернюк С. М., Петрук В. Г., Варакса В. В. Методи та засоби мультиспектрального екологічного контролю забруднення водних середовищ. *Сталий розвиток: Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування* : матеріали 5-го міжнар. конгресу. (м. Львів, 26–29 вересня 2018 р.). Львів, 2018. С. 21.
200. 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.
201. Trach I., Petruk V., Kvaternyuk S., Titov T. Mathematical modelling of the population dynamics of hunting mammals based on recurrent equation system. *Environmental problems*. 2016. Vol. 1, No. 2. P. 145–148.
202. Simpson E. H. Measurement of diversity. *Nature*. 1949. Vol. 163, № 4148. P. 688.
203. Ustin S., Gitelson A., Jacquemoud S. et al. Retrieval of Foliar Information about Plant Pigment Systems from High Resolution Spectroscopy. *Remote Sensing of Environment*. 2009. V. 113, Suppl. 1. P. 67–77.
204. Barun V. V., Ivanov A. P. Effect of localized absorption by cylindrical blood vessels on optical characteristics of biological tissue. *7th Conf. Electromagnetic and Light Scattering by Nonspherical Particles* : conference proceedings. Bremen : Universitat Bremen, 2003. P. 41–44.
205. Барун В. В., Иванов А. П. Оценка вклада локализованного поглощения света кровеносными сосудами в оптические свойства биологической ткани. *Опт. спектр*. 2004. Т. 96, №6. С. 1019–1024.
206. Иванов А. П. Физические основы гидрооптики. Минск : Наука и техника, 1975. 504 с.
207. Копелевич О. В. Малопараметрическая модель оптических свойств морской воды. *Оптика океана. Т. 1. Физическая оптика океана* / под ред. А. С. Монины. Москва : Наука, 1983. Т. 1. С. 208–234.

208. Иванов А. П. Оптика рассеивающих сред. Минск : Наука и техника, 1975. 592 с.
209. Duysens L. N. M. The flattening of the absorption spectrum of suspensions, as compared to that of solutions. *Biochim. Biophys. Acta.* 1956. V. 19. P. 1–12.
210. Kirk J. T. O. A theoretical analysis of the contribution of algal cells to the attenuation of light within natural waters. II. Spherical cells. *New Phytol.* 1975. V. 75. P. 21–36.
211. Kirk J. T. O. A theoretical analysis of the contribution of algal cells to the attenuation of light within natural waters. III. Cylindrical and spheroidal cells. *New Phytol.* 1976. V. 77. P. 341–358.
212. Morel A., Bricaud A. Theoretical results concerning light absorption in a discrete medium, and application to specific absorption of phytoplankton. *Deep-Sea Res.* 1981. V. 28. P. 1375–1393.
213. Morel A., Bricaud A. Inherent optical properties of algal cells including picoplankton: theoretical and experimental results. *Can. Bull. Fish Aquat. Sci.* 1986. V. 214. P. 521–529.
214. Haardt H., Maske H. Specific in vivo absorption coefficient of chlorophyll a at 675 nm. *Limnol. Oceanogr.* 1987. V. 32. P. 608–619.
215. Verkruyse W., Lucassen G. W., de Boer J. F., et al. Modelling light distributions of homogeneous versus discrete absorbers in light irradiated turbid media. *Phys. Med. Biol.* 1997. V. 42. P. 51–65.
216. Talsma A., Chance B., Graaf R. Corrections for inhomogeneities in biological tissue caused by blood vessels. *JOSA A.* 2001. V. 18, No. 4. P. 932–939.
217. Marine Environmental Protection of Northwest Pacific Region. URL: [http://www.nowpap3.go.jp/jsw//eng/callender/sstdata\\_p02.html](http://www.nowpap3.go.jp/jsw//eng/callender/sstdata_p02.html) (дата звeр-нення: 15.11.2017).
218. Enriquez S., Agusti S., Duarte S. M. Light absorption by seagrass *Posidonia oceanica* leaves. *Marine Ecology Progress Series.* 1992. V. 86. P. 201–204.
219. Katsev I. L., Zege E. P., Prikhach A. S., Polonsky I. N. Efficient technique to determine backscattered light power for various atmospheric and oceanic sounding and imaging systems. *JOSA A.* 1997. V. 14, No. 6. P. 1338–1346.
220. Zege E. P., Katsev I. L., Polonsky I. N. Multicomponent approach to light propagation in clouds and mists. *Appl. Optics.* 1993. Vol. 32, N. 15. P. 2803–2812.

221. Кватернюк С. М. Дослідження впливу ефекту локалізованого поглинання випромінювання у розсіювальних частинках на мультиспектральні вимірювання. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2017. № 5. С. 24–30.
222. Кватернюк С. М. Оцінювання достовірності мультиспектрального екологічного контролю пігментних параметрів фітопланктону у водних середовищах. *Вісник ХНУ. Серія: Технічні науки*. 2018. № 5. С. 128–131.
223. 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.
224. 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.
225. 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. ІХ Всеукр. наук.-практ. конф. мол. учених та студ. (м. Київ, 16 квітня 2015 р.)*. Київ, 2015. С. 116.
226. 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.
227. 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.
228. 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. *Оптоелектронні інформаційні технології «Фотоніка ОДС-2018» : тез доп. VIII міжнар. наук.-техн. конф. (м. Вінниця, 2 – 4 жовтня 2018 р.)*. Вінниця, 2018. С. 194-195.

229. Samkaram Unni K., Philip S. Heavy metal uptake and accumulation by *Thypha angustifolia* from wetlands around thermal power station. *Int. J. Ecol. and Environ. Sci.* 1990. Vol. 16, № 2/3. P. 133–144.
230. Blankenberg A-G. B., Braskerud B. C. “Lierdammen” – a wetland testfield in Norway. Retention of nutrients, pesticides and sediments from a agriculture runoff. *Diffuse Pollution and Basin Management : proceedings of the 7th International Specialised IWA Conference.* (Dublin, Ireland, 17-21 August 2003). Dublin, 2003. P. 14-100–14-101.
231. Стольберг В. Ф., Ладыженский В. Н., Спирин А. И. Биоплато – эффективная малозатратная экотехнология очистки сточных вод. *Екологія довкілля та безпека життєдіяльності.* 2003. №3. С.32–34.
232. Бондар О. І., Крилюк В. М., Курилюк М. С. та ін. Ейхорнія-комплекс для очищення води від забруднень з підвищеною екологічною небезпечкою АЛЕЙ-58: пат. 58969 Україна. № u201013161; заявл. 05.11.2010; опубл. 26.04.2011, Бюл. № 8. 5 с.
233. Демченко М. С. Спосіб діагностики біологічних об'єктів: пат. 37710 Україна. № u200807200; заявл. 26.05.2008; опубл. 10.12.2008, Бюл. № 23. 3 с.
234. 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.
235. 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. Mitryasova, C. Staddon.* Mykolaiv: PMBSNU – Bristol: UWE, 2016. P. 131–141.
236. Ishchenko V., Kvaternyuk S., Styskal O. Assessment of water pollution by bioindication method. *Water Security : monograph / editors: O. Mitryasova, C. Staddon.* Mykolaiv: PMBSNU – Bristol: UWE, 2016. P. 21–30.
237. 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.
238. 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 фітопланкто-

- ну. *Екологічна безпека держави* : тези доп. ІХ Всеукр. наук.-практ. конф. мол. учених та студ. (м. Київ, 16 квітня 2015 р.). Київ, 2015. С. 118.
239. Петрук В. Г., Кватернюк С. М., Безусьяк 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.
240. 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.
241. 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.
242. 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.
243. 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.
244. 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.
245. Кватернюк С. М., Петрук В. Г., Варушечкіна М. В. та ін. Мультиспектральний 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.
246. Кватернюк С. М., Варушечкіна М. В., Мандебуря 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.
247. Кватернюк С. М., Петрук В. Г., Мандебуря А. Ю., Мандебуря С. В. Мультиспектральний вимірювальний контроль параметрів природних водних об'єктів для забезпечення їх екологічної безпеки. *Оптоелектронні інформаційні технології «Фотоніка ОДС-2018»* : тез доп. VIII міжнар. наук.-техн. конф. (м. Вінниця, 2 – 4 жовтня 2018 р.). Вінниця, 2018. С. 192-193.
248. 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.
249. 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.
250. 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.
251. 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.
252. 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.

253. Кватернюк С. М., Петрук В. Г., Кватернюк О. Є. Спосіб мульти-спектрального 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.
254. ProLight PM2B-1LxE 1W Power LED Technical Datasheet. URL: <http://www.micropik.com/PDF/PM2B-1Lxx-Rx.pdf> (дата звернення: 15.11.2017).
255. IR-Lumineszenzdiode (850 nm) mit hoher Ausgangsleistung High Power Infrared Emitter (850 nm). SFH 4235 Technical Datasheet. URL: [http://www.osram-os.com/Graphics/XPic3/00221909\\_0.pdf](http://www.osram-os.com/Graphics/XPic3/00221909_0.pdf) (дата звернення: 15.11.2017).
256. High Power Infrared Emitting Diode, 940 nm, GaAlAs/GaAs TSAL4400. Technical Datasheet. URL: <http://www.vishay.com/doc?81006> (дата звернення: 15.11.2017).
257. SONY Laser Diode 3236VF Technical Datasheet. URL: <http://www.datasheetspdf.com/datasheet/SLD3236VF.html> (дата звернення: 15.11.2017).
258. OSRAM Opto Semiconductors GmbH. PLT5 450B. Blue Laser Diode in TO56 Package Version 0.4 Technical Datasheet. URL: [http://www.osram-os.com/Graphics/XPic3/00251627\\_0.pdf/PLT5%20450B.pdf](http://www.osram-os.com/Graphics/XPic3/00251627_0.pdf/PLT5%20450B.pdf) (дата звернення: 15.11.2017).
259. OSRAM Opto Semiconductors GmbH. PLT5 488. Cyan Laser Diode in TO56 Package Preliminary Version 0.2 Technical Datasheet. URL: [http://www.osramos.com/Graphics/XPic6/00206440\\_0.pdf](http://www.osramos.com/Graphics/XPic6/00206440_0.pdf) (дата звернення: 15.11.2017).
260. OSRAM Opto Semiconductors GmbH. PL 515 PRELIMINARY. Green Laser Diode in TO38 ICut Package. Technical Datasheet. URL: [http://semicomvisual.com/wp-content/uploads/2015/04/pl\\_515datasheet.pdf](http://semicomvisual.com/wp-content/uploads/2015/04/pl_515datasheet.pdf) (дата звернення: 15.11.2017).
261. OSRAM Opto Semiconductors GmbH. PL 520B. Green Laser Diode in TO38 ICut Package Version 0.2. Technical Datasheet. URL: [http://www.osram-os.com/Graphics/XPic7/00234693\\_0.pdf/PL%20520.pdf](http://www.osram-os.com/Graphics/XPic7/00234693_0.pdf/PL%20520.pdf) (дата звернення: 15.11.2017).
262. OSRAM Opto Semiconductors GmbH. PLT5 520\_B1\_2\_3. Green Laser Diode in TO56 Package Version 0.1. Technical Datasheet. URL: <http://www.chips4light.com/assets/Uploads/PLT5-520-B1-2-3.pdf> (дата звернення: 15.11.2017).
263. Mitsubishi Laser Diode ML520G71. Technical Datasheet. URL: <http://www.laser66.com/html/ML520G71.pdf> (дата звернення: 15.11.2017).



264. Mitsubishi Laser Diode ML1xx29. Technical Datasheet. URL: <https://www.rairarubiabooks.com/related-pdf-datasheet-mitsubishi.html> (дата звернення: 15.11.2017).
265. SONY Laser Diode SLD231VL. Technical Datasheet. URL: <http://pdf.datasheetcatalog.com/datasheet/sony/a6802259.pdf> (дата звернення: 15.11.2017).
266. Roithner Laser Technik GmbH. Laser Diode RLCO-808-5000-TO3. Technical Datasheet. URL: [http://www.roithner-laser.com/datasheets/ld\\_div/rlco-808-5000-to3.pdf](http://www.roithner-laser.com/datasheets/ld_div/rlco-808-5000-to3.pdf) (дата звернення: 15.11.2017).
267. Sharp Laser Diode GH0832BA2A. Technical Datasheet. URL: [http://www.sesl-sharp.com/Products/pdf/led\\_laser201303\\_e.pdf](http://www.sesl-sharp.com/Products/pdf/led_laser201303_e.pdf) (дата звернення: 15.11.2017).
268. ScopeTek Product Manual. SCOPETEK, 2015. 116 p.
269. Азарова А. О., Саченюк-Кавецька Н. В., Роїк О. М., Міронова Ю. В. Економетрія : навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2014. 304 с.
270. CMS: Multi-spectral camera. Product Manual. URL: <https://www.silios.com> (дата звернення: 15.11.2017).
271. Про метрологію та метрологічну діяльність : Закон України 5.06.2014 р. № 1314-VII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1314-18> (дата звернення: 15.11.2017).
272. ДСТУ 2681-94. Метрологія. Терміни та визначення. [Чинний від 1994-07-26]. Вид. офіц. Київ : Держстандарт України, 1994. 68 с.
273. Stathaki T. Image fusion: algorithms and applications. New York : Academic Press, 2008. 500 p.
274. Conrad Jeff. Depth of Field in Depth. URL: <https://www.largeformatphotography.info/articles/DoFinDepth.pdf>.
275. Иванов А. П., Барун В. В., Кватернюк С. М. та ін. Особенности спектрофотометрической диагностики суспензии эритроцитов излучению. *II-ий Всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю* : зб. наук. стат. (м. Вінниця, 23–26 вересня 2009 р.). Вінниця, 2009. С. 294–298.
276. Кватернюк С. М. Оптимальний синтез засобів мультиспектрального телевізійного вимірювального контролю параметрів та діагностування стану неоднорідних біологічних середовищ. *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*. 2017. № 2. С. 4–11.
277. 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.

278. Кватернюк С. М. Аналіз похибок вимірювання площі ушкоджених ділянок неоднорідних біологічних середовищ мультиспектральним методом. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2017. № 4. С. 15–21.
279. 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.
280. 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.
281. Jang J.–S. R. ANFIS: Adaptive-Network-based Fuzzy Inference System. *IEEE Trans. Systems & Cybernetics*. 1993. Vol. 23. P. 665–685.
282. Graves D., Noppen J., Pedrycz W. Clustering with proximity knowledge and relational knowledge. *Pattern Recognition*. 2012. Vol. 45 (7), P. 2633–2644.
283. De A.T. de Carvalho F., Lechevallier Y., de Melo F. M. Relational partitioning fuzzy clustering algorithms based on multiple dissimilarity matrices. *Fuzzy Sets and Systems*. 2013, Vol. 215. P. 1–28.
284. Bargiela A., Pedrycz W. Optimised Information Abstraction in Granular Min/Max Clustering. *Smart Innovation, Systems and Technologies*. 2013, Vol. 13. P. 31–48.
285. Gaspar P., Carbonell J., Oliveira J. L. Parameter Influence in Genetic Algorithm Optimization of Support Vector Machines. *6th International Conference on Practical Applications of Computational Biology & Bioinformatics. Advances in Intelligent and Soft Computing* : conference Proceedings. Springer, Berlin, Heidelberg, 2012. Vol. 154. P. 43–51.
286. Wu Z., Zhang H., Liu J. A fuzzy support vector machine algorithm for classification based on a novel PIM fuzzy clustering method. *Neurocomputing*. 2014. Vol. 125, P. 119–124.
287. Mohammed M. F., Lim C. P. Improving the Fuzzy Min-Max neural network with a K-nearest hyperbox expansion rule for pattern classification. *Applied Soft Computing*. 2017. Vol. 52. P. 135–145.
288. Seera M., Lim C. P., Loo C. K., Singh H. A modified fuzzy min-max neural network for data clustering and its application to power quality monitoring. *Applied Soft Computing*. 2015. Vol. 28. P. 19–29.

289. Reyes-Galaviz O. F., Pedrycz W. Granular fuzzy modeling with evolving hyperboxes in multi-dimensional space of numerical data. *Neurocomputing*. 2015. Vol. 168, P. 240–253.
290. 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.
291. 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.
292. ДСанПіН 2.2.4-171-10. Державні санітарні норми та правила «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною». Затверджені наказом Міністерства охорони здоров'я України № 400 від 12.05.2010. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10/> (дата звернення: 15.11.2017).
293. Єдине міжвідомче керівництво по організації і здійсненню державного моніторингу вод. Затверджено Наказ Міністерства екології та природних ресурсів України 24.12.2001 N 485. [Втратило чинність від 2017-03-10] Київ : Мінекоресурсів України, 2001. 55 с. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/ru/v0485556-01> (дата звернення: 15.11.2017).
294. ДСТУ 4004–2000. Сигналізатори токсичності природних та стічних вод біологічні. Загальні технічні вимоги та методи випробування. [Чинний від 2000-07-01]. Вид. офіц. Київ : Держстандарт України, 2001. 16 с.
295. Водний кодекс України. *Відомості Верховної Ради України*. 1995. № 24. С. 189. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-%D0%B2%D1%80> (дата звернення: 15.11.2017).
296. Про питну воду, питне водопостачання та водовідведення : Закон України від 10.01.2002 р. № 2918-III. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2918-14> (дата звернення: 15.11.2017).
297. Порядок розроблення плану управління річковим басейном. Затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 18 травня 2017 р. № 336. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/336-2017-%D0%BF#n8> (дата звернення: 01.10.2018).

298. Про оцінку впливу на довкілля : Закон України від 23.05.2017 р. № 2059-VIII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2059-19> (дата звернення: 15.11.2017).
299. ГОСТ 17.1.5.04–81 Охрана природы. Гидросфера. Приборы и устройства для отбора, первичной обработки и хранения проб природных вод. Общие технические условия. Москва : ИПК Издательство стандартов. 2003. 7 с.
300. ДСТУ ISO 5667-1:2003. Якість води. Відбирання проб. Частина 1. Настанови щодо проекту програм проведення відбирання проб. Видання офіційне. Київ : Держспоживстандарт України. 2003. 22 с.
301. ДСТУ ISO 5667-2:2003. Якість води. Відбирання проб. Частина 2. Настанови щодо методів відбирання проб. Видання офіційне. Київ : Держспоживстандарт України. 2003. 14 с.
302. ДСТУ ISO 5667-3-2003. Відбір проб. Частина 3. Керівництво з методів консервування та зберігання проб. Видання офіційне. Київ : Держспоживстандарт України. 2003. 38 с.
303. ДСТУ ISO 5667-4:2003. Якість води. Відбирання проб. Частина 4. Настанови щодо відбирання проб із природних та штучних озер. Видання офіційне. Київ : Держспоживстандарт України. 2003. 11 с.
304. ISO 6341:2012. Water quality – Determination of the inhibition of the mobility of *Daphnia magna* Straus (Cladocera, Crustacea) – Acute toxicity. test test. URL: <https://www.iso.org/standard/54614.html>. (дата звернення: 15.11.2017).
305. ISO 7346-1:1996. Water quality – Determination of the acute lethal toxicity of substances to a freshwater fish [*Brachydanio rerio* Hamilton-Buchanan (Teleostei, Cyprinidae)] – Part 1: Static method. URL: <https://www.iso.org/standard/14026.html>. (дата звернення: 15.11.2017).
306. ISO 7346-2:1996. Water quality – Determination of the acute lethal toxicity of substances to a freshwater fish [*Brachydanio rerio* Hamilton-Buchanan (Teleostei, Cyprinidae)] – Part 2: Semi-static method. URL: <https://www.iso.org/standard/14028.html>. (дата звернення: 15.11.2017).
307. ISO 7346-3:1996. Water quality – Determination of the acute lethal toxicity of substances to a freshwater fish [*Brachydanio rerio* Hamilton-Buchanan (Teleostei, Cyprinidae)] – Part 3: Flow-through method. URL: <https://www.iso.org/standard/14030.html>. (дата звернення: 15.11.2017).
308. ISO 8692:2012. Water quality – Fresh water algal growth inhibition test with unicellular green algae. URL: <https://www.iso.org/standard/54150.html>. (дата звернення: 15.11.2017).

309. ISO 9408:1999. Water quality – Evaluation of ultimate aerobic biodegradability of organic compounds in aqueous medium by determination of oxygen demand in a closed respirometer. URL: <https://www.iso.org/standard/28120.html>. (дата звернення: 15.11.2017).
310. ISO 10707:1994. Water quality – Evaluation in an aqueous medium of the "ultimate" aerobic biodegradability of organic compounds – Method by analysis of biochemical oxygen demand (closed bottle test). URL: <https://www.iso.org/standard/18796.html>. (дата звернення: 15.11.2017).
311. ISO 9887:1992. Water quality – Evaluation of the aerobic biodegradability of organic compounds in an aqueous medium – Semi-continuous activated sludge method (SCAS). URL: <https://www.iso.org/standard/17768.html>. (дата звернення: 15.11.2017).
312. ISO 9888:1999. Water quality – Evaluation of ultimate aerobic biodegradability of organic compounds in aqueous medium – Static test (Zahn-Wellens method). URL: <https://www.iso.org/standard/28121.html>. (дата звернення: 15.11.2017).
313. ISO 10229:1994. Water quality – Determination of the prolonged toxicity of substances to freshwater fish – Method for evaluating the effects of substances on the growth rate of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum (Teleostei, Salmonidae)). URL: <https://www.iso.org/standard/18265.html>. (дата звернення: 15.11.2017).
314. ISO 10706:2000. Water quality – Determination of long term toxicity of substances to *Daphnia magna* Straus (Cladocera, Crustacea). URL: <https://www.iso.org/standard/18795.html>. (дата звернення: 15.11.2017).
315. ISO 10712:1995. Water quality – *Pseudomonas putida* growth inhibition test (*Pseudomonas* cell multiplication inhibition test). URL: <https://www.iso.org/standard/18800.html>. (дата звернення: 15.11.2017).
316. ISO 11348-1:2007. Water quality – Determination of the inhibitory effect of water samples on the light emission of *Vibrio fischeri* (Luminescent bacteria test) – Part 1: Method using freshly prepared bacteria. URL: <https://www.iso.org/standard/40516.html>. (дата звернення: 15.11.2017).
317. ISO 11348-2:2007. Water quality – Determination of the inhibitory effect of water samples on the light emission of *Vibrio fischeri* (Luminescent bacteria test) – Part 2: Method using liquid-dried bacteria. URL: <https://www.iso.org/standard/40517.html>. (дата звернення: 15.11.2017).

318. ISO 11348-3:2007. Water quality – Determination of the inhibitory effect of water samples on the light emission of *Vibrio fischeri* (Luminescent bacteria test) – Part 3: Method using freeze-dried bacteria. URL: <https://www.iso.org/standard/40518.html>. (дата звернення: 15.11.2017).
319. ISO 12890:1999. Water quality – Determination of toxicity to embryos and larvae of freshwater fish – Semi-static method. URL: <https://www.iso.org/standard/2171.html>. (дата звернення: 15.11.2017).
320. ISO 15522:1999. Water quality – Determination of the inhibitory effect of water constituents on the growth of activated sludge microorganisms. URL: <https://www.iso.org/standard/27554.html>. (дата звернення: 15.11.2017).
321. ISO 16240:2005. Water quality – Determination of the genotoxicity of water and waste water – Salmonella/microsome test (Ames test). URL: <https://www.iso.org/standard/32160.html>. (дата звернення: 15.11.2017).
322. ISO 16266:2006. Water quality – Detection and enumeration of *Pseudomonas aeruginosa* – Method by membrane filtration. URL: <https://www.iso.org/standard/39272.html>. (дата звернення: 15.11.2017).
323. ISO 20079:2005. Water quality – Determination of the toxic effect of water constituents and waste water on duckweed (*Lemna minor*) – Duckweed growth inhibition test. URL: <https://www.iso.org/standard/34074.html>. (дата звернення: 15.11.2017).
324. ISO 21427-1:2006. Water quality – Evaluation of genotoxicity by measurement of the induction of micronuclei – Part 1: Evaluation of genotoxicity using amphibian larvae. URL: <https://www.iso.org/standard/39680.html>. (дата звернення: 15.11.2017).
325. ISO 21427-2:2006. Water quality – Evaluation of genotoxicity by measurement of the induction of micronuclei – Part 2: Mixed population method using the cell line V79. URL: <https://www.iso.org/standard/39681.html>. (дата звернення: 15.11.2017).
326. ДСТУ 3041-95. Гідросфера, використання і охорона води. Терміни та визначення. [Чинний від 1996-07-01]. Вид. офіц. Київ : Держстандарт України, 1996. 37 с.
327. Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення : Закон України від 24.02.1994 р. № 4004-XII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4004-12> (дата звернення: 15.11.2017).

328. Порядок розроблення нормативів гранично допустимого скидання забруднюючих речовин у водні об'єкти. Затверджено постановою Кабінету Міністрів України № 1100 від 11.09.1996. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/ru/1100-96-%D0%BF> (дата звернення: 15.11.2017).
329. Положення про державну систему моніторингу довкілля. Затверджено постановою Кабінету Міністрів України № 391 від 30.03.1998. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/ru/391-98-%D0%BF> (дата звернення: 15.11.2017).
330. Правила охорони поверхневих вод від забруднення зворотними водами. Затверджено постановою Кабінету Міністрів України № 465 від 25.03.1999. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/ru/465-99-%D0%BF> (дата звернення: 15.11.2017).
331. ВНД 33-5.5-02-97. Якість води для зрошення. Екологічні критерії. Харків, 1998. 15 с.
332. ДСТУ 7286:2012. Якість природної води для зрошування. Екологічні критерії. [Чинний від 2013-07-01]. Вид. офіц. Київ : Мінекономрозвитку України, 2013. 14 с.
333. ДСТУ 2730:2015 Захист довкілля. Якість природної води для зрошення. Агрономічні критерії. [Чинний від 2016-07-01]. Вид. офіц. Київ : УкрНДНЦ, 2016. 9 с.
334. ДСТУ 7591:2014 Зрошення. Якість води для систем краплинного зрошення. Агрономічні, екологічні та технічні критерії. [Чинний від 2015-07-01]. Вид. офіц. Київ : Мінекономрозвитку України, 2015. 16 с.
335. ДСТУ 3831-98. Охорона навколишнього природного середовища. Автоматизовані системи контролю якості природних вод. Типи та основні вимоги. [Чинний від 1999-01-04]. Вид. офіц. Київ : Держстандарт України, 1999. 13 с.
336. ДСТУ 3832-98. Охорона навколишнього природного середовища. Автоматизовані системи контролю стічних вод. Типи та основні вимоги. [Чинний від 1999-01-04]. Вид. офіц. Київ : Держстандарт України, 1999. 13 с.
337. ВБН 33-5.5-01-97. Організація і ведення екологомеліоративного моніторингу. Ч. 1. Зрошені землі. Київ : Державний комітет України по водному господарству. 1997. 66 с.
338. ВБН 33-5.5-09-2001. Система контролю якості зрошувальних і забрудненості дренажних та скидних вод. Київ : Державний комітет України по водному господарству. 2001. 14 с.

339. ВНД 33-3.3-01-98. Переробка міських стічних вод та використання їх для зрошення кормових і технічних культур. Київ : Державний комітет України по водному господарству. 1998. 68 с.
340. ДК 019:2010. Національний класифікатор України. Класифікатор надзвичайних ситуацій. Прийнято та надано чинності наказом Держспоживстандарту України № 457 від 11.10.2010. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va457609-10> (дата звернення: 15.11.2017).
341. КНД 211.0.0.061-97. Метрологічне забезпечення. Оцінка стану вимірювань в галузі охорони навколишнього природного середовища та раціонального використання природних ресурсів. Затв. наказом Мінекобезпеки України № 83 від 02.06.1997 р. 31 с.
342. КНД 211.1.4.059-97. Визначення токсичності води на інфузоріях *Tetrahymena pyriformis* (Ehrenberg) Schewiakoff. Затв. наказом Мінекобезпеки України № 68 від 21.05.1997 р. 15 с.
343. ДСТУ 4174:2003 Якість води. Визначення хронічної токсичності хімічних речовин та води на *Daphnia magna* Straus та *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg (Cladocera, Crustacea) (ISO 10706:2000, MOD). [Чинний від 2004-07-01]. Вид. офіц. Київ : Держстандарт України, 2004. 26 с.
344. ВНД 33-1.1-15-2001. Методика зовнішнього контролю перевірки точності результатів вимірювань у лабораторіях Державного комітету України по водному господарству. Київ, 2001. 20 с.
345. КНД 211.1.0.009-94. Гідросфера. Відбір проб для визначення складу і властивостей стічних і технологічних вод. Основні положення. Затв. наказом Мінекобезпеки України № 125 від 28.12.1994 р. 20 с.
346. КНД 211.1.2.008-94. Гідросфера. Правила контролю складу і властивостей стічних та технологічних вод. Затв. наказом Мінекобезпеки України № 124 від 28.12.1994 р. 13 с.
347. КНД 211.1.4.044-95. Внутрішньолабораторний контроль похибок визначень складу проб вод. Методика. Київ, 1995. 20 с.
348. КНД 211.1.4.054-97. Методика визначення гострої токсичності води на ракоподібних *Daphnia magna* Straus. Київ, 1997. 92 с.
349. Методика визначення гострої летальної (КНД 211.1.4.055-97) і хронічної (КНД 211.1.4.056-97) токсичної води на ракоподібних *Ceriodaphnia affinis* Lilljebord. Київ, 1997. 17 с.
350. КНД 211.1.4.057-97. Методика визначення гострої летальної токсичності води на рибах *Poecilia reticulata* Peters. Київ, 1997. 27 с.



351. КНД 211.1.4.058-97. Методика визначення гострої токсичності води на водоростях *Scenedesmus quadricauda* (Turp) Breb. Затв. наказом Мінекобезпеки України № 68 від 21.05.1997 р. Київ, 1997. 15 с.
352. КНД 211.1.4.060-97. Методика визначення токсичності води на бактеріях *Photobacterium phosphoreum* (Cohn) Ford. Київ, 1997. 15 с.
353. Правила технічної експлуатації систем водопостачання та каналізації населених пунктів України. Затверджено наказом Держжитлокомунгоспу України 05.07.95 № 30. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/gu/z0231-95> (дата звернення: 15.11.2017).
354. СанПиН № 4630-88. Санитарные правила и нормы охраны поверхностных вод от загрязнения. *Збірник важливих офіційних матеріалів з санітарних і протиепідемічних питань*. 1995. Том 1, Часть 1. С. 139–205. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/gu/v4630400-88> (дата звернення: 17.10.2018).
355. ДСТУ 7525:2014. Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості. [Чинний від 2014-10-23]. Вид. офіц. Київ : Мінекономрозвитку України, 2014. 16 с.
356. Водна Рамкова Директива. Спільна стратегія впровадження Водної Рамкової Директиви (2000/60/ЄС). Керівництво №10. Річки і озера – типологія, референційні умови і системи класифікації. Люксембург: Офіс офіційних публікацій Європейського союзу, 2003. 87 с. URL: [https://213.156.91.32/sites/default/files/guidance\\_no10\\_ukr.pdf](https://213.156.91.32/sites/default/files/guidance_no10_ukr.pdf)
357. Гриценко А. В., Васенко О. Г., Верніченко Г. А. та ін. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями. Проект. Харків : УкрНДІЕП, 2012. 37 с. URL: [http://www.niier.kharkov.ua/sites/default/files/metodika\\_2012\\_14\\_0.doc](http://www.niier.kharkov.ua/sites/default/files/metodika_2012_14_0.doc)
358. Про охорону навколишнього природного середовища : Закон України від 24.06.1991 р. № 1264-XII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12> (дата звернення: 15.11.2017).
359. ДСТУ ISO 5667-10-2005. Якість води. Відбирання проб. Частина 10. Настанови щодо відбирання проб стічних вод. Видання офіційне. Київ : Держспоживстандарт України. 2007. 12 с.
360. ДСТУ 4287:2004. Якість ґрунту. Відбирання проб. Видання офіційне. Київ : Держспоживстандарт України. 2005. 6 с.
361. ДСТУ ISO 5667-15:2007. Якість води. Відбирання проб. Частина 15. Настанови щодо зберігання та поводження з пробами мулу і осадів (ISO 5667-15:1999, IDT). Видання офіційне. Київ : Держспоживстандарт України. 2011. 8 с.

362. ДСТУ ГОСТ 30333:2009 Паспорт безпечності хімічної продукції. Загальні вимоги (ГОСТ 30333-2007, IDT). Видання офіційне. Київ : Держспоживстандарт України. 2011. 8 с.
363. Рекомендации ООН ST/SG/AC.10/30/Rev.1 «Согласованная на глобальном уровне система классификации опасности и маркировки химической продукции (СГС)» («Globally Harmonized System of Classification and Labeling of Chemicals (GHS)»). Нью-Йорк – Женева : ООН. 2011. 684 с.
364. Кодекс цивільного захисту України. *Відомості Верховної Ради України*. 2013. № 34–35. С. 458. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/ru/5403-17> (дата звернення: 15.11.2017).
365. Кодекс України про надра. *Відомості Верховної Ради України*. 1994. № 36. С. 340. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/ru/132/94-%D0%B2%D1%80> (дата звернення: 15.11.2017).
366. Положення про державну систему моніторингу довкілля. Затверджено постановою Кабінету Міністрів України № 391 від 30.03.1998. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/ru/391-98-%D0%BF> (дата звернення: 15.11.2017).
367. Положення про єдину державну систему цивільного захисту. Затверджено постановою Кабінету Міністрів України № 11 від 9.01.2014. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/ru/11-2014-%D0%BF> (дата звернення: 15.11.2017).
368. Положення про Державну комісію з питань техногенно-екологічної безпеки та надзвичайних ситуацій. Затверджено постановою Кабінету Міністрів України № 18 від 26.01.2015. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/18-2015-%D0%BF> (дата звернення: 15.11.2017).
369. Перелік інформаційних послуг загального користування, що надаються установами та організаціями Держгідромету. Затверджено постановою Кабінету Міністрів України № 1724 від 2.11.1998. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/ru/1724-98-%D0%BF> (дата звернення: 15.11.2017).
370. Перелік спеціалізованої інформації та інших послуг у сфері гідрометеорології, які надаються установами та організаціями Держгідромету України за плату. Затверджено постановою Кабінету Міністрів України № 1724 від 2.11.1998. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/ru/1724-98-%D0%BF> (дата звернення: 15.11.2017).

371. Butyl Cellosolve. Comet Chemical Company Ltd. Safety data sheet. URL: <http://www.cometchemical.com/MSDS/Butyl%20CellosolveEN.pdf>. (дата звернення: 15.11.2017).
372. Roundup. MONSANTO Europe S.A. Material safety data sheet. URL: [https://chemoventory.tcc.fl.edu/chemoventory/msds/\\_Monsanto\\_521.pdf](https://chemoventory.tcc.fl.edu/chemoventory/msds/_Monsanto_521.pdf). (дата звернення: 15.11.2017).
373. Бі-58. BASF. Паспорт безпеки. URL: [https://m.agro.basf.ua/agroportal/mua/media/migrated/product\\_files/passport\\_safety/2016\\_1/Bi-58\\_New\\_Pasp\\_2016.pdf](https://m.agro.basf.ua/agroportal/mua/media/migrated/product_files/passport_safety/2016_1/Bi-58_New_Pasp_2016.pdf). (дата звернення: 15.11.2017).
374. Petruk V., Bondarchuk O., Kvaterniyk S. Environmental safety of water bodies and coastal areas using the method of water environment bioindication by means of macrophytes. *Environmental problems*. 2016. Vol. 1(2). P. 163–168.
375. Романенко В. Д., Жукинський В. М., Оксіюк О. П. та ін. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями. Затв. наказом Мінекобезпеки України від 31.03.98 № 44. Київ : СИМВОЛ–Т, 1998. 28 с.
376. КНД 211.1.4.010-94. Екологічна оцінка якості поверхневих вод суші та естуаріїв України. Методика. Київ : Мінекобезпеки України, 1994. 27 с.
377. Пазич В. М. Модель регулювання біомаси і продуктивності водного гіацинта. *Вісник ЖНАЕУ*. 2012. № 1. С. 363–369.
378. Westlake D. F. Comparisons of plant productivity. *Biological Reviews*. 1963. Vol. 38(3). P. 385–425.
379. Gopal B. Water hyacinth. *Aquatic Plant, Studies 1*. Amsterdam : Elsevier Science. 1987. 471 p.
380. Gutierrez L. E., Huerto R. D., Saldana F. P., Arreguin F. Strategies for waterhyacinth (*Eichhornia crassipes*) control in Mexico. *Hidrobiologia*. 1996. Vol. 340(1–3). P. 181–185.
381. Petruk R. V., Pohrebennyk V. D., Kvaterniyk 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.
382. Петрук В. Г., Кватернюк С. М., Петрук Р. В. та ін. Телевізійний вимірювальний контроль забруднення води хлорорганічними 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.

383. 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. ІХ Всеукр. наук.-практ. конф. мол. учених та студ. (м. Київ, 16 квітня 2015 р.). Київ, 2015. С. 117.
384. 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.
385. 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.
386. 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.
387. 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.
388. 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.
389. 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.
390. 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 викорис-*

- тання 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.
391. 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.
392. 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.
393. Петрук В. Г., Кватернюк С. М., Васильківський І. В. та ін. Контроль інтегрального рівня забруднення р. Південний Буг за характеристиками макрофітів. *III-й Всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю* : зб. наук. ст. (м. Вінниця, 21–24 вересня 2011 р.). Вінниця, 2011. Том 2. С. 377–380.
394. 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.
395. Петрук В. Г., Кватернюк С. М., Безусьак 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.
396. Петрук В. Г., Кватернюк С. М., Безусьак 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.
397. Петрук В. Г., Кватернюк С. М., Безусьак 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.

398. 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.
399. 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.
400. Кватернюк С.М. Розвиток наукових основ мультиспектральних методів та технічних засобів контролю екологічного стану водних об'єктів: дис. ... докт. техн. наук : 21.06.01. Київ : Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління, 2019. 464 с.
401. Кватернюк С. М. Розвиток наукових основ мультиспектральних методів та технічних засобів контролю екологічного стану водних об'єктів: автореф. дис. ... докт. техн. наук : 21.06.01. Київ, 2019. 44 с.
402. Новосельцева В.Р. Аналіз якості поверхневих вод та вдосконалення системи екологічного моніторингу на території Миколаївської області. Науковий керівник: Кватернюк С.М. Робота на конкурс студентських наукових робіт, 2019. 39 с. URL: <https://ontu.edu.ua/download/Winning-entries-TZNS.pdf> (дата звернення: 04.05.2023).
403. Флорес Кастельяно Джоана Адріана. Обґрунтування природоохоронних заходів зменшення впливу на довкілля відходів гальванічного виробництва. Науковий керівник: Кватернюк С.М. Магістерська кваліфікаційна робота, 2019. 103 с.
404. Гостев О.С. Обґрунтування заходів екологічної безпеки та впливу пестицидів на водні об'єкти методом біоіндикації по фітопланктону. Науковий керівник: Кватернюк С.М. Магістерська кваліфікаційна робота, 2018. 103 с.
405. Використання вищих водних рослин в практиці очистки стічних вод та поверхневого стоку. URL: [https://potential4.com.ua/statti\\_3.html](https://potential4.com.ua/statti_3.html) (дата звернення: 04.05.2023).
406. Мороз Я.В. Екологічний контроль забруднення та розроблення природоохоронних заходів для річки Снивода. Науковий керівник: Петрук В.Г. Магістерська кваліфікаційна робота, 2015. 101 с.
407. Дядін Д.В. Моніторинг підземних і поверхневих вод на об'єктах нафтогазопромислового комплексу: дис. ... канд. тех.наук : 21.06.01. Харків : Харківський нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О.М. Бекетова, 2019. 224 с.

408. Біліченко Ю. О, Петрук Р. В. Зниження евтрофікації та забруднення водойм за допомогою водяного гіацинту. URL: <https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2022/11/41.pdf> (дата звернення: 04.05.2023).
409. Доповідь про стан навколишнього природного середовища у Вінницькій області (2017 рік). Вінниця: Вінницька обласна державна адміністрація, 2018. 247 с. URL: <http://www.vin.gov.ua/images/doc/vin/departament-ark/doc/OperMonitor/Dopov/Dop2017.pdf> (дата звернення: 04.05.2023).
410. Безусяк Я. І. Обґрунтування заходів екологічної безпеки та впливу небезпечних відходів на водні об'єкти методом біоіндикації по фітопланктону. Науковий керівник: Кватернюк С.М. Магістерська кваліфікаційна робота, 2018. 115 с.
411. Герещун Г.М. Екологічна безпека урбанізованих територій в умовах техногенної трансформації атмосферних опадів: дис. ... канд. тех.наук : 21.06.01. Харків : Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», 2019. 164 с.
412. Гринь Г. І., Мохонько В. І., Суворін О. В. та ін. Методи вимірювання параметрів навколишнього середовища: підруч. Сєверодонецьк : вид-во СНУ ім. В. Даля, 2019. 420 с.
413. Рашкевич Н. В., Цитлішвілі К. О. Дослідження динаміки поверхневого забруднення водного середовища. Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення : зб. наук. статей. XVII Міжнародної науково-практичної конференції. (м. Харків, 13-17 вересня 2021 р.). Харків, 2021. С. 152-156.
414. Строкаль В. П., Гловин Н. М. Екологічна паспортизація територій агросфери: навчальний посібник. К.: НУБіП України, 2017. 425 с.
415. Добровська Л. М., Добровська І. А. Теорія та практика нейронних мереж: навчальний посібник. К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2015. 396 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/49841> (дата звернення: 04.05.2023).
416. Ващишин М. Я. Національна екомережа України як об'єкт правового регулювання: дис. ... докт. юрид. наук : 12.00.06. Київ : Національний університет біоресурсів та природокористування України, 2021. 465 с.
417. Мошинський В. С., Бухальська Т. В., Ліщинський А. Г., Наконечна Ж. В. Моніторинг та охорона земель. Практикум: навчальний посібник. Рівне: НУВГП, 2019. 202 с.
418. Масікевич А. Ю. Науково-практичні засади підвищення рівня екологічної безпеки Покутсько-Буковинських Карпат: дис. ... докт. техн. наук : 21.06.01. Харків: Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», 2020. 355 с.

419. Гомеш Роза Марія Зау. Обґрунтування природоохоронних заходів для покращення екологічного стану річки Південний Буг та прибережних територій в межах міста Вінниці. Науковий керівник: Кватернюк С. М. Магістерська кваліфікаційна робота, 2021. 98 с.
420. Підопригора Є. С. Вдосконалення методів оцінювання змін біорізноманіття у водних екосистемах під впливом їх забруднення компонентами небезпечних відходів. Науковий керівник: Кватернюк С. М. Магістерська кваліфікаційна робота, 2022. 101 с.
421. Побірська А. Ю. Дослідження впливу компонентів небезпечних відходів на екологічний стан водних об'єктів. Науковий керівник: Кватернюк С. М. Бакалаврська дипломна робота, 2021. 103 с.
422. Гомеш Роза Марія Зау. Дослідження екологічного стану Річки Південний буг та прибережних територій в межах міста Вінниці. Науковий керівник: Кватернюк С. М. Бакалаврська дипломна робота, 2020. 70 с.
423. Саківський Н. О. Вдосконалення методів та засобів очищення води від залишків непридатних пестицидів та пестицидвмісних відходів. Науковий керівник: Сакалова Г. В. Магістерська кваліфікаційна робота, 2022. 99 с.



*Електронне наукове видання*

**Кватернюк Сергій Михайлович**

**Петрук Василь Григорович**

**МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНІ МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ  
КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОГО ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ  
ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ**

Монографія

Рукопис підготовлено *С. Кватернюком*

Оригінал-макет виготовлено в *РВВ ВНТУ*

Підписано до видання 30.05.2023 р.  
Гарнітура TimesNewRoman.  
Зам. № P2023-057

Видавець та виготовлювач –  
Вінницький національний технічний університет,  
Редакційно-видавничий відділ,  
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,  
ВНТУ, ГНК, к. 114.

**press.vntu.edu.ua**

*email: irvc.vntu@gmail.com*

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.