

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ РІЧКИ ПІВДЕННИЙ БУГ ТА ПРИБЕРЕЖНИХ ТЕРИТОРІЙ В МЕЖАХ МІСТА ВІННИЦІ

<sup>1</sup> Вінницький національний технічний університет

### *Анотація*

Здійснено дослідження екологічного стану р. Південний Буг та прибережних територій в межах міста Вінниці з метою їх збереження та охорони. Актуальність теми зумовлена необхідністю підвищення достовірності оцінювання екологічного стану р. Південний Буг та прибережних територій в межах міста Вінниці з метою їх збереження та охорони за використання вдосконалених методів та засобів. Метою роботи є вдосконалення методів та засобів оцінювання екологічного стану р. Південний Буг та прибережних територій. Об'єкт досліджень – процес оцінювання екологічного стану р. Південний Буг та прибережних територій за допомогою вдосконалених методів та засобів. Предмет дослідження – методи і засоби мультиспектрального екологічного контролю параметрів водних об'єктів.

**Ключові слова:** гідроекологія, екологічні нормативи, еколого-токсикологічні параметри.

### *Abstract*

A study of the ecological state of the Southern Bug and coastal areas within the city of Vinnitsa was carried out in order to preserve and protect them. The relevance of the topic is due to the need to increase the reliability of the assessment of the ecological status of the Southern Bug and coastal territories within the city of Vinnitsa in order to preserve and protect them for using improved methods and tools. The aim of the work is to improve the methods and means of assessing the ecological state of the river. Southern Bug and coastal areas. The object of research is the process of assessing the ecological status of the Southern Bug and coastal areas using advanced methods and tools. The subject of the study is the methods and means of multispectral environmental monitoring of parameters of water bodies.

**Keywords:** hydroecology, environmental standards, environmental and toxicological parameters.

### **Вступ**

Південний Буг - одна з великих річок України. Його водозбірна площа повністю розташована в межах країни. Висока зарегульованість, розвинений аграрний сектор, низка великих міст, енергетичних об'єктів та промисловості обумовлюють значне антропогенне навантаження на річку, яке в першу чергу виражається в збагаченні води поживними речовинами, зокрема сполуками азоту та фосфору. Південний Буг є однією з найбільших річок України, якість води якої формується під впливом природних і антропогенних факторів виключно на території України. Поверхневі води його басейну на 75 % забезпечують потребу населення регіону у питній воді, а найбільшим водокористувачем є Вінницька область. Однак за питомими показниками водозабезпечення (на одиницю площі й на одну людину) територія річкового басейну належить до малозабезпечених регіонів України. Крім того, суттєвим стримуючим фактором є внутрішньорічна нерівномірність річкового стоку, за якою 50-80 % його об'єму припадає на весняну повінь, а решта - на літньо-осінню і зимову межень. За останні майже півтора десятиріччя у басейні Південного Бугу спостерігається чітка тенденція до зменшення забору та використання води: майже в 2,7 рази за рахунок скорочення, в першу чергу, забору води на виробничі потреби промисловості і на потреби зрошення (у 12 разів). Тому найбільшим забруднювачем водних ресурсів басейну Південного Бугу на сьогодні є комунальне господарство, яке скидає у водні об'єкти 66 % від загального обсягу забруднених стічних вод. Ефективність роботи очисного комплексу по басейну в цілому досить низька. Лише біля 30 % стічних вод, що надійшли на очисні споруди, після їх очищення можна вважати нормативно очищеними тощо. При цьому нехтування особливостями формування водних ресурсів басейну, їх ролі як важливої складової навколишнього середовища

і відновлюваного ресурсу регіону, недосконалість систем спостереження і контролювання, а також достатньо високий рівень антропогенного навантаження на водні об'єкти вимагає особливої уваги і розроблення відповідних заходів.

Щоб не допустити подальшої деградації річок, відтворити їхні ресурси, потрібно застосувати комплекс науково розроблених природоохоронних заходів, включно з виділенням окремої природоохоронної категорії, узаконення якої матиме на меті охорону та збереження особливо цінних річкових екосистем.

Актуальність теми зумовлена необхідністю підвищення достовірності оцінювання екологічного стану р. Південний Буг та прибережних територій в межах міста Вінниці з метою їх збереження та охорони за використання вдосконалених методів та засобів.

Метою роботи є вдосконалення методів та засобів оцінювання екологічного стану р. Південний Буг та прибережних територій.

### Результати дослідження

Структурна схема оцінювання екологічного стану водних об'єктів з використанням біоіндикації за допомогою мультиспектрального методу та квадрокоптера наведена на рис. 1. Спочатку за допомогою мультиспектральної камери та квадрокоптера формується масив мультиспектральних зображень поверхні водного об'єкта. При цьому фіксуються GPS-координати для кожного положення квадрокоптера, його висота і орієнтація в просторі. Далі з використанням розроблених регресійних рівнянь відбувається розрахунок біомаси і співвідношення між пігментами у приповерхневому шарі водного середовища. Результати розрахунків корегуються відносно опорної інформації, які дозволяє компенсувати зміну спектрального складу падаючого сонячного випромінювання за допомогою зразкового засобу (ламбертівського еталону) з відомими спектральними характеристиками. Також компенсується вплив ефекту локалізованого поглинання випромінювання, вплив атмосферного аерозолі та відбиття від поверхні водного середовища. При цьому використовуються результати гідробіологічних, гідрохімічних та гідроморфологічних вимірювань параметрів водного середовища. Відбір проб здійснюється за типовими методиками за допомогою батометра. Після корекції результатів вимірювань отримуємо параметри фітопланктону та вищих водних рослин у водному об'єкті. Зокрема, для фітопланктону отримуємо просторовий розподіл біомаси фітопланктону та співвідношення між пігментами, що дозволяє сегментувати поверхню водного об'єкта. Це дозволяє з'ясувати шляхи надходження забруднюючих речовин у водний об'єкт для підтримки прийняття рішень з управління екологічною безпекою водного об'єкта [2–6].

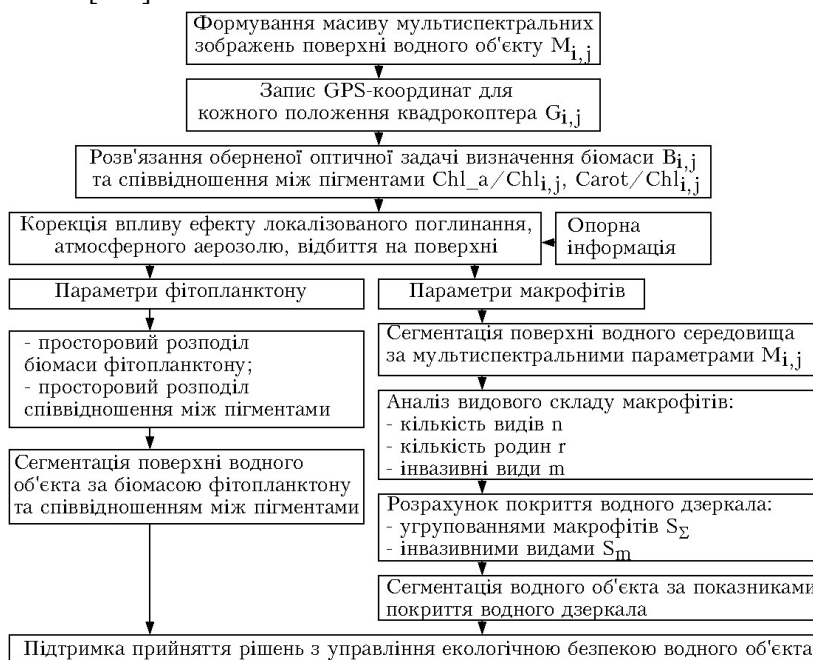


Рис. 1. Структурна схема оцінювання екологічного стану водних об'єктів з використанням біоіндикації за допомогою мультиспектрального методу та квадрокоптера

Для того, щоб отримати необхідні параметри вищих водних рослин потрібно спочатку сегментувати поверхню водного середовища за мультиспектральними параметрами на ідентифікувати видовий склад макрофітів. У результаті аналізу видового складу встановлюють кількість видів та кількість родин макрофітів, а також наявність інвазивних видів. Далі розраховують покриття водного дзеркала кожним з угруповань макрофітів і, окремо, інвазивними видами. При цьому оцінювання екологічного стану здійснюється за отриманими показниками покриття водного дзеркала. Здійснивши сегментацію водного об'єкта за цими показниками можливо визначити інтегральний вплив забруднюючих речовин на певній ділянці водного об'єкта та порівняти екологічний стан водного об'єкта на різних його ділянках. У процесі дослідження розвитку угруповань вищих водних рослин було проаналізовано їх видовий склад визначено збіднілий якісний склад флористичний угруповань, який сформували два рослинних комплекси – прибережний та акваторіальний. Прибережний рослинний комплекс у виді смуги вздовж берегової лінії, було представлено очеретом звичайним (*Phragmites communis*), рогазами широколистим (*Typha latifolia*) та вузьколистим (*T.angustifolia*), осоками гострою (*Carex acuta*), побережною (*S.garalia*) та звичайною (*S.gracilis*). На рис. 2. наведено мультиспектральні зображення прибережного рослинного комплексу вищих водних рослин.

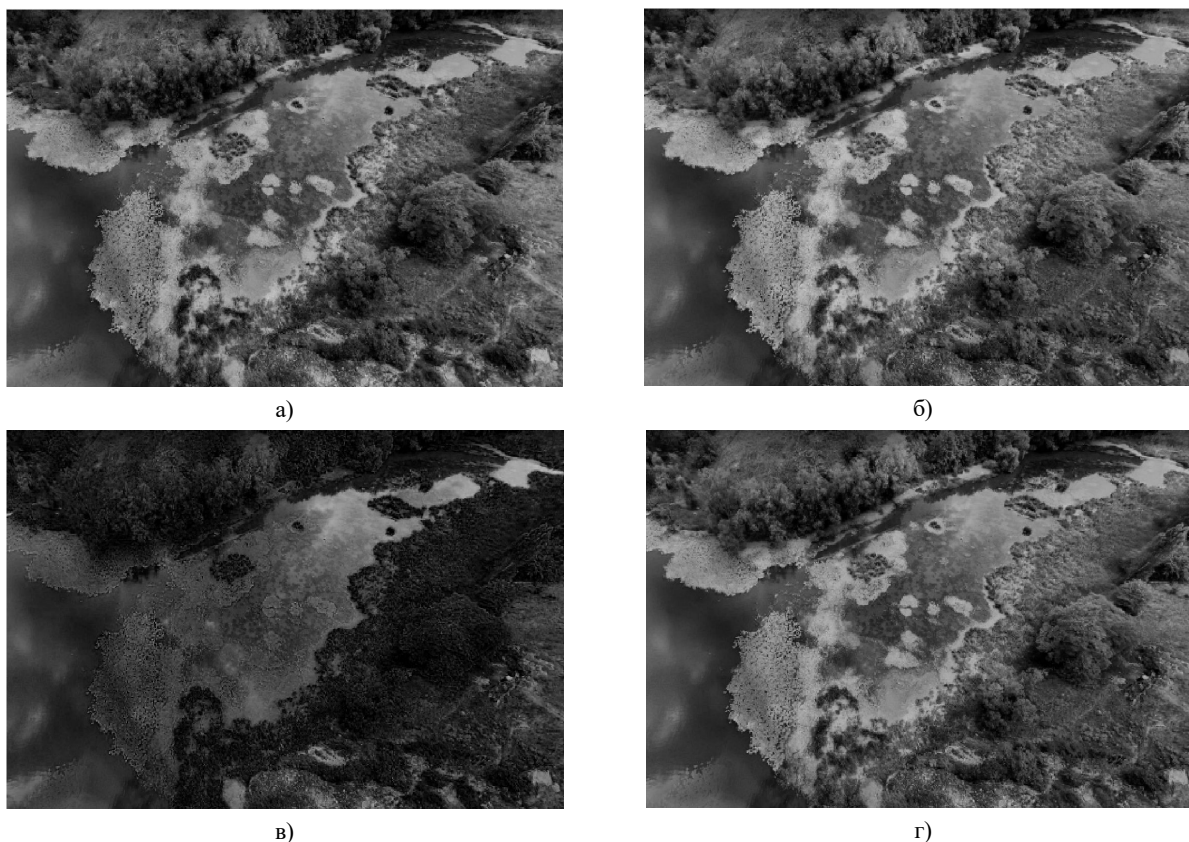


Рис. 2. Мультиспектральні зображення прибережного рослинного комплексу вищих водних рослин

Акваторіальні "плями" склалися із занурених та плаваючих вищих водних рослин. При наявності у воді великої концентрації фітопланктону для мультиспектрального засобу екологічного контролю водних об'єктів з використанням квадрокоптера було можливо дослідження лише плаваючих вищих водних рослин. У якості об'єкту дослідження використовувалось угруповання макрофітів глечиків жовтих (*Nuphar lutea*), що мають діаметр листків 20-25 см. На рис. 3.наведено мультиспектральні зображення угруповання макрофітів глечиків жовтих (*Nuphar lutea*) з квадрокоптера на висоті 20 м. Мультиспектральне зображення з квадрокоптера повинно охоплювати повністю одне угруповання вищих водних рослин. При цьому для визначення сегментів порушеної ділянки поверхні водного об'єкта роздільна здатність зображення повинна дозволити досліджувати стан кожної рослини. Оскільки роздільна здатність мультиспектральних камер у кожному з каналів (426x339) менша ніж у загального панхроматичного зображення (1280x1024), то це обмежує розміри угруповань макрофітів, яке можливо досліджувати з такими характеристиками засобу контролю, кількістю не більше 150-300 рослин.

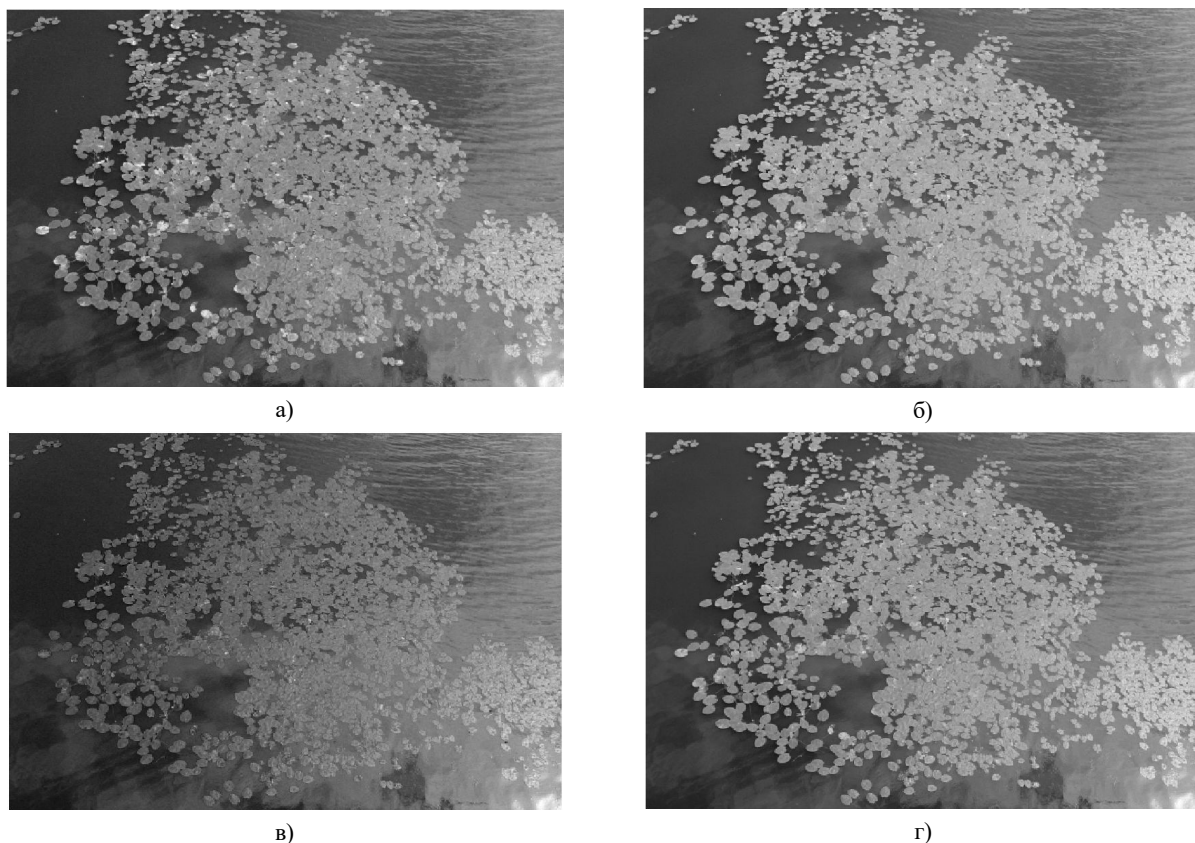


Рис. 3. Мультиспектральні зображення угруповання макрофітів глечиків жовтих (*Nuphar lutea*) з квадрокоптера ( $h=20$  м)

Інтенсивність поширення макрофітів у водному об'єкті залежала від їх гідроморфологічних параметрів. Помітна тенденція поступового заростання поверхні водного дзеркала у останні роки. Для більш глибоководних ділянок, що мають середні глибини понад 3 м, характерним є незначне заростання акваторій.

На підставі отриманих даних щодо стану розвитку макрофітів проведено кореляційний аналіз у програмі MathCAD з метою визначення взаємопов'язаних параметрів водних об'єктів. Особливо виражений зворотній взаємозв'язок має місце між середньою глибиною водойм і заростанням акваторій ( $r = -0,716$ ), дещо слабший між середньою глибиною і біомасою макрофітів ( $r = -0,504$ ). Ці залежності можливо пояснити накопиченням біогенних речовин на ділянках річки з малою глибиною, а також кращим розвитком певних видів макрофітів на ділянках з малою швидкістю течії.

За рахунок вегетації вищих водних рослин, інтенсивність яких характеризується середніми біомасами у межах  $120..360$  г/м<sup>2</sup> за період спостереження, у водоймах щорічно за вегетаційний сезон утворюється орієнтовно до 3 т/га первинної органічної речовини. Підсумовуючи результати досліджень показників розвитку макрофітів, необхідно звернути увагу на значні об'єми утвореної первинної органічної речовини. За такої ситуації у водних об'єктах відбувається поступове накопичення значних обсягів відмерлої органічної речовини, що спричиняє їх замулення.

Аналіз результатів статистичної обробки показників якості поверхневих вод р. Південний Буг за гідрохімічними показниками та їх порівняння з результатами експериментальних досліджень та математичного моделювання розвитку і продукції макрофітів дозволяє контролювати інтегральний рівень забруднення р. Південний Буг. При цьому дослідження показало, що домінуюче положення займають проби, які належать до III класу якості води 4–5 категорії, що відповідає слабо і помірно забрудненим водам. За трофічним статусом вони знаходяться у діапазоні від евтрофних до еволітрофних, за сапробністю від  $\beta''$  – мезосапробних до  $\alpha'$  – мезосапробних.

При цьому гідрохімічні дослідження дозволяють оцінити рівень забруднення у конкретний момент часу та у невеликому об'ємі проби взятої зі створу. На відміну від цього дослідження характеристик макрофітів дозволяє інтегрально оцінити рівень забруднення водного об'єкту та комплексний антропогенний вплив в його екосистему протягом тривалого часу на досить великій ділянці. За рахунок цього досліджені методи мають різні сфери застосування. В цілому результати експерименталь-

них досліджень класу та категорії якості поверхневих вод, отримані з використанням таких методів збігаються з врахуванням статистичних розбіжностей.

Дуже важливою характеристикою середньої ділянки р. Південний Буг є її значна зарегульованість багатьма ставками та водосховищами і високий рівень антропогенного навантаження. Найбільшими споживачами поверхневих водних ресурсів тут є промислові підприємства, на другому місці - сільськогосподарські (в основному рибоставкові господарства) і лише на останньому - комунальні господарства [1, 2]. Тому і основними забруднювачами виступають промислові і сільськогосподарські підприємства.

Відповідно до Закону України «Про екологічну мережу України», до складових структурних елементів екомережі включають: території та об'єкти природно-заповідного фонду; землі водного фонду, водно-болотні угіддя, водоохоронні зони; інші природні території та об'єкти (ділянки степової рослинності, пасовища, сіножаті, луки, кам'яні розсипи, піски, солончаки, земельні ділянки, в межах яких є природні об'єкти, що мають особливу природну цінність); земельні ділянки, на яких зростають природні рослинні угруповання, занесені до Зеленої книги України; території, які є місцями перебування чи зростання видів тваринного і рослинного світу, занесених до Червоної книги України тощо.

Згідно з частиною першою статті цього закону, перелік ключових територій екомережі включає території та об'єкти природно-заповідного фонду, водно-болотні угіддя міжнародного значення, інші території, у межах яких збереглися найбільш цінні природні комплекси.

У Водному кодексі України має бути додано визначення «особливо цінні ділянки річок - водотоки та прилеглі до них прибережні ділянки, що мають вільну течію та відмінним/добрим екологічним станом». Під поняття «особливо цінних» підпадають РМПВ, що мають вільну течію, перебувають у відмінному або доброму екологічному стані та відповідають хоча б одному основному або двом додатковим критеріям. Основними критеріями для виділення річкового масиву поверхневих вод і окремих ділянок річок для організації природно-заповідних територій та виділення їхніх функціональних зон, включно заповідної, є наступні:

Основні: відмінний екологічний стан РМПВ та природних комплексів ДР; наявність видів, а також угруповань, що потребують охорони і збереження відповідно до національного законодавства. Додаткові: наявність у межах ДР або поблизу неї територій та об'єктів, що перебувають під охороною відповідно до національного законодавства або міжнародних зобов'язань України; наявність особливо цінних оселищ, що мають значення для підтримання біорізноманіття, у тому числі видів, що потребують охорони і збереження відповідно до міжнародних зобов'язань України; ДР, що мають соціальне (у т.ч. рекреаційне, ландшафтне-естетичне та історико-культурне) значення.

Відповідно до методики визначення особливо цінних ділянок річки з метою їхнього збереження та охорони на підставі аналізу основних та додаткових критеріїв для виділення річкового масиву поверхневих вод і окремих ділянок річок для організації природно-заповідних територій та виділення їхніх функціональних зон та на підставі того, що ділянка річки в межах м.Вінниці має високе соціальне значення (у т.ч. рекреаційне, ландшафтне-естетичне та історико-культурне), необхідно виділити цю ділянку, включно з прибережною територією під муніципальний природний парк.

## Висновки

У роботі здійснено оцінювання екологічного стану річки Південний Буг у відповідності до вимог Водної Рамкової Директиви ЄС. Дослідження проводили у типових біотопах, які визначали за складом ґрунту, швидкістю течії, глибиною, типом руслових процесів, угрупованнями вищої водної рослинності тощо. Визначено склад та структура основних компонентів гідробіоценозів в басейні Південного Бугу.

Відповідно до методики визначення особливо цінних ділянок річки з метою їхнього збереження та охорони проаналізовано основні критерії для виділення річкового масиву поверхневих вод і окремих ділянок річок для організації природно-заповідних територій та виділення їхніх функціональних зон. На підставі того, що ділянка річки в межах м.Вінниці має високе соціальне значення (у т.ч. рекреаційне, ландшафтне-естетичне та історико-культурне), необхідно виділити цю ділянку, включно з прибережною територією під муніципальний природний парк.

Оцінена якість питної води ділянки р. Південний Буг в районі питного водозабору м.Вінниці. Дуже важливою характеристикою середньої ділянки р. Південний Буг є її значна зарегульованість багатьма ставками та водосховищами і високий рівень антропогенного навантаження. Найбільшими спо-

живачами поверхневих водних ресурсів тут є промислові підприємства, на другому місці - сільськогосподарські (в основному рибоставкові господарства) і лише на останньому - комунальні господарства. Тому і основними забруднювачами виступають промислові і сільськогосподарські підприємства.

Розроблено рекомендації здійснення мультиспектрального контролю параметрів забруднення водних середовищ та оцінювання екологічного стану водних об'єктів, зокрема, з використанням квадрокоптера.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод / [О. М. Арсан, О. А. Давидов, Т. М. Дяченко та ін.]; за ред. В. Д. Романенка. - К.: Логос, 2006. - 408 с.
2. Водні ресурси та якість річкових вод басейну Південного Бугу / В.К. Хільчевський та ін.; ред. В.К. Хільчевський. - К.: Ніка-Центр, 2009. - 184 с.
3. Kvaterniuk S., Petruk V., Kochan O., Frolov V. Multispectral ecological control of parameters of water environments using quadrocopter. Sustainable Production: Novel Trends in Energy, Environment and Material Systems. Studies in Systems, Decision and Control : monograph / editors: G. Królczyk, M. Wzorek., A. Król, O. Kochan, J. Su, J. Kacprzyk. Cham : Springer, 2019. Vol. 198. P. 75–89. doi: 10.1007/978-3-030-11274-5\_6.
4. Kvaterniuk S., Kvaterniuk O., Petruk V., Mandebura A., Mandebura S., Grądz Ż. M., Rakhmetullina S., Arshidinova M. Multispectral environmental monitoring of phytoplankton pigment parameters in aquatic environments. Proc. SPIE, 2019. Vol. 11176, 111762R. P. 111762R -1– 111762R -7. doi: 10.1117/12.2536809.
5. Petruk V., Kvaterniuk S., Kozachuk A. et al. Multispectral television measuring control of the ecological state of waterbodies on the characteristics macrophytes. Proc. SPIE. 2015. Vol. 9816, 98161Q. P. 98161Q-1–98161Q-4. doi: 10.1117/12.2229343. ISSN 0277-786X.
6. Kvaterniuk 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/S20.090.

**Мандебура Анастасія Юрійвна** — аспірант кафедри екології та екологічної безпеки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

**Кватернюк Сергій Михайлович** — д.т.н., професор, професор кафедри екології та екологічної безпеки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: serg.kvaternuk@gmail.com.

**Гомеш Роза Марія Зау** — студент, Інститут екологічної безпеки та моніторингу довкілля, Вінницький національний технічний університет

**Mandebura Anastasia Yuriyivna** — Postgraduate student of the Department of Ecology and Environmental Safety, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

**Kvaterniuk Serhii M.** — D.Sc., Professor, Professor of Ecology and Environmental Safety, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: serg.kvaternuk@gmail.com.

**Gomes Rosa Maria Zau** — student, Institute of Environmental Safety and Environmental Monitoring, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.