

УДК 528.9:528.88:581.9:502.7 <https://doi.org/10.31713/vt1202533>

**Бялик І. М., к.т.н., доцент** (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

## **МЕТОДИ ВИКОРИСТАННЯ СУПУТНИКОВИХ ЗНІМКІВ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ВИЗНАЧЕННЯ БІОТОПІВ ГРАБУНСЬКОГО ТА БІЛЬСЬКОГО ВІДДІЛЕНЬ РІВНЕНСЬКОГО ПРИРОДНОГО ЗАПОВІДНИКА**

**У статті представлено методику використання супутникових знімків Sentinel-2 для автоматизованого визначення біотопів природоохоронних територій на прикладі Грабунського і Більського відділень Рівненського природного заповідника. Проведено класифікацію біотопів на основі методу ROI та алгоритму максимальної ймовірності, виконано векторизацію результатів. Представлено практичні етапи обробки супутникових знімків у середовищі QGIS із використанням модуля SCP.**

**Ключові слова:** біотоп; супутникові знімки; автоматичне дешифрування; ROI; QGIS; Sentinel-2.

**Вступ.** Одним із найбільш широких можливостей застосування даних ДЗЗ стали галузі екології та природоохоронної діяльності. Ще донедавна визначення біотопів виконувалось виключно наземним способом із залученням спеціалістів із ботаніки та геодезії. Такий спосіб є вкрай трудомістким, повільним і неточним з точки зору картографування і розташування меж біотопів. Сучасні методи дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) відкривають нові можливості для екологічного моніторингу, в тому числі при визначенні меж біотопів. Їх дешифрування на супутникових знімках дозволяє значно прискорити та деталізувати отримання просторової інформації. Проте це складне наукове і науково-практичне завдання з кількох причин. По-перше, межі біотопів є доволі динамічними і з плином відносно невеликого часу можуть сильно змінитися. По-друге, кольори зображення (а також інші характерні випромінювання в інших спектрах) змінюються як від пори року, так і в одну і ту саму пору року, але в різні роки. По-третє, видимий і невидимий спектри різних біоценозів можуть бути доволі близькими, що утруднює їх визначення. Тому задача визначення чітких класифікаторів, при



яких можливо було б автоматизувати процес визначення біотопів, на сьогодні є важливим і актуальним завданням.

**Постановка завдання.** Визначення меж біотопів є складним завданням через динамічність рослинного покриву, змінність спектральних характеристик у різні роки і сезони, а також подібність спектрів близьких типів біотопів. Необхідно сформулювати методики, які дозволять використовувати супутникові знімки для їх дешифрування в автоматизованому режимі для кожної конкретної природної території.

**Аналіз досліджень.** Використання дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) забезпечує доступ до великих обсягів просторових даних із значною деталізацією. Особливо важливими є мультиспектральні та гіперспектральні знімки супутників Sentinel-2, Landsat 8–9, PlanetScope, WorldView та ін., які дають змогу аналізувати характеристики біотопів на основі різних індексів, наприклад NDVI, EVI, MSAVI, NDWI тощо [1; 2; 3].

Дослідження останнього десятиліття показують, що методи машинного навчання на основі штучного інтелекту стали основним інструментом обробки супутникових знімків для класифікації типів біотопів та їх меж. Серед найпоширеніших алгоритмів можна виділити Random Forest (RF), Support Vector Machines (SVM), k-Nearest Neighbors (kNN), Convolutional Neural Networks (CNN) [4; 5].

Так, у праці П. Heidl et al. (2020) [4] використано Random Forest для класифікації лучних біотопів у Східних Альпах, на основі опрацювання знімків Sentinel-2. Результати показали точність понад 85% для окремих класів рослинності з врахуванням сезонної вегетації. Схожий підхід було застосовано також і для степових біотопів в Україні в праці В. Ковалю та колег (2021) [6], де автори поєднали аналіз індексів NDVI та опрацювання об'єктів у Google Earth Engine для виявлення змін середовищ існування у межах природно-заповідного фонду.

Визначальну роль насамперед відіграє роздільна здатність зображення. Знімки з просторовою деталізацією 10–15 м (Sentinel, Landsat) є оптимальними для регіонального аналізу, тоді як супутники з високою (0.5–1 м) або надвисокою роздільністю (WorldView-3, Pleiades) дозволяють картографувати біотопи на локальному рівні – наприклад, у межах окремих заповідників чи урбанізованих екосистем [7; 8].

Останніми роками, поряд з традиційними методами класифікації на основі спектрального аналізу, все активніше

розвивається об'єктно-орієнтована класифікація (OBIA), де супутникові знімки спочатку сегментуються на гомогенні об'єкти, після чого кожен об'єкт аналізується за комплексом характеристик (форма, текстура, спектр). Це значно підвищує точність дешифрування, особливо у випадках складної мозаїчної структури біотопів [5].

Проте дуже часто дослідження біотопів виконуються з поєднанням автоматизованого дешифрування супутникових знімків та польових вимірювань, краудсорсинговими платформами (наприклад, iNaturalist, GBIF), та з використанням БПЛА. Особливо це актуально для уточнення меж біотопів. Наприклад, у дослідженні W. Sun et al. (2022) [9] поєднано супутникові дані і дані з дронів для класифікації прибережних біотопів Китаю. Точність визначення досягла понад 90%.

Отже, сучасні методи визначення біотопів на основі супутникових знімків та інших даних ДЗЗ мають достатньо високу точність та швидкість дешифрування в порівнянні з попередніми методами. Вони дозволяють значно розширити можливості екологічного моніторингу в умовах зміни клімату, урбанізації та антропогенного тиску.

#### **Виклад основного матеріалу**

Для автоматичного дешифрування супутникових знімків з отриманням високої точності визначення біотопів Рівненського природного заповідника в нас є занадто мало даних. До того ж вони знаходяться в різних форматах і мають різний ступінь актуальності. Тому в цілому завдання визначення біотопів буде проходити в декілька етапів. Перший етап – це визначення меж та класифікація біотопів певної еталонної території заповідника на основі існуючої інформації з польових досліджень. Це дасть межі біотопів та їх класифікацію в придатному для уточнення вигляді. На другому етапі потрібно провести уточнення як меж, так і класифікацію біотопів разом зі спеціалістами заповідника. В результаті можна отримати дані, за якими можливо розробити класифікатори та методики для навчання штучного інтелекту для автоматичного визначення біотопів інших територій заповідника та територій за його межами.

Для виконання поставленого завдання можна скористатися різними видами супутникових знімків. При цьому вихідні дані мають відповідати таким критеріям, як достовірність, актуальність, повнота та доступність. У вільному доступі ми можемо отримати космічні знімки двох систем – Landsat та Sentinel-2. Знімки цих систем мають



схожі параметри – порівнянна роздільна здатність (Landsat має роздільну здатність 15 м, а Sentinel-2 – 10 м) та мультиспектральність з майже однаковими каналами. Оскільки роздільна здатність трохи краща на знімках системи Sentinel-2 – зупинимося саме на ній.

Ще одним критерієм є повнота інформації. По-перше, знімки мають охоплювати всю територію, де визначаються біоценози, а по-друге хмарність на знімку має бути мінімальною. Найкращий час, щоб визначати біотопи – літній період. Враховуючи, що знімки виконуються раз в 10 днів, для системи Sentinel-2 нам вдалося підібрати знімки, які повністю нас влаштовують (рис. 1).

Оскільки всі польові вимірювання в Рівненському заповіднику виконуються із застосуванням GPS-трекерів, то на прохання їх фахівців ми використали систему WGS-84, а конкретно проєкцію WGS 84 / UTM zone 35N.



Рис. 1. Вирізана частина знімку системи Sentinel-2 на прикладі зображення 4 каналу (банду) з повністю відсутньою хмарністю

Вагомою частиною вихідних даних є інформація про біотопи Рівненського заповідника. Цю інформацію нам надали фахівці заповідника в табличній формі (.xlsx формат), де друга і третя колонки – координати місцеположення біотопів в системі WGS-84. Це

дозволить розташувати об'єкти на карті в автоматичному режимі під час експорту. Однак варто зауважити, що після такого експорту ми отримали точкові об'єкти, і за положенням лише точки (часто з дуже низькою точністю) ми не змогли самостійно обрати еталонні території для наших біотопів. Після підготовчого етапу роботи ми обирали межі ROI спільно з фахівцями наукового відділу Рівненського заповідника.

Також ми отримали від фахівців заповідника межі відділень та квадрати лісництва у векторній формі в системі WGS-84 (рис. 2), а також касаційну карту Грабунського і Більського відділень Рівненського природного заповідника, виконану в 70-х роках минулого століття, яка може дати довідкову інформацію щодо типів рослинності на тій чи іншій території. Цих даних достатньо для первинного дешифрування біотопів.

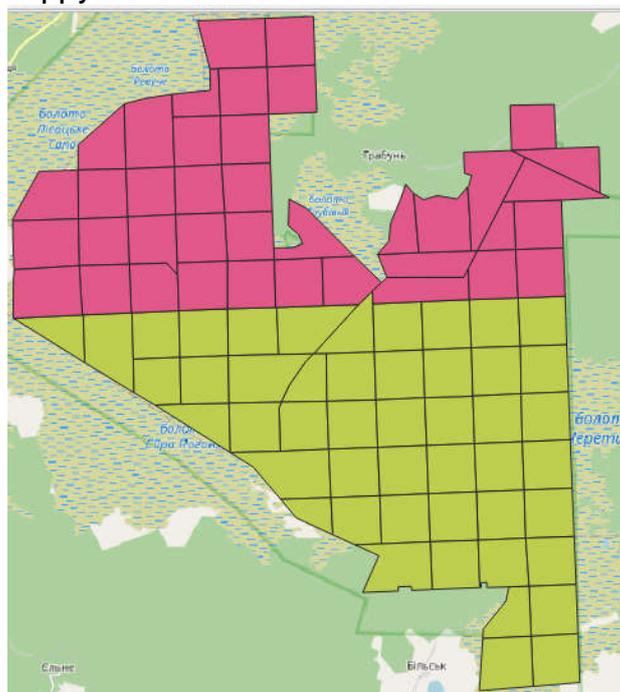


Рис. 2. Векторні межі Грабунського та Більського відділень Рівненського заповідника

Для обробки супутникових знімків ми використали програму QGIS, що є потужною геоінформаційною системою з відкритим кодом. Зокрема, ми застосували модуль Semi-Automatic Classification Plugin (SCP), який дозволяє здійснювати повний цикл обробки супутникових даних: від завантаження і корекції до класифікації. Попередньо зображення обрізали відповідно до меж двох відділень заповідника – Грабунського та Більського. До зображень були накладені векторні шари, що містили межі адміністративних ділянок,



лісових кварталів і точкові дані, надані фахівцями заповідника. Ці шари стали орієнтиром при формуванні ROI – ключових зон, що відображають типові біотопи території.

Використання методу дешифрування за допомогою ROI найбільш ефективно при аналізі не одного банду, а їх поєднання. Таке поєднання може більш «яскраво» виділити шукані об'єкти. Причому експериментально визначено, що найбільш ефективним є поєднання трьох бандів.

В модулі SCP ми зробили декілька варіантів поєднання бандів різних спектрів: суто видимий спектр, поєднання частини видимих спектрів з середніми та ближніми інфрачервоними, а також зображення за індексом NDVI.

Візуальне порівняння різних комбінацій бандів показало, що видимої різниці в визначенні меж об'єктів на всіх зображеннях немає. Тому ми прийняли рішення для початкового етапу використовувати псевдовидиме зображення каналів червоного, зеленого та синього спектрів (RGB) (рис. 3). Поєднання каналів RGB дає змогу наблизити зображення до звичного людському оку вигляду. Це сприяє візуальній оцінці стану та різноманіття біотопів. Такі зображення також дозволяють фахівцям ідентифікувати характерні риси конкретних ділянок та надати додаткову експертну інформацію для формування ROI.

При подальших дослідженнях можуть бути підібрані більш вдалі комбінації спектральних каналів.

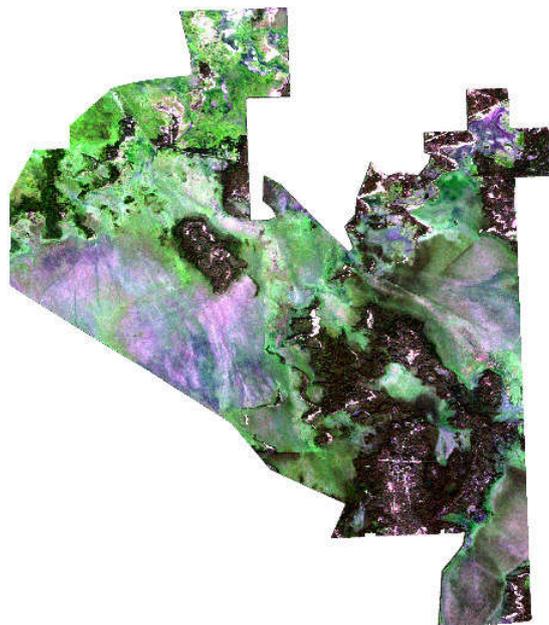


Рис. 3. Підготовлений до автоматичного дешифрування знімок в RGB псевдовидимому зображенні

Використовуючи це зображення з накладеними для зручності межами кварталів та точками знаходження біотопів ми спільно з спеціалістами наукового відділу Рівненського відділу визначили межі гарантованого розміщення всіх біотопів.

Для кожного з біотопів було визначено кілька репрезентативних зон, які використовувалися для навчання класифікаційного алгоритму. Загалом у дослідженні було виокремлено 12 основних типів біотопів, які включали лісові, болотні, лучні, водні та перехідні типи. Використання точних і надійних ROI значно підвищує достовірність результатів автоматичного дешифрування, оскільки алгоритм базується на спектральних характеристиках саме цих ділянок. Їх правильне визначення є критичним для побудови повноцінної карти біотопів.

Процес класифікації супутникових зображень здійснювався із застосуванням методу максимального правдоподібного класифікатора (MLC). Цей метод базується на статистичному підході: для кожного пікселя обчислюється ймовірність його належності до певного класу на основі розподілу значень у навчальних ROI. MLC дозволяє досягти високої точності, особливо при наявності добре диференційованих біотопів. У результаті було отримано растрову карту з класифікацією кожного пікселя, що дозволяє візуально та кількісно оцінити просторове розміщення різних типів біотопів у межах досліджуваної території. Візуалізація виконана з кольоровим кодуванням для кожного типу біотопу (рис. 4).

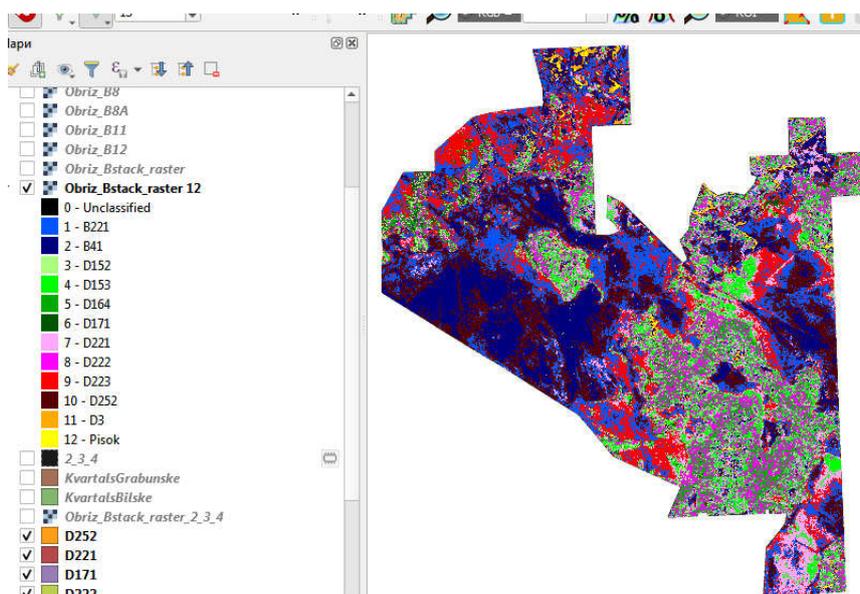


Рис. 4. Результат класифікації біотопів Грабунського та Більського відділень Рівненського заповідника

Після завершення класифікації результати було переведено у векторний формат. Векторизація дозволяє перетворити суцільне растрове зображення на набір полігонів, що мають чітко визначені межі та можуть бути легко використані для просторового аналізу. Цей етап дає змогу проводити вибірковий аналіз площ, фільтрацію, а також просторове редагування меж. Для забезпечення якості даних усі об'єкти площею менше 1 гектара було виділено та вилучено, оскільки вони не є репрезентативними для екосистемного аналізу та можуть спотворювати результати подальших досліджень.

На етапі редагування було проведено очищення полігонів від внутрішніх пустот, виправлення топологічних помилок, а також вирівнювання меж між суміжними біотопами. Цей процес вимагає уважного аналізу та ручної корекції. У результаті ми отримали векторні шари біотопів, які є придатним для інтеграції у будь-яку геоінформаційну систему (рис. 5). Ці шари можуть бути основою для багатьох аналітичних операцій – від екологічного моніторингу до планування природоохоронних заходів.

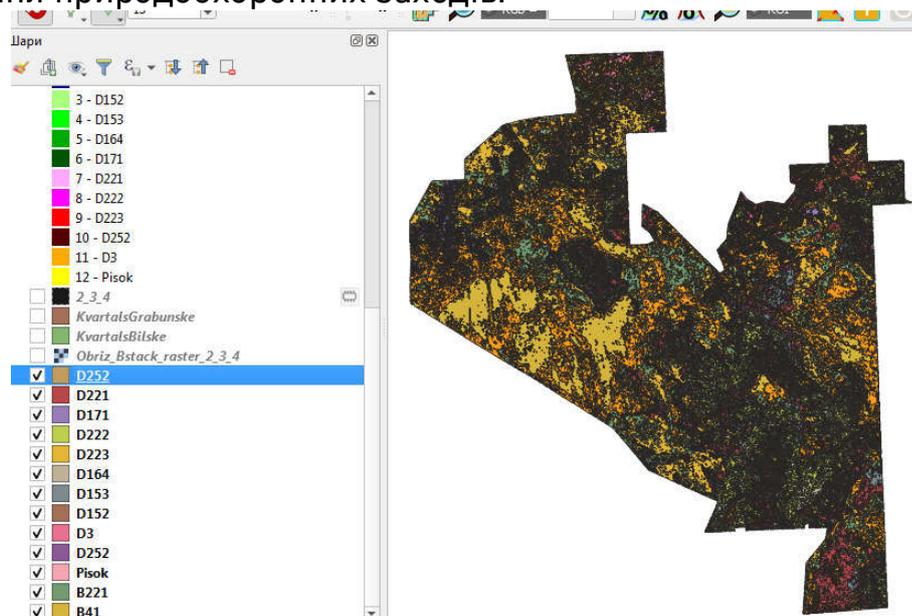


Рис. 5. Набір векторних шарів біоценозів Грабунського і Більського відділень Рівненського природного заповідника

Варто відзначити, що отримані результати потрібно ретельно перевірити та виправити разом з фахівцями Рівненського заповідника.

**Висновки.** У результаті виконаного дослідження випробувано методику автоматизованого дешифрування супутникових знімків Sentinel-2 для виявлення і класифікації біотопів на території

Грабунського та Більського відділень Рівненського природного заповідника.

В результаті роботи було обґрунтовано вибір супутникових даних системи Sentinel-2 як основного джерела просторової інформації завдяки їх роздільній здатності, багатоспектральності та доступності. За допомогою геоінформаційної системи QGIS та модуля SCP реалізовано повний цикл обробки знімків – від підготовки до автоматизованої класифікації. Також спільно з фахівцями заповідника визначено 12 основних типів біотопів та сформовано навчальні ділянки (ROI), які стали основою для алгоритмічного розпізнавання.

Використовуючи метод максимального правдоподібного класифікатора, проведено класифікацію біотопів на основі спектральних характеристик пікселів. Переведено їх у векторну форму з подальшим очищенням та редагуванням меж біотопів.

Продемонстровано можливість подальшого масштабування методики для інших природоохоронних територій, а також її використання в екологічному моніторингу, плануванні природоохоронних заходів та навчанні моделей штучного інтелекту.

Загалом, застосування супутникових даних у поєднанні з геоінформаційними технологіями та експертними оцінками дозволяє автоматизувати процес визначення біотопів, підвищити об'єктивність та оперативність ухвалення управлінських рішень у сфері охорони природи.

1. Pettorelli N. *Satellite Remote Sensing and the Management of Natural Resources*. Oxford : Oxford University Press, 2019. 288 p. URL: <https://global.oup.com/academic/product/satellite-remote-sensing-and-the-management-of-natural-resources-9780198726131> (дата звернення: 30.11.2024).
2. Senthilnath J., Dokania A., Kandukuri M. et al. Remote sensing image classification using deep learning: A review. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2019. Vol. 191. Article 556. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-019-7642-7> (дата звернення: 30.11.2024).
3. Roy D. P., Wulder M. A., Loveland T. R. et al. Landsat-8: Science and product vision for terrestrial global change research. *Remote Sensing of Environment*. 2014. Vol. 145. P. 154–172. URL: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.10.029> (дата звернення: 30.11.2024).
4. Heisl P., Tasser E., Walde J. et al. Remote sensing of alpine grassland biodiversity. *Remote Sensing of Environment*. 2020. Vol. 240. Article 111497. URL: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111497> (дата звернення: 30.11.2024).
5. Blaschke T. Object based image analysis for remote sensing. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 2010. Vol. 65(1). P. 2–16. URL:



<https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2009.06.004> (дата звернення: 30.11.2024).  
**6.** Коваль В. Ю., Шаповал О. М. Картографування біотопів у степовій зоні України із супутникових даних. *Екологічний журнал*. 2021. №3. С. 45–54. URL: <https://eco-journal.org.ua/index.php/journal/article/view/321> (дата звернення: 30.11.2024).  
**7.** Wulder M. A., Masek J. G., Cohen W. B. et al. Trends in optical earth observation data: Opportunities and challenges for land cover and land use change. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 2016. Vol. 115. P. 36–56. URL: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2015.10.012> (дата звернення: 30.11.2024).  
**8.** Kennedy R. E., Yang Z., Cohen W. B. Detecting trends in forest disturbance and recovery using yearly Landsat time series: 1. LandTrendr. *Remote Sensing of Environment*. 2010. Vol. 114. P. 2897–2910. URL: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.08.002> (дата звернення: 30.11.2024).  
**9.** Sun W., Zhang B., Liu Y. Integrating UAV and satellite data for habitat classification in coastal wetlands. *Ecological Indicators*. 2022. Vol. 136. Article 109362. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109362> (дата звернення: 30.11.2024).

## REFERENCES:

**1.** Pettorelli N. *Satellite Remote Sensing and the Management of Natural Resources*. Oxford : Oxford University Press, 2019. 288 p. URL: <https://global.oup.com/academic/product/satellite-remote-sensing-and-the-management-of-natural-resources-9780198726131> (дата звернення: 30.11.2024).  
**2.** Senthilnath J., Dokania A., Kandukuri M. et al. Remote sensing image classification using deep learning: A review. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2019. Vol. 191. Article 556. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-019-7642-7> (дата звернення: 30.11.2024).  
**3.** Roy D. P., Wulder M. A., Loveland T. R. et al. Landsat-8: Science and product vision for terrestrial global change research. *Remote Sensing of Environment*. 2014. Vol. 145. P. 154–172. URL: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.10.029> (дата звернення: 30.11.2024).  
**4.** Heidl P., Tasser E., Walde J. et al. Remote sensing of alpine grassland biodiversity. *Remote Sensing of Environment*. 2020. Vol. 240. Article 111497. URL: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111497> (дата звернення: 30.11.2024).  
**5.** Blaschke T. Object based image analysis for remote sensing. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 2010. Vol. 65(1). P. 2–16. URL: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2009.06.004> (дата звернення: 30.11.2024).  
**6.** Koval V. Yu., Shapoval O. M. Kartohrafuvannia biotopiv u stepovii zoni Ukrainy iz suputnykovykh danykh. *Ekolohichnyi zhurnal*. 2021. №3. С. 45–54. URL: <https://eco-journal.org.ua/index.php/journal/article/view/321> (дата звернення: 30.11.2024).  
**7.** Wulder M. A., Masek J. G., Cohen W. B. et al. Trends in optical earth observation data: Opportunities and challenges for land cover and land use change. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 2016. Vol. 115. P. 36–56. URL: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2015.10.012>

(data zvernennia: 30.11.2024). **8.** Kennedy R. E., Yang Z., Cohen W. B. Detecting trends in forest disturbance and recovery using yearly Landsat time series: 1. LandTrendr. *Remote Sensing of Environment*. 2010. Vol. 114. P. 2897–2910. URL: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.08.002> (data zvernennia: 30.11.2024). **9.** Sun W., Zhang B., Liu Y. Integrating UAV and satellite data for habitat classification in coastal wetlands. *Ecological Indicators*. 2022. Vol. 136. Article 109362. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109362> (data zvernennia: 30.11.2024).

---

**Bialyk I. M., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor,**  
(National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

### **METHODS OF USING SATELLITE IMAGERY FOR AUTOMATED IDENTIFICATION OF BIOTOPES IN THE HRABUN AND BILSK DIVISIONS OF THE RIVNE NATURE RESERVE**

**The study presents a methodology for automated interpretation of Sentinel-2 satellite imagery to identify biotopes, using the example of the Hrabun and Bilsk divisions of the Rivne Nature Reserve. The relevance of the research is driven by the need for a fast, accurate, and accessible method of spatial analysis of natural areas to support biodiversity conservation.**

**The research employed the QGIS software with the Semi-Automatic Classification Plugin (SCP), which enabled the full processing cycle: from image acquisition to the creation of a classification map. Experts from the reserve were involved in defining reference areas (ROIs) for each biotope, which served as the basis for classifier training. The maximum likelihood classification method was applied, resulting in a thematic map with 12 main biotope classes.**

**Subsequent vectorization and editing of biotope boundaries ensured the creation of an accurate spatial layer suitable for ecological monitoring. The proposed methodology is universal and can be scaled for use in other protected areas. The results of the study are of practical value for managing nature reserves and analyzing environmental changes.**

**Keywords: biotope; satellite images; automatic decoding; ROI; QGIS; Sentinel-2.**