Ukrainian Journal of Remote Sensing
journal homepage: www.ujrs.org.ua

https://doi.org/10.36023/ujrs.2026.13.3.316

УДК 528.8:502.1:574

Дистанційне зондування Землі для моніторингу біорізноманіття України: виклики, перспективи та можливості адаптації фінського досвіду

А. О. Козлова[1*], https://orcid.org/0000-0001-5336-237X
К. Бьоттхер[2] https://orcid.org/0000-0002-2181-5976
М. Тьормя[2] https://orcid.org/0000-0001-5723-4690

[1] *ДУ Науковий Центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук Національної академії наук України, вул. Олеся Гончара, 55-Б, Київ, 01054, Україна*
[2] *Фінський інститут довкілля, вул. Латокартанонкаарі, 11, Гельсінкі, 00790, Фінляндія*

У статті розглянуто потенціал дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) для розвитку системи моніторингу біорізноманіття України та визначено основні виклики його практичного впровадження. Проаналізовано сучасний стан моніторингу біорізноманіття в Україні, а також розглянуто концептуальні підходи до використання даних ДЗЗ у дослідженнях біорізноманіття. Особливу увагу приділено досвіду Фінляндії, де інтеграція супутникових та наземних спостережень забезпечує системний моніторинг стану довкілля. Обґрунтовано доцільність адаптації цього досвіду в Україні з урахуванням національних потреб, доступності даних та сучасних викликів, зокрема наслідків війни.

Запропоновано ключові напрями розвитку дистанційного моніторингу, що передбачають: 1) розроблення національних дистанційних індикаторів біорізноманіття на основі концепції Основних змінних біорізноманіття (EBVs); 2) впровадження стандартизованих методів обчислення показників біорізноманіття та валідації результатів, зокрема через мережу наземних тестових полігонів; 3) створення централізованого хабу для інтеграції дистанційних і наземних спостережень біорізноманіття у єдиний інтероперабельний просторово-часовий куб геопросторових даних. Реалізація такого підходу сприятиме формуванню в Україні сумісної з європейськими вимогами системи моніторингу біорізноманіття національного рівня.

Ключові слова: дистанційне зондування Землі; моніторинг біорізноманіття; основні змінні біорізноманіття (EBV); супутникові дані; наземні спостереження; геопросторовий куб даних; Фінляндія.

© А. О. Козлова, К. Бьоттхер, М. Тьормя. 2026

Вступ

Біорізноманіття є важливою складовою функціонування та стійкості біосфери (Almond et al., 2020). Однак катастрофічне знищення біорізноманіття та руйнування екосистем залишаються однією з найбільших загроз, з якими стикається людство (World Economic Forum, 2020).

Для того, щоб зупинити втрату біорізноманіття до 2030 року, запроваджено низку глобальних та європейських ініціатив (United Nations, 2015; Convention on Biological Diversity, 2022; European Commission, 2020), які розглядають моніторинг біорізноманіття як основний інструмент контролю за досягненням екологічних та природоохоронних цілей.

У Європейському Союзі (ЄС) моніторинг біорізноманіття – не окрема дослідницька діяльність, а складова природоохоронної політики – Європейського зеленого курсу (European Commission, 2019), конкретизована Стратегією ЄС щодо біорізноманіття до 2030 року (European Commission, 2020). Оселищна (Council of the European Communities, 1992) та Пташина (European Parliament & Council of the European Union, 2009) директиви визначають зобов'язання держав-членів спостерігати за станом видів і природних оселищ та регулярно звітувати про результати. Регламент про відновлення природи (European Parliament & Council of the European Union, 2024) розширює ці вимоги на оцінювання стану та відновлення екосистем. У результаті такої політики розвинені системи моніторингу біорізноманіття, що поєднують стандартизовані методики, централізовані бази даних, інституційну координацію та сучасні технології.

Останні досягнення в дистанційному зондуванні Землі (ДЗЗ) відкривають нові технологічні можливості для моніторингу біорізноманіття (Kissling et al., 2026; European Commission. Joint Research Centre, 2023; He et al., 2015). Супутникові дані забезпечують масштабні, регулярні та стандартизовані спостереження, включаючи важкодоступні території, а також дають змогу аналізувати ретроспективні зміни екосистем упродовж тривалих часових періодів.

*Corresponding author / Автор для кореспонденції: Anna Kozlova / А.О. Козлова / ak.koann@gmail.com

This is an Open Access article under the CC BY licenses (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)
Стаття опублікована на умовах відкритого доступу за ліцензією CC BY (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Інтеграція ДЗЗ з польовими даними та іншими джерелами інформації розглядається як ключовий напрям розвитку сучасних систем моніторингу, що дає змогу переходити від фрагментарних спостережень до цілісного аналізу структурних, функціональних і композиційних характеристик біорізноманіття (Cavender-Bares et al., 2022).

Країни ЄС активно впроваджують інтегровані системи моніторингу, які поєднують дистанційне зондування, наземні спостереження та цифрові інфраструктури даних (Cavender-Bares et al., 2022). Показовим є досвід Фінляндії, де сформовано інституційно та технологічно узгоджену систему моніторингу біорізноманіття, яка охоплює широкий спектр різних природних систем по всій Фінляндії, включаючи наземні, морські та внутрішні водойми (https://luontotieto.syke.fi/en/). Метою цих моніторингових ініціатив є збір інформації про стан, динаміку та поширення видів, оселища та екосистем. Він базується на стандартизованих методиках, централізованому управлінні даними та активному використанні геопросторових технологій. Зокрема, підходи, реалізовані у Фінському інституті довкілля (SYKE), демонструють ефективні моделі інтеграції різнорідних даних у спостереження біорізноманіття і можуть слугувати орієнтиром для країн, які перебувають на етапі розбудови власних систем моніторингу (https://www.syke.fi/en/ research/nature).

Україна, в межах Угоди про асоціацію з ЄС, взяла на себе зобов'язання щодо імплементації відповідних політик збереження та відновлення біорізноманіття. Ухвалення національної Стратегії збереження біологічного різноманіття України на період до 2035 року (Кабінет Міністрів України, 2026) створило передумови для формування сучасної системи моніторингу біорізноманіття. Водночас ці процеси відбуваються в умовах безпрецедентного антропогенного тиску.

Повномасштабна війна, що триває з 2022 року, спричинила значні руйнування природних екосистем, деградацію середовищ існування та забруднення довкілля, а також призвела до суттєвого ослаблення існуючої системи стаціонарних спостережень за довкіллям та втрати кадрового потенціалу (World Bank et al., 2025; Скоробогатов та ін., 2023; Сплодитель та ін., 2023; Shumilova et al., 2023; Wang, 2023). За наявними оцінками, вже пошкоджено або перебуває під загрозою знищення близько 20% територій природно-заповідного фонду. Це означає втрату не лише рідкісних видів, а й родючих земель, пов'язаних з ними природних комплексів, здатних надавати якісні екосистемні послуги (Домашлінець, 2025).

Однак наявна система моніторингу в Україні залишається фрагментарною: значна частина даних збирається в межах окремих проєктів або установ без єдиної методичної основи, координації та інтегрованої інфраструктури управління даними (Куземко та ін., 2026). Традиційні підходи, що базуються переважно на польових спостереженнях, є ресурсомісткими, просторово обмеженими та не забезпечують необхідної регулярності й масштабованості спостережень. Також, внаслідок бойових дій, не всі території, що цінні для збереження біорізноманіття, доступні для регулярних спостережень. Отже, постає потреба в інтеграції даних ДЗЗ у систему моніторингу біорізноманіття України.

Залучення досвіду Фінлядії буде для України корисним не лише як приклад реалізації політики ЄС щодо збереження різноманіття, але й переважно тому, що він вчить шукати власний шлях у впровадженні європейських ініціатив, адаптуючи їх під національні пріоритети та природні особливості та, за потреби, відшукувати власні рішення та підходи.

Метою цієї роботи є оцінювання потенціалу дистанційного зондування Землі для моніторингу біорізноманіття в Україні, визначення ключових викликів його застосування та обґрунтування напрямів формування національної системи моніторингу з урахуванням передового досвіду Фінляндії.

Дослідження, моніторинг та охорона біорізноманіття в Україні

Охорона біорізноманіття є одним із ключових напрямів державної екологічної політики України, що формувалась ще з перших років незалежності. Водночас сучасні виклики, зокрема євроінтеграційні процеси та наслідки війни, зумовлюють необхідність трансформації існуючих підходів до моніторингу та управління природними ресурсами.

Законодавче підґрунтя у сфері охорони біорізноманіття було закладене у 1990-х роках з ухваленням законів про природно-заповідний фонд, рослинний і тваринний світ, а також започаткуванням ведення Червоної та Зеленої книг України. Україна приєдналася до Конвенції про біологічне різноманіття та низки інших міжнародних угод у цій сфері. На сьогодні близько 7% території держави входить до природно-заповідного фонду, а також триває формування Смарагдової мережі як інструменту виконання вимог Конвенції про охорону дикої флори та фауни і природних середовищ існування в Європі. Питання збереження біорізноманіття інтегровані у стратегічні документи, зокрема Закон України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України до 2030 року» та Цілі сталого розвитку (Моніторинг та охорона біорізноманіття в Україні, 2020; Домашлінець, 2012).

Попри наявність нормативної бази, система моніторингу біорізноманіття в Україні історично формувалася фрагментарно. За результатами аналізу 95 програм моніторингу, проведеного у 2008 році (Костюшин та ін., 2008), більшість із них мали локальний або регіональний характер, тоді як національних програм було лише чотири. Значна частина досліджень була зосереджена на окремих таксономічних групах, передусім тваринах, що свідчить про відсутність комплексного підходу до оцінювання стану біорізноманіття.

Першою спробою систематизації підходів стала «Стратегія розвитку моніторингу біологічного

різноманіття в Україні» (2009), яка окреслила основні завдання зі створення цілісної системи біомоніторингу (Костюшин та ін., 2009). Протягом останніх років зроблено низку важливих кроків для створення сучасної системи моніторингу біорізноманіття. Так, у 2023 році ухвалено Закон України «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо державної системи моніторингу довкілля, інформації про стан довкілля (екологічної інформації) та інформаційного забезпечення управління у сфері довкілля» (Верховна Рада України, 2023), а у 2025 році прийнято постанову Кабінету Міністрів України «Про затвердження Порядку здійснення моніторингу біологічного та ландшафтного різноманіття», в яких чітко визначенні вимоги щодо створення підсистеми моніторингу біологічного та ландшафтного різноманіття державної системи моніторингу довкілля (Кабінет Міністрів України, 2025*)*. У червні 2026 року прийнято Стратегію збереження біологічного різноманіття до 2035 року (Кабінет Міністрів України, 2026).

Важливим напрямом є гармонізація законодавства України з правом ЄС, зокрема впровадження Оселищної та Пташиної директив (Домашлінець, 2025). Це передбачає не лише адаптацію нормативної бази, а й уніфікацію методів моніторингу. З цією метою розглядається можливість використання підходів, розроблених у країнах Центральної Європи, зокрема Чехії та Словаччині, а також Фінляндії та інших країн, що сприяє підвищенню порівнюваності даних на міжнародному рівні (Куземко та ін., 2026; Українська природоохоронна група, 2023).

Паралельно розгортається низка ініціатив наукових інститутів та громадських організацій з розвитку інституційної та технічної спроможності щодо здійснення моніторингу та збереження даних. Зокрема, у Державному природознавчому музеї НАН України створено Центр даних біорізноманіття України (https://dc.smnh.org/), який акумулює інформацію про види, їх поширення та природоохоронний статус. Іншим прикладом є UkrBIN – Національна мережа інформації з біорізноманіття (https://www.ukrbin.com/), створена за партнерства громадської ініціативи та Інститут зоології імені І.І. Шмальгаузена НАН України.

Суттєвий імпульс розвитку надають міжнародні ініціативи та партнерство. Зокрема, проєкт «IKI Interface (GreenUkraine)», що реалізовується Німецьким товариством міжнародного співробітництва (GIZ), передбачає технічну підтримку створення сучасної системи моніторингу біорізноманіття, (https://iki-ukraine.org/ua/project/iki-interface-project-ukraine/). Важливою ініціативою є також проєкт «Підтримка України в оцінці шкоди довкіллю та розвитку моніторингу якості поверхневих вод і біорізноманіття» (UFEM), що реалізовується за участі Інституту довкілля Фінляндії (SYKE) у співпраці з Міністерством економіки, довкілля та сільського господарства України (https://www.syke.fi/en/projects/ufem). Його метою є підвищення спроможності моніторингу якості вод та наземного біорізноманіття, а також узгодження системи екологічного моніторингу України з вимогами ЄС.

Впровадження геоінформаційних технологій та цифрових інструментів для моніторингу біорізноманіття наразі має обмежений характер і реалізовується переважно на рівні окремих регіонів або установ природно-заповідного фонду (Біатов та ін., 2020; Муравський та ін., 2006*)*. Фрагментовано оцінювалось та картувалось біорізноманіття з використанням даних ДЗЗ (Станкевич, Козлова, 2007). Наприклад, для Причорноморського регіону України картування біорізноманіття на основі даних ДЗЗ було реалізовано у формі вебсервісу, що автоматично поновлюється (Popov et al., 2008). Водночас, саме використання сучасних геоінформаційних технологій має стати основою для просторової організації моніторингу біорізноманіття і для системного накопичення та аналізу даних щодо місць існування, біотопів, ареалів і тенденцій поширення видів флори і фауни, картування оселищ і екосистем.

Концептуальні підходи до використання даних ДЗЗ у дослідженні біорізноманіття

З огляду на загальноприйняте визначення біорізноманіття (Convention on Biological Diversity, 2022), організовуючи його моніторинг, важливо як уникнути розмитості поняття «живі організми з усіх джерел», так і забезпечити комплексний підхід, який охоплює різні рівні організації живої природи (генетичний, видовий та екосистемний) і враховує специфічність оцінювання кожного рівня.

Методи використання даних ДЗЗ у дослідженнях біорізноманіття можна умовно об’єднати у два загальні підходи. ***Прямий підхід*** полягає в безпосередній реєстрації та картуванні окремих елементів біорізноманіття, а саме домінантних та інвазійних видів, а також наземних (Amani et al., 2023; Agrillo et al., 2021; Vihervaara et al., 2021; Corbane et al., 2015) та морських (Martín-García et al., 2026) оселищ. При ***непрямому підході*** біорізноманіття оцінюється через вимірювання абіотичних і просторових параметрів оселищ або проксі-показників, таких як продуктивність чи спектральна гетерогенність (Pettorelli et al., 2018). Існує також гіпотеза, що спектральна різноманітність земного покриву на космічних знімках корелює з його просторовою та екологічною гетерогенністю, яку, своєю чергою, можна інтерпретувати як проксі-показник видового багатства (Putkiranta et al., 2025; Torresani et al., 2024; Wallis et al., 2024). Це дає змогу моделювати альфа- та бета-різноманіття без обов’язкового прямого розпізнавання кожного окремого виду.

Крім методичних підходів, у сучасній науці дедалі більше спираються на інтегративну концепцію ***Основних змінних біорізноманіття*** (Essential Biodiversity Variables, EBVs), яка забезпечує узгоджений зв’язок між первинними спостереженнями та індикаторами біорізноманіття (Geller et al., 2023; Skidmore et al., 2021; Pettorelli et al., 2016). Основною метою цієї концепції є встановлення мінімального набору змінних,

необхідних для аналізу, звітування та управління змінами біорізноманіття (Pereira et al., 2013). Такий підхід дає змогу зменшити складність системи моніторингу, уникнути дублювання показників і забезпечити їх масштабованість у просторі та часі.

Для глобальної мережі спостережень за біорізноманіттям GEO BON рекомендовано перелік з 21 показника EBV, згрупованих у 6 класів: генетичний склад, популяції видів, видові ознаки, склад угруповання, структура екосистем та функції екосистем (https://geobon.org/ebvs/what-are-ebvs/). Для Європейської (EuropaBON – https://europabon.org/?p=2993) та деяких національних мереж, зокрема фінської (Takeuchi et al., 2025; Vihervaara et al., 2017), цей перелік застосовується з певними уточненнями.

Одним із сучасних напрямів розвитку моніторингу біорізноманіття є створення EBV-орієнтованих кубів даних, які інтегрують супутникові спостереження, польові вимірювання та дані наукових досліджень. Цей підхід, зокрема, розвивається в межах європейського проєкту OBSGESSION (https://obsgession.eu) за участю фінського Інституту довкілля (SYKE). Його метою є поглиблення розуміння прямих і непрямих чинників змін біорізноманіття шляхом поєднання даних ДЗЗ, наземних спостережень та сучасного екологічного моделювання.

Потенціал дистанційного зондування Землі для моніторингу біорізноманіття

Досягнення у сфері комп'ютерних технологій кардинально змінили підходи до створення інформації на основі даних ДЗЗ для моніторингу біорізноманіття (Camia et al., 2023). Значна кількість платформ дистанційного спостереження за Землею використовується для моніторингу екосистем, рослинних угруповань і навіть деяких видів (Ustin & Middleton, 2021, 2024).

Більшість даних, створених у межах космічних програм і місій ЄС (Copernicus, Proba-V) та США (Landsat, MODIS, VIIRS), знаходяться у відкритому доступі через відповідні платформи Copernicus Open Access Hub (https://www.copernicus.eu/en/access-data), USGS EarthExplorer (https://earthexplorer.usgs.gov) та NASA EARTHDATA (https://search.earthdata.nasa.gov). На відміну від них, національні програми формують власні політики доступу до даних, зокрема, EnMAP та TerraSAR-X / TanDEM-X (Німеччина), SPOT, Pléiades (Франція), ALOS / ALOS-2 PALSAR (Японія), RADARSAT-1/2 (Канада), Gaofen (Китай), Resourcesat-2/2A (Індія). Комерційні оператори супутників зазвичай стягують плату за дані, хоча деякі з них, наприклад Planet, можуть надавати безоплатний доступ для досліджень і навчання. Для оброблення великих обсягів даних супутникових спостережень широко застосовуються хмарні обчислення, зокрема, через платформу Google EarthEngine (Gorelick et al., 2017).

Потенціал технологій ДЗЗ для моніторингу біорізноманіття визнаний у численних дослідженнях та програмних документах (Kissling et al., 2026; Camia et al., 2023; Vihervaara et al., 2017; He et al., 2015), а систематичні огляди його застосування викладені в роботах (Álvarez-Martínez et al., 2026; Kuenzer et al., 2014; O'Connor et al., 2015; Turner et al., 2003).

Оптичні дані отримують за допомогою сенсорів пасивного знімання, встановлених на супутниках, літаках та безпілотних літальних апаратах. Їх здебільшого використовують для картографування оселищ (Vihervaara et al., 2021; Agrillo et al., 2021; Corbane et al., 2015), оцінювання спектрального різноманіття (Kacic & Kuenzer, 2022), визначення функціональних ознак рослин (Vyvlečka & Pechanec, 2023; Homolová et al., 2013) та безпосереднього відстеження видів (Wang & Gamon, 2019).

Однак, оптичні дані мають і ряд характерних обмежень: насичення сигналу в умовах щільного деревного покриву, коли крони перешкоджають реєстрації інформації про нижні яруси рослинності; обмежена здатність відображати вертикальну структуру рослинного покриву; спектральна подібність різних видів рослин, що ускладнює їхнє розрізнення за спектральними характеристиками; а також вплив атмосферних факторів, зокрема хмарності, диму та аерозольного серпанку, які можуть перешкоджати отриманню супутникових знімків або спотворювати зареєстрований сигнал.

На сьогодні багатоспектральні супутникові дані мають найдовшу історію використання для моніторингу біорізноманіття та залишаються для нього основним джерелом даних.

Подальший розвиток оптичних методів пов'язаний з використанням гіперспектрального знімання, яке дає змогу виявляти відмінності у вмісті пігментів, води, азоту та інших компонентів, відкриває можливості для ідентифікації окремих видів, зокрема інвазивних (Santos & Ustin, 2018). Сучасні підходи до інтерпретації спектральних даних еволюціонують від дискретної класифікації рослинності до розгляду її як безперервного спектра функціональних характеристик. У цьому контексті запропоновано концепцію «оптично розрізнюваних функціональних типів», яка дає змогу безпосередньо пов'язати гіперспектральні спостереження з екологічними ознаками рослинності (Ustin & Gamon, 2010).

Поєднання оптичних даних з даними, що характеризують структуру рослинного покриву, дає змогу значно покращити детальність та точність класифікації деревних видів у складних лісових екосистемах (Torabzadeh et al., 2019).

Радіолокаційні дані отримують за допомогою сенсорів активного знімання, таких як радіолокатор із синтезованою апертурою. Такі дані використовують при картуванні біомаси (Wang et al., 2026), структури лісів та оселищ (Tomppo et al., 2021; Pinty & Verstraete, 1996), виявленні вологості ґрунту (Teixeira et al., 2025; Свіденюк, 2021), заболочених територій та водно-болотних угідь (Adeli et al., 2020). Використовують радіолокаційні дані і для відстеження руху надземних організмів – комах та птахів (Desmet et al., 2025).

Головна перевага радіолокаційних даних полягає в тому, що їхнє отримання не залежить від погодних умов чи освітлення, на відміну від оптичних даних.

Це особливо важливо для регіонів з високою хмарністю або для моніторингу динамічних процесів.

До основних обмежень радарних даних, як правило, належать: вплив перешкод на поширення радарного сигналу, зокрема сильних опадів, гірського рельєфу та будівель, які можуть спричиняти його блокування або спотворення; складність оброблення та інтерпретації даних, оскільки отримання біологічно значущої інформації потребує застосування спеціалізованих алгоритмів, програмування та значних обчислювальних ресурсів.

Однак, незважаючи на переваги об'єднання багатоспектральних та радіолокаційних даних ДЗЗ, їх злиття і досі не часто використовується в моніторингу біорізноманіття, екології та охорони природи (Schulte to Bühne & Pettorelli, 2018).

Лідарні дані (наприклад, місії GEDI та ICESat) забезпечують унікальну інформацію про вертикальну структуру екосистем, включаючи висоту рослинності та її просторову гетерогенність (Popov et al., 2024). Дослідження свідчать, що структурна різноманітність, зокрема гетерогенність висоти рослинного покриву, може слугувати індикатором високого рівня біорізноманіття (Torresani et al., 2023).

Продукти дистанційного зондування для оцінювання біорізноманіття

Найбільш поширеним продуктом ДЗЗ є карти земного покриву та землекористування, які традиційно використовуються як проксі для оцінювання екосистем. До таких потрібно віднести глобальні карти земного покриву Європейського космічного агентства: 1) ESA Climate Change Initiative (CCI) Land Cover – 22 класи, детальність 300 м, період з 1992 до 2015 року (https://www.esa-landcover-cci.org/); 2) ESA WorldCover – 11 класів, детальність 10 м, 2020 та 2021 роки (https://www.esa-landcover-cci.org/). Також розроблений в межах партнерства між Google і та Інститутом світових ресурсів глобальний набір карт земного покриву Dynamic World – 9 класів, детальність 10 м, з 2015 і донині (https://dynamicworld.app/). Однак такі карти зазвичай відображають узагальнені класи (ліси, луки тощо) і не завжди відповідають потребам моніторингу біорізноманіття або цілям глобальних природоохоронних стратегій (Geller et al., 2023).

Служба моніторингу Землі Copernicus (CLMS) надає інформацію про земний покрив та його зміни, землекористування, рух ґрунту, стан рослинності, кругообіг води та змінні енергетичного балансу земної поверхні. Деякі продукти охоплюють Європу з кращою просторовою розрізненістю (10 м), тоді як глобальні продукти мають гіршу просторову розрізненість (300 м). Продукти, що охоплюють Україну, належать до глобальних. Портал land.copernicus.eu містить каталог даних і детальну інформацію про продукти CLMS.

Поєднання різних типів даних значно розширює можливості аналізу порівняно з використанням даних лише одного сенсора. Інтеграція багатоспектральних, гіперспектральних, радіолокаційних і лідарних даних разом з даними про рельєф, типи земного покриву або інші допоміжні продукти про стан біотичних чи абіотичних компонентів середовища дає змогу отримати комплексну інформацію про структуру, функціонування та склад екосистем. Такі підходи активно використовуються в сучасних алгоритмах класифікації, зокрема на основі машинного навчання (наприклад, Random Forest), і дають змогу підвищити точність картографування на рівні видів або рослинних угруповань (Ustin & Middleton, 2021).

Показовим прикладом ефективного використання ДЗЗ є Фінляндія, де впроваджено інтегровані системи моніторингу довкілля (https://luontotieto.syke.fi/en/). Зокрема, набір даних Національної лісової інвентаризації (MS-NFI) поєднує супутникові знімки (Sentinel-2), польові вимірювання та допоміжні геопросторові дані, забезпечуючи детальну інформацію про біомасу, структуру та стан лісів із деталізацією до 16 м (Mäkisara et al., 2022; Tomppo et al., 2011). Дані MS-NFI доступні за 2006 (з меншою тематичною деталізацією), 2009, 2011 та 2013 роки (http://kartta.luke.fi/index-en.html).

У відповідь на потребу в оновленні та модернізації схем моніторингу біорізноманіття та екосистем, у Фінляндії було створено Фінську екосистемну обсерваторію (FEO, Finnish Ecosystem Observatory – https://www.syke.fi/en/projects/finnish-ecosystem-observatory-feo), яка інтегрує різнорідні дані для підтримки прийняття рішень у сфері охорони природи. У межах цієї платформи реалізовуються різні напрями моніторингу, зокрема картографування середовищ існування, оцінювання гідрологічного стану екосистем та автоматизоване визначення окремих видів (Vihervaara et al., 2021).

Крім того, у Фінляндії активно використовуються продукти CORINE Land Cover, що дають змогу аналізувати структуру середовищ існування та їх зміни в часі (Törmä et al., 2011; Härmä et al., 2004). У поєднанні з іншими джерелами даних ці продукти формують основу для оцінки EBVs (Takeuchi et al., 2025, Vihervaara et al., 2017).

Рекомендації щодо розвитку системи дистанційного моніторингу біорізноманіття в Україні

У більшості країн, де дистанційний моніторинг біорізноманіття вже активно розвивається, методи ДЗЗ спочатку впроваджувалися як додатковий інструмент моніторингу, ефективність якого поступово підтверджувалася на практиці, а згодом вони інтегрувалися в національні стандарти і системи моніторингу. Для України, яка перебуває на етапі формування такої системи, це створює можливість від самого початку інтегрувати переваги ДЗЗ, спираючись на досвід країн ЄС. Необхідну правову базу в Україні вже створено (Кабінет Міністрів України, 2026; Кабінет Міністрів України, 2025; Верховна Рада України, 2023). Нижче наведено основні заходи, реалізація яких, на нашу думку, сприятиме розвитку системи дистанційного моніторингу біорізноманіття в Україні.

Передусім необхідно визначити показники стану та змін біорізноманіття, які відповідають стратегічним цілям держави і можуть бути надійно

визначені за допомогою методів ДЗЗ. Ці показники мають бути стандартизовані та гармонізовані з існуючими міжнародними системами індикаторів біорізноманіття. Досвід Інституту довкілля (SYKE) свідчить про необхідність приведення національного набору таких індикаторів до регіональних або місцевих потреб, врахування наявності та доступності даних або практичних витрат (Takeuchi et al., 2025).

Важливо забезпечити точність визначених показників. Поєднання інформаційних продуктів ДЗЗ з наземними спостереженнями забезпечує надійність оцінювання біорізноманіття і дає змогу коректно їх інтерпретувати. У зв'язку з цим важливо розвивати та підтримувати мережу наземних тестових полігонів (Лялько та ін., 2008; Лялько та ін., 2009). Паралельно необхідно забезпечити уніфікацію протоколів збору, оброблення, аналізу та валідації наземних даних та запровадити єдиний формат стандартизації геопросторових метаданих для всіх наукових установ, заповідників та державних органів. У Фінляндії для забезпечення сумісності даних було створено міжурядову групу Lukki, яка розробила централізовану модель управління національною інформацією про природу (luontotieto.syke.fi/en/cooperation-and-networks/the-national-coordination-group-for-nature-information/). Гармонізація національних протоколів з міжнародними стандартами також сприятиме інтеграції України в міжнародні системи моніторингу та звітності.

Центральним завданням має стати створення єдиної національної платформи даних, яка забезпечуватиме інтеграцію даних щодо біорізноманіття з різнорідних джерел, наземних та дистанційних. При цьому інтеграція має здійснюватися через формування відповідного куба георпросторових даних. На відміну від традиційного архіву, куб даних забезпечує узгоджене представлення наявних спостережень у просторі та часі, що дасть змогу отримувати EBV-орієнтовані інформаційні продукти та перетворювати їх на регулярні національні індикатори для моніторингу і виявлення ранніх сигналів змін біорізноманіття. Функціонувати така платформа має як централізований хаб, забезпечуючи доступність інформації про стан біорізноманіття. Також важливо, щоб між державними, науковими та природоохоронними установами було розподілено і закріплено обов'язки щодо наповнення цієї платформи. Так, проєкт FEO (2020–2024) об'єднав 17 національних організацій для створення єдиного хабу природничих даних Luontotieto. Зокрема, Інститут природних ресурсів LUKE відповідає за національну інвентаризацію лісів та загальнонаціональне топографічне картографування земель, а фінське управління продовольством збирає дані для сільськогосподарської бази даних. Роль Інституту довкілля (SYKE) більшою мірою зосереджена на спостереженнях водного та наземного середовища в контексті моніторингу оселищ та біорізноманіття.

Висновки

Проведений аналіз свідчить, що моніторинг біорізноманіття в Україні знаходиться на етапі суттєвої трансформації, зумовленої як євроінтеграційними зобов'язаннями, так і необхідністю подолання наслідків воєнних дій на довкілля. Створена нормативно-правова база (Кабінет Міністрів України, 2025; Кабінет Міністрів України, 2026) прямо вказує на необхідність залучення геопросторових даних, зокрема даних ДЗЗ. Відтак, впровадження методів та технології ДЗЗ стає актуальним не лише для досягнення окремих стратегічних цілей збереження біорізноманіття, але й у розбудові системи моніторингу національного рівня.

Методи і технології ДЗЗ, передусім у поєднанні з даними наземних спостережень, мають величезний потенціал для розвитку спостережень за живою природою та створення системи моніторингу біорізноманіття. Їх впровадження дасть змогу перейти від традиційних, фрагментарних і ресурсомістких наземних спостережень до масштабного, регулярного та геопросторово узгодженого аналізу стану та змін біорізноманіття, зокрема на важкодоступних чи постраждалих від бойових дій територіях.

Для успішного формування національної системи моніторингу біорізноманіття та залучення до неї даних ДЗЗ доцільно враховувати передовий досвід Фінляндії, зокрема практики SYKE та проєкти FEO/Luontotieto. Розробити на основі концепції Основних змінних біорізноманіття (EBVs) набір національних індикаторів біорізноманіття, які можуть бути визначені за даними ДЗЗ. Забезпечити верифікацію методів їх обчислення та валідацію отриманих результатів на основі даних наземних спостережень, зокрема за рахунок розбудови мережі наземних тестових полігонів. Інтегрувати інформацію щодо біорізноманіття країни шляхом створення платформи, централізованого хабу, що поєднуватиме дистанційні й наземні спостереження в єдину інтероперабельну просторово-часову структуру (куб) геопросторових даних.

Отже, адаптація європейського та, зокрема, фінського досвіду із застосуванням методів та технологій ДЗЗ дасть змогу Україні побудувати ефективну, масштабовану та стійку систему моніторингу біорізноманіття, яка здатна реагувати на сучасні екологічні та воєнні виклики.

Внесок авторів: Концептуалізація – А. О. Козлова; пошук, аналіз та систематизація наукових джерел – А. О. Козлова, К. Бьоттхер, М. Тьормя; дослідження – А. О. Козлова, К. Бьоттхер; підготовка тексту статті – А. О. Козлова; рецензування та редагування – А. О. Козлова. Всі автори прочитали та погодилися з опублікованою версією рукопису.

Фінансування: Представлене дослідження здійснене в рамках проєкту «Підтримка України в оцінці шкоди довкіллю та розвитку моніторингу якості поверхневих вод і біорізноманіття» (UFEM), що реалізується за участі Інституту довкілля Фінляндії (SYKE) у співпраці з Міністерством економіки та довкілля України.

Розкриття інформації про ШІ: Під час підготовки рукопису використовувалася мовна модель GPT-4 як допоміжний інструмент для уточнення назви статті, перевірки логічної послідовності викладу та виявлення й коригування граматичних, пунктуаційних і синтаксичних помилок.

Подяки: Автори вдячні Міністерству закордонних справ Фінляндії, Міністерству економіки та довкілля України, Інституту довкілля Фінляндії (SYKE) за підтримку цього дослідження. Ми також вдячні рецензентам і редакторам за їхні цінні коментарі, рекомендації та увагу до роботи.

Конфлікти інтересів: Автори заявляють, що не мають конфлікту інтересів

Author Contributions: Conceptualization – A. O. Kozlova; literature search, analysis, and systematization of scientific sources – A. O. Kozlova, K. Böttcher, M. Törmä; investigation – A. O. Kozlova, K. Böttcher; writing – original draft preparation – A. O. Kozlova; review and editing – A. O. Kozlova. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This study was conducted within the framework of the project «Support to Ukraine in the assessment of environmental damages and development of water quality and terrestrial biodiversity monitoring» (UFEM), implemented with the participation of the Finnish Environment Institute (SYKE) in cooperation with the Ministry of Economy and Environment of Ukraine.

AI Disclosure: During the preparation of the manuscript, the GPT-4 language model was used as an auxiliary tool to refine the article title, check the logical coherence of the text, and identify and correct grammatical, punctuation, and syntactic errors.

Acknowledgments: The authors would like to thank the Ministry for Foreign Affairs of Finland, the Ministry of Economy and Environment of Ukraine, and the Finnish Environment Institute (SYKE) for their support of this research. We also thank the reviewers and editors for their valuable comments, recommendations, and careful attention to the manuscript.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

Література

Біатов, А., Баришніков, О., Брусенцова, Н., Бодня, О., Дядін, Д., Касьянова, Н. … Яцюк, Є. (2020). Досвід використання ГІС-технологій для вирішення природоохоронних та дослідницьких завдань організацій Харківської області. *Моніторинг та охорона біорізноманіття в Україні: Прикладні аспекти моніторингу та охорони біорізноманіття*. *Серія: Conservation Biology in Ukraine*, вип. 16, т. 3. Друк Арт.

Верховна Рада України. (2023). *Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо забезпечення конституційних прав громадян на безпечне для життя і здоров'я довкілля*. Закон України № 2973-IX.

Домашлінець, В. (2012). Актуальні проблеми вивчення та збереження біорізноманіття. І. Загороднюк (Ред.), *Динаміка біорізноманіття 2012* (с. 9–11). Вид-во ДЗ «ЛНУ імені Тараса Шевченка».

Домашлінець, В. Г. (2025). *Біорізноманіття в умовах війни: Як збереження природи наближає Україну до ЄС*. LB.ua. https://lb.ua/blog/volodymyr_domashlinets/697081_bioriznomanittya_umovah_viyni_yak.html.

Кабінет Міністрів України. (2025). *Про затвердження Порядку здійснення моніторингу біологічного та ландшафтного різноманіття*. Постанова Кабінету Міністрів України від 17 січня 2025 р. № 45.

Кабінет Міністрів України. (2026). *Про схвалення Стратегії збереження біологічного різноманіття України на період до 2035 року*. Розпорядження № 708-р). https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/708-2026-р#Text.

Костюшин, В. А., Андрієнко, Т. Л., Мельничук, В. П. (2008). *Огляд програм моніторингу біорізноманіття в Україні*. Національний екологічний центр України.

Костюшин, В. А., Губар, С. І., Домашлінець, В. Г. (2009). *Стратегія розвитку моніторингу біологічного різноманіття в Україні*. Європейський центр охорони природи; Національний екологічний центр України.

Куземко, А., Варуха, А., Драпалюк, А. (2026). *Настанови щодо моніторингу біорізноманіття, картування і управління даними*. Звіт у рамках проєкту «Збереження природної спадщини для LIFE в Україні» (ConNaturLIFE Ukraine, 101148569 – LIFE23-PRE-CZ-ConNaturLIFE Україна).

Лялько, В. І., Попов, М. О., Ліщенко, Л. П., Кошовий, В. В., Муравський, Л. І., Олійник, О. Т., & Альохіна, О. В. (2008). Актуальні проблеми створення полігонів ДЗЗ в Україні (на прикладі Шацького національного природного парку). *Аерокосмічні спостереження в інтересах сталого розвитку та безпеки: GEO-UA-2008: Матеріали доповідей Першої Всеукраїнської конференції* (с. 82–84). Наукова думка.

Лялько, В. І., Попов, М. О., Ліщенко, Л. П., Кошовий, В. В., Муравський, Л. І., Олійник, О. Т. … Юрчук, П. В. (2009). Створення тестових ділянок на території Шацького національного природного парку для валідації даних дистанційного зондування. *Науковий вісник Волинського національного університету імені Лесі Українки. Серія: Географічні науки*, 1, 122–128.

Моніторинг та охорона біорізноманіття в Україні: Прикладні аспекти моніторингу та охорони біорізноманіття. *Серія: Conservation Biology in Ukraine*, вип. 16, т. 3. (2020). Друк Арт.

Муравський, Л. І., Кошовий, В. В., Олійник, О. Т., Панасюк, В. В., Федорів, Р. Ф. (2006). Використання геоінформаційних технологій для моніторингу локальних екосистем України. *Відбір і обробка інформації,* 24(100), 19–30.

Свіденюк, М. О. (2021). Методика визначення фізичних параметрів земної поверхні за результатами комплексування даних оптичного та радіолокаційного знімання. *Український журнал дистанційного зондування Землі,* 8(3), 4–26. doi:10.36023/ujrs.2021.8.3.197.

Скоробогатов, В. М., Сплодитель, А. О., Мойсієнко, І. І., Василюк, О. В., Романенко, М. М., Рєдінов, К. О. … Лавріненко, К. В. (2023). *Поствоєнний розвиток природно-заповідного фонду Миколаївщини*. *Серія: Conservation Biology in Ukraine*, 33. Українська природоохоронна група; Друк Арт. https://uncg.org.ua/wp-content/uploads/2023/11/pzf-mykola_2023_compressed.pdf.

Сплодитель, А., Голубцов, О., Чумаченко, С., Сорокіна, Л. (2023). *Вплив війни росії проти України на стан українських ґрунтів: Результати аналізу*. ГО Центр екологічних ініціатив «Екодія». https://ecoaction.org.ua/wp-content/uploads/2023/03/zabrudnennia-zemel-vid-rosii-summary.pdf.

Станкевич, С. А., Козлова, А. О. (2007). Методика оцінювання біорізноманіття території за багатоспектральними космічними зображеннями середньої просторової розрізненності. *Космічна наука і технологія*, 13(4), 25–39. doi:10.15407/knit2007.04.025.

Українська природоохоронна група. (2026). *Керівні принципи звітування про території Natura 2000 / Смарагдової мережі (Standard Data Form, SDF)*. У рамках проєкту «Збереження Природної Спадщини для LIFE в Україні» (LIFE23-PRE-CZ-ConNaturLIFE Ukraine). https://uncg.org.ua/wp-content/uploads/2026/04/guidelines-report-natura2000-emerald-ukraine-2026s.pdf.

Adeli, S., Salehi, B., Mahdianpari, M., Quackenbush, L. J., Brisco, B., Tamiminia, H., & Shaw, S. (2020). Wetland monitoring using SAR data: A meta-analysis and comprehensive review. *Remote Sensing*, 12(14), 2190. doi:10.3390/rs12142190.

Agrillo, E., Filipponi, F., Pezzarossa, A., Casella, L., Smiraglia, D., Orasi, A., Attorre, F., & Taramelli, A. (2021). Earth observation and biodiversity big data for forest habitat types classification and mapping. *Remote Sensing*, 13(7), 1231. doi:10.3390/rs13071231.

Almond, R. E. A., Grooten, M., & Petersen, T. (Eds.). (2020). *Living planet report 2020: Bending the curve of biodiversity loss*. WWF. https://livingplanet.panda.org/.

Álvarez-Martínez, J. M., Lugonja, T. N., Valdés, A., González Le Barbier, J., Suárez, M. P., Romero, G. H. … Jiménez-Alfaro, B. (2026). Four decades of remote sensing for monitoring terrestrial ecosystems: A global review and future challenges. *Science of Remote Sensing*, 13, 100341. doi:10.1016/j.srs.2025.100341.

Amani, M., Foroughnia, F., Moghimi, A., Mahdavi, S., Jin, S. (2023). Three-dimensional mapping of habitats using remote-sensing data and machine-learning algorithms. *Remote Sensing*, 15(17), 4135. doi:10.3390/rs15174135.

Camia, A., Gliottone, I., Dowell, M., Gilmore, R., Coll, M., Skidmore, A. … Ferrario, I. (2023). *Earth observation in support of EU policies for biodiversity: A deep-dive assessment of the Knowledge Centre on Earth Observation* (EUR 31484 EN; JRC132908). Publications Office of the European Union. doi:10.2760/185588.

Cavender-Bares, J., Schneider, F. D., Santos, M. J., Armstrong, A., Carnaval, A., Dahlin, K. M. … Wilson, A. M. (2022). Integrating remote sensing with ecology and evolution to advance biodiversity conservation. *Nature Ecology & Evolution*, 6(5), 506–519. doi:10.1038/s41559-022-01702-5.

Convention on Biological Diversity. (2022). *Kunming – Montreal Global Biodiversity Framework*. https://www.cbd.int/gbf.

Corbane, C., Lang, S., Pipkins, K., Alleaume, S., Deshayes, M., García Millán, V. E. … Förster, M. (2015). Remote sensing for mapping natural habitats and their conservation status – New opportunities and challenges. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 37, 7–16. doi:10.1016/j.jag.2014.11.005.

Council of the European Communities. (1992). *Council Directive 92/43/EEC of 21 May 1992 on the conservation of natural habitats and of wild fauna and flora (consolidated version 14 July 2025).* https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/1992/43/oj.

Desmet, P., Shamoun-Baranes, J., Kranstauber, B., Dokter, A. M., Weisshaupt, N., Schmid, B. … Nilsson, C. (2025). Biological data derived from European weather radars. *Scientific Data*, 12(1), 361. doi:10.1038/s41597-025-04641-5.

European Commission. (2019). *The European Green Deal* (COM(2019) 640 final). https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52019DC0640.

European Commission. (2020). *EU biodiversity strategy for 2030: Bringing nature back into our lives* (COM(2020) 380 final). https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52020DC0380.

European Commission. Joint Research Centre. (2023). *Earth observation in support of EU policies for biodiversity: A deep dive assessment of the Knowledge Centre on Earth Observation.* Publications Office. doi:10.2760/185588.

European Parliament & Council of the European Union. (2009). *Directive 2009/147/EC of the European Parliament and of the Council of 30 November 2009 on the conservation of wild birds (codified version). Official Journal of the European Union*, L 20, 7–25. https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2009/147/oj.

European Parliament & Council of the European Union. (2024). *Regulation (EU) 2024/1991 of the European Parliament and of the Council of 24 June 2024 on nature restoration and amending Regulation (EU) 2022/869*. *Official Journal of the European Union*, L, 2024/1991. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1991/oj.

Geller, G., Levick, S., Luque, S., Sayre, R., Brink, A., Coops, N. … Viciano, L. (2023). *Space-based Earth observation and ecosystem extent: Exploring opportunities*. CEOS. https://pubs.usgs.gov/publication/70251084.

Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18–27. doi:10.1016/j.rse.2017.06.031.

Härmä, P., Teiniranta, R., Törmä, M., Repo, R., Järvenpää, E., & Kallio, M. (2004). Production of CORINE2000 land cover data using calibrated LANDSAT 7 ETM satellite image mosaics and digital maps in Finland. In *IGARSS 2004: 2004 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 4, 2703–2706). doi:10.1109/IGARSS.2004.1369858.

He, K. S., Bradley, B. A., Cord, A. F., Rocchini, D., Tuanmu, M., Schmidtlein, S. … Pettorelli, N. (2015). Will remote sensing shape the next generation of species distribution models? *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 1(1), 4–18. doi:10.1002/rse2.7.

Homolová, L., Malenovský, Z., Clevers, J. G. P. W., García-Santos, G., & Schaepman, M. E. (2013). Review of optical-based remote sensing for plant trait mapping. *Ecological Complexity*, 15, 1–16. doi:10.1016/j.ecocom.2013.06.003.

Kacic, P., Kuenzer, C. (2022). Forest biodiversity monitoring based on remotely sensed spectral diversity – A review. *Remote Sensing*, 14(21), 5363. doi:10.3390/rs14215363.

Kissling, W. D., Lumbierres, M., Lyche Solheim, A., Liquete, C., Breeze, T. D., Bonn, A. … Pereira, H. M. (2026). Building the backbone for Europe's biodiversity monitoring. *Nature Reviews Biodiversity*, 1–16. doi:10.1038/s44358-026-00140-6.

Kuenzer, C., Ottinger, M., Wegmann, M., Guo, H., Wang, C., Zhang, J., Dech, S., & Wikelski, M. (2014). Earth observation satellite sensors for biodiversity monitoring: Potentials and bottlenecks. *International Journal of Remote Sensing*, 35(18), 6599–6647. doi:10.1080/01431161.2014.964349.

Mäkisara, K., Katila, M., Peräsaari, J. (2022). *The multi-source national forest inventory of Finland – Methods and results 2017 and 2019* (Natural Resources and Bioeconomy Studies No. 90/2022). Natural Resources Institute Finland.

Martín-García, L., Casas Mas, E. J., Hernández-Leal, P. A., Botelho, A. Z., & Arbelo, M. (2026). A decade of optical remote sensing applications in marine biodiversity and benthic habitat monitoring: A systematic review. *Remote Sensing*, 18(12), 1917. doi:10.3390/rs18121917.

O'Connor, B., Secades, C., Penner, J., Sonnenschein, R., Skidmore, A., Burgess, N. D., & Hutton, J. M. (2015). Earth observation as a tool for tracking progress towards the Aichi Biodiversity Targets. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 1(1), 19–28. doi:10.1002/rse2.4.

Pereira, H. M., Ferrier, S., Walters, M., Geller, G. N., Jongman, R. H. G., Scholes, R. J. … Wegmann, M. (2013). Essential Biodiversity Variables. *Science*, 339(6117), 277–278. doi:10.1126/science.1229931.

Pettorelli, N., Schulte to Bühne, H., Tulloch, A., Dubois, G., Macinnis-Ng, C., Queirós, A. M. … Nicholson, E. (2018). Satellite remote sensing of ecosystem functions: Opportunities, challenges and way forward. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 4(2), 71–93. doi:10.1002/rse2.59.

Pettorelli, N., Wegmann, M., Skidmore, A., Mücher, S., Dawson, T. P., Fernandez, M. … Geller, G. N. (2016). Framing the concept of satellite remote sensing essential

biodiversity variables: Challenges and future directions. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 2(3), 122–131. doi:10.1002/rse2.15.

Pinty, B., Verstraete, M. M. (1996). GEMI: A non-linear index to monitor global vegetation from satellites. *Remote Sensing of Environment*, 58(3), 289–294. doi:10.1016/S0034-4257(96)00116-2.

Popov, M., Semko, I., Kozak, I., & Kozlova, A. (2024). Improved method to calculate urban forest vertical structure using airborne laser scanning data. In *Nexus of Sustainability* (pp. 295–314). Springer. doi:10.1007/978-3-031-66764-0_15.

Popov, M. A., Kussul, N. N., Stankevich, S. A., Kozlova, A. A., Shelestov, A. Yu., Kravchenko, O. M., Korbakov, M. B., & Skakun, S. V. (2008). Web service for biodiversity estimation using remote sensing data. *International Journal of Digital Earth*, 1(4), 367–376. doi:10.1080/17538940802483745.

Putkiranta, P., Räsänen, A., Luoto, M., Mod, H., & Virtanen, T. (2025). Mapping plant diversity in a northern boreal landscape using remotely sensed spectral variation. *Landscape Ecology*, 40, 206. doi:10.1007/s10980-025-02240-8.

Santos, M. J., Ustin, S. L. (2018). Spectral Identification of Native and Non-Native Plant Species for Biodiversity Assessments. *IGARSS 2018 – 2018 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 3420–3423. doi:10.1109/IGARSS.2018.8517397.

Schulte to Bühne, H., Pettorelli, N. (2018). Better together: Integrating and fusing multispectral and radar satellite imagery to inform biodiversity monitoring, ecological research and conservation science. *Methods in Ecology and Evolution*, 9(4), 849–865. doi:10.1111/2041-210X.12942.

Shumilova, O., Tockner, K., Sukhodolov, A., Khilchevskyi, V., De Meester, L., Stepanenko, S., Trokhymenko, G., Hernández-Agüero, J. A., & Gleick, P. (2023). Impact of the Russia–Ukraine armed conflict on water resources and water infrastructure. *Nature Sustainability*, 6(5), 578–586. doi:10.1038/s41893-023-01068-x.

Skidmore, A. K., Coops, N. C., Neinavaz, E., Ali, A., Schaepman, M. E., Paganini, M. … Wingate, V. (2021). Priority list of biodiversity metrics to observe from space. *Nature Ecology & Evolution*, 5(7), 896–906. doi:10.1038/s41559-021-01451-x.

Takeuchi, Y., Végh, L., Noda, H., Böttcher, K., Vihervaara, P., Kass, J. M., Hama, I., & Saito, Y. (2025). National-scale terrestrial biodiversity and ecosystem monitoring with essential biodiversity variables in Japan and Finland. *Ecological Research*, 40(6), e70011. doi:10.1111/1440-1703.70011.

Teixeira, A. C., Bakon, M., Lopes, D., Cunha, A., & Sousa, J. J. (2025). A systematic review on soil moisture estimation using remote sensing data for agricultural applications. *Science of Remote Sensing*, 12, 100328. doi:10.1016/j.srs.2025.100328.

Tomppo, E., Ronoud, G., Antropov, O., Hytönen, H., & Praks, J. (2021). Detection of forest windstorm damages with multitemporal SAR data – A case study: Finland. *Remote Sensing*, 13(3), 383. doi:10.3390/rs13030383.

Tomppo, E., Heikkinen, J., Henttonen, H. M., Ihalainen, A., Katila, M., Mäkelä, H., Tuomainen, T., & Vainikainen, N. (2011). *Designing and Conducting a Forest Inventory - case: 9th National Forest Inventory of Finland*, 22. Springer Netherlands. doi:10.1007/978-94-007-1652-0.

Torabzadeh, H., Leiterer, R., Hueni, A., Schaepman, M. E., & Morsdorf, F. (2019). Tree species classification in a temperate mixed forest using a combination of imaging spectroscopy and airborne laser scanning. *Agricultural and Forest Meteorology*, 279, 107744. doi:10.1016/j.agrformet.2019.107744.

Törmä, M., Härmä, P., Hatunen, S., Teiniranta, R., Kallio, M., & Järvenpää, E. (2011). Change detection for Finnish CORINE land cover classification. *Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering*, 8181. doi:10.1117/12.898069.

Torresani, M., Rossi, C., Perrone, M., Hauser, L. T., Féret, J.-B., Moudrý, V. … Rocchini, D. (2024). Reviewing the spectral variation hypothesis: Twenty years in the tumultuous sea of biodiversity estimation by remote sensing. *Ecological Informatics*, 82, 102702. doi:10.1016/j.ecoinf.2024.102702.

Torresani, M., Rocchini, D., Alberti, A., Moudrý, V., Heym, M., Thouverai, E., Kacic, P., & Tomelleri, E. (2023). LiDAR GEDI derived tree canopy height heterogeneity reveals patterns of biodiversity in forest ecosystems. *Ecological Informatics*, 76, 102082. doi:10.1016/j.ecoinf.2023.102082.

Turner, W., Spector, S., Gardiner, N., Fladeland, M., Sterling, E., & Steininger, M. (2003). Remote sensing for biodiversity science and conservation. *Trends in Ecology & Evolution*, 18(6), 306–314. doi:10.1016/S0169-5347(03)00070-3.

United Nations. (2015). *Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development*. https://sdgs.un.org/2030agenda.

Ustin, S. L., Gamon, J. A. (2010). Remote sensing of plant functional types. *New Phytologist*, 186(4), 795–816. doi:10.1111/j.1469-8137.2010.03284.x.

Ustin, S. L., Middleton, E. M. (2021). Current and near-term advances in Earth observation for ecological applications. *Ecological Processes*, 10(1), 1. doi:10.1186/s13717-020-00255-4.

Ustin, S. L., Middleton, E. M. (2024). Current and Near-Term Earth-Observing Environmental Satellites, Their Missions, Characteristics, Instruments, and Applications. *Sensors*, 24(11), 3488. doi:10.3390/s24113488.

Vihervaara, P., Anttila, S., Kullberg, P., Harma, P., Torma, M., Jussila, T. ... Forsius, M. (2021). Finnish Ecosystem Observatory (FEO) – Operationalizing remote sensing analyses for threatened habitats and biodiversity monitoring. *2021 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS*, 735–738. doi:10.1109/IGARSS47720.2021.9554979.

Vihervaara, P., Auvinen, A.-P., Mononen, L., Törmä, M., Ahlroth, P., Anttila, S. … Virkkala, R. (2017). How Essential Biodiversity Variables and remote sensing can help national biodiversity monitoring. *Global Ecology and Conservation*, 10, 43–59. doi:10.1016/j.gecco.2017.01.007.

Vyvlečka, P., Pechanec, V. (2023). Optical remote sensing in provisioning of ecosystem-functions analysis – Review. *Sensors*, 23(10), 4937. doi:10.3390/s23104937.

Wallis, C. I. B., Kothari, S., Jantzen, J. R., Crofts, A. L., St-Jean, S., Inamdar, D. … Vellend, M. (2024). Exploring the spectral variation hypothesis for α- and β-diversity: A comparison of open vegetation and forests. *Environmental Research Letters*, 19(6), 064005. doi:10.1088/1748-9326/ad44b1.

Wang, G., Zhao, L., Song, C., Zhang, W., Dong, W., & Ji, Y. (2026). Improving forest aboveground biomass estimation accuracy via optical and SAR data fusion using deep learning algorithms. *Remote Sensing*, 18(10), 1536. doi:10.3390/rs18101536.

Wang, M. (2023). The Unprecedented Ramsar Resolution: Ukrainian Wetlands Protection in Armed Conflict. *Netherlands International Law Review*, 70(3), 323–357. doi:10.1007/s40802-024-00246-8.

Wang, R., Gamon, J. A. (2019). Remote sensing of terrestrial plant biodiversity. *Remote Sensing of Environment*, 231, 111218. doi:10.1016/j.rse.2019.111218.

World Bank, Government of Ukraine, European Commission, & United Nations. (2025). *Ukraine – Fourth rapid damage and needs assessment (RDNA4): February 2022 – December 2024*. World Bank. Ukraine RDNA4 report. https://www.undp.org/ukraine/publications/ukraine-fourth-

rapid-damage-and-needs-assessment-rdna4-february-2022-december-2024-english.

World Economic Forum. (2020). *The global risks report 2020*. https://www.weforum.org/reports/the-global-risks-report-2020.

References

Adeli, S., Salehi, B., Mahdianpari, M., Quackenbush, L. J., Brisco, B., Tamiminia, H., & Shaw, S. (2020). Wetland monitoring using SAR data: A meta-analysis and comprehensive review. *Remote Sensing*, 12(14), 2190. doi:10.3390/rs12142190.

Agrillo, E., Filipponi, F., Pezzarossa, A., Casella, L., Smiraglia, D., Orasi, A., Attorre, F., & Taramelli, A. (2021). Earth observation and biodiversity big data for forest habitat types classification and mapping. *Remote Sensing*, 13(7), 1231. doi:10.3390/rs13071231.

Almond, R. E. A., Grooten, M., & Petersen, T. (Eds.). (2020). *Living planet report 2020: Bending the curve of biodiversity loss*. WWF. https://livingplanet.panda.org/.

Amani, M., Foroughnia, F., Moghimi, A., Mahdavi, S., Jin, S. (2023). Three-dimensional mapping of habitats using remote-sensing data and machine-learning algorithms. *Remote Sensing*, 15(17), 4135. doi:10.3390/rs15174135.

Álvarez-Martínez, J. M., Lugonja, T. N., Valdés, A., González Le Barbier, J., Suárez, M. P., Romero, G. H. … Jiménez-Alfaro, B. (2026). Four decades of remote sensing for monitoring terrestrial ecosystems: A global review and future challenges. *Science of Remote Sensing*, 13, 100341. doi:10.1016/j.srs.2025.100341.

Biatov, A., Baryshnikov, O., Brusentsova, N., Bodnia, O., Diadin, D., Kasyanova, N. … Yatsiuk, Ye. (2020). Experience of using GIS technologies to address nature conservation and research tasks of organizations in the Kharkiv region. In *Monitoring and Conservation of Biodiversity in Ukraine: Applied Aspects of Biodiversity Monitoring and Conservation. Series: Conservation Biology in Ukraine*, Vol. 16, No. 3. Druk Art.

Cabinet of Ministers of Ukraine. (2025). *On Approval of the Procedure for Monitoring Biological and Landscape Diversity*. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 45 of January 17, 2025.

Cabinet of Ministers of Ukraine. (2026). *On Approval of the Strategy for the Conservation of Biological Diversity of Ukraine for the Period up to 2035* (Order No. 708-p). https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/708-2026-p#Text.

Camia, A., Gliottone, I., Dowell, M., Gilmore, R., Coll, M., Skidmore, A. … Ferrario, I. (2023). *Earth observation in support of EU policies for biodiversity: A deep-dive assessment of the Knowledge Centre on Earth Observation* (EUR 31484 EN; JRC132908). Publications Office of the European Union. doi:10.2760/185588.

Cavender-Bares, J., Schneider, F. D., Santos, M. J., Armstrong, A., Carnaval, A., Dahlin, K. M. … Wilson, A. M. (2022). Integrating remote sensing with ecology and evolution to advance biodiversity conservation. *Nature Ecology & Evolution*, 6(5), 506–519. doi:10.1038/s41559-022-01702-5.

Convention on Biological Diversity. (2022). *Kunming – Montreal Global Biodiversity Framework*. https://www.cbd.int/gbf.

Corbane, C., Lang, S., Pipkins, K., Alleaume, S., Deshayes, M., García Millán, V. E. … Förster, M. (2015). Remote sensing for mapping natural habitats and their conservation status – New opportunities and challenges. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 37, 7–16. doi:10.1016/j.jag.2014.11.005.

Council of the European Communities. (1992). *Council Directive 92/43/EEC of 21 May 1992 on the conservation of natural habitats and of wild fauna and flora (consolidated version 14 July 2025)*. https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/1992/43/oj.

Desmet, P., Shamoun-Baranes, J., Kranstauber, B., Dokter, A. M., Weisshaupt, N., Schmid, B. … Nilsson, C. (2025). Biological data derived from European weather radars. *Scientific Data*, 12(1), 361. doi:10.1038/s41597-025-04641-5.

Domashlinets, V. (2012). Current Problems of Biodiversity Study and Conservation. In I. Zahorodniuk (Ed.), *Biodiversity Dynamics 2012: Collection of Scientific Papers* (pp. 9–11). Publishing House of Taras Shevchenko Luhansk National University.

Domashlinets, V. H. (2025). *Biodiversity in Wartime: How Nature Conservation Brings Ukraine Closer to the EU*. LB.ua. https://lb.ua/blog/volodymyr_domashlinets/697081_bioriznomanittya_umovah_viyni_yak.html.

European Commission. (2019). *The European Green Deal* (COM(2019) 640 final). https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52019DC0640.

European Commission. (2020). *EU biodiversity strategy for 2030: Bringing nature back into our lives* (COM(2020) 380 final). https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52020DC0380.

European Commission. Joint Research Centre. (2023). *Earth observation in support of EU policies for biodiversity: A deep dive assessment of the Knowledge Centre on Earth Observation*. Publications Office. doi:10.2760/185588.

European Parliament & Council of the European Union. (2009). *Directive 2009/147/EC of the European Parliament and of the Council of 30 November 2009 on the conservation of wild birds (codified version). Official Journal of the European Union*, L 20, 7–25. https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2009/147/oj.

European Parliament & Council of the European Union. (2024). *Regulation (EU) 2024/1991 of the European Parliament and of the Council of 24 June 2024 on nature restoration and amending Regulation (EU) 2022/869*. *Official Journal of the European Union*, L, 2024/1991. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1991/oj.

Geller, G., Levick, S., Luque, S., Sayre, R., Brink, A., Coops, N. … Viciano, L. (2023). *Space-based Earth observation and ecosystem extent: Exploring opportunities*. CEOS. https://pubs.usgs.gov/publication/70251084.

Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18–27. doi:10.1016/j.rse.2017.06.031.

Härmä, P., Teiniranta, R., Törmä, M., Repo, R., Järvenpää, E., & Kallio, M. (2004). Production of CORINE2000 land cover data using calibrated LANDSAT 7 ETM satellite image mosaics and digital maps in Finland. In *IGARSS 2004: 2004 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 4, 2703–2706). doi:10.1109/IGARSS.2004.1369858.

He, K. S., Bradley, B. A., Cord, A. F., Rocchini, D., Tuanmu, M., Schmidtlein, S. … Pettorelli, N. (2015). Will remote sensing shape the next generation of species distribution models? *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 1(1), 4–18. doi:10.1002/rse2.7.

Homolová, L., Malenovský, Z., Clevers, J. G. P. W., García-Santos, G., & Schaepman, M. E. (2013). Review of optical-based remote sensing for plant trait mapping. *Ecological Complexity*, 15, 1–16. doi:10.1016/j.ecocom.2013.06.003.

Kacic, P., Kuenzer, C. (2022). Forest biodiversity monitoring based on remotely sensed spectral diversity – A review. *Remote Sensing*, 14(21), 5363. doi:10.3390/rs14215363.

Kissling, W. D., Lumbierres, M., Lyche Solheim, A., Liquete, C., Breeze, T. D., Bonn, A. … Pereira, H. M. (2026). Building the backbone for Europe's biodiversity monitoring. *Nature Reviews Biodiversity*, 1–16. doi:10.1038/s44358-026-00140-6.

Kostiushyn, V. A., Andrienko, T. L., Melnychuk, V. P. (2008). *Review of Biodiversity Monitoring Programs in Ukraine*. National Ecological Centre of Ukraine.

Kostiushyn, V. A., Hubar, S. I., Domashlinets, V. H. (2009). *Strategy for the Development of Biodiversity Monitoring in Ukraine*. European Centre for Nature Conservation; National Ecological Centre of Ukraine.

Kuenzer, C., Ottinger, M., Wegmann, M., Guo, H., Wang, C., Zhang, J., Dech, S., & Wikelski, M. (2014). Earth observation satellite sensors for biodiversity monitoring: Potentials and bottlenecks. *International Journal of Remote Sensing*, 35(18), 6599–6647. doi:10.1080/01431161.2014.964349.

Kuzemko, A., Varukha, A., & Drapaliuk, A. (2026). *Guidelines for Biodiversity Monitoring, Mapping, and Data Management*. Report prepared within the framework of the project «Conservation of Natural Heritage for LIFE in Ukraine» (ConNaturLIFE Ukraine, 101148569 – LIFE23-PRE-CZ-ConNaturLIFE Ukraine).

Lialko, V. I., Popov, M. O., Lishchenko, L. P., Koshovyi, V. V., Muravskyi, L. I., Oliinyk, O. T., & Alokhina, O. V. (2008). Current Problems of Establishing Remote Sensing Test Sites in Ukraine (Case Study of Shatsk National Nature Park). In *Aerospace Observations for Sustainable Development and Security: GEO-UA-2008: Proceedings of the First Ukrainian Conference* (pp. 82–84). Naukova Dumka.

Lialko, V. I., Popov, M. O., Lishchenko, L. P., Koshovyi, V. V., Muravskyi, L. I., Oliinyk, O. T., Alokhina, O. V., Haskevych, H. I., & Yurchuk, P. V. (2009). Establishment of Test Sites in Shatsk National Nature Park for Validation of Remote Sensing Data. *Scientific Bulletin of Lesya Ukrainka Volyn National University. Series: Geographical Sciences*, (1), 122–128.

Mäkisara, K., Katila, M., Peräsaari, J. (2022). *The multi-source national forest inventory of Finland – Methods and results 2017 and 2019* (Natural Resources and Bioeconomy Studies No. 90/2022). Natural Resources Institute Finland.

Martín-García, L., Casas Mas, E. J., Hernández-Leal, P. A., Botelho, A. Z., & Arbelo, M. (2026). A decade of optical remote sensing applications in marine biodiversity and benthic habitat monitoring: A systematic review. *Remote Sensing*, 18(12), 1917. doi:10.3390/rs18121917.

Monitoring and Conservation of Biodiversity in Ukraine: Applied Aspects of Biodiversity Monitoring and Conservation. *Series: Conservation Biology in Ukraine* (2020). Vol. 16, No. 3. Druk Art.

Muravskyi, L. I., Koshovyi, V. V., Oliinyk, O. T., Panasiuk, V. V., & Fedoriv, R. F. (2006). Use of Geoinformation Technologies for Monitoring Local Ecosystems of Ukraine. *Information Selection and Processing*, 24(100), 19–30.

O'Connor, B., Secades, C., Penner, J., Sonnenschein, R., Skidmore, A., Burgess, N. D., & Hutton, J. M. (2015). Earth observation as a tool for tracking progress towards the Aichi Biodiversity Targets. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 1(1), 19–28. doi:10.1002/rse2.4.

Pereira, H. M., Ferrier, S., Walters, M., Geller, G. N., Jongman, R. H. G., Scholes, R. J. … Wegmann, M. (2013). Essential Biodiversity Variables. *Science*, 339(6117), 277–278. doi:10.1126/science.1229931.

Pettorelli, N., Schulte to Bühne, H., Tulloch, A., Dubois, G., Macinnis-Ng, C., Queirós, A. M. … Nicholson, E. (2018). Satellite remote sensing of ecosystem functions: Opportunities, challenges and way forward. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 4(2), 71–93. doi:10.1002/rse2.59.

Pettorelli, N., Wegmann, M., Skidmore, A., Mücher, S., Dawson, T. P., Fernandez, M. … Geller, G. N. (2016). Framing the concept of satellite remote sensing essential biodiversity variables: Challenges and future directions. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 2(3), 122–131. doi:10.1002/rse2.15.

Pinty, B., Verstraete, M. M. (1996). GEMI: A non-linear index to monitor global vegetation from satellites. *Remote Sensing of Environment*, 58(3), 289–294. doi:10.1016/S0034-4257(96)00116-2.

Popov, M., Semko, I., Kozak, I., & Kozlova, A. (2024). Improved method to calculate urban forest vertical structure using airborne laser scanning data. In *Nexus of Sustainability* (pp. 295–314). Springer. doi:10.1007/978-3-031-66764-0_15.

Popov, M. A., Kussul, N. N., Stankevich, S. A., Kozlova, A. A., Shelestov, A. Yu., Kravchenko, O. M., Korbakov, M. B., & Skakun, S. V. (2008). Web service for biodiversity estimation using remote sensing data. *International Journal of Digital Earth*, 1(4), 367–376. doi:10.1080/17538940802483745.

Putkiranta, P., Räsänen, A., Luoto, M., Mod, H., & Virtanen, T. (2025). Mapping plant diversity in a northern boreal landscape using remotely sensed spectral variation. *Landscape Ecology*, 40, 206. doi:10.1007/s10980-025-02240-8.

Santos, M. J., Ustin, S. L. (2018). Spectral Identification of Native and Non-Native Plant Species for Biodiversity Assessments. *IGARSS 2018 – 2018 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 3420–3423. doi:10.1109/IGARSS.2018.8517397.

Schulte to Bühne, H., Pettorelli, N. (2018). Better together: Integrating and fusing multispectral and radar satellite imagery to inform biodiversity monitoring, ecological research and conservation science. *Methods in Ecology and Evolution*, 9(4), 849–865. doi:10.1111/2041-210X.12942.

Shumilova, O., Tockner, K., Sukhodolov, A., Khilchevskyi, V., De Meester, L., Stepanenko, S., Trokhymenko, G., Hernández-Agüero, J. A., & Gleick, P. (2023). Impact of the Russia–Ukraine armed conflict on water resources and water infrastructure. *Nature Sustainability*, 6(5), 578–586. doi:10.1038/s41893-023-01068-x.

Skidmore, A. K., Coops, N. C., Neinavaz, E., Ali, A., Schaepman, M. E., Paganini, M. … Wingate, V. (2021). Priority list of biodiversity metrics to observe from space. *Nature Ecology & Evolution*, 5(7), 896–906. doi:10.1038/s41559-021-01451-x.

Skorobohatov, V. M., Splodytel, A. O., Moisiienko, I. I., Vasyliuk, O. V., Romanenko, M. M., Redinov, K. O. … Lavrinenko, K. V. (2023). *Post-War Development of the Nature Reserve Fund of Mykolaiv Region. Series: Conservation Biology in Ukraine*, 33. Ukrainian Nature Conservation Group; Druk Art.

Splodytel, A., Holubtsov, O., Chumachenko, S., & Sorokina, L. (2023). *Impact of Russia's War against Ukraine on the Condition of Ukrainian Soils: Results of the Analysis*. NGO «Ecoaction Centre for Environmental Initiatives.»

Stankevych, S. A., Kozlova, A. O. (2007). Methodology for Assessing Biodiversity of an Area Using Multispectral Space Images of Medium Spatial Resolution. *Space Science and Technology*, 13(4), 25–39. doi:10.15407/knit2007.04.025.

Svideniuk, M. (2021). Methodology for determining the physical parameters of ground plane by the results of the optical and radar data fusion. *Ukrainian Journal of Remote Sensing*, 8(3), 4–26. doi:10.36023/ujrs.2021.8.3.197.

Takeuchi, Y., Végh, L., Noda, H., Böttcher, K., Vihervaara, P., Kass, J. M., Hama, I., & Saito, Y. (2025). National-scale terrestrial biodiversity and ecosystem monitoring with essential biodiversity variables in Japan and Finland. *Ecological Research*, 40(6), e70011. doi:10.1111/1440-1703.70011.

Teixeira, A. C., Bakon, M., Lopes, D., Cunha, A., & Sousa, J. J. (2025). A systematic review on soil moisture estimation using remote sensing data for agricultural applications.

Science of Remote Sensing, 12, 100328. doi:10.1016/j.srs.2025.100328.

Tomppo, E., Ronoud, G., Antropov, O., Hytönen, H., & Praks, J. (2021). Detection of forest windstorm damages with multitemporal SAR data – A case study: Finland. *Remote Sensing*, 13(3), 383. doi:10.3390/rs13030383.

Tomppo, E., Heikkinen, J., Henttonen, H. M., Ihalainen, A., Katila, M., Mäkelä, H., Tuomainen, T., & Vainikainen, N. (2011). *Designing and Conducting a Forest Inventory - case: 9th National Forest Inventory of Finland*, 22. Springer Netherlands. doi:10.1007/978-94-007-1652-0.

Torabzadeh, H., Leiterer, R., Hueni, A., Schaepman, M. E., & Morsdorf, F. (2019). Tree species classification in a temperate mixed forest using a combination of imaging spectroscopy and airborne laser scanning. *Agricultural and Forest Meteorology*, 279, 107744. doi:10.1016/j.agrformet.2019.107744.

Törmä, M., Härmä, P., Hatunen, S., Teiniranta, R., Kallio, M., & Järvenpää, E. (2011). Change detection for Finnish CORINE land cover classification. *Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering*, 8181. doi:10.1117/12.898069.

Torresani, M., Rossi, C., Perrone, M., Hauser, L. T., Féret, J.-B., Moudrý, V. … Rocchini, D. (2024). Reviewing the spectral variation hypothesis: Twenty years in the tumultuous sea of biodiversity estimation by remote sensing. *Ecological Informatics*, 82, 102702. doi:10.1016/j.ecoinf.2024.102702.

Torresani, M., Rocchini, D., Alberti, A., Moudrý, V., Heym, M., Thouverai, E., Kacic, P., & Tomelleri, E. (2023). LiDAR GEDI derived tree canopy height heterogeneity reveals patterns of biodiversity in forest ecosystems. *Ecological Informatics*, 76, 102082. doi:10.1016/j.ecoinf.2023.102082.

Turner, W., Spector, S., Gardiner, N., Fladeland, M., Sterling, E., & Steininger, M. (2003). Remote sensing for biodiversity science and conservation. *Trends in Ecology & Evolution*, 18(6), 306–314. doi:10.1016/S0169-5347(03)00070-3.

Ukrainian Nature Conservation Group. (2026). *Guidelines for Reporting on Natura 2000 / Emerald Network Sites (Standard Data Form, SDF)*. Within the framework of the project «Conservation of Natural Heritage for LIFE in Ukraine» (LIFE23-PRE-CZ-ConNaturLIFE Ukraine).

United Nations. (2015). *Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development*. https://sdgs.un.org/2030agenda.

Ustin, S. L., Gamon, J. A. (2010). Remote sensing of plant functional types. *New Phytologist*, 186(4), 795–816. doi:10.1111/j.1469-8137.2010.03284.x.

Ustin, S. L., Middleton, E. M. (2021). Current and near-term advances in Earth observation for ecological applications. *Ecological Processes*, 10(1), 1. doi:10.1186/s13717-020-00255-4.

Ustin, S. L., Middleton, E. M. (2024). Current and Near-Term Earth-Observing Environmental Satellites, Their Missions, Characteristics, Instruments, and Applications. *Sensors*, 24(11), 3488. doi:10.3390/s24113488.

Verkhovna Rada of Ukraine. (2023). *On Amendments to Certain Legislative Acts of Ukraine on Ensuring the Constitutional Rights of Citizens to an Environment Safe for Life and Health* (Law of Ukraine No. 2973-IX).

Vihervaara, P., Anttila, S., Kullberg, P., Harma, P., Torma, M., Jussila, T. ... Forsius, M. (2021). Finnish Ecosystem Observatory (FEO) – Operationalizing remote sensing analyses for threatened habitats and biodiversity monitoring. *2021 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS*, 735–738. doi:10.1109/IGARSS47720.2021.9554979.

Vihervaara, P., Auvinen, A.-P., Mononen, L., Törmä, M., Ahlroth, P., Anttila, S. … Virkkala, R. (2017). How Essential Biodiversity Variables and remote sensing can help national biodiversity monitoring. *Global Ecology and Conservation*, 10, 43–59. doi:10.1016/j.gecco.2017.01.007.

Vyvlečka, P., Pechanec, V. (2023). Optical remote sensing in provisioning of ecosystem-functions analysis – Review. *Sensors*, 23(10), 4937. doi:10.3390/s23104937.

Wallis, C. I. B., Kothari, S., Jantzen, J. R., Crofts, A. L., St-Jean, S., Inamdar, D. … Vellend, M. (2024). Exploring the spectral variation hypothesis for α- and β-diversity: A comparison of open vegetation and forests. *Environmental Research Letters*, 19(6), 064005. doi:10.1088/1748-9326/ad44b1.

Wang, G., Zhao, L., Song, C., Zhang, W., Dong, W., & Ji, Y. (2026). Improving forest aboveground biomass estimation accuracy via optical and SAR data fusion using deep learning algorithms. *Remote Sensing*, 18(10), 1536. doi:10.3390/rs18101536.

Wang, M. (2023). The Unprecedented Ramsar Resolution: Ukrainian Wetlands Protection in Armed Conflict. *Netherlands International Law Review*, 70(3), 323–357. doi:10.1007/s40802-024-00246-8.

Wang, R., Gamon, J. A. (2019). Remote sensing of terrestrial plant biodiversity. *Remote Sensing of Environment*, 231, 111218. doi:10.1016/j.rse.2019.111218.

World Bank, Government of Ukraine, European Commission, & United Nations. (2025). *Ukraine – Fourth rapid damage and needs assessment (RDNA4): February 2022 – December 2024*. World Bank. Ukraine RDNA4 report. https://www.undp.org/ukraine/publications/ukraine-fourth-rapid-damage-and-needs-assessment-rdna4-february-2022-december-2024-english.

World Economic Forum. (2020). *The global risks report 2020*. https://www.weforum.org/reports/the-global-risks-report-2020.

INTEGRATING REMOTE SENSING INTO BIODIVERSITY MONITORING IN UKRAINE: CHALLENGES, OPPORTUNITIES, AND INSIGHTS FROM FINLAND

Kozlova Anna[1], https://orcid.org/0000-0001-5336-237X
Böttcher Kristin[2], https://orcid.org/0000-0002-2181-5976
Törmä Markus[2], https://orcid.org/0000-0001-5723-4690
[1] *State Institution «Scientific Centre for Aerospace Research of the Earth of the Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine», Olesia Honchara str., 55-b, Kyiv, 01054, Ukraine*
[2] *The Finnish Environment Institute (SYKE) Latokartanonkaari 11, 00790 Helsinki, Finland*

The article examines the potential of Earth observation (EO) for advancing Ukraine's biodiversity monitoring system and identifies the key challenges associated with its practical implementation. The current state of biodiversity monitoring in Ukraine is analysed, and conceptual approaches to the use of EO data in biodiversity research are considered. Particular attention is paid to Finland's experience, where the integration of satellite and in situ observations enables systematic environmental monitoring. The relevance of adapting this experience to the Ukrainian context is substantiated, taking into account national needs, data availability, and contemporary challenges, including the consequences of the war. Key directions for the development of remote biodiversity monitoring are proposed, including: (1) the development of national remote sensing-based biodiversity indicators grounded in the concept of Essential Biodiversity Variables (EBVs); (2) the implementation of standardized methods for calculating biodiversity indicators and validating the results, including through a network of ground-based test sites; and (3) the establishment of a centralized hub for integrating remote sensing and in situ

biodiversity observations into a unified interoperable spatiotemporal geospatial data cube. Implementation of this approach will contribute to the establishment of a national biodiversity monitoring system in Ukraine aligned with European requirements.
Keywords: remote sensing of the Earth; biodiversity monitoring; basic biodiversity variables (EBV); satellite data; ground observations; geospatial data cube; Finland.

Рукопис статті отримано 21.08.2026
Надходження остаточної версії: 31.08.2026
Публікація статті: 30.09.2026
Received 21.08.2026
Revised 31.08.2026
Accepted 30.09.2026