
РАЦІОНАЛЬНЕ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ І ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО ПРИРОДНОГО СЕРЕДОВИЩА

УДК 001.89:378.14:330.341.1:338.23:631.15

DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.4.2019.189436>

ОЦІНЮВАННЯ ЕКОСИСТЕМНИХ ПОСЛУГ ЛІСІВ ЗА ДАНИМИ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

О.І. Фурдичко, О.І. Дребот, Т.Л. Кучма, Т.В. Ільєнко

Інститут агроекології і природокористування НААН

Обґрунтовано актуальність оцінювання екосистемних послуг як одного з пріоритетних напрямів політики ЄС зі збереження біорізноманіття та раціонального природокористування. Узагальнено досвід застосування даних дистанційного зондування Землі для прямої та непрямой оцінки структури екосистем та біофізичних процесів, що впливають на здатність екосистеми забезпечувати відповідні послуги. Укладено перелік індикаторів екосистемних функцій, які можуть бути визначені за даними аеросупутникового знімання. Здійснено оцінювання екосистемних послуг лісових екосистем на основі даних дистанційного зондування Землі на прикладі тестової території дослідження — природного заповідника «Древлянський». Зокрема, наведено результати оцінки екосистемних послуг депонування вуглецю, збереження біорізноманіття та регуляції клімату (охолодження) лісовими насадженнями природного заповідника «Древлянський». Підтверджено, що дані аеросупутникового знімання надають змогу збільшити точність та об'єктивність оцінювання і картування екосистемних послуг; мають застосовуватися як інструменти впровадження екологічної політики та збалансованого природокористування.

Ключові слова: екосистемні послуги, дистанційне зондування Землі, Sentinel-2, Landsat-8, лісові екосистеми, природний заповідник «Древлянський».

Оцінка екосистемних послуг є одним із пріоритетних напрямів політики Європейського Союзу щодо збереження біорізноманіття. Відповідно до Стратегічного плану ЄС зі збереження і сталого використання біорізноманіття на 2011–2020 рр. та цільового завдання Аїті (Aichi Targets), до 2020 р. люди мають бути обізнані про вартісну цінність біорізноманіття та про кроки, які можна здійснювати для його збереження і збалансованого використання [1].

Екосистеми є багатofункціональними системами, що здатні продукувати корисні для людства прямі та непрямі послуги, перебуваючи у певних фізико-хімічних та кліматичних умовах навколишнього природного середовища, до яких вони

пристосовані [2]. Антропогенні та природні чинники, які призводять до змін у довкіллі, певною мірою впливають на екосистемні процеси та функції і, відповідно, здатність екосистеми забезпечувати ту чи іншу екосистемну послугу.

Екосистемні послуги є прямим та непрямим внеском екосистем у благополуччя та добробут людини. Відповідно до звіту ООН «Оцінка екосистем тисячоліття» (Millennium Ecosystem Assessment, 2005), одного з основних документів про концепцію екосистемних послуг, усі вони поділяються на чотири категорії: регулювання, забезпечення, культурні послуги та послуги підтримки [3]. Пізніше, зокрема у проектах ТЕЕВ (Економіка екосистем та біорізноманіття — The Economics of Ecosystems and Biodiversity) — міжнародної ініціативи для привернення уваги до

глобальної економічної цінності біорізноманіття, послуги підтримки були приєднані до категорії регулюючих послуг, і окремо була виділена категорія послуг середовища існування [4].

Забезпечувальні послуги — це послуги або товари, що прямо надаються екосистемами (такі як продукти харчування, матеріали, деревина, генетичні, декоративні чи біохімічні ресурси, прісна вода тощо).

Регулюючі послуги — це переваги, які отримують від регулювання екосистемних процесів, зокрема: самовідновлювальні функції екосистем і природне регулювання клімату, якості повітря, водних ресурсів та ерозії, стихійних лих і захворюваності тварин, рослин і людини; до цих послуг відносять і запилення, ґрунтоутворення, фотосинтез, надання первинної продукції та кругообіг речовин, природне очищення води і утилізацію відходів.

Культурні послуги — культурне розмаїття, освітні, естетичні, духовні та релігійні цінності, системи знань, емоційна цінність, прихильність людини до місця проживання, соціальні зв'язки, цінності культурної спадщини, оздоровчий відпочинок і екотуризм.

Середовища існування — забезпечення середовищ існування (оселищ) видів, у т.ч. мігруючих видів, та збереження життєздатності генофондів.

Оцінка вартості екосистемних послуг є важливою для порівняння різних сценаріїв використання території, адже цінність регулюючих послуг певного природного об'єкта може бути набагато вищою за вартість врожаю зернових культур або корисних копалин, отриманих на цій території. Зміст оцінки екосистемних послуг полягає в тому, щоб визначити вартість, а отже і важливість для людини різних видів, які можна отримати від природних територій, що своєю чергою дасть можливість розробити рекомендації із втілення механізмів сталого розвитку та збалансованого природокористування [5].

Водночас існує проблема недосконалості методів вартісної оцінки екосистемних послуг, оскільки часто послуги

екосистем переводять у площину економічної вартості, внаслідок чого відбувається недооцінка їх цінності [6]. Також часто оцінка екосистемних послуг здійснюється методом експертного аналізу, що значною мірою є суб'єктивною думкою, містить низку припущень та обмежується досвідом і знаннями аналітика. Тому актуальним лишається пошук шляхів удосконалення методів оцінки екосистемних послуг, а також їх картування та просторового моделювання.

Зв'язок між станом екосистеми, її функціями та екосистемними послугами може простежуватися за допомогою низки індикаторів екосистемних функцій. Такий підхід називають методом біофізичної оцінки екосистемних послуг. Дані дистанційного зондування Землі дають змогу відстежувати зміни параметрів довкілля та стану екосистем, тому можуть істотно удосконалити методики біофізичної оцінки екосистемних послуг, адже вони мають низку переваг: оперативність та повторюваність (дає змогу досліджувати певні території з визначеною періодичністю); масштабність та комплексність (можливість досліджувати великі території та аналізувати одночасно різні властивості об'єктів).

Мета дослідження полягала в узагальненні теоретико-методологічних засад з оцінювання екосистемних послуг за даними дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) та їх застосування на прикладі лісових екосистем Житомирського Полісся.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для досягнення поставленої мети були визначені такі завдання:

- аналіз наукових публікацій щодо застосування даних ДЗЗ для оцінювання екосистемних послуг;
- визначення індикаторів екосистемних функцій агроландшафтів, що можуть бути отримані за даними ДЗЗ;
- застосування дистанційних індикаторів екосистемних функцій на прикладі оцінювання екосистемних послуг лісів Житомирського Полісся.

Тестовою територією для відпрацювання теоретико-методологічних підходів до оцінювання екосистемних послуг за даними ДЗЗ було обрано територію природного заповідника «Древлянський», розташованого у Народицькому р-ні Житомирської обл. Назва заповідника походить від назви східно-слов'янського племені «древляни, деревляни», що проживали на цій території, і яких пізніше стали називати поліщуками. Етимологія обох назв — дерево, ліс. Загальна площа заповідника — 30872,84 га, більшу частину території вкриває лісова рослинність (16880 га), яку формують такі породи, як сосна, дуб, вільха, береза, ясен, осика, граб. Цей заповідник створили для збереження унікальних лісових і водно-болотних угідь Українського Полісся, охорони реліктових та ендемічних рослин і тварин, у т.ч. занесених до Червоної Книги України, а також вивчення змін екосистем під впливом природних та антропогенних чинників. Значна частина лісових екосистем заповідника була забруднена радіонуклідами внаслідок аварії на Чорнобильській атомній електростанції та потрапила до зони безумовного відселення, тому вплив людини з часу катастрофи був мінімальний. З огляду на це можна припустити, що негативний тиск на лісові екосистеми здебільшого зумовлено природними чинниками, зокрема активізацією посушливих умов та поширенням шкідників, що є наслідками кліматичних змін.

Як картографічну основу було використано топографічні карти масштабу 1:100 000 та супутникові дані Sentinel-2 та Landsat-8.

Завантаження та аналіз часових серій супутникового знімання, розрахунок спектральних індексів та температурних карт здійснювали на базі програмного забезпечення Google Earth Engine, що надає змогу за допомогою програмного коду на мові програмування Java script створювати та виконувати алгоритми обробки значних обсягів супутникових даних на віддаленому сервері.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Узагальнення науково-методичних підходів до застосування даних ДЗЗ для оцінювання екосистемних послуг агроландшафтів.

Аналіз наукових публікацій, присвячених застосуванню ДЗЗ для оцінки екосистемних послуг, засвідчив, що більшість досліджень висвітлює використання супутникових знімків для класифікації елементів ландшафтів, наприклад, лісових екосистем, чагарникових угруповань, типів рослинності у межах водних об'єктів та розрахунок обсягу екосистемної послуги на основі визначених площ екосистем. Такий підхід детально описано зокрема у працях німецьких дослідників Буххарда та Мюлера (2012 р.) — він базується на перекласифікації дешифрованих за даними актуального супутникового знімання типів наземного покриву у відповідний показник його здатності забезпечувати ту чи іншу екосистемну послугу. Типи наземного покриву (відповідно до Європейської номенклатури CORINE Land Cover) оцінюють, наприклад, за шкалою від 0 до 5, згідно з якою «0» означає відсутність релевантної здатності забезпечувати екосистемну послугу, а «5» — її максимальну потенційну здатність [6]. Цей підхід — наочний та відносно швидкий метод для моделювання та порівняння різних типів землекористування [7–9].

Одним із недоліків цієї методики є те, що вона не відображає повною мірою зв'язок між станом наземного покриву та якістю відповідної екосистемної послуги. Наприклад, територія орних земель за цією методикою однаковою мірою надає послугу рослинництва (виробництва продуктів харчування), однак еродовані та деградовані ґрунти будуть мати меншу родючість і, відповідно, меншу вартість послуги постачання сільськогосподарської продукції. Іншими словами, родючість є функцією ґрунту, яка залежить від стану ґрунтового покриву, вмісту гумусу та/чи рівня еродованості ґрунтів. Отже, більш точною буде оцінка, яка враховує ступінь

деградації земель, а не лише загальну площу сільськогосподарських угідь.

Інша група досліджень із застосуванням ДЗЗ – використання спектральних індексів для детальнішої класифікації території в межах одного класу наземного покриву. Так, за допомогою індексу NDVI можна здійснити класифікацію лісової екосистеми за типом насаджень або за віковою структурою лісових насаджень та точніше оцінити запас деревини в межах лісництва.

Ще одним прикладом застосування даних ДЗЗ для оцінки екослуг є встановлення залежності між біофізичними показниками, які можна визначити за аеросупутниковими знімками та екосистемною функцією. Наприклад, на основі залежності між значеннями спектрального коефіцієнта яскравості у різних каналах супутника та вмістом гумусу у ґрунті у точках відбору проб визначається рівняння множинної регресії та коефіцієнти для перерахунку спектральних значень каналів супутника у карту розподілу вмісту гумусу на всій території дослідження.

Окрім того, слід зауважити на дослідженнях, які базуються на аналізі довго-

тривалих серій супутникових даних (дані місії Landsat доступні з 1972-го року), визначенні інтенсивності зміни певного біофізичного параметру та застосування інтенсивності зміни як показника для оцінки обсягу екосистемних послуг.

Загалом, можна підсумувати, що дані ДЗЗ дають змогу здійснювати моніторинг стану екосистем за такими показниками, як структура екосистеми (чи ландшафту) та інтенсивність біофізичних процесів. Ці показники, у підсумку, є основою для моделювання екосистемних функцій, що здатні забезпечувати екосистемні послуги (рис. 1).

Пряма оцінка забезпечує кількісне вимірювання запасу, структури чи величини потоку певного біофізичного процесу безпосередньо у фізичних одиницях. Вона є одним із найточніших методів оцінки екосистемних послуг і часто використовується як основа для інших методів оцінки. Загалом, до методів прямої оцінки екосистемних послуг належать відбір проб, наземні спостереження, анкетування та опитування, а також дані ДЗЗ.

Непряма оцінка базується на вимірюванні показників, які потребують певної

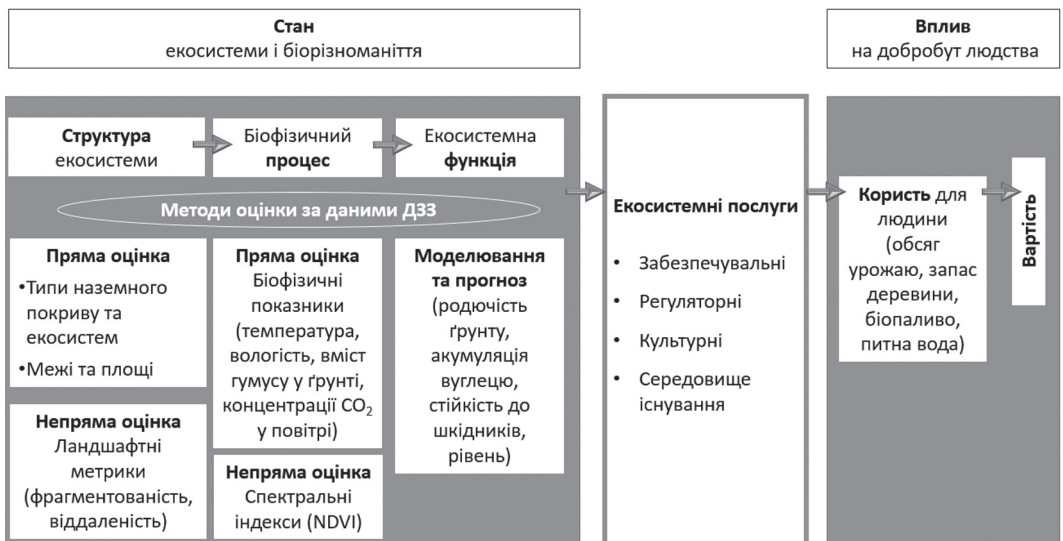


Рис. 1. Використання ДЗЗ для оцінювання екосистемних послуг на основі біофізичного підходу [10]

процедури обробки даних чи припущень перед тим, як застосовувати їх для оцінки екосистемних послуг. До методів непрямої оцінки належать геостатистичне моделювання, соціоекономічні статистичні дані, спектральні індекси, отримані за даними ДЗЗ, тощо.

Обґрунтування індикаторів екосистемних функцій агрландшафтів, що можуть бути отримані за даними ДЗЗ.

Індикатори, тобто кількісні та якісні показники стану екосистем, які можна визначати за супутниковими знімками, були узагальнені у таблиці 1. Для кожного індикатора визначено тип вхідних даних (на-

зву супутника, просторове розрізнення), запропоновано метод просторового аналізу для оцінювання екосистемних послуг та наведено приклад екосистемної послуги.

Оцінювання екосистемних послуг за даними ДЗЗ на прикладі природного заповідника «Древлянський».

На прикладі території природного заповідника «Древлянський» Народицького р-ну Житомирської обл. було протестовано запропонований підхід до оцінки екосистемних послуг на локальному рівні з використанням прямого та непрямого методів оцінки структури та біофізичних процесів у лісових екосистемах.

Таблиця 1

Індикатори екосистемних функцій за даними ДЗЗ

Назва групи	Назва індикатора екосистемних функцій	Вхідні дані	Метод оцінювання екосистемної послуги	Приклад екосистемної послуги
Структура екосистеми: пряма оцінка	1. Наземний покрив (динаміка площі різних типів наземного покриву чи біотопів)	Landsat 8 (15–30 м) Sentinel 1,2 (10 м) Proba-V (100 м) Planet (3–10 м) WorldView, GeoEye, Pleiades (<1 м)	Зміна кількості (обсягу) екосистемної послуги внаслідок зміни площі території, що її забезпечує	– Постачання деревини, продуктів харчування, питної води – Регуляція клімату: акумуляція CO ₂
	2. Індекси ландшафтної структури: фрагментованість території, ландшафтне різноманіття	Растрове класифіковане зображення (карта типів наземного покриву чи елементів ландшафту)		– Підтримка оселищ – Збереження біорізноманіття – Красвид – Рекреація
Структура екосистеми: непряма оцінка	3. Взаємозв'язок з іншими територіями	Landsat 8 (15–30 м) Sentinel 1,2 (10 м) Proba-V (100 м) Planet (3–10 м) WorldView, GeoEye, Pleiades (<1 м), Рельєф території	Картографічне накладання шарів для виявлення площ біотопів, наприклад, накладання контуру лісу та карти кутів нахилу схилу дають змогу виявити залісені яри	– Зменшення негативних наслідків дії надзвичайних ситуацій – Протидія ерозії – Стійкість до шкідників – Запилення

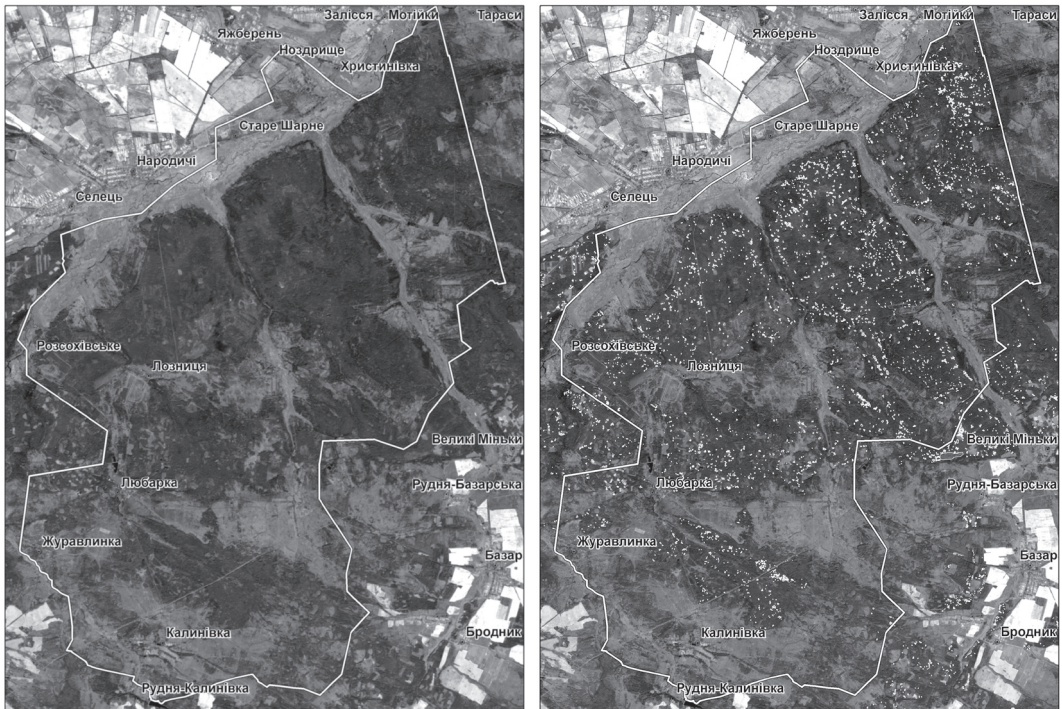
Закінчення таблиці 1

Назва групи	Назва індикатора екосистемних функцій	Вхідні дані	Метод оцінювання екосистемної послуги	Приклад екосистемної послуги
Біофізичний процес: пряма оцінка	4. Концентрації забруднювальних речовин у повітрі	Sentinel 5P (7–23 км) OMI (25 км)	Районування території за критичними значеннями біофізичних параметрів	– Очищення повітря
	5. Вміст вологи у ґрунті	SMAP (9 км) ASCAT (25 км)		– Регуляція клімату – Регуляція водного режиму – Протидія паводкам – Регуляція температурного режиму (охолодження) – Регуляція клімату – Стійкість до пожеж
	6. Температура поверхні	Landsat 8 (15–30 м) ASTER (15 м)		
	7. Концентрація хлорофілу 8. Вміст органічних речовин у воді	Sentinel 3, Modis (250–500 м)		– Рекреація – Постачання питної води – Очистка води
Біофізичний процес: непряма оцінка	9. Вегетаційні індекси	NOAA (1 км) Modis (250–500 м) Proba-V (100 м) Landsat 8 (15–30 м) Sentinel 2 (10 м)	Аналіз часових серій; регресійний аналіз супутникових даних з даними наземних спостережень	– Урожайність – Постачання продуктів харчування, деревини – Регуляція водного режиму
	10. Водні індекси			

Оцінювання екосистемної послуги депонування вуглецю методом прямої оцінки структури лісової екосистеми. Аналіз супутникових знімків Sentinel-2 засвідчив, що за останні три роки внаслідок спалаху поширення верхівкового короїда, а також пожеж, процеси висихання деревостанів

поширилися на площі 470 га (рис. 2). На серії супутникових знімків Sentinel-2 за 2017–2019 рр. були векторизовані зони усихання сосни та встановлена їх загальна площа.

Згідно із дослідженнями [11], середньорічний приріст деревини на 1 га пло-



а

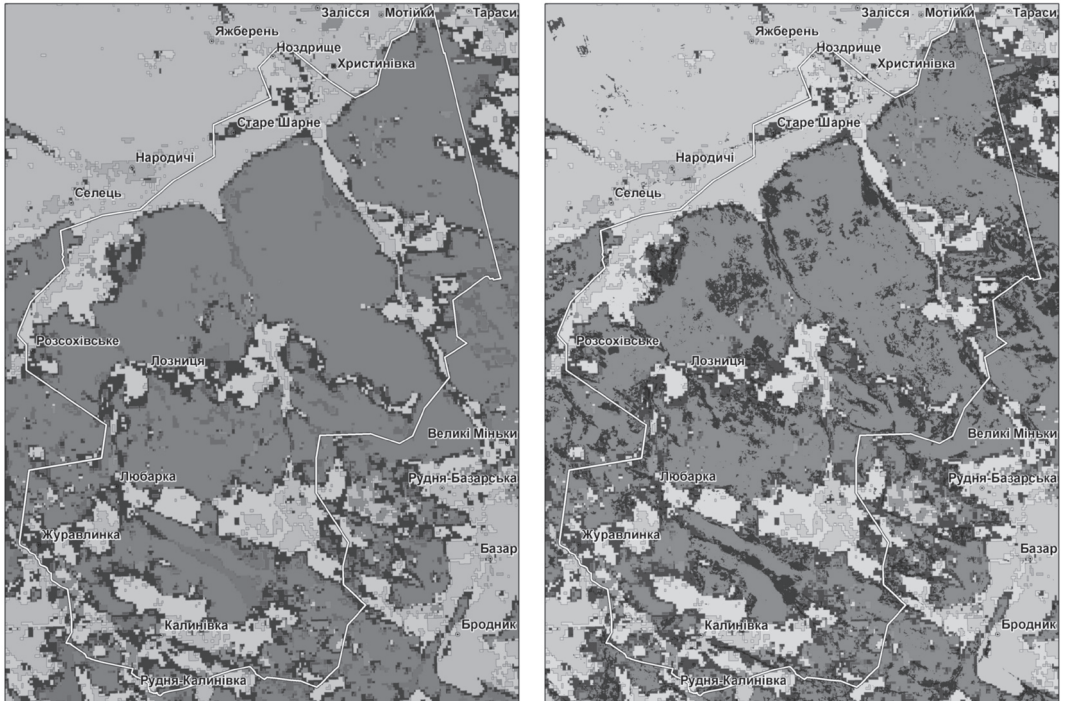
б

Рис. 2. Застосування даних ДЗЗ для оцінювання екосистемної послуги депонування вуглецю природним заповідником «Древлянський»: а) зображення території дослідження лісового масиву (темним кольором) на знімку Sentinel-2 за 03.09.2019; б) виділені за допомогою дешифрування зображення осередків всихання сосни (білим кольором)

щі, покритої сосновим лісом, дорівнює $4,0 \text{ м}^3$, що забезпечує депонування $1,2 \text{ т/га}$ вуглецю на 1 рік. Ці результати дають підстави зробити висновок, що знеліснення 470 га території природного заповідника «Древлянський» унаслідок ураження верхівковим короїдом призвело до втрати послуги депонування вуглецю обсягом 564 т/га/рік . Тобто була застосована пряма оцінка структури лісових екосистем (визначена площа неушкоджених та ушкоджених деревостанів), а також визначено обсяг втрати екосистемної послуги.

Оцінювання екосистемної послуги збереження біорізноманіття методом непрямої оцінки структури лісової екосистеми. Одним із важливих показників значення території для збереження біорізноманіття є кількість біотопів, тобто ділянок з

однотипними умовами існування. Чим більшим різноманіттям та унікальністю біотопів характеризується територія, тим сприятливішими є умови для поширення рідкісних та ендемічних видів. До того ж біотопи не повинні бути ізольованими, тому важливою характеристикою у цьому аспекті є їх розподіл. Дані ДЗЗ надають змогу класифікувати територію дослідження за типами наземного покриву та відстежувати динаміку їх зміни. Так, наприклад, дані наземного покриву програми Copernicus, розроблені на основі супутникових даних Proba-V [12], дали можливість виявити 13 типів біотопів на території природного заповідника «Древлянський» (рис. 3-а), а також визначити частку площі кожного з них. Фактично, половину території займають хвойні



- чагарники (0,02%)
- різнотрав'я (15,3%)
- с.-г. угіддя (7,4%)
- забудова
- водні об'єкти (0,01%)
- луки та водно-болотні угіддя (3%)
- хвойні ліси, щільні (49,9%)
- широколистяні ліси, щільні (2,4%)
- мішані ліси, щільні (3%)
- некласифіковані ліси, щільні (1%)
- хвойні ліси (2,4%)
- широколистяні ліси (0,13%)
- мішані ліси (0,05%)
- некласифіковані ліси (14,5%)

a

- хвойні ліси, заболочені, щільні (14%)
- чагарники (0,02%)
- різнотрав'я (15,3%)
- с.-г. угіддя (7,4%)
- забудова
- водні об'єкти (0,01%)
- луки та водно-болотні угіддя (3%)
- хвойні ліси, сухі, щільні (36%)
- широколистяні ліси, щільні (2,4%)
- мішані ліси, щільні (3%)
- некласифіковані ліси, щільні (1%)
- хвойні ліси (2,4%)
- широколистяні ліси (0,13%)
- мішані ліси (0,05%)
- некласифіковані ліси (14,5%)

b

Рис. 3. Карта біотопів природного заповідника «Древлянський» на основі: *a*) карти наземного покриття Proba-V; *б*) синтезованої карти наземного покриття Proba-V з індексом вологості NDWI

лісові насадження, які переважають у північній частині заповідника.

Поєднання карти наземного покриття Proba-V з індексом вологості NDWI, розрахованим за даними супутника Landsat-8, надало змогу додатково виокремити вологі та сухі хвойні і широколистяні лісові насадження, а також заболочені та сухі чагарники, збільшивши до 18 кількість типів біотопів на території дослідження (рис. 3-б). Також на знімку помітно, що північна територія заповідника не є однорідною за рослинним покривом та має відносно рівномірно розподілені вкраплення заболочених ділянок. Отже, поєднання карти наземного покриття та карти спектральних індексів дає змогу методом непрямої оцінки структури ландшафту виявляти екосистемні функції території.

Оцінювання екосистемної послуги регуляції температурного режиму методом прямої оцінки біофізичного процесу.

За супутниковими знімками Landsat-8, які мають два теплових канали і надають можливість отримувати супутникову інформацію про температуру поверхні, було створено карту розподілу температур, усереднених за сезон вегетації (травень – вересень) 2019 р. (рис. 4).

На основі цієї карти було визначено, що температура лісового покриття варіює у межах 14–23°C, тоді як на інших територіях (с.-г. угіддя, міста тощо) температура поверхні набуває значень 22–36°C. Так, лісовий покрив території природного заповідника «Древлянський» сприяє охолодженню клімату на 5–10°C. Крім того, чим щільнішим є проективне покриття території, тим нижча температура поверхні. Отже, застосування методу прямої біофізичної оцінки дає змогу кількісно оцінити екосистемну послугу регуляції клімату (охолодження) лісовими екосистемами природного заповідника «Древлянський».

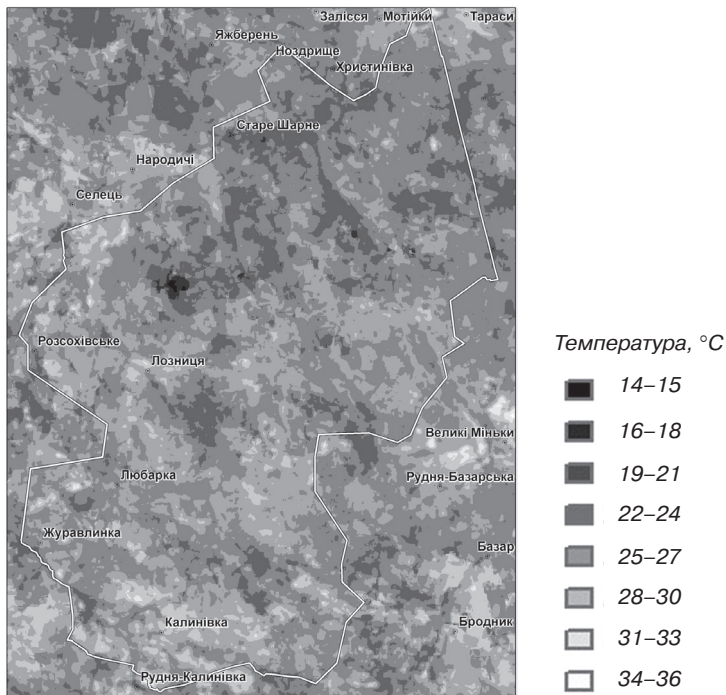


Рис. 4. Карта розподілу температури поверхні на території природного заповідника «Древлянський»

ВИСНОВКИ

Здійснено узагальнення науково-методичних підходів до застосування даних ДЗЗ для оцінювання екосистемних послуг.

Сформовано перелік прямих та непрямих індикаторів структури екосистем та біофізичних процесів, що протікають в екосистемах та впливають на рівень екосистемних послуг території дослідження і можуть бути визначені за аеросупутниковими знімками.

На прикладі природного заповідника «Древлянський» застосовано біофізичні індикатори, отримані за даними ДЗЗ, для оцінки екосистемних послуг депонування вуглецю, збереження біорізноманіття та регуляції клімату (охладження). Перевага застосування біофізичного підходу до оцінки екосистемних послуг порівняно з економічною оцінкою вартості екосистем полягає в одночасному оцінюванні стану, впливу, загрози та потенціалу екосистеми.

ЛІТЕРАТУРА

1. The Strategic Plan for Biodiversity 2011-2020 and the Aichi Biodiversity Targets. COP-10 Decision X/2 (UNEP/CBD/COP/DEC/X/2) [Електронний ресурс]. — 2010. — Режим доступу: <https://www.cbd.int/decision/cop/?id=12268>
2. Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services: An analytical framework for mapping and assessment of ecosystem condition in EU / J. Maes, A. Teller, M. Erhard et al. — European Commission: Publications office of the European Union, Luxembourg, 2018. — 78 p.
3. MEA (Millennium Ecosystem Assessment). Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis. — Washington: Island Press, 2005. — 155 p.
4. TEEB (The Economics of Ecosystems and Biodiversity). Ecological and Economic Foundations / Edited by P. Kumar. — London and Washington: Earthscan, 2010. — 422 p.
5. Фурдичко О.І. Збалансовані еколого-економічні та соціальні інтереси — основа якості життя і здоров'я людини / О.І. Фурдичко, О.І. Ковалів // Агроекологічний журнал. — 2013. — № 4. — С. 7–12.
6. Solutions for Sustaining Natural Capital and Ecosystem Services / V. Burkhard, R. de Groot, R. Costanza et al. // Ecological Indicators. — 2012. — No. 21. — P. 1–6.
7. Satellite agroecological monitoring within the system of sustainable environmental management / O. Tarariko, T. Iliencko, T. Kuchma, I. Novakovska // Agricultural science and practice. — 2019. — No. 6 (1). — P. 18–27. — DOI:10.15407/agrisp6.01.018
8. Агроекологічний супутниковий моніторинг: монографія / О.Г. Тараріко, О.В. Сиротенко, Т.В. Ільченко, Т.Л. Кучма. — К.: Аграрна наука, 2019. — 204 с. — DOI: 10.5281/zenodo.3492936
9. Кучма Т.Л. Оцінка екосистемних послуг водноболотних угідь за даними дистанційного зондування Землі / Т.Л. Кучма, О.В. Томченко // Екологічна безпека та збалансоване природокористування в агропромисловому виробництві: Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції (Київ, 3–5 липня 2019 р.). — К.: ДІА, 2019. — С. 147–151.
10. Biophysical mapping and assessment methods for ecosystem services. Deliverable D3.3 EU Horizon 2020 EMERALDA Project, Grant agreement No. 642007 [Електронний ресурс]. — 2010. — Режим доступу: http://www.esmeralda-project.eu/getatt.php?filename=EMERALDA%20D3.3_14966.pdf
11. Акумуляція вуглецю лісовими екосистемами: (на прикладі модельних ділянок у заказнику «Лісники», м. Київ) / У.М. Альошкіна, А.А. Жовтенко, І.Г. Вишеньська та ін. // Наукові записки НаУКМА. — 2011. — Т. 119. — С. 52–55. — (Серія: Біологія та екологія).
12. Copernicus Global Land Service: Land Cover 100m: epoch 2015: Globe. Dataset of the global component of the Copernicus Land Monitoring Service 2019 / M. Buchhorn, V. Smets, L. Bertels et al. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: DOI 10.5281/zenodo.3243509

REFERENCES

1. The Strategic Plan for Biodiversity 2011–2020 and the Aichi Biodiversity Targets. COP-10 Decision X/2 (UNEP/CBD/COP/DEC/X/2). (2010). www.cbd.int/decision/cop/?id=12268 [in English].
2. Maes, J., Teller, A., Erhard, M. et al. (2018). *Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services: An analytical framework for ecosystem condition. Publications office of the European Union*. Luxembourg [in English].
3. MEA (Millennium Ecosystem Assessment). (2005). *Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis*. Washington: Island Press [in English].
4. Kumar, P. (Ed.). (2010). *TEEB (The Economics of Ecosystems and Biodiversity). Ecological and Economic Foundations*. London and Washington: Earthscan [in English].

5. Furdychko, O.I., Kovaliv, O.I. (2013). Zbalansovani ekolo-ho-ekonomichni ta sotsialni interesy – osnova yakosti zhyttya i zdorovya lyudyny [Balanced environmental, economic and social interests are the basis of quality of life and human health]. *Ahroekolo-hichnyy zhurnal – Agroecological journal*, 4, 7–12 [in Ukrainian].
6. Burkhard, B., de Groot, R., Costanza, R., et al. (2012). Solutions for Sustaining Natural Capital and Ecosystem Services. *Ecological Indicators* 21, 1–6 [in English].
7. Tarariko, O., Ilienکو, T., Kuchma, T., Novakovska, I. (2019). Satellite agroecological monitoring within the system of sustainable environmental management. *Agricultural science and practice*, 6 (1), 18–27. DOI:10.15407/agrisp6.01.018 [in English].
8. Tarariko, O.H., Syrotenko, O.V., Ilienکو, T.V., Kuchma, T.L. (2019). *Ahroekologichnyy suputnykovyy monitoring: a monograph*. Kyiv: Ahrarna nauka. DOI: 10.5281/zenodo.3492936 [in Ukrainian].
9. Kuchma, T.L., Tomchenko, O.V. (2019). Otsinka ekosystemnykh posluh vodno-bolotnykh uhid za danymy dystantsiynoho zonduvannya Zemli [Assessment of wetland ecosystem services based on Earth remote sensing data]. *Ecological safety and balanced nature management in agro-industrial production '19: Materialy Mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi (Kyiv, 3–5 lyupnya 2019 r – Ecological safety and balanced nature management in agro-industrial production. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference (Kyiv, July 3-5, 2019)*. (pp. 147–151). Kyiv: DIA [in Ukrainian].
10. Biophysical mapping and assessment methods for ecosystem services. Deliverable D3.3 EU Horizon 2020 ESERALDA Project, Grant agreement No. 642007. (2018). <http://www.esmeralda-project.eu>. Retrieved from http://www.esmeralda-project.eu/getatt.php?filename=ESMERALDA%20D3.3_14966.pdf [in English].
11. Alyoshkina, U.M., Zhovtenko, A.A., Vyshenska, I.G. et al. (2011). Akumulyatsiya vuhletsyu lisovymy ekosystemamy: (na prykladi modelnykh dilyanok u zakaznyku «Lisnyky», m. Kyiv) [Carbon accumulation by forest ecosystems: (on the example of model sites in the Foresters reserve, Kyiv)]. *Naukovi zapysky NaUKMA – NaUKMA Scientific Notes*, 119, 52–55 [in Ukrainian].
12. Buchhorn, M., Smets, B., Bertels, L. et al. (2019). *Copernicus Global Land Service: Land Cover 100m: epoch 2015: Globe. Dataset of the global component of the Copernicus Land Monitoring Service*. DOI 10.5281/zenodo.3243509 [in English].

Стаття надійшла до редакції журналу 26.10.2019