

Використання гіс-технологій та даних космічної зйомки для аналізу динаміки площ лісового фонду (на прикладі ДП «Костопільське лісове господарство»)

<https://doi.org/10.31713/MCIT.2025.133>

Юрій Іванов

Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, Україна
yu.v.ivanov@nuwm.edu.ua

Наталія Ковальчук

Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, Україна
n.s.kovalchuk@nuwm.edu.ua

Зінаїда Буднік

Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, Україна
z.m.budnik@nuwm.edu.ua

Анотація – У роботі розглянуто особливості застосування геоінформаційних технологій (ГІС) і даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) для аналізу динаміки площ лісового фонду на прикладі ДП «Костопільське лісове господарство». Використано супутникові знімки та глобальні набори даних Global Forest Change для визначення змін у вкритих і неvkритих лісовою рослинністю ділянках у період 2000–2024 рр. Отримані результати підтверджують високу ефективність використання ГІС для моніторингу лісових екосистем і створення актуальних картографічних матеріалів.

Ключові слова – дистанційне зондування Землі, ГІС, моніторинг лісів, Global Forest Change, супутникові знімки, Рівненська область

I. ВСТУП

Лісові екосистеми є важливою складовою природного середовища України, виконуючи численні екологічні, економічні та кліматорегулюючі функції. Для ефективного управління лісовими ресурсами необхідне отримання достовірної, актуальної та систематизованої інформації про стан лісового покриву.

Традиційні методи лісовпорядкування, засновані на польових обстеженнях, мають значні часові та фінансові витрати. Тому у сучасних умовах актуальним є впровадження геоінформаційних систем (ГІС) і даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), які забезпечують комплексну оцінку лісових територій із високою просторовою точністю [1, 2].

Лісові екосистеми Рівненської області є важливим компонентом природного середовища, що забезпечує стабільність кліматичних процесів, регуляцію водного балансу та підтримання біорізноманіття. На території області лісистість

становить близько 42 %, а значна частина площ припадає на соснові насадження Полісся, які особливо вразливі до змін клімату, пожеж і деградаційних процесів.

У сучасних умовах традиційні методи лісообліку та польових обстежень не завжди дозволяють оперативно отримувати актуальні дані про стан насаджень. Тому актуальним є впровадження геоінформаційних технологій (ГІС) та даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), які забезпечують комплексну просторово-часову оцінку стану лісів [3, 4].

Для проведення моніторингу використовувалися супутникові знімки Sentinel-2 та Landsat 8, доступні через платформи Google Earth Engine та Copernicus Open Access Hub. Обробка даних здійснювалася в середовищах QGIS та ArcGIS Pro.

Для оцінювання стану рослинності застосовано індекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), який дозволяє визначати ступінь життєздатності рослинного покриву, а також індекс NBR (Normalized Burn Ratio) для виявлення ділянок, уражених пожежами.

II. ВИКЛАДОСНОВНОГОМАТЕРІАЛУ

Метою дослідження є встановлення динаміки площі лісових насаджень на території ДП «Костопільське лісове господарство» за допомогою супутникових даних.

Основні завдання:

- узагальнення сучасних методів дистанційного зондування Землі для моніторингу лісів;
- аналіз можливостей використання наборів даних Global Forest Change;

Modeling, control and information technologies – 2025

- створення картографічних матеріалів лісового покриття підприємства;
- оцінка точності отриманих карт та побудова довірчих інтервалів динаміки площ лісів.

Об'єктом дослідження є лісові насадження ДП «Костопільське лісове господарство», розташованого в центральній частині Рівненської області. Підприємство охоплює сім лісництв загальною площею 37 964 га.

У роботі використано такі джерела даних:

- супутникові знімки систем Landsat 8, Sentinel-2;
- глобальний набір даних Global Forest Change (GFC);
- базові картографічні дані OpenStreetMap;
- середовище Google Earth Engine та QGIS для обробки та візуалізації результатів.

Дешифрування зображень виконувалося методом порогової класифікації із порогом зімкнутості деревостанів 40 %, що відповідає повноті насаджень 0,3 для умов Полісся України.

Створення картографічних матеріалів лісового покриття виконувалось в середовищах Google Engine API та QGIS. Взвзявши до уваги такий факт, що кінцевим картографічним матеріалам можуть бути властиві помилки, їх було відфільтровано, врахувавши мінімальну величину площу лісових насаджень (0,1га). Оперуючи цим з карти видалили поодинокі групи пікселів.

На рис. 1 зображено карту лісів ДП «Костопільське ЛГ», що була отримана за даними набору даних GFC.

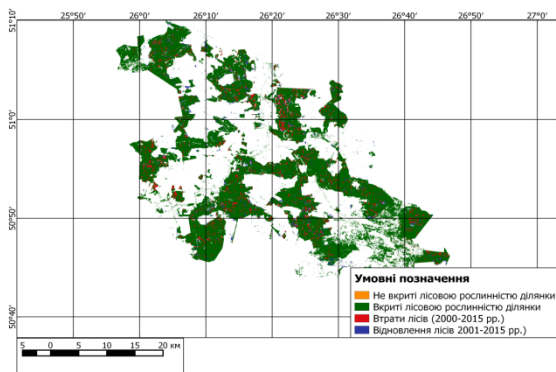


Рис. 1. Карта, що відображає зміни лісового покриття ДП «Костопільське ЛГ»

Для порівняння дану карту було накладено на знімки OpenStreetMap. Звідси видно, що вони добре узгоджені між собою (рис. 2)

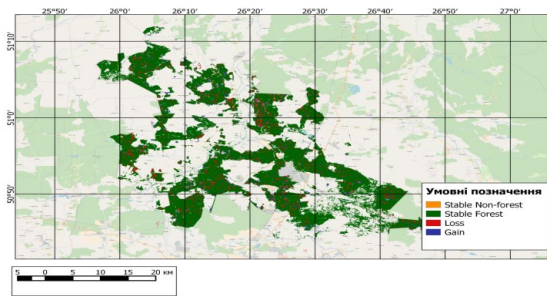


Рис. 2. Тематична карта змін лісового покриття, що накладена на знімки OpenStreetMap

Вищенаведені програмні продукти дають змогу розрахувати площу лісового покриття зони діяльності підприємства. Для цієї мети потрібно створити «лісову маску», при цьому віднявши від вже одержаної карти страти loss та gain. На рис. 3 представлено «лісову маску» ДП «Костопільське ЛГ».

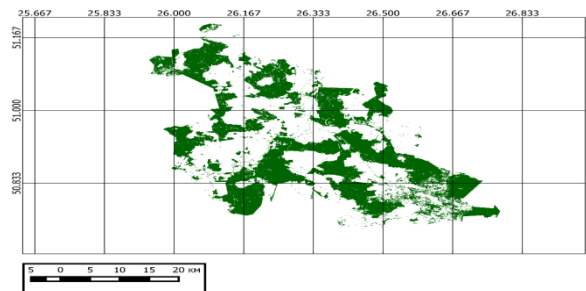


Рис. 3. Карта лісового покриття досліджуваної території

Часові серії знімків Google Earth суттєво змінили та спростили процес візуального дешифрування породного складу лісових насаджень. Звідси листяні насадження найкраще ідентифікуються опираючись на аналіз знімків, які отримані на протязі періоду вегетації та осіннього чи зимового сезонів, тобто тоді коли вони знаходяться в без листяному стані. Приклад збору опорної інформації наведено на рис.4.

Під час інтерпретації даних приймалося, що кожна вибіркова одиниця являє собою центр ділянки, площею 0,1 га на місцевості. Прийняття рішення про віднесення ділянки до тої чи іншої категорії було на основі положення її центру, а зімкнутість насаджень – відповідно за співвідношенням між кількостями точок сітки, що потрапили на крони та їхньою загальною кількістю для вибіркової одиниці (рис. 4).

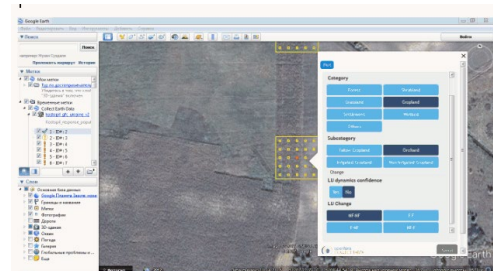


Рис. 4. Дешифрування вибірових одиниць за допомогою програмних продуктів Collect Earth та Google Earth

Кількість вибірових одиниць в адміністративному районі становить 965 спостережень. Лісові насадження становлять 460 спостережень (47,7% від загального обсягу). З них 270 спостережень представляють хвойні насадження, 79 – листяні, 107 – мішані.

Оцінка точності тематичних карт полягає у порівнянні картографічних результатів категорій земного покриття з опорними даними, які були одержані статистичними методами. Звісно, що найточнішими є дані, які зібрані наземними методами, проте більш практично використовувати результати візуального дешифрування знімків, в порівнянні з результатами тематичної обробки.

Основою в оцінці точності карт є побудова матриці помилок. Вона дозволяє визначити ступінь узгодженості між класифікованими та фактичними даними. Ідеальним варіантом являється, коли опорні дані такої хорошої якості, аби їхні дані повністю узгоджувались з наземними даними. Проте інформації опорних даних властива невизначеність, що підлягає додатковій оцінці на основі розрахунку матриці помилок.

Основні показники точності, які отримують з матриці помилок, представлено в таблиці 1.

Таблиця 1
Показники точності класифікації при ймовірності 0,95

Показники точності	Producer's accuracy	Довірчий інтервал Producer's	User accuracy	Довірчий інтервал User accuracy	Overall accuracy	Довірчий інтервал Overall
Ліс (F-F)	0,892	±0,029	0,925	±0,028	0,911	±0,019
Втрати лісів (F-NF)	0,759	±0,133	0,765	±0,083	NA	NA
Відновлення (NF-F)	0,364	±0,091	0,916	±0,056	NA	NA
Не ліс (NF-NF)	0,987	±0,01	0,909	±0,028	NA	NA

Даючи оцінку створеній карті, можна сказати, що для таких класів, як «Ліс» (F-F), відновлення (NF-F) і «Не ліс» (NF-NF), карта оцінює з досить високою точністю. Тобто 92,5% віднесених одиниць вибірки до класу «Ліс» і справді є лісом, з невеликою помилкою точності, що становить $\pm 2,8\%$. Тобто площа ділянок вкритих лісовою рослинністю становить $63699,7 \pm 2644,8$ га. Відновлення відбулося на площі $6687,1 \pm 1663,2$ га і не лісові площі становлять $73902,4 \pm 2341,5$ га. Що свідчить про те, що дані можна використовувати для картографічної основи про ліси досліджуваного регіону.

Однак для такого класу, як «Втрата лісів» (F-NF) точність є дещо нижчою і відповідно до розрахунків становить 76,5%. Тобто карта дещо гірше відображає процес втрати лісів. Проте частка втрат лісу від загальної площі становить не значну долю, а саме $5310,8 \pm 1020,8$ га, то можна дійти висновку, що на загальну точність карти це

має не значний вплив. В цілому ж точність даної карти становить 87,9%. А отже, таку карту можна брати до уваги та використовувати для моніторингу лісового покриття зони діяльності підприємства. На основі розрахунків було визначено лісистість ділянок території в зоні діяльності підприємства (табл. 2).

Таблиця 2

Показники лісистості території

Тематичні класи	Фактична частка площі	Скоригована частка площі	Помилка частки площі (p=0,95)
Ліс(F-F)	0,4105	0,4258	0,0177
Втрати лісу (F-NF)	0,0353	0,0355	0,0068
Відновлення (NF-F)	0,0178	0,0447	0,0111
Не ліс (NF-NF)	0,5364	0,4940	0,0157

Запроєктований у роботі метод дозволяє оперативнo виконувати аналіз динаміки лісового покриття. Так, з використанням стратифікованої вибірки та візуального дешифрування опорних даних дозволяє здійснити інтервальне оцінювання площі окремих тематичних класів і встановити фактичну лісистість регіону.

Застосування наборів Global Forest Change дозволило оперативнo оцінити динаміку площ лісових насаджень без залучення дорогих польових досліджень. Супутникові дані є відкритими, безкоштовними і доступними для широкого кола користувачів, що створює умови для формування єдиної цифрової екосистеми моніторингу лісів України.

Серед основних переваг використання ГІС у лісовому господарстві можна виділити:

- автоматизацію збору й аналізу просторових даних;
- можливість поєднання супутникових і польових спостережень;
- створення інтерактивних картографічних ресурсів;
- підвищення точності управлінських рішень у сфері лісокористування.

Використання середовища Google Earth Engine спрощує обробку великих обсягів супутникової інформації та дозволяє візуалізувати зміни у часових рядах. У поєднанні зі статистичними пакетами системи R це відкриває перспективи для моделювання та прогнозування тенденцій у розвитку лісових екосистем.

III. ВИСНОВКИ

У дослідженні підтверджено ефективність використання геоінформаційних технологій (ГІС) та даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) для аналізу динаміки площ лісового фонду на прикладі ДП «Костопільське лісове

господарство». Отримані результати засвідчили, що методи супутникового моніторингу дають можливість оперативно та з високою точністю оцінювати зміни лісового покриття.

Аналіз наборів даних Global Forest Change у поєднанні з супутниковими знімками Sentinel-2 та Landsat 8 дозволив визначити просторово-часові тенденції втрат і відновлення лісів у період 2000–2024 рр. Встановлено, що площа вкритих лісовою рослинністю територій становить 63,7 тис. га, а частка втрат лісів — близько 5,3 тис. га. Відновлення лісових насаджень зафіксовано на площі 6,7 тис. га, що свідчить про поступове збільшення загальної лісистості регіону.

Оцінка точності тематичної класифікації показала, що загальна точність карти становить 87,9 %, що є прийнятним для регіонального моніторингу.

Найвищу точність продемонстрували класи «Ліс» і «Не ліс», що забезпечує надійну основу для подальшого використання цих картографічних матеріалів у практиці лісового господарства.

Запропонований підхід до моніторингу лісових територій може бути застосований для оперативного оцінювання динаміки лісового покриття в інших регіонах України. Його перевагами є доступність вихідних даних, автоматизація процесів аналізу, зменшення потреби у дорогих польових роботах та можливість інтеграції результатів у національні системи екологічного моніторингу.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на поєднання даних дистанційного зондування з результатами наземних обстежень, удосконалення алгоритмів автоматичної класифікації супутникових зображень та створення єдиної геоінформаційної платформи для моніторингу стану лісових екосистем України.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Жолобак Г. М. Вітчизняний досвід супутникового моніторингу лісових масивів України. Космічна наука і технологія. 2010. С.46-54.
- [2] Лесів М. Ю., Щепашенко Д. Г., Швиденко А. З., Бунь Р. А. Побудова карти лісів України за даними глобальних цифрових карт земельного покриття. Наук. вісн. НЛТУ України, 2012. Вип. 22.9. С. 24–30.
- [3] Миклуш С. І. Горошко М. П., Часковський О. Г. Геоінформаційні системи в лісовому господарстві. Навчальний посібник. Львів: НЛТУ України, 2006. 128 с.
- [4] МIRONIUK B. B., Білоус А. М. Узгодженість оцінок площі лісів за даними глобальної карти змін лісового покриття і мультиспектральних супутникових знімків. Науковий вісник НЛТУ України, 2017, т. 27, № 5. 9 с.
- [5] Breiman, L. (2001). Random Forest. Machine Learning, 45(1), 5–32.
- [6] Congalton R. (2008). Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices. NY.
- [7] Hansen, M. C. et al. (2013). High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. Science, 342(6160), 850–853.
- [8] Gougeon F. A. (2006). The individual tree crown approach applied to Ikonos images of a coniferous plantation area. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 72(11), 1287–1297.

- [9] Державне агентство лісових ресурсів України (2023). Звіт про стан лісів Рівненської області.