

ТЕОРІЯ І ПРАКТИКА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

УДК 630*53/*58

АНАЛІЗ ТА ІНТЕРПРЕТАЦІЯ КАРТИ ВИСОКОГО ПРОСТОРОВОГО РОЗРІЗНЕННЯ ЛІСОВИХ ЕКОСИСТЕМ ПОЛІССЯ УКРАЇНИ

П.І. Лакида

*доктор сільськогосподарських наук, професор
директор ННІ лісового та садово-паркового господарства*

В.В. Миронюк

кандидат сільськогосподарських наук, доцент

Д.В. Гілігуха*

здобувач, молодший науковий співробітник

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Узагальнено сучасні тенденції використання супутникових знімків з метою картографування лісового покриву. Вивчено співвідношення між зімкнутістю намету деревостанів та результатами її оцінки за даними глобальної карти лісів. Обґрунтовано передумови використання цієї карти в умовах Полісся України.

Ключові слова: дані ДЗЗ, глобальна карта лісів, зімкнутість лісового намету, Полісся України.

Перед світовою спільнотою гостро стоїть завдання забезпечити сталий розвиток людства. Одна з важливих складових цієї проблеми — раціональне і збалансоване використання лісових ресурсів, збереження їхньої стійкості та продуктивності. Результативність та ефективність здійснення такого кроку істотно залежать від забезпеченості просторовою та актуальною інформацією про ліси. У цьому випадку дані дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) відіграють важливу роль для отримання достовірної та актуальної інформації про зміни в лісовому покриві.

Ефективність застосування даних ДЗЗ залежить від точності тематичного дешифрування та достовірності інтерпретації отриманих результатів. Практично вільний доступ до супутникових даних та розширення кола фахівців зумовлює необхідність накопичення практичного досвіду щодо кваліфікованого лісівничого та лісотаксаційного аналізу супутникової інформації з урахуванням визначених потреб. Останнім часом звертається увага на переваги картографування лісового покриву за допомогою неперервних даних супутникової зйомки, оскільки традиційні методи дискретної класифікації не можуть відтворити мозаїчності лісового покриву, яка історично склалася вна-

слідок антропогенної діяльності. Основна увага при цьому традиційно відводиться супутникам, що забезпечують мультиспектральну зйомку та широке охоплення території.

Починаючи з 1978 р., єдиним джерелом інформації про природні ресурси на глобальному рівні були супутникові знімки, зроблені радіометром AVHRR із просторовим розрізненням близько 1 км. Після запуску на орбіту в 1999 р. супутника Terra та в 2002 р. супутника Aqua з можливістю щоденного моніторингу земної поверхні активізувалися дослідження, спрямовані на розроблення методів аналізу рослинного покриву. Так, одним із важливих, з точки зору моніторингу рослинного покриву, було створення продукту MOD44B — Vegetation Continuous Fields, що відображає у відсотках для кожного пікселя площу, яку займають трав'янисті та деревні рослини, а також площу, не вкриту рослинністю. Використання набору даних MOD44B дає змогу представити картографічну інформацію в неперервній формі. В основу алгоритму створення цього продукту покладено класифікацію супутникових знімків за 16-денний період, що в поєднанні з невисоким просторовим розрізненням задовольняє вимоги моніторингу лісів на регіональному та глобальному рівнях. За такого підходу можна краще відобразити гетерогенність земної поверхні та відслідкувати динаміку рослинного покриву навіть у масштабі, що не перевищує

*Науковий керівник — доктор сільськогосподарських наук, професор П.І. Лакида.

500 м [9]. Особливо це стосується космічних знімків середнього та низького просторового розрізнення, для яких відчутна проблема усереднення спектральної інформації про різні об'єкти земного покриття в межах розрізнення пікселя. Зазначене підтверджують численні дослідження, виконані на території країн Африки, США та Канади [6, 9].

Серед доступних на сучасному етапі матеріалів космічної зйомки середнього просторового розрізнення важливу роль відіграють знімки, зроблені серією супутників Landsat. Використання цих даних для моніторингу лісів на регіональному рівні тривалий час було обмежене через високу вартість знімків. Починаючи з 2008 р., Геологічна Служба США (USGS) установила нову політику в сфері доступу до архіву даних Landsat. Відтоді існує можливість безкоштовного завантаження знімків із спеціального сервісу [5]. Завдяки цій обставині істотно активізувалося дослідження щодо розроблення алгоритмів автоматизованого оброблення наборів даних Landsat і розширилися можливості дистанційного моніторингу лісових ресурсів не тільки на глобальному та регіональному рівнях, а й локальному [4, 7, 8].

У 2013 р. в Мерілендському університеті (США) група дослідників під керівництвом М.С. Hansen розробила глобальну карту змін лісового покриття у високому розрізненні (High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change) на основі даних Landsat-5 TM та Landsat-7 ETM+, яка відображає динаміку лісового покриття з 2000 по 2012 р. Нині вона знаходиться у вільному доступі та, на думку авторів, повинна стати основою для глобального моніторингу лісових ресурсів [7]. Досить високе просторове розрізнення (30 м) робить цей продукт також цінним для проведення аналогічних досліджень на локальному та регіональному рівнях, у тому числі для картографування лісів України. Особливістю глобальної карти лісів є представлення лісового покриття за відсотком зімкнутості намету. Сам автор рекомендує лісом вважати територію із зімкнутістю деревної рослинності понад 25 %. З нашої точки зору, такі дані потребують інтерпретації для кожної природно-кліматичної зони та встановлення мінімального відсотка зімкнутості намету, який можна вважати лісом.

Мета цієї статті полягає в детальному аналізі глобальної карти лісів високого просторового розрізнення та її інтерпретації для різноповнотних насаджень зони Полісся України, а також визначення можливості її практичного використання.

Основна частина матеріалу була завантажена із сервера Мерілендського університету

та представлена такими продуктами: дані про зімкнутість намету деревної рослинності станом на 2000 р. у формі неперервного зображення, із значеннями вихідного растру від 0 до 100 % (*treecover* 2000); карта з інформацією про втрати лісів (будь-яка форма перетворення вкритих лісовою рослинністю ділянок на непокриті за кожен рік) у період з 2000 по 2012 р. (*lossyear*); аналогічна інформація про збільшення площі лісів для зазначеного періоду (*gain*).

Використано також супутникові знімки GeoEye-1 (дата зйомки 25 квітня 2009 р.) і QuickBird (дата зйомки 20 квітня 2009 р.), які охоплюють частину лісових масивів зеленої зони м. Києва. Зокрема, перший із них покриває територію Святошинського лісопаркового господарства КО «Київзеленбуд», а другий — ВП НУБіП України «Боярська ЛДС». Після поєднання каналів видимого і ближнього інфрачервоного діапазону та виконання процедури просторового поліпшення (*pan-sharpening*) отримано мультиспектральний знімок GeoEye-1 із просторовим розрізненням 0,5 м. За аналогічною методикою отримано знімок QuickBird з просторовим розрізненням 0,6 м. З метою аналізу відповідності зімкнутості лісового намету за даними карти лісів М. С. Hansen та повноти насаджень залучено цифрові картографічні й атрибутивні дані шести лісогосподарських підприємств, що рівномірно покривають дослідну територію (Рівненська область: ДП «Володимирецьке ЛГ», ДП «Сарненське ЛГ»; Житомирська область: ДП «Словечанське ЛГ», ДП «Баранівське ЛМГ»; Київська область: ВП НУБіП України «Боярська ЛДС»; Чернігівська область: ДП «Остерське ЛГ»). Загалом після верифікації даних для аналізу відібрано 56 296 виділів.

Створення актуалізованої карти лісів для території Полісся України станом на 2010 р. здійснено на основі оновлення продукту *treecover* 2000, де були враховані втрати лісового покриття тільки до 2010 р. (тобто ці пікселі були виключені) та додано інформацію про збільшення площі лісів з продукту *gain*, умовно прийнявши їх зімкнутість за 30 % (рис. 1).

Оброблення та узагальнення дослідних даних здійснено методами математичної статистики. Зокрема, для розрахунку реальної зімкнутості насаджень розраховано вегетаційний індекс *NDVI* та використано інструменти геопросторового аналізу програмного комплексу ArcGis 10.x.

Під час картографування лісового покриття за даними ДЗЗ досить проблематичною стала інтерпретація поняття «ліс», адже при цьому неможливо опиратися на загальноприйняті в системі лісовпорядкування критерії,

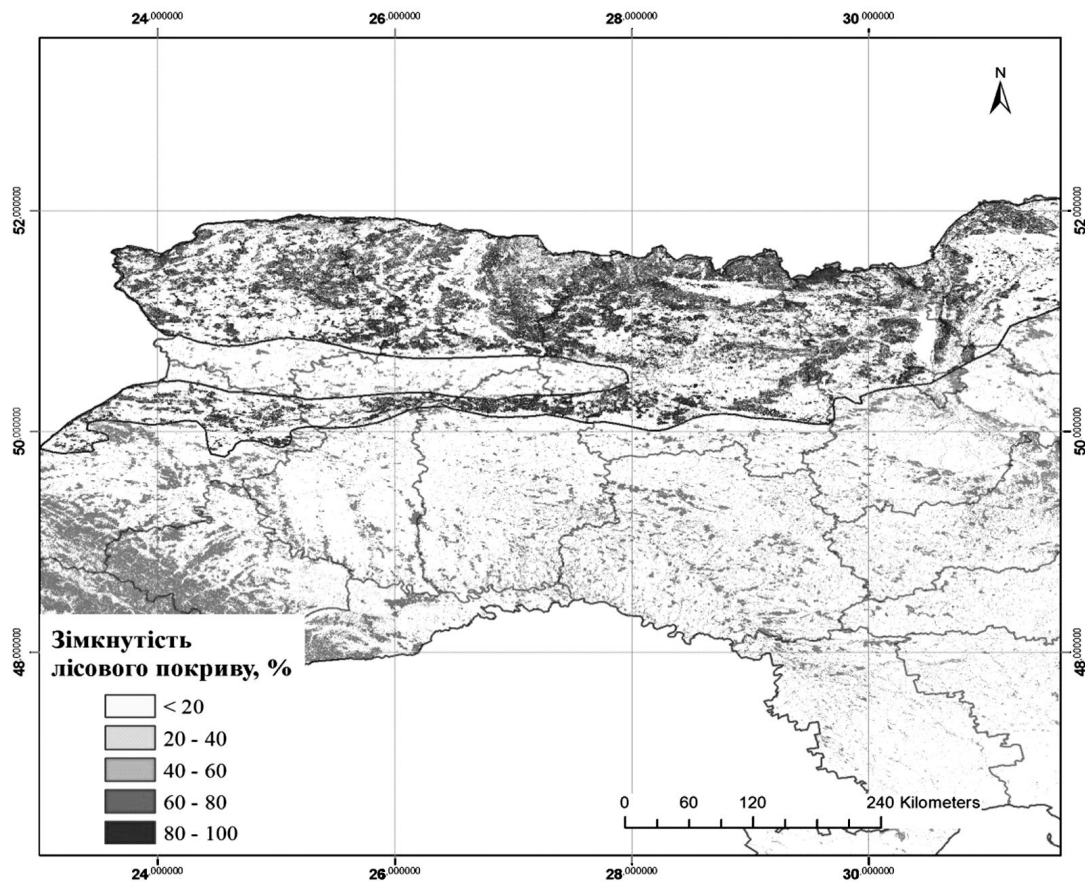


Рис. 1. Карта зімкнутості намету деревостанів на прикладі Правобережного Полісся України станом на 2010 рік

такі як повнота насаджень, категорія земель тощо. У більшості випадків доводиться оперувати лише показниками, які можуть бути визначені дешифруванням космічних знімків. Так, під час створення глобальної карти лісів М.С. Hansen до категорії вкритих лісовою рослинністю лісових ділянок потрапила вся деревна рослинність заввишки 5 м і більше, яка на місцевості займає понад 25 % площі одного пікселя космічного знімка [7]. Таке граничне значення вчені пояснюють практичною можливістю виявити лісові насадження на основі ступеня зімкнутості їхнього намету за допомогою знімків Landsat [4]. Проте варто враховувати, що зімкнутість намету в основному продукт глобальної карти лісів розрахована станом на 2000 рік, а зміни в лісовому покриві відображені в окремих продуктах. У зв'язку з цим з метою картографування лісового покриву в умова Полісся України варто статистично обґрунтувати, наскільки точно глобальна карта лісів високого просторового розрізнення відображає реальну зімкнутість деревостанів.

Аналізуючи продукт лісовідновлення було помічено, що зміни представлені не тільки для

територій, де раніше не було лісу, й для ділянок, де суттєво збільшилася зімкнутість намету (особливо це характерно для насаджень станом на 2000 рік, у яких цей показник становив менше ніж 25 %. Детально вивчивши методику створення карти лісового покриву, ми припускаємо, що в продукті лісовідновлення (*gain*) можуть не враховуватися насадження, вік яких станом на 2012 р. становив менше ніж 5 років. Це цілком логічно, адже такі насадження могли не досягти мінімальної зімкнутості намету, якщо їх вдається виокремити за даними ДЗЗ серед іншої рослинності, а також їхня висота становить менше ніж 5 м.

Відповідно до існуючого досвіду [1–3], оцінити ступінь зімкнутості деревної рослинності можна за допомогою попередньо створеної цифрової «маски намету». Для цього використано космічні знімки GeoEye-1 та QuickBird, які цілком придатні для контурного дешифрування намету деревостанів, оскільки їхнє просторове розрізнення не перевищує 1 м.

Найпростіше відокремити зелену рослинність від інших типів земного покриву вдається за співвідношенням даних червоного та

інфрачервоного діапазонів спектра. Саме тому завдання вирішено шляхом розрахунку вегетаційного індексу *NDVI* [2] та експертної класифікації синтезованого індексного зображення. За суттю, завдання полягало в перетворенні вихідного мультиспектрального зображення в бінарне із двома значеннями: 1 — намет деревостану, 0 — прогалени. Поодиноких пікселів, які додають зображенню «шум» та створюють нехарактерні для лісових насаджень контури, позбулися за допомогою фільтра *majority* з розміром вікна 7×7 пікселів. Далі для кожної комірки растру, що відповідає на місцевості

одному пікселю глобальної карти лісів високого просторового розрізнення (*treecover2000*) [7], за допомогою інструментів геопросторового аналізу програмного комплексу *ArcGis 10.x* розраховано відсоток зімкнутості деревної рослинності.

Наведена на рис. 2 інформація вказує на існування досить тісного зв'язку між даними визначення зімкнутості насаджень за різними підходами (коефіцієнт кореляції, розрахований на підставі 4241 спостережень, становить 0,73). Крім того, важливі висновки можна зробити на підставі розробленої математичної моделі:

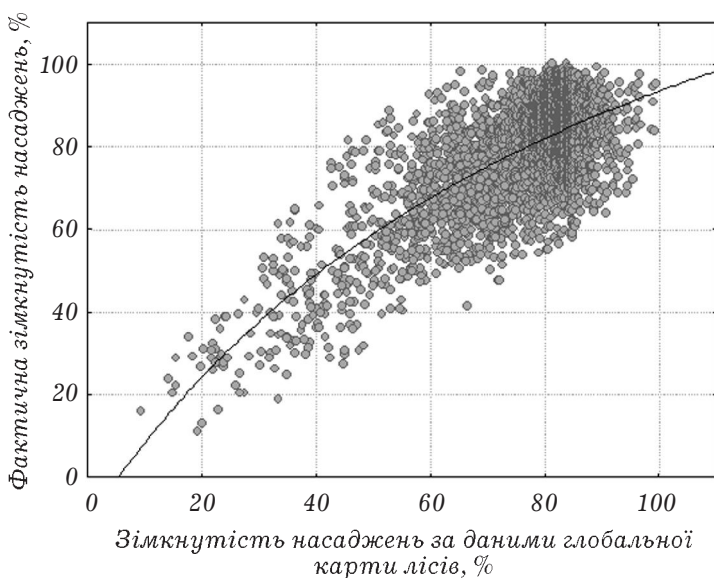


Рис. 2. Співвідношення між зімкнутістю намету деревостанів та результатами її оцінки за даними глобальної карти лісів

$$y = 195,4 - \frac{20197}{x + 97,97}, \quad (1)$$

де *y* — фактична зімкнутість намету деревостанів, %; *x* — зімкнутість деревного покриву за даними глобальної карти лісів, %.

Одержані дані свідчать, що значення зімкнутості намету деревної рослинності, яке становить 25 % і для глобальної карти лісів є критерієм для віднесення пікселя до категорії «ліс», є дещо вищим і становить близько 30 %. Цю особливість можна пояснити тим, що базова карта відображає лісовий покрив станом на 2000 рік, а також імовірними помилками інтерпретації вкритих лісовою рослинністю лісових ділянок для конкретного регіону досліджень.

Грунтовніші висновки про можливість використання глобальної карти лісів із метою картографування лісів України були зроблені на підставі аналізу співвідношення між повнотою насаджень та значенням зімкнутості їхнього намету в межах таксаційних виділів. Аналіз проводився в низькоповнотних насадженнях (відібрано 5348 виділів з повнотою 0,3–0,5) для встановлення граничного мінімального значення зімкнутості намету при ймовірності 95 %, що відповідає вкритим лісовою рослинністю ділянкам. Це дало змогу отримати усереднені показники щодо ступеня зімкнутості насаджень, які можуть бути об'єктивним критерієм для виділення вкритих лісовою рослинністю лісових ділянок (з повнотою 0,3) від інших категорій земного покриву (рис. 3).

Характеризуючи розподіл мінімального значення зімкнутості насаджень, бачимо суттєву відмінність

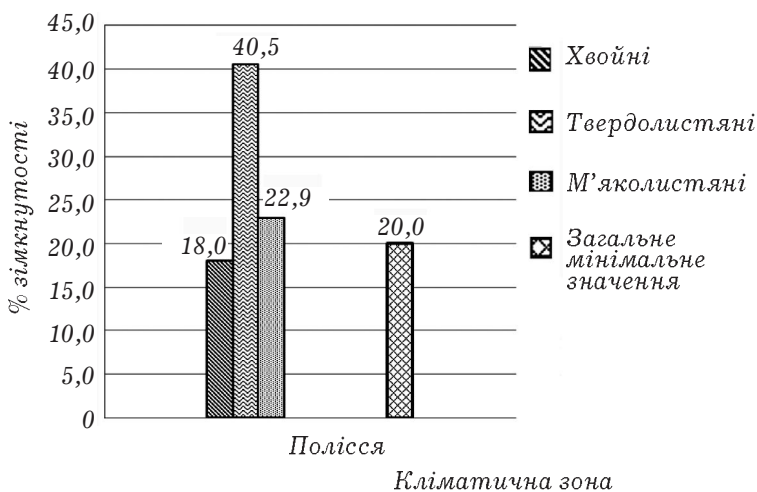


Рис. 3. Розподіл мінімального значення зімкнутості намету деревостанів за групами деревних порід Полісся України

між хвойними та листяними деревостанами. Особливо це помітно для частки твердолистяних насаджень, мінімальний відсоток зімкнутості яких значно перевищує загальне значення. Насамперед варто зазначити, що хвойні насадження найбільше представлені в цьому регіоні, в той час як частка твердолистяних незначна. Загальне мінімальне значення зімкнутості (20 %) за даними глобальної карти лісів визначалося з урахуванням усього масиву даних; воно відповідає зімкнутості в 25 % за реальними даними, що підтверджується на рис. 2.

Враховуючи зазначене, для практичного використання в умовах території Полісся України варто використовувати граничне значення ступеня зімкнутості намету деревної рослинності на рівні 20 %.

ВИСНОВКИ

У статті подано детальний аналіз та інтерпретацію глобальної карти лісів високого просторового розрізнення, яка в сучасних умовах може стати одним з невід'ємних джерел інформації про лісові ресурси на глобальному та локальному рівнях. За результатами оброблення космічних знімків надвисокого просторового розрізнення QuickBird і GeoEye-1 виявлено залежність фактичної зімкнутості намету деревостанів порівняно з даними глобальної карти лісів. На підставі цього можна стверджувати, що розроблений науковцями Мерілендського університету продукт характеризується досить високою точністю і дає можливість виконувати картографування лісів на території Полісся України. Зокрема встановлено, що насадження характеризуються досить стійким ступенем зімкнутості намету в межах одного пікселя Landsat, мінімальне значення якого становить 20 %. Використані в роботі підходи є основою для встановлення лісистості території.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. *Гілітуха Д.В.* Параметрична структура соснових деревостанів за даними супутникових знімків надвисокого просторового розрізнення / Д.В. Гілітуха, П.І. Лакида // Збалансоване природокористування. — 2014. — № 1. — С. 32–36.
2. *Гілітуха Д.В.* Удосконалення технологій таксаційної дешифрування супутникових знімків високого просторового розрізнення / Д.В. Гілітуха, В.В. Миронюк // Наук. доповіді Нац. ун-ту біоресурсів і природокористування України. — 2012. — № 7 (36) [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://nd.nubip.edu.ua>
3. *Гірс О.А.* Розпізнавання лісопаркових ландшафтів зеленої зони м. Києва за даними ДЗЗ / О.А. Гірс, В.В. Миронюк, М.М. Кутя // Наук. доповіді Нац. ун-ту біоресурсів і природокористування України. — 2012. — № 7 (36). — <http://www.nbu.gov.ua>
4. Forest cover change within the Russian European North after the breakdown of Soviet Union (1990–2005) / P. Potapov, S. Turubanova, I. Zhuravleva et al. // International Journal of Forest Research. — 2012. — Vol. 2012. — pp. 1–11.
5. Free access to Landsat imagery / C.E. Woodcock, R. Allen, M. Anderson et al. // Science. — 2008. — vol. 320. — pp. 1011.
6. Global percent tree cover spatial resolution of 500 meters: first results of the MODIS Vegetation Continuous Fields algorithm / M.C. Hansen, R.S. DeFries, J.R.G. Townshend et al. // Earth Interactions. — 2003. — vol. 7. — pp. 1–15.
7. High-resolution global maps of 21st-century forest cover change / M.C. Hansen, P.V. Potapov, R. Moore // Science. — 2013. — vol. 342. — pp. 850–853.
8. *Potapov P.* Regional scale boreal forest cover and change mapping using Landsat data composites for European Russia / P. Potapov, S. Turubanova, M.C. Hansen // Remote Sensing of Environment. — 2011. — vol. 115. — pp. 548–561.
9. Towards an operational MODIS continuous field of percent tree cover algorithm: examples using AVHRR and MODIS data / M.C. Hansen, R.S. DeFries, J. R.G. Townshend // Remote Sensing of Environment. — 2002. — Vol. 83. — pp. 303–319.