

СУЧАСНІ МЕТОДИ ОЦІНКИ ТАКСАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ ЛІСОВИХ НАСАДЖЕНЬ НА ОСНОВІ ДЕШИФРУВАННЯ КОСМІЧНИХ ЗНІМКІВ

В.В. Миронюк, кандидат сільськогосподарських наук

Узагальнено підходи щодо використання даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) для визначення основних лісівничо-таксаційних показників насаджень. Проаналізовано існуючі методики таксаційного дешифрування космічних знімків та визначено особливості їхнього використання для різних об'єктів.

Дані ДЗЗ, лісотаксаційне дешифрування, класифікація знімків, таксаційні показники насаджень.

Дані дистанційного зондування Землі відіграють важливу роль у вдосконаленні методів інвентаризації лісових ресурсів, у зв'язку з чим, увага до них постійно зростає. Дешифрування матеріалів аерокосмічної зйомки для задач лісового господарства традиційно здійснюється візуальними і візуально-інструментальними методами. У сучасних умовах методологія обробки даних ДЗЗ повинна бути спрямована на одержання кінцевої інформації в цифровому форматі за допомогою спеціальних програм, які забезпечують виконання як аналітично-вимірального дешифрування, так і автоматизованої класифікації зображень.

Матеріали аерокосмічної зйомки є технічною основою лісоінвентаризаційних робіт і одним із визначальних факторів точності таксації лісового фонду. Методи їх обробки можна згрупувати у два великі напрями: контурне та лісотаксаційне дешифрування аерофотознімків; тематичне картографування лісових насаджень на основі комп'ютерної класифікації матеріалів космічної зйомки. У зв'язку з цим, В.І. Сухих зі співавторами [4] звертає увагу на те, що на сучасному етапі основним методом дешифрування цифрових космічних знімків є інтерактивний, який поєднує у собі знання та досвід фахівця і можливості комп'ютерних технологій.

Удосконалення систем аерокосмічного моніторингу сприяє активному науковому пошуку ефективних методів оцінки лісівничо-таксаційних показників лісових насаджень на основі даних ДЗЗ. Особливо активно в сучасних умовах розвиваються підходи, які дозволяють визначити вік, висоту, діаметр дерев, густоту, запас та інші показники насаджень на основі матеріалів мультиспектральної супутникової зйомки високого просторового розрізнення. Цей напрям наукових досліджень становить значний інтерес з точки зору подальшого розвитку методів лісової таксації, а поява численних публікації стосовно цього питання зумовлює необхідність їхнього аналізу та узагальнення.

Мета дослідження – аналіз та узагальнення основних напрямів використання космічних знімків для оцінки біометричних показників дерев і таксаційної характеристики насаджень.

Матеріали та методика дослідження. Методика роботи ґрунтується на науковому аналізі сучасних методичних принципів обробки матеріалів космічної зйомки та результатів їхнього застосування на прикладі різноманітних лісових об'єктів за даними низки вітчизняних і зарубіжних досліджень.

Результати дослідження. Залежно від специфіки задач сформувалися різні методичні принципи лісотаксаційного дешифрування даних ДЗЗ. Особливості їхньої обробки цілком залежать від параметрів знімальної системи (просторове, спектральне, радіометричне розрізнення), які дозволяють встановити взаємозв'язок між окремими таксаційними характеристиками насаджень та відповідними спектральними властивостями космічних знімків.

На основі аналізу літературних даних, опублікованих упродовж останнього часу, відзначимо, що увага науковців прикута, здебільшого, до розробки алгоритмічного забезпечення для обробки та інтерпретації цифрових космічних знімків. При цьому особливий інтерес становлять дані ДЗЗ високого просторового розрізнення, які дозволяють використовувати традиційні методи комп'ютерної класифікації, виконувати математичне моделювання таксаційних показників деревостанів на основі їхніх спектральних характеристик, а також застосовувати об'єктно-орієнтовані підходи. Так, В.М. Жирин і С.В. Князева, вивчаючи особливості дешифрування лісоутворювальних порід [3] за знімками Ikonos, звертають увагу на можливість розпізнавання деревної рослинності на основі аналізу текстурної інформації зображень. Варто відзначити, що розраховані за знімками коефіцієнти складу деревних порід відображають, так званий, дешифрувальний склад насаджень. Він залежить від розмірів та зімкненості крон і не враховує дерев, яких не видно на знімку. За умови точного поєднання дистанційних та лісовпорядних даних і достатніх розмірів таксаційних виділів, точність визначення коефіцієнтів складу насаджень за результатами комп'ютерної класифікації знімків Ikonos досягає 80 %.

Достатньо активно розвиваються математичні методи аналізу взаємозв'язку таксаційно-біометричних параметрів лісових насаджень (вік, породний склад, біомаса) та їхніми спектральними властивостями на знімках. Дослідження свідчать, що основні таксаційні показники насаджень можна успішно змодельовувати залежно від їхнього спектрального відгуку. Зазначений підхід зустрічається у роботі Е.А. Терехіна [5] для визначення віку, висоти і середнього діаметра дубових деревостанів. Обґрунтовані висновки стосовно цього питання одержані також у роботі німецьких вчених [12], які на основі знімків Landsat-5 ТМ встановили кількісну оцінку густоти (кількості дерев на 1 га) ялинових насаджень.

Аналіз результатів наукових досліджень щодо взаємозв'язку лісотаксаційних параметрів деревостанів із дешифрувальними ознаками космічних знімків дозволяє зробити певні узагальнення. Зокрема, доведено, що вік і середня висота насаджень можуть бути змодельованими на основі даних різних спектральних діапазонів космічних знімків. Відповідно до результатів досліджень [5] цей взаємозв'язок є оберненим і характеризується

ся від'ємним коефіцієнтом кореляції (приблизно -0,6). Його можна пояснити неоднорідністю намету деревостану, яка посилюється з віком, і призводить до зменшення спектрального віддзеркалення сонячної енергії. Найбільш тісним цей зв'язок є для ближнього інфрачервоного діапазону, оскільки інтервал значень спектральної яскравості пікселів у ньому є більшим порівняно з іншими каналами даних Landsat. Проте для складних за формою змішаних деревостанів зазначені закономірності проявляються значно слабше [8].

Важливим лісівничим показником є ступінь зімкненості намету деревостанів. Від нього залежать основні фізіологічні та біологічні процеси в лісі: фотосинтез, транспірація, теплообмін, швидкість розкладання підстилки, існування і розвиток підросту, а також формування деревостану. Ступінь зімкненості намету насаджень визначає інтенсивність лісогосподарських заходів, зокрема, рубок догляду, використовується під час впорядкування лісопаркових ландшафтів. У зв'язку з цим, вивчення можливості його оцінки на основі дешифрування матеріалів космічної зйомки є актуальним.

Нині розглядаються два способи визначення ступеня зімкненості намету деревостану з використанням даних ДЗЗ: 1) за співвідношенням суми площ проєкцій крон, встановленої за знімками надвисокого просторового розрізнення, до площі таксаційного виділу; 2) методом регресії за знімками середнього просторового розрізнення. Останній є більш обґрунтованим за відсутності даних ДЗЗ надвисокого просторового розрізнення для всієї території об'єкта інвентаризації. Він полягає в статистичному прогнозуванні ступеня зімкненості намету деревостанів шляхом поєднання даних різного просторового розрізнення.

У результаті вивчення цього питання на прикладі соснових деревостанів лісів зеленої зони м. Києва, нам вдалося удосконалити методику визначення зімкненості намету з використанням статистичного підходу і формалізувати зв'язок у вигляді математичної моделі [2]:

$$y = (1 - \exp(-16,82 \cdot (x - 0,18)))^{2,112},$$

де y – величина горизонтальної зімкненості насаджень;

x – значення вегетаційного індексу $NDVI$.

Аналітичну апроксимацію здійснено на основі числових значень пікселів знімка Landsat-5 TM та величини зімкненості намету, розрахованої на основі даних GeoEye-1 для сітки розміром 30 x 30 м. Як відомо, такі параметри сітки узгоджуються з просторовим розрізненням знімальної системи Landsat. Опрацьований підхід може використовуватися під час розрахунку величини горизонтальної зімкненості намету деревостанів на значних територіях. Для цього треба досягти узгодженості між космічними знімками Landsat-5 TM і даними ДЗЗ високого просторового розрізнення, що використовуються для розробки математичної моделі.

Останнім часом з'явилося багато публікацій, у яких представлено різні підходи щодо визначення запасу насаджень на основі дистанційних методів. Переважно вони ґрунтуються на статистичному аналізі взаємозв'язку запасу насаджень з іншими показниками деревостану. Незва-

жаючи на численні спроби, науковці досі ще не дійшли єдиної думки щодо форми математичного зв'язку, здатного розкрити суть цієї залежності. Тривалий час вивчалася можливість використання космічних знімків Landsat TM [8], проте, у сучасних умовах більш активним став пошук відповідних підходів на основі даних ДЗЗ надвисокого просторового розрізнення (Ikonos, Quickbird, GeoEye тощо). Досвід свідчить про можливість використання при цьому не тільки спектральних характеристик деревної рослинності, а й значно детальніших параметрів деревного намету, які можна оцінити дистанційними методами – діаметр крон дерев, кількість дерев на 1 га, ступінь зімкненості намету.

Цікаві висновки стосовно зазначеного питання були одержані у роботі [7]. Її автори розглядають два методи визначення запасу насаджень, які опираються на результати аналітично-вимірювального дешифрування біометричних параметрів дерев за знімками Ikonos. Відповідно до першого підходу, запас насадження пропонується розглядати, виходячи з відомого в лісовій таксації підходу – добутку кількості дерев у насадженні на об'єм середнього дерева. Реалізувати його дозволяє достатньо тісний кореляційний зв'язок (коефіцієнт кореляції – 0,52) об'єму середніх за розмірами дерев із середнім діаметром крон, кількістю дерев та їхніми спектральними характеристиками у відповідних каналах знімка. Інший підхід також полягає у статистичному прогнозуванні, проте, загального запасу насаджень. Розроблена у роботі математична модель дає змогу пояснити близько 58 % мінливості цього показника.

Результати досліджень свідчать, що можливості сучасних супутникових систем для вирішення задач моніторингу та обліку лісових ресурсів істотно розширилися. У літературі все частіше з'являються публікації з питань ідентифікації дерев у насадженні за зображеннями їхніх крон. Нині активно розвиваються технології обробки супутникових знімків надвисокого просторового розрізнення з метою локалізації дерев і розрахунку густоти насаджень. Як зазначалося раніше, цей показник може прислужитися для моделювання запасу та встановлення інших інтегральних характеристик деревостанів, зокрема, густоти та просторової структури.

В основі методики ідентифікації дерев у насадженні за даними ДЗЗ лежать особливості розподілу інтенсивності освітлення різних частин намету деревостану. Цілком закономірно, що найбільш освітленими у ньому є верхівки крон, тоді як проміжки між ними залишаються затіненими. Ця особливість дозволяє застосувати різні алгоритми до обробки космічних знімків. Їх можна згрупувати у такі основні групи: методи, які ґрунтуються на пошуку локальних максимумів, методи виділення границь на основі перепаду яскравості між затіненими і освітленими ділянками крон дерев, шаблонні методи. У зв'язку зі складністю та великою різноманітністю алгоритмів сегментації зображень проаналізуємо один із найбільш поширених – метод водорозділу [9–11]. Він полягає у локалізації дерев на основі пошуку локальних максимумів, тобто, значень пікселів із приблизно однаково високим рівнем сигналу.

Метод вододілу передбачає аналіз градієнта вихідного зображення у вигляді ландшафту, де величина його яскравості являє собою значення відносних висот. Під час заповнення цього ландшафту водою на ділянках з низькими значеннями градієнта утворюються басейни, а в точках з високими – пройдуть лінії водорозділу, які відповідають однорідним за рівнем спектральної яскравості ділянкам. Мінімуми градієнта формують точки росту регіонів, у процесі якого на кожному наступному етапі нова нерозмічена точка приєднується до своїх сусідів із найближчим значенням градієнта. У результаті відбувається злиття регіонів, а сам алгоритм завершує роботу, коли всі пікселі будуть розміченими. Під час ідентифікації дерев він зупиняється на певному значенні градієнта, який вказує дослідник.

Серед існуючих варіантів реалізації цього підходу є метод порогової класифікації, який представлений у сучасному програмному забезпеченні, наприклад Erdas Imagine. Він полягає у порівнянні рівня яскравості кожного пікселя із заданим граничним значенням. У результаті вихідне напівтонове зображення, що має певну кількість рівнів яскравості, перетворюється у чорно-біле (бінарне), пікселі якого розділені на два класи – об'єкт (крони дерев) і фон.

Точність розпізнавання дерев залежить від низки факторів. У першу чергу, це – деревна порода, вік, висота та густота насадження, по-друге, важливе значення мають кліматичні умови та час зйомки. Ще однією передумовою для успішної ідентифікації дерев є можливість їхнього розпізнавання в процесі візуального аналізу знімка. У зв'язку з цим, значну увагу варто приділяти вибору оптимального спектрального каналу та просторового розрізнення даних ДЗЗ. Доведено, що найточніші результати можна отримати, коли вивчаються хвойні лісостани з рівномірним розміщенням дерев на основі даних зеленого каналу супутникових знімків із просторовим розрізненням 1 м і менше [6].

Перевірка підходу на основі соснових деревостанів лісів зеленої зони м. Києва підтвердила можливість ідентифікації дерев [1] за знімками GeoEye-1. У загальному вигляді використана методика включає в себе кілька послідовних етапів: попередня обробка знімка та видалення відкритих ділянок на території лісових насаджень; вибір найбільш контрастного спектрального каналу для аналізу; фільтрація зображення з метою зменшення «зернистості»; пошук локального максимуму яскравості та ідентифікація дерев. Порівнюючи дані наземної таксації з матеріалами дешифрування, можна сказати, що зі збільшенням віку деревостанів, точність ідентифікації дерев за даними ДЗЗ значно знижується. На пробних площах, вік яких перевищує 100 років, існує висока ймовірність завищення оцінки кількості дерев. У першу чергу, це пояснюється значним діаметром крон, які можуть мати кілька локальних максимумів. У результаті [1] було встановлено, що запропонований підхід забезпечує коректні результати для соснових деревостанів віком від 30 до 90 років.

Висновки

Увага до розробки нових економічно ефективних методів лісової інвентаризації з використанням аерокосмічних технологій постійно зростає.

Можливості дистанційної оцінки таксаційних показників насаджень залежать від комплексу факторів, які включають технічні параметри знімальної системи, умови проведення зйомки, параметри просторової, вікової структури лісових насаджень, їхнього складу та наявності відповідного алгоритмічного забезпечення. У зв'язку з тенденцією до збільшення просторового розрізнення даних ДЗЗ все більшого розвитку набувають методи лісотаксаційного та аналітично-вимірювального дешифрування цифрових космічних знімків. Виконаний у статті аналіз результатів різних досліджень дозволяє визначити шляхи подальшого розвитку і перспективи використання дистанційних технологій для вирішення різних прикладних лісооблікових задач.

Список літератури

1. Гілітуха Д. В. Удосконалення технології таксаційного дешифрування супутникових знімків високого просторового розрізнення / Д. В. Гілітуха, В. В. Миронюк // Наукові доповіді НУБіП України. – 2012. – № 7 (36). – http://www.nbu.gov.ua/e-journals/Nd/2012_7/12goa.pdf
2. Гірс О. А. Розпізнавання лісопаркових ландшафтів зеленої зони м. Києва за даними ДЗЗ / О. А. Гірс, В. В. Миронюк, М. М. Кутя // Наукові доповіді НУБіП України. – 2012. – № 7 (36). – http://www.nbu.gov.ua/e-journals/Nd2012_7/12gdv.pdf
3. Жирин В. М. Оценка возможностей дешифрирования лесообразующих пород по космическим снимкам IKONOS / В. М. Жирин, С. В. Князева // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2009. – Вып. 6. – Т. 2. – С. 373–379.
4. Сухих В. И. Основные направления совершенствования методологии инвентаризации лесов на основе дешифрирования материалов аэрокосмических съемок / В. И. Сухих, М. Д. Гиряев, Е. М. Атаманкин // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2007. – Вып. 2. – Т. 2. – С. 332–339.
5. Терехин Э. А. Эмпирическая оценка и картографирование таксационно-биометрических характеристик лесных насаждений по материалам космической съемки LANDSAT TM* / Э. А. Терехин // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2012. – Т. 9. – № 1. – С. 122–130.
6. Automated tree recognition in old grown conifer stands with high resolution digital imagery / D. G. Leckie, F. A. Gougeon, S. Tinis et al. // Remote sensing of Environment. – 2005. – № 94. – P. 311–326.
7. Barnea I. Aspects regarding the use Ikonos images in stand volume assessment // Proceedings of the Romanian Academy : Series B: Chemistry, Life Sciences and Geosciences. – 2007. – № 2. – P. 159–163.
8. Gerylo G. R. Modeling forest stand parameters from Landsat Thematic Mapper (TM) data / G. R. Gerylo, R. J. Hall, S. E. Franklin et al. // Proceedings of the 22nd Annual Canadian Remote Sensing Symposium, August 21–25, 2000. – Victoria, British Columbia, 2000. – P. 405–413.
9. Gougeon F. A. The individual tree crown approach applied to Ikonos images of a coniferous plantation area / F. A. Gougeon, D. G. Leckie // Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. – 2006. – Vol. 72. – № 11. – P. 1287–1297.
10. Gougeon F. A. A crown-following approach to the automatic delineation of individual tree crowns in high spatial resolution aerial images / F. A. Gougeon // Can. J. Remote Sensing. – 1995. – Vol. 21. – № 3. – P. 274–284.

11. Pouliot D. Approaches for optimal automated individual tree crown detection in regenerating coniferous forests / D. Pouliot, D. King // Can. J. Remote Sensing. – 2005. – Vol. 31. – № 3. – P. 255–267.

12. Vohland M. Remote sensing techniques for forest parameter assessment: multispectral classification and linear spectral mixture analysis / M. Vohland, J. Stoffels, C. Hau, G. Schuler // Silva Fennica. – 2007. – № 41(3). – P. 441–456.

Обобщены подходы по использованию данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) для определения основных лесоводственно-таксационных показателей насаждений. Проанализированы существующие методики таксационного дешифрирования космических снимков и определены особенности их использования для различных объектов.

Данные ДЗЗ, лесотаксационное дешифрирование, классификация снимков, таксационные показатели насаждений.

Application of remote sensing approaches for assessment of the main forest stand parameters has been generalized. Existing methods of satellite image interpretation and peculiarities of their usage for different forest objects have been analyzed.

Remote sensing data, image interpretation, image classification, forest stand parameters.

УДК 630.56

ОСОБЛИВОСТІ ТАКСАЦІЙНОЇ БУДОВИ ШТУЧНИХ СОСНОВИХ ДЕРЕВОСТАНІВ ЗОНИ ВІДЧУЖЕННЯ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ АЕС

**В.А. Свинчук, кандидат сільськогосподарських наук
С.В. Зібцев, кандидат біологічних наук, О.А. Борсук, аспірант***

Наведено особливості таксаційної будови та закономірності розподілу дерев за діаметром штучних соснових деревостанів Чорнобильської зони відчуження, порівняно з природними насадженнями. Встановлено особливості просторово-параметричної структури цих лісостанів, порівняно з насадженнями за межами зони відчуження.

Зона відчуження, Чорнобильська АЕС, таксаційна будова, показник мінливості, ранг, редуційне число, показники косості та крутості, β -розподіл.

Однією з пріоритетних задач управління лісами зони відчуження є моніторинг їх стану та проведення лісівничих заходів, що забезпечують стійкість лісових екосистем і виконання ними функцій з нерозповсюджен-

* Науковий керівник – кандидат біологічних наук, доцент С.В. Зібцев.

© В.А. Свинчук, С.В. Зібцев, О.А. Борсук, 2013