



ОСОБЛИВОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ ВИДОВОГО СКЛАДУ МІСЬКИХ ЗЕЛЕНИХ НАСАДЖЕНЬ ЗА ДАНИМИ СУПУТНИКОВИХ ЗНІМКІВ GeoEye-1

В.В. Миронок, С.С. Кохан, кандидати сільськогосподарських наук
А.Б. Востоков, науковий співробітник
Національний університет біоресурсів і природокористування України

Розглянуто основні напрями використання даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) в системі обліку міських зелених насаджень. Визначено особливості дешифрування деревної рослинності на території населених пунктів з використанням весняної зйомки GeoEye-1.

Постановка питання. Необхідність здійснення систематичних спостережень за зеленими насадженнями, які ростуть на території населених пунктів, робить дистанційне зондування Землі одним із найбільш ефективних засобів їхнього моніторингу. Використання супутникових систем середнього просторового розривлення в діапазоні 10–30 м, зокрема Landsat-TM, ETM+, Terra ASTER, ALOS, SPOT-5 тощо, забезпечує можливість регулярного одержання інформації про стан та динаміку лісових ресурсів на значних територіях. Проте, в умовах урбанізованого середовища такі технології дозволяють вирішувати лише обмежене коло завдань, пов'язаних із обліком природних ресурсів.

У сучасних умовах відбувається удосконалення систем дистанційного зондування Землі, завдяки чому сфера застосування космічних знімків розширюється. Поява доступних даних ДЗЗ надвисокого просторового розривлення (QuickBird, IKONOS, GeoEye, WorldView-2) заохотила увагу на задачах дослідження навколишнього природного середовища, які не можливо було вирішити до цього наявними засобами. У зв'язку зі зростаючими можливостями супутникових знімків з просторовим розривленням понад 1 м посилюється потреба в обґрунтуванні відповідних алгоритмів їхнього аналізу, у тому числі для задач обліку лісових ресурсів, які розташовані на території населених пунктів.

Аналіз літературних джерел свідчить про значний інтерес до проблеми розробки ефективних методів дешифрування деревної рослинності за даними супутникових знімків. Вважається, що в умовах урбанізованого середовища найбільш ефективною інформацією мають бути оптимальні співвідношення між точністю та економічною ефективністю одержуваних результатів [5]. Основа увага наукових досліджень щодо застосування цих даних в системі зеленого господарства пов'язана із такими завданнями: картографування об'єктів благоустрою населених пунктів та визначення їхньої площі, ідентифікація деревних порід, оцінка стану зелених насаджень, моделюван-

ня, які не можливо було вирішити до цього наявними засобами. У зв'язку зі зростаючими можливостями супутникових знімків з просторовим розривленням понад 1 м посилюється потреба в обґрунтуванні відповідних алгоритмів їхнього аналізу, у тому числі для задач обліку лісових ресурсів, які розташовані на території населених пунктів.

Аналіз літературних джерел свідчить про значний інтерес до проблеми розробки ефективних методів дешифрування деревної рослинності за даними супутникових знімків. Вважається, що в умовах урбанізованого середовища найбільш ефективною інформацією мають бути оптимальні співвідношення між точністю та економічною ефективністю одержуваних результатів [5]. Основа увага наукових досліджень щодо застосування цих даних в системі зеленого господарства пов'язана із такими завданнями: картографування об'єктів благоустрою населених пунктів та визначення їхньої площі, ідентифікація деревних порід, оцінка стану зелених насаджень, моделюван-



порід. Отже, мета роботи полягає в опрацюванні методичних основ дешифрування деревних порід в умовах урбанізованого середовища за даними супутникових знімків високого просторового розривлення.

Дослідний матеріал. Під час досліджень використано супутниковий знімок GeoEye-1 території м. Києва (дата зйомки 25 квітня 2009 р.), GeoEye-1 удосконалює серію сучасних оптичних супутникових систем із багатьох параметрів. Його оптико-електронна знімальна апаратура забезпечує найвищу роздільну здатність із існуючих комерційних космічних систем. Камера дозволяє одержувати знімки з роздільною здатністю 0,41 м в панхроматичному і 1,65 м в синьому, зеленому, червоному та інфрачервоному діапазонах спектру. При цьому, зйомка може виконуватися одночасно і окремо в панхроматичному та мультиспектральному діапазонах. До безперервних переваг системи треба віднести надвисоку деталістність зображень та високу точність прив'язки знімків. Координати контурних точок на знімках без використання наземних опорних точок можуть бути визначені з середньою квадратичною похибкою 1,5 м. Значення обставини сприяють їхньому використанню під час проведення детальних досліджень земної поверхні, у т. ч. в умовах урбанізованого середовища.

В аналізі використано п'ять деревних порід, які на час проведення зйомки перебували в стадії вегетації: клен гостролистий, гіркийкаштан звичайний, клен ліщинистий, тополя біла та сосна звичайна. В якості тестових ділянок для визначення спектральної яскравості деревних порід вибрані ділянки трьох дерев, які відповідним чином позначалися на знімку. Враховуючи, що інформацію про кількість відбитого випромінювання несе окремий піксель растрового зображен-

ня, під час досліджень важливо було забезпечити статистично достовірну вибірку. У теорії класифікації супутникових знімків [10] вважається, що для виконання успішної класифікації N -мірної мультиспектральної простору необхідно мати $2N(N+1)$ етажонних елементів. У зв'язку зі складністю визначення незалежних пікселів на практиці прийнято формувати значно більші за обсягом вибірки (від 100N до 1000N пікселів). Утім, необхідну кількість етажонних елементів при використанні даних різних сенсорів, можна розрахувати за допомогою біноміального підходу [3]. За основу береться ймовірність правильної класифікації P_0 та заданий довірчий інтервал, в якому може знаходитися досліджувана ознака. За цих умов мінімальна статистична достатня кількість одиниць N розраховується за формулою:

$$N = \frac{z^2 \cdot P_0(1-P_0)}{b^2} \quad (1)$$

де z – квантиль стандартного нормального розподілу для прийнятої ймовірності двосторонньої похибки $1-\alpha$ роду α ; b – допустима похибка.

Із урахуванням описаних міркувань, за матеріалами польових досліджень було сформовано масив вихідних даних, який включав близько 14 тис. значень пікселів для кожного спектрального каналу. Результати статистичної обробки зібраних даних наведено в табл. 1 (– середнє арифметичне значення, V – коефіцієнт мінливості).

Методика досліджень та основні результати. В основі дешифрування об'єктів земної поверхні за даними ДЗЗ лежать їхні спектральні властивості. Зелена рослинність характеризується особливим спектром поглинання, який змінюється протягом вегетаційного періоду залежно від фази розвитку біологічного виду, стану оточуючого середовища та самої росли-

ни запасу біомаси [8, 9, 11, 13].

Класифікація супутникових знімків урбанізованих територій має свою специфіку. Вона зумовлена великою різноманітністю штучних і природних компонентів земного покриву з відмінними спектральними властивостями. У зв'язку з цим, для ефективного використання супутникових зйомки в системі обліку міських зелених насаджень дані ДЗЗ повинні мати високе спектральне, радіометричне та просторове розривлення. На думку R. Py [8], традиційні методи класифікації даних ДЗЗ є недостатньо ефективними у цьому відношенні. У свою чергу автор відзначає переваги об'єктно-орієнтованого підходу, який він використав під час дешифрування видового складу міських зелених насаджень за знімками IKONOS. Приклади реалізації об'єктно-орієнтованої класифікації даних ДЗЗ надвисокого просторового розривлення для вирішення подібних задач зустрічаються також в інших публікаціях [1, 2, 4]. На відміну від традиційної попіксельної класифікації цей метод полягає в аналізі взаємозв'язку між різними об'єктами, по чергові сегментації знімка у різних масштабах. На першому етапі здійснюється кластерний аналіз, що призводить до утворення значної кількості (150–200) тимчасових спектральних кластерів. Далі з використанням відповідних алгоритмів (граничні процедури з індексними зображеннями, керування класифікацією, створення додаткового каналу "структурної інформації" для класифікації з'єднаних спектральних та текстурованих каналів) одержано інтерпретовані кластери поділяються в тематичні класи. При цьому використовуються не тільки спектральні властивості пікселів, а й інші характеристики – текстура, форма та особливості взаємозв'язку між об'єктами. Дослідження свідчать, що такий підхід потре-

бує складних ієрархічних алгоритмів аналізу зображень [1, 7].

На основі публікацій з проблеми дешифрування видового складу деревної рослинності за даними ДЗЗ можна зробити висновок, що цей напрям наукових досліджень ще недостатньо розроблений. Варто відзначити певні успіхи окремих досліджень, які проводилися на прикладі лісових насаджень. Так, за даними В.М. Жиріна [2] точність визначення форми складу деревостанів за знімками IKONOS не поступається окремим високоточним методам натурної таксації і становить $\pm 10\%$. Проте, розпізнавання деревних порід в умовах урбанізованого середовища нею успішне. Це пояснюється значною неоднорідністю деревного пологку та відмінностями умов росту зелених насаджень. На спектральні властивості лісових насаджень, трав'яний покрив та ґрунт. В умовах урбанізованого середовища вплив об'єктів, розташованих під наметом деревної рослинності більш різноманітний. Крім цього, спектральні властивості деревних порід сильно змінюються внаслідок затиєння крон архітектурними спорудами. Вважається, що підвищити точність їхнього дешифрування можна шляхом використання мультисезонних знімків деревних порід у різні періоди вегетації, а також завдяки більш глибокому текстовому розривленню зображень [12].

Таким чином, удосконалення алгоритмів, які дозволяють розпізнавати деревні породи за знімками високого розривлення, є одним із найбільш перспективних напрямів досліджень, пов'язаних із впровадженням методів дистанційного моніторингу в системі обліку міських зелених насаджень. Важливе прикладне значення для оцінки стану і прогнозу їхнього розвитку відіграє інформація про спектральні характеристики деревних

Таблиця 1. Значення синестральної яскравості деревних порід за даними GeoEye-1

Деревна порода	Кількість спостережень	Спектральна яскравість за каналами							
		блакитний		зелений		червоний			
		\bar{X}	$V, \%$	\bar{X}	$V, \%$	\bar{X}	$V, \%$		
Клен гостролистий	5179	441	4,6	324	8,3	180	14,0	664	25,3
Гіркийкаштан звичайний	3825	440	5,3	321	10,0	177	16,6	714	17,1
Клен ліщинистий	255	416	4,1	305	7,2	195	11,1	357	12,5
Тополя біла	1896	479	6,2	333	10,1	259	16,2	353	10,3
Сосна звичайна	2850	426	3,7	272	7,1	153	12,7	496	13,6

ни. Ця інформація може успішно використовуватися з метою їхньої ідентифікації за супутниковими знімками.

Варто відзначити, що найбільші відмінності в спектральній яскравості досліджуваних деревних порід спостерігаються в інфрачервоному каналі. Проте у зв'язку зі значною внутрішньоорганічною мінливістю яскравості пікселів наведена в табл. 1 інформація не дає однозначної відповіді щодо можливості успішного дешифрування видового складу зелених насаджень за знімком GeoEye-1.

Інший метод вивчення спектральних відбивальних властивостей рослинного покриву ґрунтується на розрахунку вегетаційних індексів. Враховуючи велику різноманітність цих показників та особливості об'єкта досліджень, важливо визначити найбільш ефективні з них, які найкраще відповідають поставленим завданням.

Дослідження доводять, що спектр знімка сильно залежить від типу ґрунтового покриву. Ця обставина має важливе значення під час дешифрування видового складу міських зелених насаджень, оскільки намет рослинного покриву в умовах урбанізованого середовища, як правило, розріджений. Особливо відчутний вплив поверхневого фону проявляється в близькому інфрачервоному діапазоні, що підтверджується даними табл. 1. Це значно зменшує ефективність низки вегетаційних індексів, які використовують інформацію з інфрачервоного каналу.

До особливостей різних типів рослинного покриву відносять специфічні варіанти забарвлення, пов'язані з фазою сезонного розвитку. Особливо помітними такі зміни є на початку вегетаційного періоду. У зв'язку з цим, сезонна динаміка спектральних характеристик деревних порід може використовуватися для покращення їхньої ідентифікації в процесі дистанційного моніторингу.

Під час вивчення можливості тематичної обробки супутникового знімка GeoEye-1 розглядалися різні вегетаційні індекси (ВІ). Враховуючи описані особливості рослинного покриву та сезонні зміни, в роботі виконано аналіз спектральних властивостей деревних порід із використанням даних зеленого спектрального діапазону. Зокрема, було здійснено оцінку вегетаційного індексу GRVI (green-red vegetation index):

$$GRVI = \frac{\rho_{\text{green}} - \rho_{\text{red}}}{\rho_{\text{green}} + \rho_{\text{red}}} \quad (2)$$

де ρ_{green} – коефіцієнт відбиття в зеленій зоні спектра;
 ρ_{red} – коефіцієнт відбиття в червоній зоні спектра.

Уявлення про діапазон мінливості цього показника для об'єкта досліджень можна одержати на основі рис. 1.

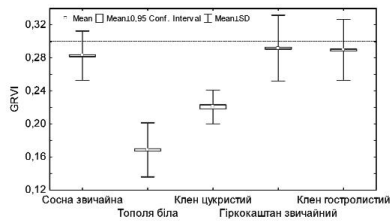


Рисунок 1. Значення вегетативного індексу GRVI

Для визначення статистичної різниці між ВІ, одержаними за даними вимірювань, використано t-критерій Стьюдента для залежних вибірок:

$$t = \frac{2 \cdot d}{s_d} \sqrt{n} \quad (3)$$

де d – середня різниця значень ВІ;
 s_d – стандартне відхилення;
 n – обсяг вибірки.

Нульова гіпотеза $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$ про відсутність різниці між середніми значеннями індексу GRVI генеральній сукупності відхиляється, якщо $t_{\text{обл}} > t_{\alpha/2}$, і на 5% рівні значущості приймається альтернативна гіпотеза $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$.

Наведені дані доводять можливість цілком достовірного розпізнавання тополі білої та клена цукристого, які на відміну від інших деревних порід тільки розпочали свою вегетацію. Одержані результати підтверджують висновки окремих досліджень [6] щодо доцільності використання індексу GRVI під час дешифрування даних супутникової зйомки. Значенний показник дозволяє врахувати забарвлення листя, що сприяє виявленню фаз сезонного розвитку та кращій ідентифікації рослинності.

Диференціацію деревних порід за допомогою індексу GRVI з точки зору ймовірності появи помилок першого і другого роду відображає рис. 2.

Помилка першого роду визначає ймовірність відхилення нульової гіпотези H_0 , тоді як вона вірна: $\alpha = P\{\psi \in \psi_0 | H_0\}$ – це ймовірність події $\{\psi \in \psi_0\}$ за умови, що H_0 – істинна. Ймовірність помилки другого роду $\beta = P\{\psi \notin \psi_0 | H_1\}$ – це ймовірність події $\{\psi \notin \psi_0\}$ за умови, що H_1 – прийнята. Так, вірогідність розпізнавання клена цукристого і тополі білої досить висока, проте потрапляння даних до зони критичних значень може призвести до неправильного дешифрування зображень супутникового знімка.

Із метою порівняння одержаних даних виконано розрахунок найбільш поширеного вегетативного індексу NDVI (normalized difference vegetation index):

$$NDVI = \frac{\rho_{\text{NIR}} - \rho_{\text{VIS}}}{\rho_{\text{NIR}} + \rho_{\text{VIS}}}$$

де ρ_{NIR} – коефіцієнт віддзеркалення в інфрачервоній зоні спектра.

На основі рис. 3 можна зробити висновок про значно гіршу диференціацію досліджуваних деревних порід.

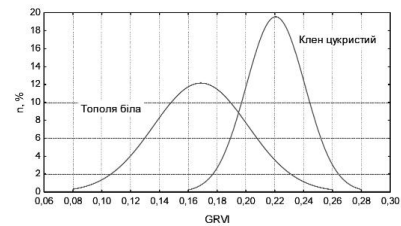


Рисунок 2. Вірогідність дешифрування деревних порід

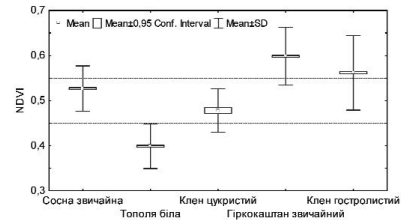


Рисунок 3. Вірогідність дешифрування деревних порід

Висновки

Використання супутникових знімків сприяє вдосконаленню системи моніторингу міських зелених насаджень та одержанню більш об'єктивних оцінок структури рослинного покриву в умовах урбанізованого середовища. Сезонна динаміка значень спектральної яскравості деревної рослинності може бути простежена за даними зеленої та червоного діапазонів.

Не зважаючи на досить високу внутрішньокласову мінливість досліджуваного показника залежно від особливостей фазового розвитку деревної рослинності, використання супутникових знімків GeoEye-1 для дешифрування видового складу міських зелених насаджень є перспективним.

Література

1. Бургалев С.А., Хорватова Т.С. Аналіз можливостей применення методів сегментації супутникових зображень для виявлення пожежних вогнищ // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Об. научн. статей. – М., 2011. – 8. № 1. – С. 44–62.
2. Жирин В.М., Князева С.В. оцeна возможностей дешифрования лeсообразующих пород по космическим снимкам IKONOS // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Об. научн. статей. – М., 2009. – 2. № 6. – С. 373–379.
3. Лазько В.Н., Попов М.О., Полтнов Д.З. України и перспективы их использования в системе GEOSS // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – М.: ИКИ РАН, 2008. – Вып. 5. Т. 2. – С. 548–566.
4. Carter A., Wolf E. Exploitation of very high resolution satellite data for tree species identification // Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. – 2004. – 70. № 1. – P. 135–140.
5. Davis C.H., Wang X. Planimetric accuracy of Ikonos 1 m panchromatic orthorectified products and their utility for local government GIS basemap application // International Journal of Remote Sensing. – 2003. – № 24. – P. 4267–4288.
6. Applicability of green/red vegetation index for remote sensing of vegetation phenology // T. Motoki, K.N. Nishihara, H. Oguma & S. Tsuhida // Remote sensing. – 2010. – № 2. – P. 2969–2987.
7. Multi-Resolution, Object-Oriented Fuzzy Analysis of Remote Sensing Data for GIS-Ready Information // U. Benz, P. Hofmann, G. Willhauck et al. // J. of Photogrammetry & Remote Sensing. – 2004. – № 58. – P. 239–258.
8. Pu R. Mapping urban forest tree species using IKONOS imagery: preliminary results // Environment Monitoring and Assessment. – 2011. – № 172. – P. 199–214.
9. Pu R., Landry S., Yu Q. Object-oriented urban detailed land cover classification with high spatial resolution IKONOS imagery // International Journal of Remote Sensing. – 2003. – № 32. – P. 3285–3308.
10. Swain P.H., Davis S.M. Remote Sensing: The Quantitative Approach. – New York: McGraw-Hill, 1978. – 396 p.
11. Thomas N., Hendrix C., Congalton R.G. A comparison of urban mapping methods using high-resolution digital imagery // Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. – 2003. – 69. № 9. – P. 963–972.
12. Tsai F., Chou M. Texture augmented analysis of high resolution satellite imagery in detecting invasive plant species // Journal of the Chinese Institute of Engineers. – 2006. – 29. № 4. – P. 581–592.
13. Walton J.T., Nowak D.J., Greenfield E.J. Assessing urban forest canopy cover using airborne or satellite imagery // Arboriculture & Urban Forestry. – 2008. – № 34(6). – P. 334–340.

АННОТАЦІЯ

Миронок В.В., Кохан С.С., Востоків А.Б. Особливості отримання видового складу сорід-оси міських зелених насаджень за даними супутникової зйомки GeoEye-1 // Біоресурси і природоко-ристування. – 2012. – 4. № 5–6. – С. 176–182.

Рассмотрены основные направления использования данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) в системе учета городских зеленых насаждений. Определены особенности дешифрования древесной растительности на спектральных изображениях с использованием векторной съемки GeoEye-1.

SUMMARY

V. Myroniuk, S. Koshan, A. Vostokov. Peculiarities of tree species detection in urban forests using GeoEye-1 satellite imagery // Biological Resources and Nature Management. – 2012. – 4. № 5–6. – P. 176–182.

The paper describes the main directions of application of remote sensing data for urban forest structure and composition assessment. Specificity of trees detection in urban environment by means of GeoEye-1 imagery has been explored.