

УДК 528.8:004

В.В. ГНАТУШЕНКО

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

О.О. КАВАЦ, Вік.В. ГНАТУШЕНКО, Ю.О. КИБУКЕВИЧ, Ю.В. КАВАЦ

Національна металургійна академія України

КОМП'ЮТЕРНИЙ АНАЛІЗ РАДАРНИХ ЗОБРАЖЕНЬ ВИСОКОЇ РОЗДІЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ З МЕТОЮ МОНІТОРИНГУ ЛІСОВИХ НАСАДЖЕНЬ

Роботу присвячено практичному застосуванню супутникових радарних зображень високої роздільної здатності з метою моніторингу лісових насаджень на території Закарпатської області в Україні. Основна ціль дослідження полягає у визначенні потенціалу супутникових радіолокаційних даних, зокрема Sentinel-1, для виявлення вирубки лісів та оцінки стану лісових насаджень. Отримано кількісну характеристику рослинності за допомогою розрахунку індексу NDVI. Моніторинг проводився на різночасових зображеннях, отриманих у травні 2015 року та у квітні 2016 року відповідно.

Ключові слова: збезлісення, розпізнавання, радіолокаційні дані, NDVI, Sentinel-1.

В.В. ГНАТУШЕНКО

Днепроvский национальный университет имени Олеся Гончара

А.А. КАВАЦ, Вик.В. ГНАТУШЕНКО, Ю.О. КИБУКЕВИЧ, Ю.В. КАВАЦ

Национальная металлургическая академия Украины

КОМПЬЮТЕРНЫЙ АНАЛИЗ РАДАРНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ С ЦЕЛЮЮ МОНИТОРИНГА ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ

Работа посвящена практическому применению спутниковых радарных изображений высокого разрешения с целью мониторинга лесных насаждений на территории Закарпатской области Украины. Основная цель исследования состоит в определении потенциала спутниковых радиолокационных данных, в частности Sentinel-1, для выявления вырубки лесов и оценки состояния лесных насаждений. Получено количественную характеристику растительности с помощью расчета индекса NDVI. Мониторинг проводился на разновременных изображениях, полученных в мае 2015 года и в апреле 2016 соответственно.

Ключевые слова: вырубка лесов, распознавание, радиолокационные данные, NDVI, Sentinel-1.

V. HNATUSHENKO

Oles Honchar Dnepro National University

O. KAVATS, VIK. HNATUSHENKO, J. KIBUKEVYCH, Y. KAVATS

National Metallurgical Academy of Ukraine

COMPUTER ANALYSIS OF RADAR HIGH RESOLUTION IMAGES FOR FOREST LANDING MONITORING

Satellite observing systems are the main tool for providing information and solving problems such as agricultural control and monitoring of deforestation or tree health. Due to the satellite data we can quickly extract the necessary information about the state of large and hard-to-reach forest plantations, which is necessary for the recognition and implementation of environmental protection policy. After analysis of recent studies, it was concluded that because of difficult weather conditions, such as clouds, fogs, some optical satellite images may be covered by clouds or shadows. This reduces the information content of the data and makes it impossible to recognize the earth's surface. This paper considers the practical application of high-resolution satellite radar images from Santinel-1 for monitoring deforestation areas in the Zakarpattya region of Ukraine. The resistance to weather conditions and the ability to conduct observations in the dark are the main advantages of radar satellites. The main objective of the study is determining the potential of satellite radar data for the detection of deforestation and assessment of forest stand. The monitoring was carried out on radar images obtained in May 2015 and in April 2016, respectively. The areas of deforestation plantations were calculated for multi-temporal images. Due to the research in [2], it was decided to analyze the areas in the spring and summer shooting period and use radar images with double polarization VV+VH. Pseudocolor composite RGB-images and deforestation masks were formed for visual assessment. Visual analysis of optical satellite images Landsat-8 allowed us to conclude that in 2014 identified areas of forest were completely covered with vegetation. Quantitative characteristics of vegetation were obtained by calculating the NDVI index. The NDVI looks for a reduction in interannual signals to determine forest loss or growth and is a reliable indicator of vegetation cover.

The studies have shown that satellite radar images provide an opportunity to qualitatively determine the deforestation areas and to estimate the state of vegetation using a

Keywords: deforestation, recognition, radar data, NDVI, Sentinel-1.

Постановка проблеми

Поверхня Землі, що містить лісові ділянки, займає понад 30% суходолу та виконує важливі водоохоронні, захисні, санітарно-гігієнічні, оздоровчі та інші функції. Ліси пом'якшують кліматичні зміни в навколишньому середовищі, забезпечують домівкою багатьох тварин та рослин, надають продукти харчування, ліки та засоби існування для людства по всьому світу. Сьогодні суцільна та безсистемна вирубка і недосконале ведення лісогосподарської діяльності погіршує стан лісів. Внаслідок цього виникають різні екологічні проблеми, наприклад:

- підвищення ризику виникнення повеней та паводків;
- сходження снігових лавин і селів;
- погіршення якості ґрунтів та їх родючості;
- загибель цінних природних екосистем.

Супутникові системи спостереження є основним інструментом для забезпечення інформації в режимі реального часу. Дедалі більше визнаються їх можливості у вирішенні ряду таких проблем як контроль ведення сільського господарства, моніторинг вирубування лісів та стану дерев, виявлення самозахватів земель та незаконного будівництва, інвентаризація дорожньо-транспортної інфраструктури, контроль змін берегових ліній водних об'єктів, моніторинг повеней та паводків та ін. Практично, виявлення та моніторинг стану лісів здійснюється системами дистанційного зондування майже щодня. Отримані дані дозволяють оперативно вилучати необхідну інформацію про стан великих і важкодоступних лісових насаджень, що є необхідним для визначення та проведення політики захисту навколишнього середовища [1].

Сучасні системи дистанційного зондування поділяються на пасивні (використовують енергію сонця) та активні (використовують свою власну енергію). До пасивних відносять багатоспектральні оптично-механічні системи, які є основним джерелом даних при вирішенні задач моніторингу поверхні Землі. Слід зазначити, що оптичні зображення мають один вагомий недолік. Внаслідок складних погодних умов, таких як щільна хмарність, тумани та ін., частина зображення може бути вкрита хмарами або тінями, що в свою чергу зменшує інформативність даних та унеможливує якісне розпізнавання земної поверхні. До активних систем ДЗЗ відносять супутники з радарними сенсорами. Перевагами радарної зйомки є стійкість до погодних умов та можливість проводити спостереження в темний час доби. У зв'язку з цим, радарні зображення можуть бути ефективним інструментом виявлення несанкціонованих вирубок лісів та ведення лісогосподарства.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Протягом останніх двох десятиліть оперативний моніторинг земної поверхні здійснюється за допомогою оптичних зображень надвисокої роздільної здатності, отриманих зі супутників LANDSAT, WorldView або IKONOS. У роботах [1–3] розглянуто супутникові спостереження за змінами лісових насаджень протягом часових інтервалів у 5-10 років. Але незважаючи на це, показники стану лісів суттєво змінюються з року в рік. Отже, зображення, отримані в обмежених часових інтервалах (особливо в період зміни лісових насаджень та їх відновлення), не відображають правдоподібну динаміку. У роботі [4] проведено аналіз ефективності спостереження за допомогою оптичного супутника LANDSAT. Супутник LANDSAT надає найбільш послідовні записи сцен поверхні суші, що дає можливість провести детальний моніторинг багатьох видів змін земельної поверхні. Наступні дослідження якості таких зображень показали, що за двотижневий період зйомки принаймні 80% сцен вкриті густими хмарами та їх тінями. Отже, викиди вуглекислого газу від вирубки лісів, щільна хмарність та тіні є обмеженням для дослідження зміни лісових територій з використанням оптичних супутникових систем. Відносно недавно Європейська космічна агенція (European Space Agency, ESA) вивела на орбіту супутник Sentinel-1, які складається з двох супутників Sentinel-1A та Sentinel-1B, на борту яких встановлена радіолокаційна апаратура з синтезованою апертурою C-SAR, що веде космічну зйомку цілодобово та за будь-яких погодних умов. Перший супутник Sentinel-1A був запущений 3 квітня 2014 року, а Sentinel-1B – 25 квітня 2016 року. Зйомка виконується в C-діпазоні, довжиною хвилі 6 см та з подвійною поляризацією (на вибір HH+HV або VV+VH). Періодичність отримання зображень складає від 5 до 15 діб.

Сучасні методи дослідження збезлісених територій із використанням супутникових даних в основному формуються на виявленні структурних змін спектральних характеристик [5–7], таких як вегетаційний індекс NDVI. Як правило, NDVI відшукує зниження міжрічних сигналів з метою визначення втрати або збільшення росту лісів та є надійним індикатором рослинного покриву. З іншого боку, навіть максимально низьке значення NDVI не є показником втрати лісів, оскільки інші зміни рослинності (наприклад, сівозміна), можуть призвести до аналогічних змін. Більш того, вегетаційні показники часто чутливі до кліматичних змін, що ускладнює дослідження [8].

Мета дослідження

Метою дослідження є виявлення можливостей супутникових радарних зображень зі супутника Sentinel-1 для та оцінки стану лісових насаджень.

Викладення основного матеріалу дослідження

У роботі пропонується метод дешифрування вирубки лісових насаджень за радарними знімками супутника Sentinel-1 для лісгосподарства України території Закарпатської області. Період спостереження – серія різночасових зображень – травень 2015 року та квітень 2016 року. На підставі проведених досліджень у роботі [9], було вирішено проводити аналіз збезлісених територій у весняно-літній період зйомки та використовувати радіолокаційні знімки з подвійною поляризацією VV+VH. Для подальшого дослідження отримані зображення пройшли попередню обробку, загальна схема етапів якої наведена на рис. 1.



Рис. 1. Етапи попередньої обробки знімків

Для зручності візуальної оцінки зображення були сформовані псевдокольорові RGB-композити. Зображення в поляризації VV відповідає червоному каналу, зеленому каналу – зображення в поляризації VH, синьому каналу – "частка від ділення" зображень в поляризації VV та VH. Для обробки радарних знімків було використано програмне забезпечення SNAP з панеллю Sentinel-Toolbox, спеціально розробленої для обробки даних зі супутників серії Sentinel. Результат етапів обробки наведено на рис. 2.

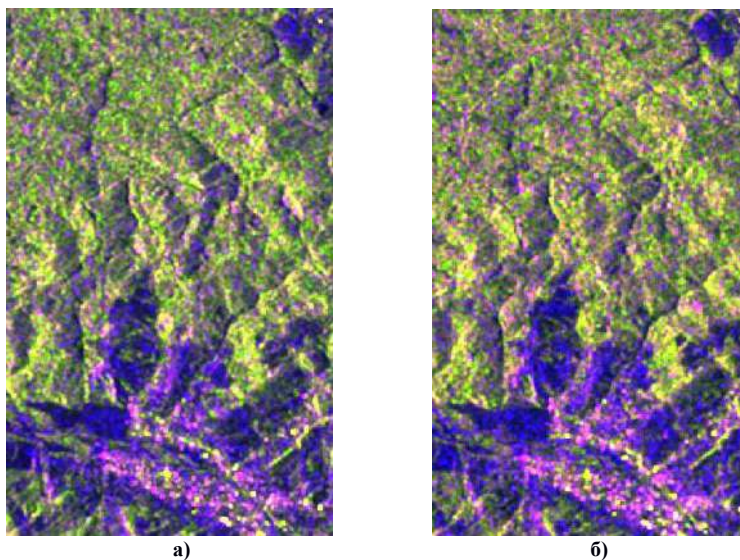


Рис. 2. Композитне RGB зображення:
 а) дата зйомки – травень 2015 року; б) дата зйомки – квітень 2016 року

Для визначення областей вирубки лісів застосовано поріг (threshold) для зворотного розсіювання VH. Результат наведено на рис. 3.

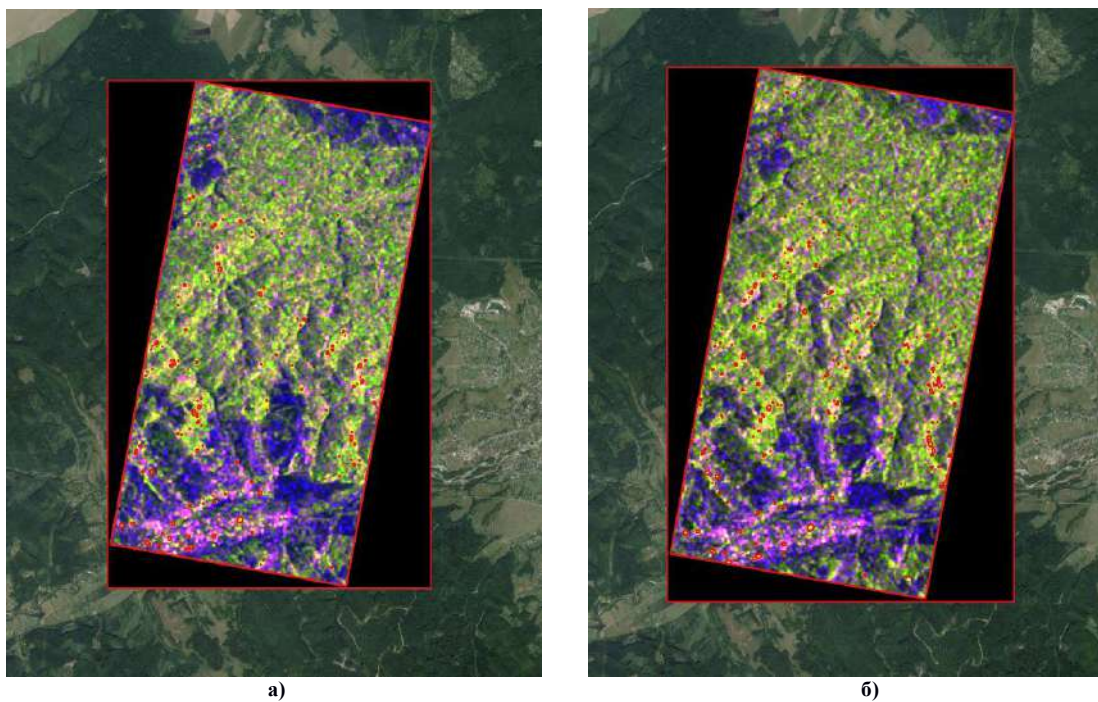


Рис. 3. Використання маски вирубки лісів:
 а) стан території у травні 2015 року; б) стан території у квітні 2016 року

Проведено розрахунок площі вирубки лісових насаджень за різночасовими зображеннями. На зображеннях були дешифровані загальні площі вирубки лісів, які становлять 2.44 га у травні 2015 року та 5.87 га у квітні 2016 року відповідно (рис. 3). Загалом кількість ділянок у 2015 році, на яких втрачено рослинність, становить 253. У 2016 році ця кількість зросла вдвічі і становить 427. Візуальна експертиза оптичних супутникових зображень Landsat-8 дозволила зробити висновок, що у 2014 році визначені ділянки лісу були повністю покриті рослинністю. Крім візуальної експертизи було розраховано нормалізований індекс вегетації (NDVI) за радарними даними на основі порогу чутливості (threshold). У весняно-осінній період лісові насадження мають найбільше значення NDVI. На відміну від оптичного NDVI, радарний NDVI заснований на просторовому відношенні поляризаційних режимів:

$$\text{Radar NDVI} = \frac{VV - VH}{VV + VH}, \tag{1}$$

де VV – подвійна вертикальна поляризація, VH – перехресна вертикально-горизонтальна поляризація. На рис. 4 наведено графічний результат розрахунку значень радарного NDVI.

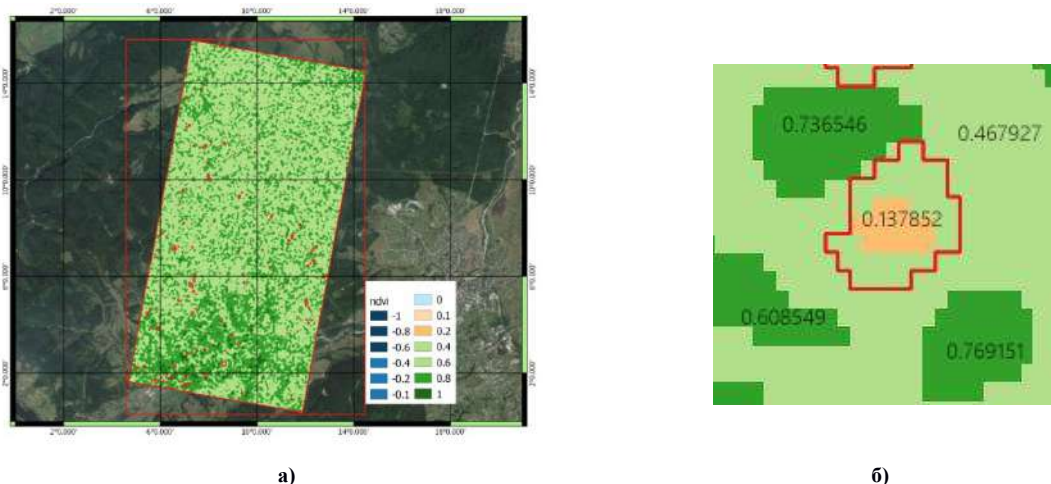


Рис. 4. Карта NDVI частини лісогосподарства у Закарпатській області України, червень 2016 року:
 а) загальна сцена; б) масштабована ділянка лісових насаджень

Для відображення індексу NDVI використовується стандартизована безперервна градієнтна шкала, яка показує значення в діапазоні від -1 до 1 . Природні об'єкти або міські забудови, автошляхи, що не пов'язані з рослинністю, мають фіксовані значення, що дозволяє безпомилково їх ідентифікувати. В свою чергу, рослинність не може приймати значення NDVI менше 0 . Позначці від $0,4$ до $0,6$ відповідають території з розрідженою рослинністю, від $0,6$ до 1 – області з густою рослинністю. Території, що є наслідком вирубки лісів або втрати лісових насаджень, мають значення від $0,1$ до $0,2$.

Висновки

У роботі проведено комп'ютерний аналіз радарних зображень високої роздільної здатності з метою моніторингу стану лісових насаджень. Проведені дослідження показали, що супутникові радіолокаційні знімки дають можливість якісно визначати області вирубки лісових насаджень та оцінювати стан рослинності із застосуванням нормалізованого вегетаційного індексу. Порівняння серій різночасових знімків дають можливість проводити оперативний моніторинг у важко доступній місцевості. З іншої сторони, у ході роботи було виявлено такий недолік радарних зображень як зашумленість даних, що потребує додаткових досліджень, які будуть розглянуті у наступних роботах.

Список використаної літератури:

1. Hnatushenko V.V. Satellite monitoring of deforestation as a result of mining / V.V. Hnatushenko, D.K. Mozgovyi, V.V. Vasyliiev // Scientific bulletin of National Mining University. – State Higher Educational Institution "National Mining University", Dnipro, 2017. № 5, 2017. С. 94-99.
2. Mayaux, P.; Pekel, J.F.; Desclee, B.; Donnay, F.; Lupi, A.; Achard, F.; Clerici, M.; Bodart, C.; Brink, A.; Nasi, R.; et al. State and evolution of the african rainforests between 1990 and 2010. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci.* 2013, doi:10.1098/rstb.2012.0300.
3. Hansen, M.C.; Stehman, S.V.; Potapov, P.V. Quantification of global gross forest cover loss. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 2010, 107, 8650–8655.
4. Jin, S.; Sader, S.A. Comparison of time series tasseled cap wetness and the normalized difference moisture index in detecting forest disturbances. *Remote Sens. Environ.* 2005, 94, 364–372.
5. Kennedy, R.E.; Yang, Z.; Cohen, W.B. Detecting trends in forest disturbance and recovery using yearly Landsat time series: 1. Landtrendr—Temporal segmentation algorithms. *Remote Sens. Environ.* 2010, 114, 2897–2910.
6. Kennedy, R.E.; Yang, Z.; Cohen, W.B. Detecting trends in forest disturbance and recovery using yearly Landsat time series: 1. Landtrendr—Temporal segmentation algorithms. *Remote Sens. Environ.* 2010, 114, 2897–2910.
7. Kennedy, R.E.; Cohen, W.B.; Schroeder, T.A. Trajectory-based change detection for automated characterization of forest disturbance dynamics. *Remote Sens. Environ.* 2007, 110, 370–386.
8. Zhu, Z.; Woodcock, C.E.; Olofsson, P. Continuous monitoring of forest disturbance using all available Landsat imagery. *Remote Sens. Environ.* 2012, 122, 75–91.
9. Kleynhans, W.; Olivier, J.C.; Wessels, K.J.; Salmon, B.P.; van den Bergh, F.; Steenkamp, K. Detecting land cover change using an extended kalman filter on MODIS NDVI time-series data. *IEEE Geosci. Remote Sens. Lett.* 2011, 8, 507–511.
10. AgriSAR 2009. Technical Assistance for the Implementation of the AgriSAR 2009 Campaign /Final Report. Vol. 1 Executive Summary, Data Acquisition, Data Simulation / AgriSAR Team. – MDA Systems Ltd., 2011. – 590 p.