

УДК 528.32

ІДЕНТИФІКАЦІЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ПЛОЩ ПОРУШЕНИХ УНАСЛІДОК ВИДОБУВАННЯ БУРШТИНУ ЗЕМЕЛЬ НА ОСНОВІ БАГАТОЗОНАЛЬНИХ СУПУТНИКОВИХ ЗНІМКІВ SENTINEL-2

Р. Янчук, А. Прокопчук, С. Трохимець

Національний університет водного господарства та природокористування

Ключові слова: видобуток бурштину, порушені землі, багатозональні супутникові знімки, атмосферна корекція, індексні та композитні зображення.

Постановка проблеми

Упродовж останніх років істотно зростають обсяги незаконного видобування бурштину на значних площах північно-західної частини Українського Полісся. Самовільне видобування бурштину заподіює непоправну шкоду економіці України та природі регіону, зокрема спричиняє порушення структури рельєфу і природних ландшафтів, погіршує екологічний стан ґрунтів, призводить до негативних змін у режимі поверхневих і підземних вод та до нищення лісів.

Негативні наслідки від нелегального видобування бурштину загрожують екологічним і соціально-економічним складовим безпеки північно-західних регіонів України, негативно впливають на розвиток окремих галузей господарства (сільського, лісового, гірничодобувного тощо) [5].

Для оцінювання масштабів нелегального видобування бурштину, визначення площ порушених земель та обсягів рекультивациі необхідно передусім здійснити детальну інвентаризацію пошкоджених територій.

Переважає більшість ділянок незаконного видобування розміщена на важкодоступних закритих лісами та чагарниками територіях, віддалених від населених пунктів і проїзних частин. Крім цього, ділянки незаконного видобування бурштину дуже часто охороняють озброєні особи невідомого підпорядкування, які перешкоджають доступу до проблемних ділянок для визначення обсягів порушених земель наземними способами. Перспективним способом для оперативного і точного картографування проблемних територій та визначення площ незаконних розробок є використання безпілотних аерознімальних систем. Однак і їхнє застосування значно обмежене складними природними умовами та ризиком втрати БПЛА унаслідок незаконних дій злочинців.

Для вирішення цієї проблеми пропонується застосування матеріалів космічних знімків, а саме багатозональних супутникових знімків Sentinel-2, що дає змогу з великою достовірністю і достатньою точністю визначити і локалізувати місця незаконного видобування та реально оцінити масштаби екологічного лиха.

Аналіз останніх досліджень та публікацій, які стосуються вирішення цієї проблеми

Зазначимо, що проблема використання даних дистанційного зондування для виявлення місць незаконного видобування бурштину та визначення їхніх площ поки ще вивчена недостатньо. Основні напрацювання в цьому напрямі викладено у роботах фахівців ДУ “Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі” ІГН НАН України [3–5]. У цих роботах розглянуто питання застосування багатозонального космічного знімання для визначення динаміки утворення відвалів піску впродовж тривалого періоду на основі оцінювання температури поверхні зображення, оскільки пісок, який має здатність до інтенсивного накопичення та випромінювання тепла, створює значний температурний контраст із іншими поверхнями природного походження [3].

Невирішені частини загальної проблеми

Моніторинг порушених унаслідок незаконного видобування бурштину земель за допомогою наземних методів знімання та збирання даних з використанням безпілотних літальних апаратів не завжди можливий та не здатен достатньою мірою забезпечити потрібний рівень оперативності у зв'язку зі швидкістю поширення та масштабами охоплення цих процесів.

Вирішити цю проблему можна з використанням мультиспектральних супутникових знімків високої роздільності Sentinel-2. Проте алгоритм їх опрацювання в процесі виявлення порушених земель залишається недослідженим.

Постановка завдання проблеми

Розробити алгоритм ідентифікації порушених земель за мультиспектральними знімками супутника Sentinel-2, оцінити точність визначення площ за такими даними.

Виклад основного матеріалу проблеми

Вихідними даними для проведення досліджень є багатозональні супутникові знімки, отримані за допомогою космічного апарата Sentinel-2A, який входить до європейської системи глобального моніторингу Землі (Copernicus) та здійснює зондування з періодичністю десять днів на екваторі та

чотири–шість днів у середніх широтах. Завдяки високій роздільності (10, 20 м), геометричній точності (20 м без опорних точок та 5–10 м з їх використанням) та періоду знімання такі дані незамінні у процесі моніторингу екологічно небезпечних явищ.

Ділянкою досліджень вибрано область на території ДП “Дубровицький лісгосп” у межах кварталів 31, 32, 48, 49, 50, 62 (рис. 1).

Для досліджень завантажено знімки, отримані 28.03.2016 та 04.04.2016. Їх ідентифікатори:

– S2A_OPER_PRD_MSIL1C_PDMC_20160331T103356_R136_V20160328T093427_20160328T093427;

– S2A_OPER_PRD_MSIL1C_PDMC_20160406T141657_R093_V20160404T092409_20160404T092409.

Дані завантажувались із сервера Sentinels Scientific Data Hub [https://scihub.copernicus.eu/dhus].

Завантажені знімки мають рівень оброблення L1C. Зображення Level L1C постачаються з виконаною радіометричною корекцією та ортометричною трансформацією. Повний перелік проведених процедур можна переглянути в супровідній документації [6].

Процес досліджень розділено на декілька етапів:

– проведення підготовчих робіт (атмосферна корекція, приведення всіх каналів зображення до одного значення, вирізання досліджуваної області);

– побудова індексних та композитних зображень, вибір індексів та композитів, які найкраще підходять для ідентифікації порушених земель;

– оконтурювання ділянок (створення масок інтересів, їх векторизація, виконання оверлейних операцій);

– визначення площ порушених земель, оцінка їх точності.

Основним інструментом, в якому виконувалося опрацювання знімків, є програма SNAP 4.0 (Sentinel Application Platform). До основних переваг цього програмного продукту належить наявність готових модулів та скриптів, розроблених спеціально для роботи з мультиспектральними та радіолокаційними знімками, отриманими супутниками Sentinel-1 та Sentinel-2, що істотно пришвидшує процес їх оброблення.

Для проведення досліджень насамперед потрібно підготувати вихідні дані. На цьому етапі виконувалась атмосферна корекція зображень з використанням Sentinel 2 correction processor, який інтегровано в програмне середовище SNAP. Результатом роботи вищезазначеного модуля є зображення з рівнем оброблення L2A.

Для проведення подальших робіт важливим є приведення роздільності всіх каналів зображення до одного значення (resampling), в нашому випадку до 10 м.

У зв'язку з розмірами знімків (280×280 км) та складністю опрацювання даних таких розмірів виконано вирізання досліджуваної області (Specific Product subset).

Після виконання підготовчих робіт здійснювалась побудова індексних та композитних зображень.

Враховуючи інтерпретаційну перевагу зображень за вегетаційними індексами PVI, AVI, WdVI, MSVI1, OSAVI, GEMI, ARVI, SARVI [1], в подальших дослідженнях аналізували продукти, отримані на основі вищезазначених індексів.

Для визначення індексів PVI, WdVI, SARVI розраховано параметри ґрунтової лінії. Для їх визначення створювалася лінійна регресійна модель, у якій ближній інфрачервоний канал був незалежною змінною. Отримано такі результати: нахил ґрунтової лінії становить 38°, точка перетину із віссю NIR –19.

Порівнявши індексні зображення, встановили, що найкраще для ідентифікації порушених унаслідок видобування бурштину земель підходять ґрідні, побудовані за індексом GEMI (див. рис. 2). Червоний колір відповідає відкритим ґрунтам та водним об'єктам.

Враховуючи надмірну зволоженість ґрунту на ділянках з видобуванням бурштину гідропомповим методом, окрім вегетаційних індексів проаналізували і водні індекси: NDWI, NDWI2, MNDWI, NDPI [7]. Найкращі результати вдалося отримати за індексом NDWI2 (див. рис. 3). Зеленим кольором позначено ділянки з більшим вмістом води у ґрунті, червоним – сухіші ділянки.

Зауважимо, що ідентифікація порушених земель на основі зображень, побудованих за вищевказаним індексом, актуальна лише на заліснених територіях. Порушені землі на відкритих ділянках ідентифікуються слабо.

Під час побудови ROI (Region Object Interesting) масок виявлено певні недоліки використання індексних зображень, що полягають у неможливості виявлення порушених земель на ділянках з хвойною рослинністю, зокрема розрідженою.

Саме тому актуальне використання і композитних зображень, на яких чіткіше ідентифікуються розмиті ґрунти на закритих ділянках.

Під час досліджень розглянуто та порівняно композити [2], вказані у табл. 1.

Таблиця 1

Перелік побудованих композитних зображень

Номер з/п	Перелік каналів (RGB)	Інтерпретація каналів
1	B4, B3, B2	RED, GREEN, BLUE
2	B4, B8, B11	RED, NIR, SWIR1
3	B8, B4, B3	NIR, RED, GREEN
4	B8, B11, B2	NIR, SWIR1, BLUE
5	B8, B11, B4	NIR, SWIR1, RED
6	B11, B8, B4	SWIR1, NIR, RED
7	B11, B4, B2	SWIR1, RED, BLUE
8	B12, B8, B3	SWIR2, NIR, GREEN
9	B12, B8, B4	SWIR2, NIR, RED
10	B12, B11, B4	SWIR2, SWIR1, RED
11	B12, B11, B8	SWIR2, SWIR1, NIR

Проаналізувавши отримані синтезовані зображення, встановили, що найпридатніші для ідентифікації порушених земель та вибору еталонних ділянок композити утворені з додаванням каналів SWIR-1, SWIR-2 (B11, B12). Імовірною причиною цього є відмінності в температурі кварцових пісків [4] та зволоженіших ділянок місцевості.

На рис. 4 показано фрагмент композитного зображення, утвореного комбінацією каналів B4, B8, B11. Відтінками помаранчевого та коричневого кольорів виділено пошкоджені ділянки. Чітко ідентифікуються канали, викопані для підведення води. Також добре дешифруються ділянки хвойного лісу, позначені зеленим кольором, суха рослинність (темно-синій колір) та відкриті підзолисті ґрунти (світло-синій, світло-рожевий).

Прийнятних результатів вдалося досягти з використанням композиту, утвореного комбінацією каналів B12, B8, B3 з інверсією кольору (рис. 5). Ділянки, на яких ведеться незаконне видобування бурштину, позначено відтінками жовтого кольору.

Оскільки на зображеннях необхідно ідентифікувати покриття одного типу, було вирішено не використовувати традиційну методику, в основу якої покладено класифікацію зображень.

Для оконтурювання пошкоджених ділянок використано маски інтересів. В програмі SNAP міститься низка інструментів для роботи з об'єктами такого типу. Маски можна будувати на основі логічних операцій з каналами, за значеннями пікселів, використовуючи інструменти рисування. Цікавим є інструмент Magic Wand Tool, який дає змогу створювати маски на основі еталонних пікселів, вказаних на зображенні.

Для поліпшення якості ідентифікації порушених земель створювалося декілька масок (за індексними та композитними зображеннями). Після конвертації масок у векторні об'єкти над ними здійснювались оверлейні операції (додавання, віднімання, перетин). Це дало змогу відокремити порушені внаслідок видобування бурштину землі від ділянок з відкритими ґрунтами. Отримані результати показано на рис. 6.

Для кожного досліджуваного кварталу визначено площі порушених земель (табл. 2).

Таблиця 2

Площі порушених земель

Номер з/п	Номер кварталу	Площа порушених земель, га
1	31	26,1
2	32	6,5
3	48	0,4
4	49	23,4
5	50	4,4
6	62	38,3
Разом:		99,1

На завершальному етапі робіт досліджено точність визначення площ за знімками Sentinel-2. Для цього використано ортофотоплан місцевості масштабу 1:5000, побудований за даними знімань безпілотним літальним апаратом. На знімках та ортофотоплані вибирали ідентичні ділянки, визначали та порівнювали їхні площі. Результати показано на рис. 7. Різниця площ не перевищує 5 % і становлять у середньому 2 %.



Рис. 1. Ділянка досліджень

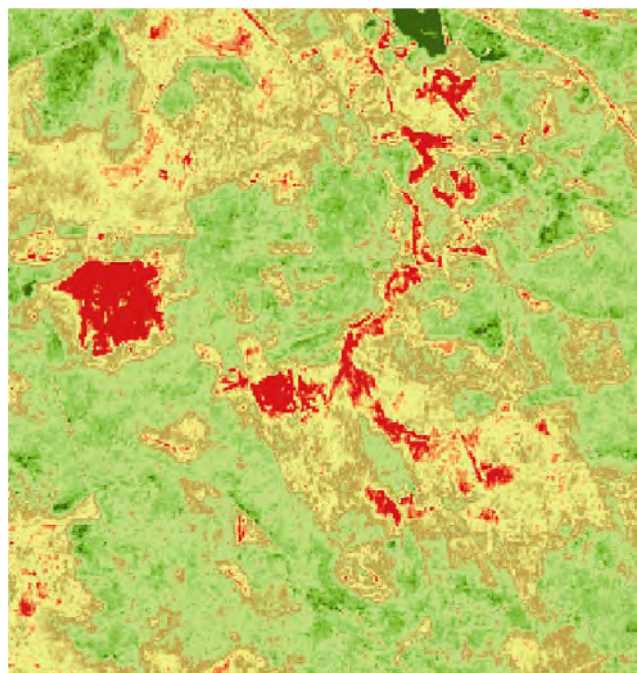


Рис. 2. Фрагмент індексного зображення, побудованого за індексом GEMI

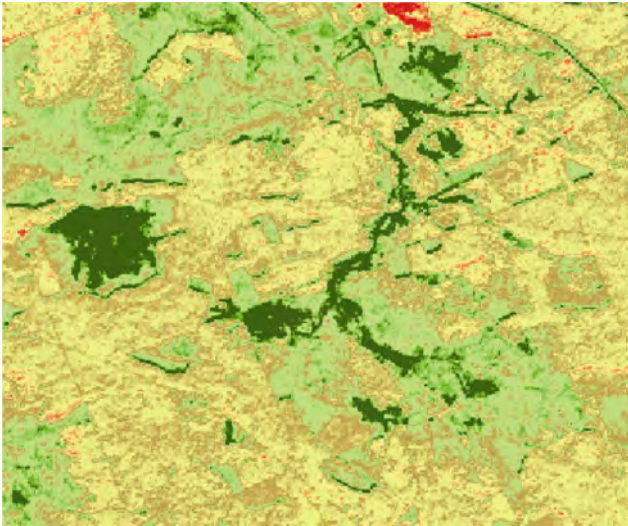


Рис. 3. Фрагмент індексного зображення, побудованого за індексом NDWI2



Рис. 6. Порушені землі, виявлені під час аналізу знімків Sentinel-2

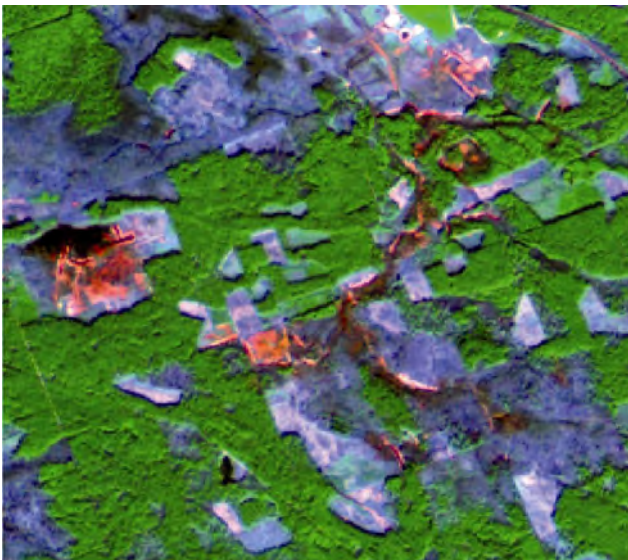


Рис. 4. Фрагмент композитного зображення (RED, NIR, SWIR-1)

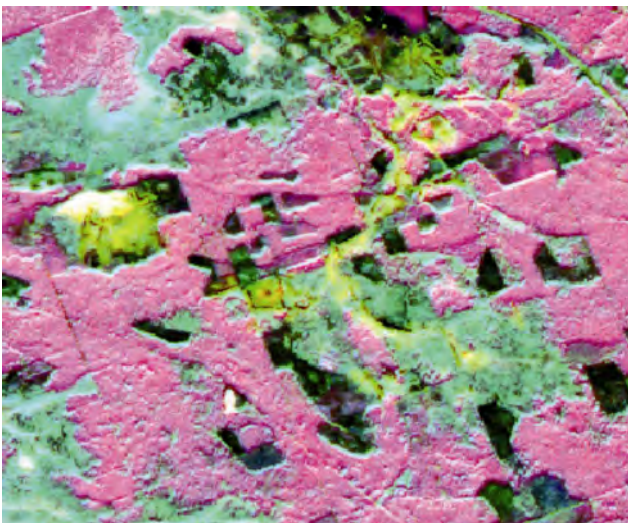


Рис. 5. Фрагмент композитного зображення (SWIR-2, NIR, GREEN) з інверсією кольору

№ п/п	Площа ділянки, га		Різниця площ, га	Фрагменти зображень	
	"Sentinel-2"	Безпіл.		"Sentinel-2"	Безпіл.
1	2.61	2.65	-0.04		
2	1.18	1.13	0.05		
3	2.86	2.84	0.02		
4	1.64	1.63	0.01		
5	1.95	1.93	0.02		
6	2.19	2.25	-0.06		
7	1.29	1.33	-0.04		

Рис. 7. Порівняльний аналіз площ, визначених за супутниковим знімком та ортофотопланом місцевості

Висновки

1. У роботі виконано порівняльний аналіз індексних та композитних зображень.
2. Найкраще розрізнення порушених земель спостерігається на зображеннях, побудованих за індексом GEMI, NDWI2, та композиті, утвореному комбінацією каналів B12, B8, B3 з інверсією кольору.

3. Для підвищення точності оконтурювання та виявлення порушених ділянок на вкритих хвойною рослинністю територіях на етапі побудови масок доцільно використовувати як індексні, так і композитні зображення.

4. Площа порушених земель на досліджуваній території становить 99,1 га.

5. Розходження між площами, визначеними зі знімків Sentinel-2, та ортофотопланом місцевості масштабу 1:5000 становлять у середньому 2 %.

6. Наведену в роботі методику ідентифікації порушених земель можна покращити з використанням результатів тематичного оброблення радіолокаційних супутникових знімків.

Література

1. Бардиш Б. Використання вегетаційних індексів для ідентифікації об'єктів земної поверхні / Б. Бардиш, Х. Бурштинська // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2014. – Вип. II (28). – С. 82–88.
2. Перспективи розвитку сільського та екологічного туризму в Україні: монографія / за заг. ред. М. Х. Шершуна; Рівненський центр маркетингових досліджень. – Рівне: Видавець Олег Зень, 2016. – 264 с.
3. Філіпович В. Є. Методика пошуку та локалізації ділянок незаконного видобутку бурштину за матеріалами багатозональної космічної зйомки / В. Є. Філіпович, Г. Б. Крилова, М. С. Лубський // Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях: зб. наук. праць 14-ї Міжнар. наук.-практ. конфер. (5–9 жовтня 2015 р, м. Київ, Пуша-Водиця). – С. 181–198.
4. Філіпович В. Є. Оперативний контроль поширення нелегального видобутку бурштину та оцінка збитків, заподіяних державі, за матеріалами багатозональної космічної зйомки / В. Є. Філіпович // Екологічна безпека та природокористування. – 2015. – № 4. – С. 91–97.
5. Філіпович В. Є. Супутниковий моніторинг територій незаконного видобутку бурштину / В. Є. Філіпович // Український журнал дистанційного зондування Землі. – № 6 (2015). – С. 4–7.
6. EESA Sentinel online. Level-1C Processing [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://earth.esa.int/web/sentinel/technical-guides/sentinel-2-psi/level-1c-processing>.
7. Ji L., Zhang L., Wylie B. Analysis of dynamic thresholds for the normalized difference water index Photogramm // Eng. Remote Sens. – 75 (11) (2009). – P. 1307–1317

Ідентифікація та визначення площ порушених унаслідок видобування бурштину земель на основі багатозональних супутникових знімків Sentinel-2

Р. Янчук, А. Прокопчук, С. Трохимець

Досліджено можливість виявлення порушених унаслідок видобування бурштину земель за багатозональними супутниковими знімками Sentinel-2. Визначено індексні та композитні зображення, за якими найкраще виконувати ідентифікацію місць видобування бурштину.

Идентификация и определение площадей нарушенных в результате добычи янтаря земель на основе многозональных спутниковых снимков Sentinel-2

Р. Янчук, А. Прокопчук, С. Трохимець

Исследована возможность определения нарушенных в результате добычи янтаря земель по многозональным спутниковым снимкам Sentinel-2. Определены индексные и композитные изображения, по которым лучше всего идентифицируются места добычи янтаря.

Identification and definition of the areas disturbed by mining amber lands based on multispectral satellite imagery Sentinel-2

R. Yanchuk, A. Prokopchuk, S. Trohimets

The possibility of determining disturbed as a result amber extraction on land multispectral satellite imagery Sentinel-2. Defined index and composite images which best identifies the places of extraction of amber.

