

Моніторинг та картографування територій нелегального видобутку бурштину за даними ДЗЗ (на прикладі Житомирського Полісся)

Вікторія А. Атаманчук

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

Monitoring for the areas of illegal extraction of amber using remote sensing (on the territory of Zhytomyr Polissya)

Viktoria A. Atamanchuk

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

ABSTRACT

The article presents the distribution of current locations of amber deposits on the territory of Ukraine using cartographic data. The preconditions and the scale of the problem are indicated. The list of areas where the activity of amber extraction is currently the largest is given. The main possible ecological, economic and social consequences of illegal extraction of amber for natural ecosystems are determined, and the specifics of damage are described. The study investigates the possibility of detecting areas damaged by amber mining through multi-zonal satellite images Sentinel-2 that are available in a free access and have a high resolution. Composite images have been selected and the best identified composites for areas of illegal amber extraction have been chosen. Classifications of land covers of the area have been studied in the context of the last two years and qualitative changes in the structure of land use were detected. It has been shown that data of space surveys in the monitoring mode allow to indicate and map the illegal extraction of amber, as well as to detect the scale of negative impact on the environment for implementation of a system of reclamation methods for damaged territories. This methodology can be used in monitoring compliance with environmental legislation in open mining areas of other minerals.

KEYWORDS

Illegal extraction, monitoring, amber, remote sensing

1. Вступ

Нині в Україні з кожним роком все більшого резонансу набуває явище так званої «бурштинової лихоманки» – самовільного видобутку бурштину. Особливо зухвало це відбувається в межах Житомирського Полісся – території, що не входить до району промислового видобутку. Масштаби порушених земель, відсутність досвіду їх рекультивациі вимагають здійснення практичних заходів. Негативні наслідки від нелегального видобування бурштину несуть загрозу екологічним і соціально-економічним складовим безпеки північних регіонів України, впливають на розвиток окремих галузей господарства (сільського, лісового, гірничодобувного) (Filipovych, 2015). Наказом Державного агентства лісових ресурсів України №138 від 21 квітня 2017 р. (List of Lands for Forestry, 2017) визначено перелік земель лісгосподарського призначення, у межах яких є ділянки, які порушені внаслідок незаконного видобування бурштину і потребують рекультивациі.

Основні напрацювання в цьому напрямку здійснюють фахівці ДУ «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі» ІГН НАН України (Filipovych, 2015). Екологічні проблеми видобутку бурштину знайшли відображення у

працях ряду фахівців (Kovalevsky, 2017; Nadtochii, 2015). Актуальність дослідження обумовлена відсутністю свіжих картографічних даних. Актуальним залишається і дослідження реального стану сучасної екологічної ситуації в регіоні та перспективи впровадження іноземного досвіду відновлення порушених земель в Україні.

2. Матеріали та методи

Супутниковий моніторинг територій нелегального видобутку бурштину – відносно новий метод дослідження проблеми в Україні.

Наше дослідження проведене на основі супутникових знімків Sentinel-2, що дають змогу з великою достовірністю і достатньою точністю визначити і локалізувати місця незаконного видобування та реально оцінити масштаби його поширення (Prokorpchuk, 2017).

Для супутникового моніторингу територій нелегального видобутку бурштину на території Житомирського Полісся було обрано дані супутника серії Sentinel-2A, який входить до європейської системи глобального моніторингу Землі (Copernicus) та здійснює зондування з періодичністю десять днів на екваторі та п'ять днів у середніх широтах. Завдяки високій роздільній здатності (у 10, 20 та 60 м – в залежності від каналу), 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, одним із яких і являється нелегальний видобуток бурштину. Космоснімки були завантажені із сервера Sentinels Scientific Data Hub.

Ідентифікатори знімків:

S2A_MSIL2A_20180501T090601_N0207_R050_T35UNS_20180501T125846;

S2A_MSIL1C_20160713T092032_N0204_R093_T35UNS_20160713T092032.

Їх подальша обробка здійснювалась за допомогою безкоштовного програмного забезпечення – SNAP, ENVI та QGIS.

Отже, у ході роботи було використано такі методи: теоретичний, аерокосмічний, ГС, картографічний.

3. Обговорення

Нелегальне вилучення та поширення бурштину в Україні процвітає через відсутність належної екологічної політики держави, низький рівень доходів місцевого населення та простоту видобутку.

Україна входить до п'ятірки країн світу за запасами бурштину. Вторинні прояви цього кошового каменю в Україні виявлено вченими на таких бурштиноносних площах (рис. 1):

1. Клесівсько-Пержанська (Житомирська область);
2. Дубровицько-Володимирецька (Рівненська область);
3. Барашівська (Рівненська область);
4. Маневицька (Волинська область);
5. Могилянська (Хмельницька область);
6. Верхньодніпровська (Київська область);
7. Середньодніпровська (Полтавська область);
8. Нижньодніпровська (Кіровоградська і Запорізька області);
9. Карпатська (Львівська і Тернопільська

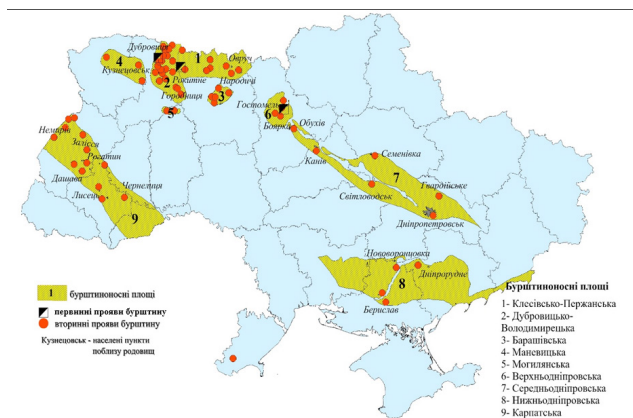


Рис. 1. Поклади бурштину в Україні (за даними Matsui & Nesterovskiy, 1995).

Fig. 1. Amber deposits in Ukraine (based on Matsui & Nesterovskiy, 1995)

області) (Nadtochii, Myslyva 2015).

Бурштин утворився приблизно 45-50 мільйонів років тому внаслідок значного потепління і зволоження клімату у еоцені, що викликало рясне смоловиділення рослинності родин соснових Pinaceae, таксодієвих Taxodiaceae, кипарисових Cupressaceae та деяких інших переважно крейдяно-палеоогенового віку (Komliev, 2018). Так утворились первинні прояви бурштину (власне родовища). Вони найбільше поширені на території Полісся, особливо у Рівненській та Житомирській областях (Клесівсько-Пержанська та Дубровицько-Володимирецька бурштиноносні площі), також виділяється ареал в межах Київської області та весь Карпатський регіон – тобто регіони із найбільшою кількістю хвойних дерев.

На дні київського моря накопичувалися глауконітово-піщані фосфоритонасні й мергельні шари, які неузгоджено перекривали як утворення кристалічного фундаменту, так і товщі осадового чохла. У кінці епохи відбулося незначне відступання моря й часткове розмиття переважно верхніх наддвугільних горизонтів. Як наслідок – сформувалися бідні розсипи бурштину-сукциніту, що становлять лише мінералогічний інтерес. Найінтенсивніше розмиття бітумовмісних буровугільних нашарувань і надходження протобурштину в берегову зону морських басейнів відбувалися в пізньому еоцені (Обухівська трансгресія) і ранньому олігоцені (Межигірська трансгресія). У цей час моря, що омивали територію північної України, являли собою типовий епіконтинентальний басейн, який відрізнявся від середньоеоценового (київського) дещо меншими глибинами, особливо на територіях, що прилягали з півночі й північного сходу до суші – Дніпробасу (Rudko, 2017). Так були утворені сучасні вторинні прояви бурштину (розсипи) – Середньодніпровська та Нижньодніпровська бурштиноносні площі.

Зважаючи на порівняно незначну відстань між Клесівським родовищем і виявленими ареалами покладів бурштину, де нині проводять його несанкціонований видобуток в Олевському і Коростенському районах, а також подібність геоморфологічних і ґрунтових умов територій, слід вважати зазначені їхні ареали продовженням Клесівського родовища (Kovalevsky et al., 2017).

Незаконний видобуток бурштину здійснюється ручним і гідромеханічним способом (помпуванням). Останній на цей час переважає і має більш катастрофічні наслідки.

Гідромеханічний спосіб видобутку полягає в розмиванні водою під великим тиском ґрунту на глибину до 6–10 метрів. Оскільки бурштин легший за воду, він спливає на поверхню та вилучується сітками. Коли процес розмивання доходить до глини, яка залягає під покладами бурштину, розробку припиняють. Видобуток таким способом повністю знищує родючий шар ґрунту. Струмінь

Таблиця 1. Екологічні наслідки діяльності, пов'язаної з незаконним видобуванням бурштину.**Table 1.** Environmental effects, which are caused by illegal amber extraction.

| Компонент ландшафту | Характер змін | Екологічні наслідки |
|---------------------|--|--|
| Ґрунтовий покрив | Зменшення/втрата верхнього родючого шару | Погіршення якості ґрунту; |
| | Порушення цілісності ґрунтового покриву | Осування ґрунту; Виникнення процесів вітрової та водної ерозії; Деградація та втрата родючості; Засмічення земельної ділянки |
| Водні об'єкти | Порушення гідрологічного режиму річкової мережі та усієї території загалом | Самовільне використання поверхневих та підземних вод; |
| | Зниження рівня ґрунтових вод | Засмічення водотоків відходами від видобутку; Незаконне утворення нових водойм на місці ям-копанок Можливе підтоплення території |
| Рослинність | Порушення цілісності трав'яного покриву; | Обезліснення великих ділянок території; |
| | Пошкодження кореневої системи дерев та як наслідок- їхнє знищення | Виникнення процесів вітрової ерозії та зсувів ґрунту |
| Атмосферне повітря | Викиди в атмосферу CO ₂ , CO, SO ₂ , NO ₂ та інших шкідливих сполук | Забруднення внаслідок спалювання паливно-мастильних матеріалів |
| Земні надра | Деформація земної поверхні | Пошкодження родовищ корисних копалин, яке повністю виключає або суттєво обмежує можливість їх подальшої експлуатації; |
| | Порушення геологічної структури території | Виснаження надр |

води під великим тиском розмиває ґрунт, повністю руйнуючи ґрунтовий покрив у місці ймовірного залягання корисної копалини, внаслідок чого утворюється яма. Під час розмивання гумусовий шар перемішується з основною масою підстеляючих піщаних та супіщаних порід. Відновлення родючого шару займає десятки років (Kovalevsky et al., 2017).

Масове неконтрольоване вилучення бурштину з надр веде до низки негативних наслідків не лише в екологічній (табл. 1), але й економічній та соціальній сферах. По-перше, це величезні збитки у водному та лісовому господарствах, нехтування митними процедурами, витік за межі держави значного капіталу, процвітання торгівлі бурштином на чорному ринку. По-друге, підвищення криміногенної обстановки не лише на локальному, а й на загальнодержавному рівнях, спостерігається посилення та ескалація конфліктних ситуацій між місцевим населенням та «копачами», а також можливе отримання травм в процесі необережного поводження. Але найголовніше, навколишнє природне середовище зазнає величезної шкоди. Сюди варто віднести порушення гідрогеологічних умов на прилеглих територіях та цілісності геологічних утворень, деградація ґрунтів, знищення верхнього родючого шару, порушення функціонування кореневої системи дерев, що веде до їх загибелі, активізація водної та вітрової ерозії. Якщо зміна відбувається бодай навіть в якомусь одному компоненті – це

неминуче призведе до змін в усьому біогеоценозі.

Незаконний видобуток бурштину здійснюється переважно у закритій та напівзакритій місцевості. Це чагарники, ліси та лісосмуги, віддалені від населених пунктів та магістральних автошляхів. Часто доступ до ділянок видобутку обмежено озброєною охороною невідомого підпорядкування. Через таку локалізацію бурштинних розробок їх дуже важко вчасно і точно визначити на місцевості наземними методами (Filipovuch, 2015). Саме тому для оцінки масштабів та вирішення цієї проблеми найдоцільнішим є застосування матеріалів космічних зйомок, що дозволяють визначити і локалізувати місця незаконного видобутку з великою детальністю.

4. Результати

На території Житомирського Полісся несанкціонована діяльність, пов'язана із вилученням сонячного каменю найбільше проявляється в Олевському районі, тому ділянкою досліджень було вибрано саме цю територію (район селищ Обище та Шебедиха).

Для проведення даного дослідження було завантажено знімки, отримані 13.07.2016 р. та 01.05.2018 р. як найбільш репрезентативні через найнижчий (нульовий) відсоток хмарності.

Процес досліджень розділено на декілька етапів:

1) приведення знімків до одного рівня обробки

Таблиця 2. Перелік композитних зображень для Sentinel-2.
Table 2. List of composite images for Sentinel-2.

| № (band) | Інтерпретація каналів | Довжина хвилі, нм |
|----------|-----------------------|-------------------|
| 1 | Coastal aerosol | 0,443 |
| 2 | Blue | 0,490 |
| 3 | Green | 0,560 |
| 4 | Red | 0,665 |
| 5 | Vegetation red edge | 0,705 |
| 6 | Vegetation red edge | 0,740 |
| 7 | Vegetation red edge | 0,783 |
| 8 | NIR | 0,842 |
| 8a | Narrow NIR | 0,865 |
| 9 | Water vapour | 0,945 |
| 10 | SWIR – Cirrus | 1,375 |
| 11 | SWIR-1 | 1,610 |
| 12 | SWIR-2 | 2,190 |

(трансформація знімку рівня 1C в 2A шляхом атмосферної корекції);

2) приведення всіх каналів зображення до одного значення та вирізання фрагменту досліджуваної області;

3) проведення класифікації земельних покривів (створення районів інтересу ‘Regions of Interest’ (ROI) та оконтурювання).

Основним інструментом, в якому виконувалося опрацювання знімків – програма SNAP. Результатом роботи вищезазначеного модуля

є зображення з рівнем оброблення L2A. Було приведено роздільність всіх каналів зображення до одного значення (*resampling*) до найменшої (10 м), а також виконано вирізання досліджуваної області (Prokorchuk et al., 2017).

Досліджувана область була завантажена в середовище ENVI. Наступним етапом став перегляд композитів (табл. 2) та вибір найбільш прийняттого для проведення класифікації земельних покривів території.

Методом підбору спектральних каналів було встановлено, що найпридатніші для ідентифікації порушених земель та вибору еталонних ділянок є композити каналів SWIR-1, NIR, Blue (11-8-2), що добре ідентифікують землекористування (рис. 2, a, b) та NIR, Red, Green (8-4-3), які в інфрачервоному діапазоні виділяють різні типи рослинного покриву території, дешифрують нездорову рослинність та штучні поверхні (рис. 2, c, d).

При комбінації 11-8-2 відтінками рожевого кольору виділяються лісові вирубки, відтінками білого – відкритий ґрунт. Чітко ідентифікуються пошкоджені ділянки, що мають синій колір. Також добре дешифруються ділянки хвойного лісу, позначені темно-зеленим кольором, широколистяні ліси (яскраво-зелений колір) та пошкоджені внаслідок видобутку всохлий ліс (темно-фіолетові ділянки).

Комбінація 8-4-3 ідентифікує хвойний ліс темно-червоним кольором, широколистяний –

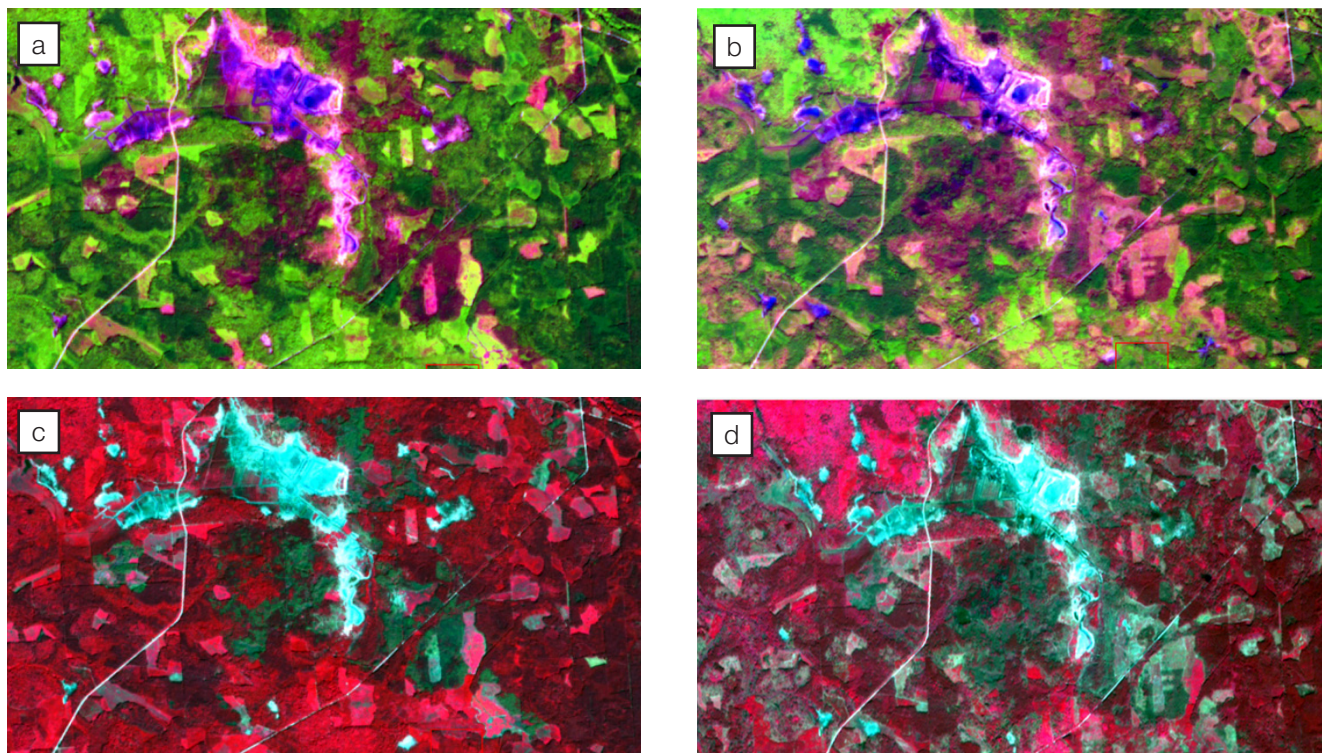


Рис. 2. Фрагменти композитного зображення, утвореного комбінацією каналів B11, B8, B2 (a, b) та B8, B4, B3 (c, d).
 a, c – 13.07.2016, b, d – 01.05.2018.

Fig. 2. Fragments of a composite image, created by a combination of channels B11, B8, B2 (a, b) and B8, B4, B3 (c, d).
 a, c – 13.07.2016, b, d – 01.05.2018.

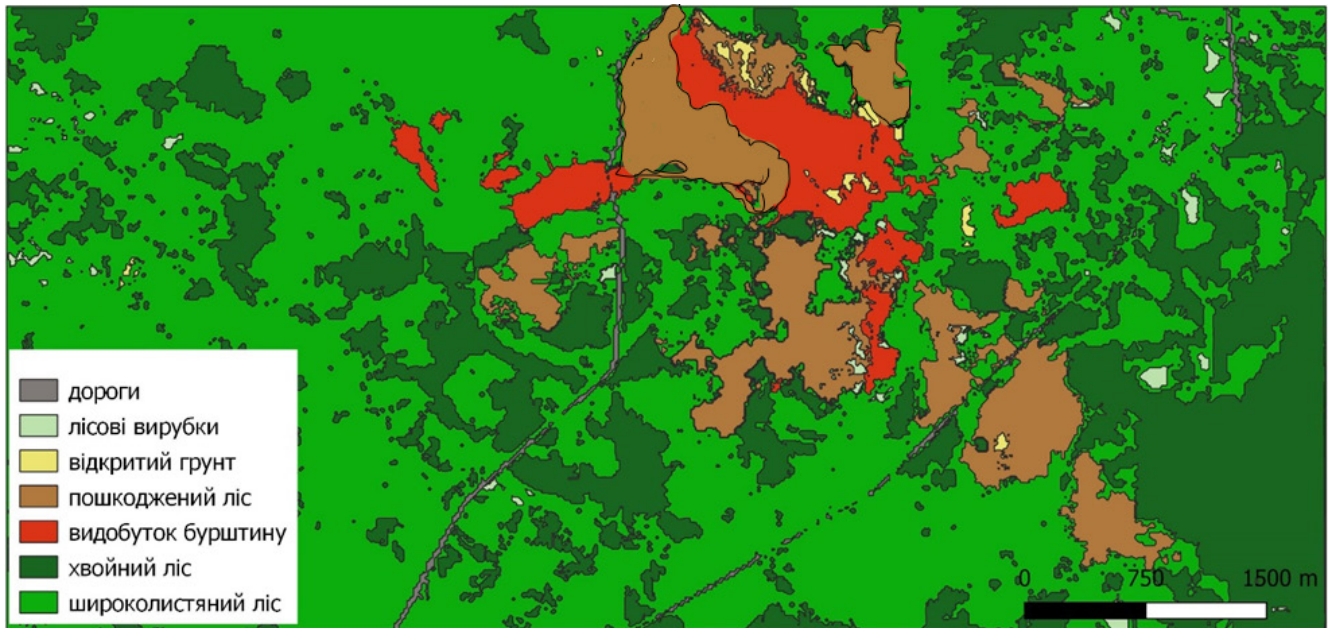


Рис. 3. Нелегальний видобуток бурштину на території Житомирського Полісся (на основі даних Sentinel-2A). 13.07.2016 р. Житомирська область, Олевський район. Масштаб оригіналу 1: 50 000.

Fig. 3. Illegal amber extraction on the territory of the Zhytomyr Polissia (based on the data from Sentinel-2A). 13.07.2016. Zhytomyr region, Olevskiy district. Scale 1: 50 000.

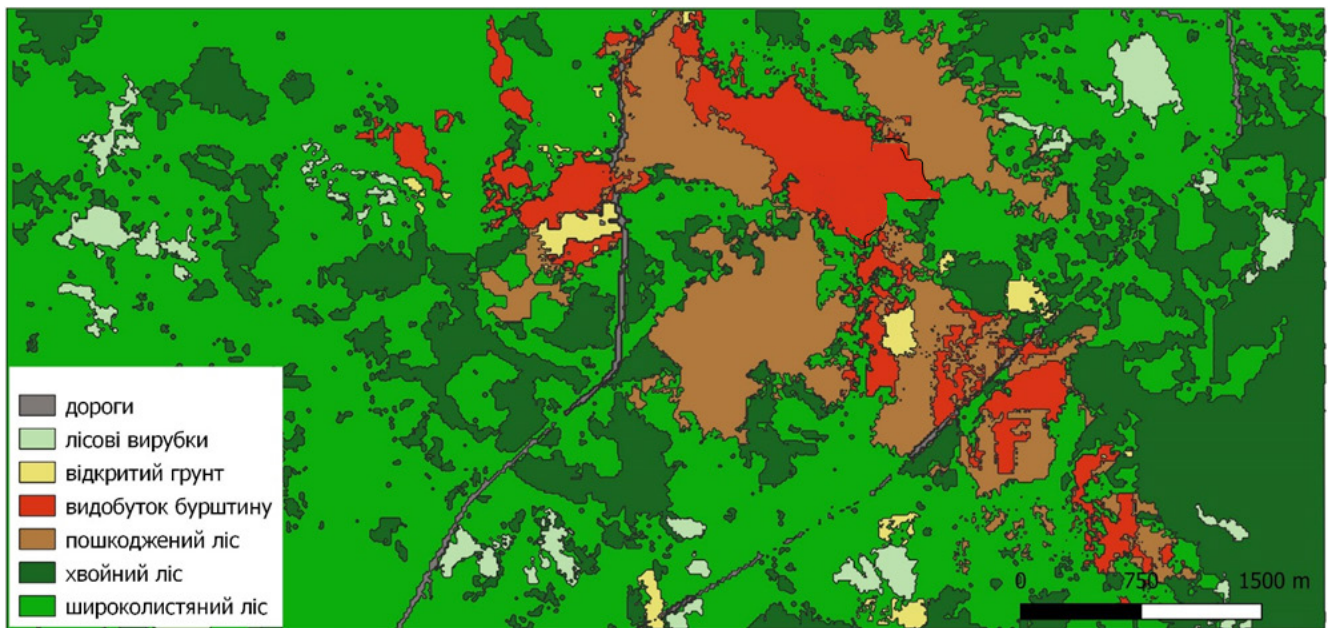


Рис. 4. Нелегальний видобуток бурштину на території Житомирського Полісся (на основі даних Sentinel-2A). 01.05.2018 р. Житомирська область, Олевський район. Масштаб оригіналу 1: 50 000.

Fig. 4. Illegal amber extraction on the territory of the Zhytomyr Polissia (based on the data from Sentinel-2A). 01.05.2018. Zhytomyr region, Olevskiy district. Scale 1: 50 000.

яскраво-червоним із бархатистою текстурою, пошкоджені землі внаслідок видобутку – яскравим бірюзовим кольором, ділянки відкритого ґрунту – білим. Зеленим кольором відображена нездорова рослинність – сухий ліс, що постраждав внаслідок видобутку бурштину кустарним способом.

На основі цих комбінацій була здійснена класифікація земельних покривів та їх конвертизація у середовище QGIS.

Кінцевим результатом дослідження стала

карта поширення ділянок нелегального видобутку бурштину у розрізі двох років (рис. 3 і рис. 4).

Проаналізувавши побудовані картографічні матеріали, можна стверджувати про значні зміни у структурі земельних покривів досліджуваної території. Ділянка картографування має розміри 8,17 км × 3,84 км та загальну площу 31,37 км². Візуально помітно, що за два роки розширилася площа території нелегального видобутку бурштину та як наслідок цього – зросла площа лісів, що

Таблиця 3. Порівняльний аналіз змін у структурі земельних покривів.**Table 3.** Comparative analysis of the changes in land cover types.

| | 2016 | 2018 |
|---|-------|-------|
| Загальна площа порушених територій, км ² | 1,194 | 1,955 |
| Загальна площа пошкодженого лісу, км ² | 2,207 | 4,068 |
| Загальна площа відкритого ґрунту, км ² | 25,03 | 33,23 |

постраждали від цієї діяльності (табл. 3).

За неповних два роки, площа нелегального видобутку бурштину зросла у понад 1,5 рази – з 1,2 км² до майже 2 км². На картах виділяється збільшення площі відкритого ґрунту – з 25 км² до 33 км². У структурі земельних покривів найбільші кількісні зміни наявні у класі «пошкоджена рослинність/ліс» – станом на 01.05.2018 року спостерігається збільшення у 2 рази – із 2 км² до 4 км².

5. Висновки

На прикладі однієї із декількох найпроблемніших ділянок території Житомирського Полісся апробовано методику моніторингу стану землекористування на основі космоснімків Sentinel-2, які вирізняються високою роздільною здатністю та доступністю.

Проведені моніторингові дослідження вказують на те, що на теренах Житомирського Полісся інтенсивно формуються бедленди, площа яких швидко збільшується.

Узагальнено всі можливі наслідки незаконної діяльності в екологічній, економічній та соціальній сферах, що пов'язана із незаконним вилученням бурштину із надр.

На основі класифікованих зображень земельних покривів доцільно проводити моніторинг якісних змін у структурі природокористування та господарських об'єктів для потреб планування раціонального використання ресурсів.

Дана технологія має універсальний характер і може використовуватися при моніторингу дотримання природоохоронного законодавства на інших територіях відкритого видобутку корисних копалин, виявляти подібні ділянки для застосування запобіжних заходів та впровадження системи методів рекультивациі порушених територій.

Список посилань

- Komliev, O. O. (2018). Heomorfolohichni zasady rozshyrennya syrovynnoyi bazy burshtynu v Ukrayini [Geomorphological foundations of the expanding of the mineral base of amber in Ukraine]. *Physical Geography and Geomorphology*, 92, 14-22 (In Ukrainian).
- Kovalevsky, S. B., Marchuk, Y. M., Mayevsky, K. V., Kurdyuk, O. M. (2017). Burshtyn na terytoriyi Ukrayins'koho Polissya: utvorennia, vydobutok, naslidky [Amber in the Ukrainian Polissya territory: development, exemptions, consequences]. *Lisove i sadovo-parkove hospodarstvo*, 13 (In Ukrainian).
- Matsui, V. M., Nesterovsky, V. A. (1995). *Yantar Ukrainy (sostoyaniye problemy)* [Amber of Ukraine (state of the problem)]. Kyiv: Terra (In Russian).
- Nadtochii, P. P., Myslyva, T. M. (2015). *Ekolohichni naslidky vydobuvannya burshtynu na Zhytomyrshchyni* [Environmental consequences of amber mining in Zhytomyr region]. Zhytomyr, ZhNAEU (In Ukrainian).
- Pro zatverdzhennia Pereliku zemel' lisohospodarskoho pryznachennia, u mezhakh yakykh ye chastyny, yaki porusheni vnaslidok nezakonnoho vydobuvannya burshtynu i potrebuyut' rekul'tyvatsiyi [On Approval of the List of Lands for Forestry, within which there are parts that are violated as a result of the illegal extraction of amber and require reclamation]. (2017)(In Ukrainian).
- Prokopchuk, A., Yanchuk, R., Trohimets, S. (2017). Identyfikatsiya ta vyznachennia ploshch porushenykh unaslidok vydobuvannya burshtynu zemel na osnovi bahatozonalnykh suputnykovykh znmkiv Sentinel-2 [Identification and definition of the areas disturbed by mining amber lands based on multispectral satellite imagery Sentinel-2]. *Modern achievements of geodesic science and production*, 1 (33), 120-124 (In Ukrainian).
- Rudko, G. I. (2017). Rodovyshcha burshtynu ukraiyiny ta perspektyvy yikh osvoyennia [Amber deposits of Ukraine and prospects of their development]. *Mineral Resources of Ukraine*, 2, 18-21 (In Ukrainian).
- Filipovych, V. E. (2015). Operatyvnyy kontrol' poshyrennia nelehal'noho vydobutku burshtynu ta otsinka zbytkiv, zapodiyanykh derzhavi, za materialamy bahatozonal'noyi kosmichnoyi ziomky [Operational control over the distribution of illegal amber extraction and assessment of damage caused to the state by materials of multizone space shooting]. *Environmental safety and nature management*, 4, 91–97 (In Ukrainian).

Атаманчук В. А. Моніторинг та картографування територій нелегального видобутку бурштину за даними ДЗЗ (на прикладі Житомирського Полісся). *Фізична географія та геоморфологія*, 93 (1): 12–18.

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, вул. Володимирська, 64/13, Київ, 01601, Україна

У даній роботі наведені картографічні дані, що репрезентують ареали сучасного поширення покладів бурштину в межах України. Зазначено передумови виникнення проблеми та її масштаби. Наведено перелік територій, де активність копачів є найбільшою. Висвітлені можливі основні екологічні, економічні та соціальні наслідки незаконного видобутку бурштину для природних екосистем, описано специфіку ушкоджень. Досліджено можливість виявлення порушених унаслідок видобування бурштину земель за багатозональними супутниковими знімками Sentinel-2, котрі знаходяться у вільному доступі та мають високу роздільну здатність. Здійснено підбір композитних зображень та визначено ті композити, за якими найкраще виконувати дешифрування місць видобування бурштину. Отримано класифікації земельних покривів досліджуваної території у розрізі двох останніх років та виявлено якісні зміни у структурі землекористування. На конкретному прикладі показано, що матеріали космічних зйомок у моніторинговому режимі дозволяють, з великою достовірністю виявляти та окреслювати ділянки незаконного видобутку бурштину та прогнозувати масштаби екологічних наслідків задля впровадження системи методів рекультиваци порушених територій. Запропонована методика може використовуватися при моніторингу дотримання природоохоронного законодавства на ділянках відкритого видобутку інших корисних копалин.

Ключові слова: нелегальний видобуток, моніторинг, бурштин, ДЗЗ.