

Качановський О.І.

Відокремлений структурний підрозділ «Рівненський коледж
Національного університету біоресурсів і природокористування України»

МЕТОДИКА ІДЕНТИФІКАЦІЇ ПОРУШЕНИХ ЗЕМЕЛЬ ВНАСЛІДОК ВИДОБУВАННЯ БУРШТИНУ З ВИКОРИСТАННЯМ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНИХ СУПУТНИКОВИХ ЗНІМКІВ LANDSAT

В останні роки істотно зростають обсяги незаконного видобування бурштину на значних площах північно-західної частини Українського Полісся. Самовільне стихійне видобування бурштину завдає відчутної шкоди економіці та екології регіону, зокрема спричиняє порушення структури природних ландшафтів і погіршує агроекологічний стан ґрунтів, призводить до негативних змін у режимі поверхневих і підземних вод та псування рослинного покриву і знищення лісів.

Безумовно, негативні наслідки від стихійного видобування бурштину загрожують екологічним і соціально-економічним складникам безпеки північно-західних регіонів України, негативно впливають на розвиток сільського, лісового, гірничодобувного господарств [0].

Для оцінювання масштабів нелегального видобування бурштину, визначення площ порушених земель та обсягів рекультивациі необхідно передусім здійснити детальний моніторинг пошкоджених угідь.

Більшість територій незаконного видобування розміщена на важкодоступних заліснених і заболочених масивах, віддалених від населених пунктів і без наявності доріг. Перспективним способом для оперативного і точного картографування проблемних територій і визначення площ незаконних розробок є використання безпілотних картографічних дронів. Однак їхнє застосування обмежується складними природними умовами та високим ризиком втрати БПЛА.

У роботі ми пропонуємо вирішення цієї проблеми шляхом застосування матеріалів дистанційного зондування землі, а саме – мультиспектральних знімків супутникової системи Landsat-8. Використання цієї супутникової системи дає можливість достовірно та досить точно визначати локації незаконного видобування бурштину та реально оцінювати масштаби екологічної шкоди.

Ключові слова: порушені землі, видобуток бурштину, мультиспектральні супутникові знімки, дистанційне зондування.

Постановка проблеми. Моніторинг порушених унаслідок незаконного видобування бурштину земель за допомогою наземних методів знімання та збирання даних із використанням безпілотних літальних апаратів не завжди можливий і 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 середньої роздільної здатності Landsat-8. Проте алгоритм їх опрацювання в процесі виявлення порушених земель в умовах Українського Полісся залишається малодослідженим.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Зазначимо, що проблема використання даних дистанційного зондування для виявлення місць незаконного видобування бурштину та визначення їхніх площ поки ще вивчена не досить. Основні напрацювання в цьому напрямі викла-

дено у роботах фахівців Національного університету водного господарства та природокористування та ДУ «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі» ІГН НАН України. Зокрема, цією проблематикою займаються такі вчені: Філіпович В.Є., Прокопчук А.В., Шевчук Р.М., Мозговий Д.К. та інші. У роботах, присвячених цій проблематиці, розглянуто питання застосування багатозонального космічного знімання різноманітних супутникових систем для визначення локацій порушених земель унаслідок видобування бурштину.

Постановка завдання. Метою статті є дешифрування матеріалів супутникових зйомок із метою визначення порушених земель унаслідок незаконного видобутку бурштину.

Виклад основного матеріалу дослідження. Вихідними даними для проведення досліджень є мультиспектральні космічні знімки, отримані за допомогою супутникової системи Landsat-8, яка є частиною космічної програми «Landsat». Цей

спутник працює у видимому діапазоні хвиль і в ближньому інфрачервоному (роздільна здатність 15 метрів на піксель для панхроматичних даних і 30 метрів на піксель для мультиспектральних даних).

Завдяки досить хорошій геометричній точності (20 м без опорних точок) та відкритому доступу такі дані незамінні у процесі моніторингу екологічно небезпечних явищ.

Ділянкою досліджень обрано заліснену територію поблизу села Жовкині Володимирецького району Рівненської області.

На рис. 1 наведено фрагмент растрової підкладки публічної кадастрової карти України, де чітко видно, що в цей період (2009 р.) на досліджуваній території видобуток бурштину не відбувався.

Для досліджень завантажено знімки, отримані протягом 2013–2017 років. Дані завантажувались із відкритих джерел (сервера USGS <http://earthexplorer.usgs.gov>).

Для проведення досліджень насамперед потрібно підготувати вихідні дані: відібрати такі знімки, які мають мінімальну частку захмареності.

У зв'язку з досить великою сценою знімків і складністю опрацювання даних таких розмірів виконано вирізання досліджуваної ділянки.

Враховуючи надмірну зволоженість ґрунту на ділянках із видобуванням бурштину гідропомповим методом (рис. 3), було побудовано моделі вод-

них індексів: $NDWI$, $NWI_{green-swir}$, $NWI_{red-swir1}$, $NWI_{nir-swir1}$, $NWI_{blue-nir}$, $NWI_{blue-swir1}$, $NWI_{swir1-swir2}$, $NWI_{blue-swir2}$, $NWI_{green-swir2}$, $NWI_{red-swir2}$, $NWI_{nir-swir2}$.

Вплив механічного складу ґрунту проявляється в тому, що піщані ґрунти висихають швидко, втрачаючи воду через випаровування, вони не утримують стільки води, скільки суглинкові та глинисті. Значний вплив на вміст води в ґрунті виявляє характер поверхні ґрунту. Чим рівніша поверхня ґрунту, тим менше вона випаровує води, тоді як ґрунт після обробітку випаровує значно більше вологи [0].

Накопичення та зберігання води в ґрунті в багатьох випадках залежить від водно-фізичних властивостей, таких як: водозатримуюча здатність, водопроникність, водопідйомна та випарувальна здатність ґрунту.

Нагадаємо, що водопроникність – це здатність ґрунту поглинати воду, вона вимірюється величиною стовпчика рідини, яка проникає в ґрунт за одиницю часу. Суглинні ґрунти легкого механічного складу з відповідною структурою та складом мають високу водопроникність. Щодо ґрунтів важкого механічного складу, то вони характеризуються низькою водопроникністю, яку можна збільшити шляхом механічного обробітку.

Вологоємність – це кількість води, яку ґрунт може утримувати під час повного його насичення. Залежно від сили, що затримує вологу, розрізняють повну вологоємність, капілярну та



Рис. 1. Фрагмент растрової підкладки публічної кадастрової карти території досліджень (аерофотознімання 2009 р.)

молекулярну. Величина капілярної вологості залежить від об'єму капілярних пор, що, у свою чергу, визначається механічним складом і вмістом гумусу.

Як відомо, під вологістю ґрунту розуміють вміст в його порах і тріщинах певної кількості води. Уся вода, яка є в ґрунтовій породі в природних умовах, називається природною вологістю ґрунту (W). Здебільшого ґрунтову вологість виражають відношенням ваги води (q_b), яка вміщується в породі, до ваги сухої породи (q_c) (вагова вологість) у відсотках (1):

$$W = \frac{q_b}{q_c} \quad (1)$$

Вплив природної вологості на міцність ґрунтів змінюється залежно від типу ґрунтів. У піщаних ґрунтах вологість впливає на міцність і стійкість дрібнозернистих і глинистих їхніх різновидах. На оцінку властивостей середньо- і крупнозернистих пісків, а також уламкових порід вологість практично не впливає. У глинистих ґрунтах спостерігається різка зміна властивостей зі зміною вологості. Сухі глини поведуть себе як тверді тіла. Під час збільшення вологи вони поступово втрачають

міцність, переходять у стан розтікання, тобто повністю втрачають міцність.

Загалом, залежність механічного складу та вологості ґрунту можна описати так (за матеріалами С. Воробйова та Д. Бурової):

- для піщаних ґрунтів – вологість 15–18% від об'єму ґрунту (за запасу води в 1 м³ 1500–1800);
- для супіщаних – 22–24% (2200–1800);
- для суглинкових – 25–28% (2600–2400);

Під час дослідження впливу вологості приділяють увагу максимальній молекулярній вологості, яка визначається у максимальній кількості води, що здатна утримуватися на частинках гірських порід.

Для ефективного оцінювання вологості перш за все потрібно ідентифікувати, до якого виду належить цей ґрунт, тому що із зростанням часток фізичної глини вологість збільшується і зростає запас вологи води в ґрунті, визначити характер поверхні ґрунту, оскільки після обробки ґрунту випаровують більше вологи, врахувати відповідні погодні умови та стан території дослідження [0].

Для оцінювання вологості ґрунтів, на яких проводився видобуток бурштину за допомогою мотопомп, було проаналізовано матеріали дослі-



Рис. 2. Так званий «ямковий» ландшафт – результат видобування бурштину гідропомповим методом

дження за 2017 рік. Велика кількість досліджень свідчить про досить обґрунтовані передумови використання на різних етапах оцінювання вологості ґрунтів цих сучасних космічних зйомок у різних діапазонах електромагнітного спектра [0; 0]. А саме у видимому, інфрачервоному та мікрохвильовому діапазонах, що дає змогу виділити та оконтурити зони видобутку бурштину. Це є одним із елементів тематичної обробки космічних знімків, який дає змогу виявити ділянки порушених земель внаслідок видобутку бурштину.

Запропонований підхід на основі використання мультиспектральної космічної зйомки Landsat-8 доповнює традиційне дешифрування матеріалів дистанційного знімання.

На основі використання розрахункових методів можливим є визначення осередків перезволоження та надмірної вологоємності ґрунтового покриву на території з відкритим ґрунтовим покривом та «ямкуватою» структурою. Дешифрування матеріалів супутникових зйомок із метою оцінювання вологості базувалося переважно на апіорному аналізі з використанням деяких компонентів ландшафту, які виявляються на космічних знімках: рослинність, рельєф, гідромережа.

Особливості мультиспектральних космічних зйомок полягають у тому, що є можливість проводити класифікацію ґрунтової поверхні на основі даних спектрального відбиття в різних каналах знімання, що дає змогу за виділених відповідних класів оцінювати зволоженість земного покриття та виконувати узагальнену оцінку інтенсивності процесів забезпечення вологоємності. Також мультиспектральне знімання дає змогу обчислювати різні індексні значення та математичні показники, найбільш цікавими є водні індекси, які визначаються на основі спектрального відбиття у видимій та інфрачервоній ділянках електромагнітного випромінювання, що чутливі до зволоженості земної поверхні. Отже, як свідчать опрацьовані джерела [0; 0; 0], це може використовуватись для оцінювання загальної вологості ґрунту, для характеристики вологоємності, встановлення западин мікрорельєфу, перезволоженості та надмірної опушеності [0].

Представлено підхід для оцінювання зволоженості ґрунтового покриття, що базується на застосуванні різних нормово-різницевих водних індексів. У дослідженні розглянуто та застосовано вже наявні різні водні індекси, чутливі до зволоженості ґрунтової поверхні [0]. Зокрема – індекс *NDWI* (Normalized Difference Water Index), запропонований В. Gao [0]:

$$NDWI = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR} \quad (2)$$

Проаналізовано та застосовано нормовано-різницевий водний індекс, який базується на використанні зеленого (Green) та середнього інфрачервоного (SWIR) каналів, рекомендований для оцінювання вмісту вологи у верхньому шарі відкритого ґрунту [0]:

$$NWI_{green-swir} = \frac{Green - SWIR1}{Green + SWIR1} \quad (3)$$

Для оцінювання вологості ґрунтів на основі водних індексів було розраховано та побудовано видозміни індексів із застосуванням Swir 1 (1560–1650 мкм) та інших спектральних каналів, таких як: Red (0,630–0,680 мкм), (3.10); Nir (0,845–0,885 мкм), (3.11); Blue (0,450–0,510 мкм) [0]:

$$NWI_{red-swir1} = \frac{Red - SWIR1}{Red + SWIR1} \quad (4)$$

$$NWI_{nir-swir1} = \frac{NIR - SWIR1}{NIR + SWIR1} \quad (5)$$

$$NWI_{blue-nir} = \frac{Blue - NIR}{Blue + NIR} \quad (6)$$

$$NWI_{blue-swir1} = \frac{Blue - SWIR1}{Blue + SWIR1} \quad (7)$$

$$NWI_{swir1-swir2} = \frac{SWIR1 - SWIR2}{SWIR1 + SWIR2} \quad (8)$$

$$NWI_{blue-swir2} = \frac{Blue - SWIR2}{Blue + SWIR2} \quad (9)$$

$$NWI_{green-swir2} = \frac{Green - SWIR2}{Green + SWIR2} \quad (10)$$

$$NWI_{red-swir2} = \frac{Red - SWIR2}{Red + SWIR2} \quad (11)$$

$$NWI_{nir-swir2} = \frac{NIR - SWIR2}{NIR + SWIR2} \quad (12)$$

Отже, на отриманому за розрахунком *NWI_{green-swir}* зображенні більш зволожені місця здавалися темнішими плямами, отже, темні плями на зображенні в межах полів відповідали ямам, заповненим водою, що визначено як перезволожені. Для більш яскравішої інтерпретації побудовано зображення методом неконтрольованої класифікації, але тут навпаки – більш зволожені місця здавалися світлішими плямами (рис. 5).



Рис. 3. Фрагмент космічного знімка супутника Landsat-8 OLI (05.2017), загальний вигляд порушених земель внаслідок видобутку бурштину в лісовому масиві поблизу с. Жовкині (синтезоване зображення RGB 2:3:4)

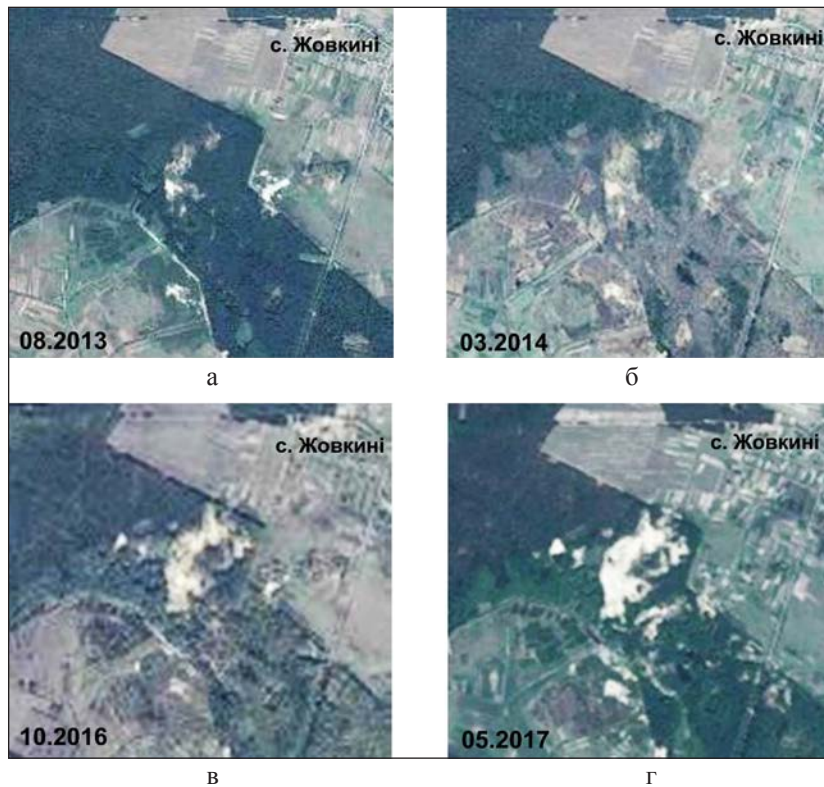


Рис. 4. Динаміка зміни площ порушених земель внаслідок видобутку бурштину за період 2013–2017 рр. за матеріалами знімачь супутникової системи Landsat-8

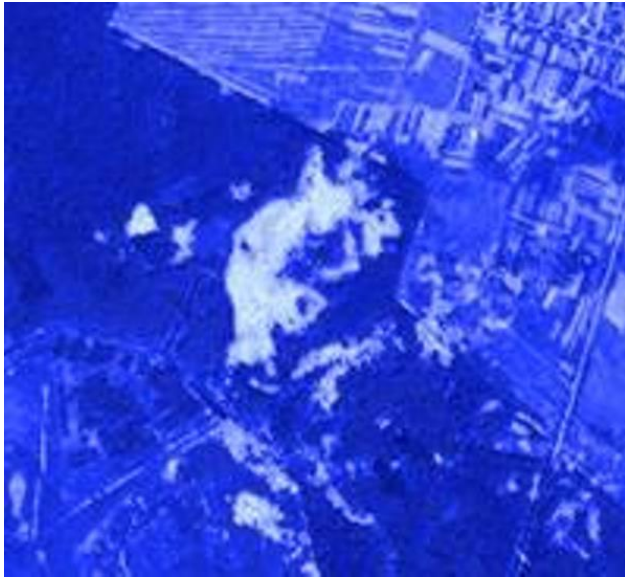


Рис. 5. Зображення, побудоване методом неконтрольованої класифікації (найсвітліші ділянки знімка – землі, порушені внаслідок видобутку бурштину)

На основі використання супутникових знімків і розрахункових методів було визначено осередки видобутку бурштину гідропомповим методом, оскільки ця територія характеризувалася відкритим перезволоженим ґрунтом та «ямкуватою» структурою.

Висновки. У статті запропоновано методику визначення порушених земель унаслідок видобутку бурштину з використанням мультиспек-

тральних супутникових знімків Landsat-8 в умовах північної частини Рівненської області.

На основі використання супутникових знімків і розрахункових методів було визначено осередки видобутку бурштину гідропомповим методом, оскільки ця територія характеризувалася відкритим перезволоженим ґрунтом та «ямкуватою» структурою. Також дешифрування матеріалів супутникових зйомок із метою оцінювання вологості базувалося на апріорному аналізі з використанням таких компонентів ландшафту, які виявляються на космічних знімках: рослинність, рельєф, гідромережа.

У роботі було побудовано геопросторові моделі водних індексів: $NDWI$, $NWI_{green-swir}$, $NWI_{red-swir1}$, $NWI_{nir-swir1}$, $NWI_{blue-nir}$, $NWI_{blue-swir1}$, $NWI_{swir1-swir2}$, $NWI_{blue-swir2}$, $NWI_{green-swir2}$, $NWI_{red-swir2}$, $NWI_{nir-swir2}$.

Запропонований підхід на основі використання мультиспектральної космічної зйомки Landsat-8 доповнює традиційне дешифрування матеріалів дистанційного знімання з метою виявлення порушених земель унаслідок видобування бурштину та дає можливість оцінити масштаби завданої екологічної шкоди.

Наведену в роботі методику ідентифікації порушених земель можна покращити з використанням результатів тематичного опрацювання супутникових знімків інших супутникових систем і геоінформаційних сервісів.

Список літератури:

1. Бардиш Б., Бурштинська Х. Використання вегетаційних індексів для ідентифікації об'єктів земної поверхні. *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*. 2014. Вип. II (28). С. 82–88.
2. Булакевич С. Концептуальні засади використання даних дистанційного зондування для створення ГІС управління територіями в умовах Рівненської області. *Вісник НУВГП*. 2007. С. 85–95.
3. Булакевич С. Технологія визначення ризику водно-ерозійного руйнування земної поверхні в землевпорядному проектуванні. *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*. 2007. Вип. I (13). С. 295–299.
4. Гебрин-Байди Л. Застосування аерокосмічних методів для оцінювання родючості земель сільськогосподарського призначення ландшафтних зон Закарпаття : автореф. ... дис. к.т.н. Л., 2018. 24 с.
5. Методика пошуку та локалізації ділянок незаконного видобутку бурштину за матеріалами багатозональної космічної зйомки / В. Філіпович, Г. Крилова, М. Лубський // *Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях* : зб. наук. пр. 14-ї Міжнар. наук.-практ. конфер., 5–9 жовтня 2015 р, м. Київ, Пуща-Водиця. С. 181–198.
6. Філіпович В. Оперативний контроль поширення нелегального видобутку бурштину та оцінка збитків, заподіяних державі, за матеріалами багатозональної космічної зйомки. *Екологічна безпека та природокористування*. 2015. № 4. С. 91–97.
7. Філіпович В. Супутниковий моніторинг територій незаконного видобутку бурштину. *Український журнал дистанційного зондування Землі*. 2015. № 6. С. 4–7.
8. Отражательная способность почв разной степени смытости / С. Дробыш, Т. Бубнова, Т. Азаренок // *Почвоведение и агрохимия*. 2010. № 1 (44). С. 49–57.
9. Муратова Н., Терехова А. Опыт оценки весенних запасов почвенной влаги на основе спутников ой информации и наземных обследований. *Сб. науч. стат. Всероссийской конф. «Современные проблемы*

дистанционного зондирования Земли из космоса» / под ред. О. Лавровой, Е. Лупяна. Москва : Полиграф сервис, 2004. С. 191–196.

10. Розанов Б. Генетическая морфология почв. Москва : Изд-ва МГУ. 1975. 289 с.

11. Сахацький О. Методологія використання матеріалів в багатоспектральній космічній зйомці для вирішення гідрогеологічних задач : автореф. дис. ... докт. геол. наук : 05.07.12 – «Дистанційні аерокосмічні дослідження». Київ, 2009. 40 с.

12. Gao B.C. NDWI – A Normalized Difference Vegetation Index for Remote Sensing of Vegetation and Water from Space. *Remote Sensing of Environment*. NYC, 1996. 58. P. 257–266.

13. Ji L., Zhang L., Wylie B. Analysis of dynamic thresholds for the normalized difference water index. *Photogramm. Eng. Remote Sens.* 2009. № 75 (11). P. 1307–1317.

Kachanovskyi O.I. IDENTIFICATION METHOD OF BROKEN LANDS BECAUSE OF AMBER PRODUCTION BY USING MULTISPECTRAL SATELLITE IMAGES LANDSAT

The scope of illegal amber mining in the North-West part of the Ukrainian Polissya has grown dramatically in recent years. Unauthorized amber mining has a severe environmental and economic impact for the region. In particular, it destroys the structure of natural landscapes, degrades the soil and affects its agricultural use, affects the flow regime of surface water and ground water, causes deforestation and fading of vegetation.

Illegal amber mining obviously has adverse effects on the environmental, social and economic security of the North-Western regions of Ukraine, and negatively impacts the growth of the agricultural, forestry and mining sectors [7].

It is necessary, first of all, to carry out detailed monitoring of damaged lands to assess the scope of illegal amber mining, identify the land disturbance areas and determine how much land needs to be reclaimed.

The vast majority of illegal mining areas are located within remote forest lands and wetlands, far away from populated areas and without road access. A promising method for quick and accurate mapping of problem areas, as well as identification of illegal mining areas, is to use fully autonomous mapping drones. However, their use is limited to difficult environmental conditions and a high risk of unmanned aerial vehicle loss.

In this paper, we suggest to solve the problem by using data obtained during the Earth remote sensing, such as multispectral digital images from the Landsat-8 satellite. This satellite system allows to accurately detect actual locations of illegal amber mining and to assess the extent of the environmental impact.

Key words: *disturbed lands, amber mining, multispectral satellite images, remote sensing.*