

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ВОЛИНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ЛЕСІ УКРАЇНКИ**

**Кафедра геодезії, землевпорядкування та кадастру**

На правах рукопису

**СТЕЦЮК ДАРИНА ОЛЕКСАНДРІВНА**

**ГЕОІНФОРМАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ НАСЛІДКІВ  
ВИДОБУТКУ БУРШТИНУ ЗА ДОПОМОГОЮ ДАНИХ  
ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ**

Спеціальність: 193 Геодезія та землеустрій  
Освітня програма Геодезія та землеустрій  
Робота на здобуття першого (бакалаврського) освітнього рівня

Науковий керівник:  
Вакулюк Лариса Адамівна  
старший викладач

РЕКОМЕНДОВАНО ДО ЗАХИСТУ  
Протокол №  
засідання кафедри геодезії,  
землевпорядкування і кадастру  
Від . .2025 р.

Завідувач кафедри  
д.т.н., проф. А.В. Уль\_\_\_\_\_

**ЛУЦЬК - 2025**

## **Анотація**

*Стецюк Д.О. Геоінформаційне моделювання наслідків видобутку бурштину за допомогою даних дистанційного зондування. Кваліфікаційна робота на правах рукопису. –ВНУ імені Лесі Українки, МОН України, Луцьк, – 2025. -81 с.*

В роботі представлені можливості використання даних дистанційного зондування для моделювання наслідків видобутку бурштину та оцінки екологічні та економічні наслідки видобутку.

Результат бакалаврської роботи має важливе практичне значення для подальшого розвитку методів моніторингу територій, порушених через НВБ, та для створення стратегії їхнього відновлення з використанням сучасних ГІТ.

***Ключові слова:** бурштин, дистанційне зондування, геоінформаційні системи, супутниковий моніторинг, екологічні наслідки, економічні збитки.*

## **Annotation**

*Stetsyuk D.O. Geoinformation modeling of the consequences of amber mining using remote sensing data. Qualification work on the rights of the manuscript. -Lesya Ukrainka National University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Lutsk, - 2025. -81 с.*

The bachelor's thesis presents the possibilities of using remote sensing data to model the consequences of amber mining and assess the environmental and economic consequences of mining.

The result of the bachelor's thesis has important practical significance for the further development of methods for monitoring territories disturbed by NWO and for creating a strategy for their restoration using modern GIT.

***Keywords:** amber, remote sensing, geographic information systems, satellite monitoring, environmental consequences, economic losses.*

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ.....	5
ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОГО КАРТОГРАФУВАННЯ ТА ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНУВАННЯ.....	10
1.1. Загальна характеристика ГІК та його використання.....	10
1.2. Дистанційне зондування Землі і його типи .....	14
1.3. Використання ГІК-технологій для картографування наслідків видобутку бурштину.....	18
РОЗДІЛ 2. СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМ ВИДОБУТКУ БУРШТИНУ.....	23
2.1. Характеристика об'єктів несанкціонованого обігу і видобутку бурштину.....	23
2.2. Характеристика суб'єктів несанкціонованого видобутку бурштину.....	26
2.3. Аналіз заподіяної шкоди економіці і довкіллю при несанкціонованому видобутку бурштину.....	34
РОЗДІЛ 3. ГЕОІНФОРМАЦІЙНОГО КАРТОГРАФУВАННЯ НАСЛІДКІВ ВИДОБУТКУ БУРШТИНУ ЗА ДАНИМИ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ.....	43
3.1. Супутниковий моніторинг територій незаконного видобутку бурштину.....	43
3.2. Аналіз екологічних наслідків видобутку бурштину в Україні за даними дистанційного зондування.....	48
3.3. Аналіз ідентифікації порушених земель внаслідок видобування бурштину з використанням мультиспектральних супутникових знімків.....	59
ВИСНОВКИ.....	70
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	74
ДОДАТКИ.....	81

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

- ДЗЗ – дистанційне зондування Землі
- ДЗ – дистанційне зондування
- АКЗ – аерокосмічне зондування
- АКС - автоматичні картографічні системи
- БПЛА - безпілотні літальні апарати
- ГІК – геоінформаційне картографування
- ГКС – геоінформаційні картографувальні системи
- ГІС – геоінформаційні системи
- ГІТ – геоінформаційна технологія
- КА – космічні апарати
- КЗ – коефіцієнт зволоження
- ШСЗ – штучні супутники Землі
- ПКК – пілотовані космічні кораблі
- ККУ - кримінальний кодекс України
- КПО - коефіцієнт природного освітлення
- ПОС – пілотовані орбітальні станції
- УЩ – український щит
- НВБ - незаконний видобуток бурштину
- АМС – автоматичні міжпланетні станції
- РБО – радіолокаційні системи бокового огляду
- ГЕС – гідроелектростанція

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Бурштин — це цінна корисна копалина, що належить до напівдорогоцінного каміння і виникає внаслідок фосилізації (окам'яніння) смоли давніх хвойних дерев протягом мільйонів років за умов відсутності кисню. Найширше застосування бурштин знаходить у ювелірній промисловості, де з нього створюють прикраси та декоративні вироби. Водночас бурштин нижчої якості та його виробничі залишки використовують у різних галузях, зокрема в хімічній, фармацевтичній, парфумерній та лакофарбовій промисловості.

Згідно з офіційними даними, українські підприємства щороку видобувають близько 4 тон бурштину, що становить лише близько 5% від загального обсягу видобутку цього мінералу в країні. Через це державний бюджет щорічно недоотримує сотні мільйонів гривень. Масштаби проблеми настільки великі, що точно оцінити екологічні збитки та загальну шкоду для держави вкрай складно. Наразі офіційно задокументовано понад 600 гектарів землі, які були порушені внаслідок незаконного видобутку бурштину. Щоб визначити перспективні родовища та провести їх ідентифікацію, необхідно здійснити додаткові геологічні дослідження бурштиноносності територій у Житомирській, Волинській та Рівненській областях, беручи до уваги обсяги старательського видобутку в цих регіонах. [42].

Серед екологічних наслідків нелегального видобутку бурштину фахівці виділяють деградацію зональних ґрунтів та підстильних материнських порід, знищення родючого гумусово-елювіального горизонту підзолистих ґрунтів, пошкодження кореневих систем дерев, заболочування територій, зміну рівня ґрунтових вод, знищення лісових ресурсів та зміни в міграційних процесах фауни регіону. Особливо гостро ці еколого-економічні проблеми проявляються в Рівненській, Волинській та Житомирській областях, де НВБ здійснюється кар'єрним та гідромеханічним способами.

Екологічна оцінка впливу видобутку бурштину на навколишнє середовище неможлива без визначення можливих ризиків цієї діяльності, ідентифікації місць

розташування та масштабів порушень компонентів довкілля. Враховуючи складність завдань, доцільно застосовувати матеріали ДЗЗ, що є предметом дослідження даної роботи.

Отже, метою цього дослідження є створення сучасної інформаційної технології для виявлення місць видобутку бурштину та аналізу їх впливу на західні регіони Полісся, із залученням методів дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) та геоінформаційних систем (ГІС). У роботі розглянуто технології видобутку бурштину та їхній вплив на навколишнє середовище. Проведення екологічної оцінки наслідків такої діяльності неможливе без виявлення потенційних ризиків, точного визначення місць видобутку та масштабів порушення природних компонентів. Через специфіку організації бурштинового видобутку та складність фіксації топогеодезичних характеристик порушень виникають труднощі з плануванням заходів щодо їхнього попередження й усунення. Застосування технологій ДЗЗ і ГІС дозволяє оперативно, точно та достовірно виявляти ці параметри, що створює передумови для ефективного моніторингу процесів деградації довкілля..

**Метою роботи** є дослідження можливості використання даних ДЗЗ для картографування наслідків видобутку бурштину.

Тому, основні **завдання** кваліфікаційної роботи можна сформулювати наступним чином:

- 1) дати загальну характеристику ГІК та його використання;
- 2) розглянути ДЗЗ і його типи;
- 3) простежити використання ГІК-технологій для картографування наслідків видобутку бурштину;
- 4) охарактеризувати об'єкти несанкціонованого обігу і видобутку бурштину;
- 5) охарактеризувати суб'єкти несанкціонованого видобутку бурштину;
- 6) проаналізувати заподіяну шкоду економіці і довкіллю при несанкціонованому видобутку бурштину;

7) дослідити супутниковий моніторинг територій незаконного видобутку бурштину;

8) проаналізувати екологічні наслідки видобутку бурштину в Україні за даними дистанційного зондування.

9) дослідити ідентифікацію порушених земель внаслідок видобування бурштину з використанням мультиспектральних супутникових знімків.

**Об'єкт дослідження** – геоінформаційне картографування видобутку бурштину.

**Предмет дослідження** – наслідки видобутку бурштину згідно даних ДЗЗ.

При написанні випускної роботи використано комплекс взаємопов'язаних наукових **методів дослідження**: описи, порівняльно-географічний, географічного районування, геоінформаційний, картографічний.

**Наукова новизна** даного дослідження полягає у використанні сучасних геоінформаційних технологій (ГІТ) та методів дистанційного зондування (ДЗ) для виявлення і картографування наслідків бурштинового видобутку на території України. Уперше в межах вивчення екологічних проблем, спричинених незаконним видобутком бурштину, здійснено комплексний аналіз мультиспектральних супутникових знімків, що дало змогу автоматизувати процес виявлення порушених земель. У дослідженні ґрунтовно проаналізовано вплив незаконного видобутку на деградацію природних ландшафтів та екосистем із застосуванням геоінформаційного картографування (ГІК), що забезпечило як кількісну, так і якісну оцінку цих негативних процесів.

**Практичне значення** роботи полягає у можливості застосування отриманих результатів для екологічного моніторингу територій, постраждалих від незаконного видобутку бурштину, та для розробки стратегій їхнього відновлення. Використані методи ГІК та дистанційного зондування можуть бути впроваджені органами державного управління для оперативного виявлення порушених земель та запобігання подальшому незаконному видобутку корисних копалин. Розроблені картографічні матеріали на основі супутникових даних можуть бути використані для оцінки обсягів економічних та екологічних збитків,

а також для подальшого планування заходів з рекультивації та раціонального використання земельних ресурсів у регіонах видобутку бурштину.

**Структура роботи.** Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

# РОЗДІЛ 1

## ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОГО КАРТОГРАФУВАННЯ ТА ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНУВАННЯ

### 1.1. Загальна характеристика ГІК та його використання

Геоінформаційне картографування (ГІК) — це процес автоматизованого створення та використання карт, який базується на застосуванні геоінформаційних систем (ГІС), цифрових картографічних баз даних і знань. Основною метою ГІК є інформаційно-картографічне моделювання геосистем. Як і традиційні форми картографування, геоінформаційне картографування може бути галузевим або комплексним, аналітичним чи синтетичним.

Відповідно до прийнятих у картографії класифікацій, ГІК поділяється на різновиди, наприклад: соціально-економічне, екологічне тощо, а також на типи — інвентаризаційне, оцінне й інші. Додатково, ГІК класифікують за просторовим охопленням, масштабами, призначенням, рівнем узагальнення та іншими критеріями.

Серед основних характеристик ГІК, які визначають його як новий етап розвитку картографування, можна виділити такі:

- високий рівень автоматизації з використанням цифрових картографічних баз даних та географічних знань;
- системний підхід до аналізу та візуалізації геосистем;
- інтерактивність, що поєднує процеси створення та практичного використання карт;
- оперативність, що забезпечує майже реальний час оновлення даних, особливо при використанні дистанційного зондування;
- можливість багатоваріантного аналізу ситуацій і підтримки ухвалення рішень;
- мультимедійність, яка дозволяє об'єднувати візуальні, текстові та звукові компоненти;

- використання новітніх графічних і дизайнерських рішень;
- створення нових форматів геопросторових візуалізацій, зокрема електронних карт, 3D-моделей, анімацій тощо;
- орієнтація на вирішення прикладних завдань і підтримку управлінських рішень.

ГІК як напрям сформувався поступово, на основі вже наявних досягнень у картографії. Його витoki можна знайти в традиціях комплексного картографування, яке передбачало узгоджене створення взаємодоповнюючих серій карт і атласів, що відображають природу, населення та господарство. Комплексне картографування завжди слугувало засобом багатостороннього пізнання дійсності за допомогою картографічної інформації, а ГІК піднімає цей підхід на новий — технологічно вдосконалений — рівень.

Еволюція ідей та методів комплексного підходу в картографії сприяла виникненню синтетичного картографування, головна мета якого — цілісне відображення геосистем через інтеграцію характеристик, властивостей і взаємозв'язків між їхніми складовими елементами. Особливого розвитку набуло оціночно-прогнозне картографування, основне завдання якого полягає у всебічній оцінці стану геосистем або їх окремих компонентів та прогнозуванні їх змін у часі та просторі з урахуванням вирішення конкретних прикладних завдань.

Саме в межах цього підходу вперше було чітко визначено функцію карт як інструменту для підтримки процесу прийняття управлінських рішень. У зв'язку з цим з'явився новий тип картографічних продуктів — рекомендаційні карти, які відображають пропоновані заходи з реалізації прийнятих рішень. До прикладу, це можуть бути карти, що містять рекомендації з оптимального використання природних ресурсів, картографування територій, придатних для меліорації, та інші подібні матеріали.

Наступний крок - розвиток системного картографування, при якому увага зосереджується на цілісному відображенні геосистем та їх елементів (підгеосистем), ієрархії, взаємозв'язків, динаміки, функціонування. Системний

похід виявився, з одного боку, у нових методах картографічного моделювання геосистем, а з іншого - в системній організації самого процесу картографування [29].

Синтетичне та системне картографування вимагали ґрунтового розвитку математичних методів та автоматизованих технологій, а звідси був уже один крок до створення АКС та ГКС. Таким чином, є всі підстави вважати, що ГКС виникло і розвивається як пряме продовження комплексного, синтетичного і надалі системного картографування в новому геоінформаційному середовищі.

ГІК сформувалося як вузлова дисципліна на перетині автоматизованої картографії, системного картографування та аерокосмічних методів у широкому розумінні, включаючи ДЗ, дешифрування та цифрову фотограмметрію. Як це часто буває, імпульсом для виникнення та формування ГІК, як вузлової дисципліни послужило впровадження нової швидко прогресуючої ГКС-технології.

До цього “вузлу” простягаються нитки від космічного картографування та цифрової картографії, картографічного методу дослідження та математико-картографічного моделювання, комп'ютерного дизайну, систем супутникового позиціонування та інше. ГІК тісно пов'язано з такими традиційними розділами картографії, як проектування і редагування карт, видання. Вона акумулює досягнення теорії, методики та виробничої практики і, у свою чергу, помітно впливає на концепції, методичний апарат і технології. На сучасному етапі ГІК все впевненіше стає магістральним напрямом розвитку картографічної науки та виробництва.

Можна виділити такі просторові рівні та найбільш відповідні для них діапазони масштабів ГІК:

- 1) Глобальний рівень – 1:10 000 000 – 1:45 000 000;
- 2) Всеукраїнський рівень (включаючи прибережні акваторії та прикордонні райони) – 1:2 500 000 – 1: 20 000 000;
- 3) Регіональний рівень - великі природні та економічні регіони, регіони України - 1:500 000 - 1:4 000 000;

4) Локальний рівень - області, райони, національні парки, ареали кризових ситуацій тощо - 1:50 000 - 1:1 000 000;

5) Муніципальний рівень - міста, міські райони, пригородні зони - 1:100 000 і більше [21].

Вичерпний перелік всіх областей та сфер застосування ГІК навряд чи можливий. У цьому випадку особливо справедливі слова про те, що картографуванню доступно все: "від геології до ідеології". Геоінформація, представлена в картографічній формі, стала в наші дні цінним товаром і важливим суспільним ресурсом, володіння яким багато в чому оптимізує умови життя та діяльності людей, їх взаємини з навколишнім середовищем, проведення тієї чи іншої політики.

Можна назвати низку актуальних напрямів забезпечення практичної діяльності на основі ГІК [29]:

- пошук та раціональне використання природних ресурсів;
- територіальне та галузеве планування та управління промисловістю, сільським господарством, транспортом, енергетикою, фінансами та іншими галузями економіки;
- розвиток засобів зв'язку та мереж телекомунікації;
- ведення комплексного та галузевого кадастру;
- моніторинг екологічного стану та природного ризику, оцінка техногенних впливів на середовище та їх наслідків, забезпечення екологічної безпеки та сталого розвитку територій, екологічна експертиза;
- контроль умов життя та зайнятості населення, охорона здоров'я та рекреація, соціальне обслуговування та інше:
- діяльність органів законодавчої та виконавчої державної влади, політичних партій, засобів масової інформації;
- робота правоохоронних органів, силових структур, оборони країни;
- розвиток освіти та культури;
- наукові дослідження та прогнозування.

Отже, розгляд рівнів та сфер застосування ГІК показує, що воно охоплює всі аспекти життя природи та суспільства та їх взаємодії. Досвід останнього часу рясніє свідченнями того, що неповний облік геоінформації, в тому числі, і недостатність картографічного забезпечення, призводять до економічних втрат, кризових екологічних ситуацій, неефективного планування, прорахунків у галузі національної політики.

## **1.2. Дистанційне зондування землі і його типи**

Однією з головних проблем сучасного екологічного моніторингу є забезпечення об'єктивного збору достовірної інформації про стан навколишнього середовища. Одним із найбільш перспективних напрямів дослідження поверхні Землі та її атмосфери є використання штучних супутників. Дистанційне зондування Землі (ДЗЗ) — це метод отримання інформації про земну поверхню, об'єкти на ній, атмосферу, океани та верхні шари земної кори шляхом безконтактних вимірювань. У цьому випадку прилади для збору даних розташовані на значній відстані від об'єкта спостереження.

Основу методу ДЗЗ становить виявлення зв'язку між зафіксованими характеристиками випромінювання — власного чи відбитого — та біогеофізичними властивостями об'єкта, а також його просторовим розміщенням. Суть цього підходу полягає в аналізі електромагнітного випромінювання, яке випромінюється або відбивається об'єктом і реєструється за допомогою спеціальних приладів на великій відстані. Завдяки цьому методу можна вивчати як фізичні, так і хімічні характеристики різних об'єктів.

До методів дистанційного зондування також належить фотографічна зйомка, проте вона має обмеження, зумовлені тим, що фотоплівка здатна фіксувати випромінювання лише у видимій або близькій до неї частині електромагнітного спектра[6].

Матеріали ДЗЗ, зокрема космічні знімки, надають сучасну та об'єктивну інформацію про стан багатьох компонентів природного середовища, що робить їх базою для їх вивчення та картографування. Завдяки можливості періодичного отримання космічної інформації в заданий проміжок часу, можна досліджувати динаміку змін природного середовища, що дозволяє використовувати цю інформацію для побудови різних моделей.

У сучасному вигляді ДЗ виділяють два взаємопов'язані напрямки – природничий (дистанційні дослідження) та інженерно-технічний (дистанційні методи), що відображається в англійських термінах «remote sensing» та «remote sensing techniques». Розуміння сутності ДЗ може бути неоднозначним. Як предмет ДЗ як наукової дисципліни розглядають просторово-часові властивості та відносини природних і соціально-економічних об'єктів, які виявляються безпосередньо або опосередковано у власному чи відбитому випромінюванні, яке дистанційно реєструється з космосу або з повітря у вигляді двовимірного зображення – знімка. Важливою складовою ДЗ є АКЗ, яке підкреслює його спадковість від традиційних аерометодів [6].

Метод АКЗ базується на використанні знімків, що, як свідчить практика, мають найбільші можливості для комплексного дослідження земної поверхні. На сьогодні важко знайти галузь чи напрямок діяльності, де б не використовувалися технології ДЗ. Нижче наведено основні сфери застосування даних ДЗ:

- Геологія. Це одна з перших галузей, де активно використовувалася зйомка з повітряних куль, літаків, а згодом і з космічних платформ. Дані ДЗ зазвичай застосовують для розрізнення типів порід, картографування великих геологічних утворень, оновлення геологічних карт та пошуку мінералів.

- Навколишнє середовище. Використання даних ДЗ в цій сфері є особливо актуальним. Дані ДЗЗ застосовують для моніторингу видобутку корисних копалин, картографування та моніторингу забруднення поверхневих вод, виявлення забруднення атмосфери, оцінки наслідків стихійних лих та надзвичайних ситуацій, а також для моніторингу впливу людської діяльності на навколишнє середовище в цілому.

- Водні ресурси. При дослідженні водних ресурсів за допомогою даних ДЗ фахівці визначають межі водних об'єктів, їх площу та обсяги, аналізують каламутність та турбулентність, проводять картографування зон затоплення та меж снігового покриву, досліджують динаміку їх змін.

- Сільське, лісове та мисливське господарство. У цій сфері дані ДЗ використовуються для розрізнення типів вегетації та їхнього стану, оцінки площ посівів, лісових та мисливських угідь за типами культур, оцінки стану ґрунтів та площ вигорілих ділянок [6].

- Картографування та землекористування. Під час вирішення завдань землекористування дані ДЗ є особливо важливими для класифікації, картографування та оновлення карт, категоризації земель, розмежування урбанізованих і сільських районів, регіонального планування, картографування транспортних мереж та меж водних і сухопутних територій.

Таким чином, серед основних завдань, вирішуваних у зазначених напрямках з використанням даних ДЗ, слід виокремити моніторинг та спостереження за окремими ділянками земної поверхні та атмосфери, оновлення і складання карт, а також створення тематичних карт та атласів.

На сьогодні технології отримання аерокосмічних знімків постійно вдосконалюються. Кількість даних, отриманих від супутників, безпілотних літальних апаратів та різних датчиків, збільшується швидшими темпами, ніж розробляються методи для їх обробки та практичного застосування. Наразі ці дані доступні в режимі реального часу та у численних форматах. Основним завданням, що постає перед дослідниками, є розробка ефективних технологій дешифрування отриманих зображень [1].

Процедура дешифрування (обробки) космічних знімків включає такі етапи:

- 1) Визначення інформативних спектральних каналів супутникових знімків.
- 2) Корекція зображення (спектральна, геометрична, радіометрична).
- 3) Маскування хмарних утворень та відновлення втрачених даних на знімках у визначених каналах, виконання атмосферної корекції.

4) Визначення локальних спектральних особливостей поверхні, візуальне дешифрування.

5) Напівавтоматичне чи автоматичне дешифрування.

6) Уточнення результатів дешифрування з урахуванням локальних особливостей і застосування комплексних правил дешифрування.

7) Оцінка точності дешифрування.

8) Отримання підсумкових результатів дослідження [8].

Ці етапи обробки даних ДЗЗ можуть бути згруповані у два основні блоки:

- Попередня обробка космічних знімків — це комплекс процедур, спрямованих на усунення різноманітних спотворень зображення. Такі спотворення можуть бути викликані недосконалістю реєструвальної апаратури, впливом атмосферних умов, перешкодами, пов'язаними з передачею зображень по каналах зв'язку, геометричними спотвореннями, зумовленими методами космічної зйомки, умовами освітлення підстилаючої поверхні, процесами фотохімічної обробки та аналого-цифрового перетворення зображень (при роботі з матеріалами фотографічної зйомки) та іншими чинниками. Попередня обробка даних ДЗЗ включає геометричну, радіометричну та атмосферну корекцію зображення, а також географічну прив'язку знімка [6].

- Тематична обробка космічних знімків — це процес розпізнавання об'єктів і явищ на основі дешифрувальних ознак.

Отже, обробка космічних знімків, зокрема тематична обробка супутникових даних, відіграє ключову роль у розумінні та управлінні земельним покривом. Вона надає цінну інформацію для різних галузей, таких як сільське господарство, лісове господарство, екологія, урбаністика та інші. Ці дані дозволяють виробникам, науковцям і урядовим установам приймати обґрунтовані рішення щодо раціонального використання земельних ресурсів та розвитку різних секторів економіки.

### **1.3. Використання ГІК-технологій для картографування наслідків видобутку бурштину**

Використання геоінформаційних технологій у дослідженнях представляє собою відносно новий напрям географічних досліджень. Висока здатність комп'ютерів до швидкої та якісної обробки великих обсягів цифрових і текстових даних, що виникають під час вивчення ґрунтів і ґрунтового покриву певної території, забезпечує значні переваги ГІС порівняно з іншими методами досліджень. Отримані дані відіграють роль носіїв інформації, при цьому їхнє використання характеризується простотою та низьким рівнем спотворення результатів.

Будь-яка ГІС базується на апаратних засобах, які включають різні типи комп'ютерів, програмне забезпечення, що забезпечує зберігання, аналіз і візуалізацію просторової інформації, а також інформаційне забезпечення, яке складається з просторових даних, включаючи матеріали ДЗ, кадастру та інше. Важливою складовою ГІС є користувачі (чи виконавці), які розробляють, підтримують систему або вирішують певні завдання.

Структура ГІС зазвичай представляється у вигляді набору інформаційних шарів. Шар (layer) — це сукупність однотипних просторових об'єктів, що належать до певної теми або класу об'єктів у межах визначеної території, з відповідною системою координат, яка дозволяє здійснювати просторове розміщення даних. Наприклад, базовий шар може містити дані про рельєф і гідрографію, тоді як додаткові тематичні шари, такі як ґрунтовий покрив, одиниці землеустрою або місця відбору ґрунтових зразків, служать для проведення комплексних аналітичних процедур засобами ГІС.

Сукупність шарів формує інтегровану основу графічної частини ГІС, і належність об'єкта або його частини до конкретного шару дозволяє додавати групові властивості об'єктам цього шару. Комбінування різних тематичних шарів, наприклад ландшафтних карт із топографічними або ґрунтових карт із

картами землекористування, дозволяє створювати комплексні картографічні продукти, що підвищують ефективність аналітичної роботи у ГІС .

Основу будь-якої ГІС становить АКС, яка включає комплекс приладів і програмних засобів для створення та використання карт, що складається з підсистем введення, обробки, аналізу та виведення інформації. Серед основних функцій ГІС виділяють: введення цифрових даних у комп'ютер, перетворення даних (включаючи трансформацію картографічних проєкцій і конвертацію даних у різні формати), зберігання та управління даними, проведення картометричних операцій, а також розробку ГІС-аплікацій.



Рисунок 1.1 Геоінформаційна та картографічна структура даних в ГІС [6]

При створенні ГІС або тематичних ГІС може використовуватися широкий спектр даних, що охоплюють як растрові, так і векторні формати. Векторні дані переважно застосовуються для опису об'єктів із дискретними властивостями, до яких належать точки закладення ґрунтових розрізів, лінійні об'єкти, ґрунтові контури, одиниці землекористування тощо. Натомість растрові дані зазвичай

використовують для роботи з об'єктами, що мають безперервне просторове поширення, наприклад, при моделюванні ґрунтового покриву або інших природних явищ, що характеризуються просторовою неперервністю [11].

ГІС, що забезпечують роботу з даними ДЗ, зокрема для аналізу ресурсів або вивчення певних властивостей за допомогою супутникових знімків і ортофотозображень, повинні мати спеціалізовані підсистеми для обробки зображень. Таке програмне забезпечення дозволяє виконувати широкий спектр операцій зі знімками, включаючи їх корекцію, перетворення, поліпшення якості, автоматичне розпізнавання, дешифрування та класифікацію [6].

На сьогодні у світі існує велика кількість програмних засобів для роботи з ГІС, проте найвідоміші й найширше застосовувані комерційні ГІС-пакети можна обмежити приблизно до десяти-п'ятнадцяти. До числа світових лідерів у галузі програмного забезпечення для ГІС належать продукти компанії ESRI (зокрема, лінійка ArcGIS Desktop), пакет MapInfo Professional, пакет Idrisi (розроблений в університеті Кларка, США), а також AutoCad, ERDAS IMAGINE, ENVI та Digitals [11].

Отже, геоінформатика сьогодні постає як складна система, що поєднує наукові, технічні та виробничі аспекти. Це характерно для сучасного етапу науково-технічного прогресу, де спостерігається інтенсивна інтеграція науки і виробництва. ГІС, з одного боку, дозволяють відображати та аналізувати природні й соціальні явища за допомогою карт, які виступають моделями реальності. З іншого боку, ГІС є інструментом технічних і технологічних рішень для створення та використання картографічних продуктів. Однією з переваг використання ГІС є те, що географічна інформація має тенденцію до здешевлення з часом або з появою альтернативних джерел даних. Прості та швидкі методи обробки і актуалізації вхідних даних, що забезпечуються сучасними комп'ютерами, дозволяють утримувати вартість географічної інформації на стабільному рівні. Це сприяє розвитку інформаційного ґрунтознавства через створення відносно недорогих ґрунтових інформаційних

систем, формування ґрунтових баз даних і створення цифрових картографічних матеріалів.

Отже, ГІС відіграють важливу роль у зборі, зберіганні, аналізі та візуалізації просторових даних. Основною перевагою ГІС є інтеграція даних з різних джерел і їхня здатність надавати точну та деталізовану інформацію про навколишнє середовище, що робить ці технології незамінними в багатьох галузях. Завдяки своїм можливостям моделювання та візуалізації просторових процесів, ГІС широко застосовується в екологічному моніторингу, містобудуванні, управлінні природними ресурсами, а також у дослідженні наслідків техногенного впливу, зокрема в контексті видобутку бурштину. Це свідчить про універсальність ГІС і його значущість у сучасному науковому й практичному середовищі.

ДЗЗ є методом отримання інформації про об'єкти чи явища на поверхні землі без прямого контакту з ними. Відображення електромагнітного випромінювання дозволяє вивчати різні характеристики природних і антропогенних систем. Були розглянуті основні типи ДЗЗ, такі як активне та пасивне зондування, що різняться за механізмом отримання інформації. Пасивні методи використовують природне випромінювання, яке відбивається або випромінюється об'єктами, тоді як активні методи застосовують власні джерела енергії. Різноманітність типів ДЗЗ дозволяє адаптувати методи до конкретних завдань, що розширює їх використання в наукових дослідженнях, зокрема в галузі моніторингу екосистем і видобутку корисних копалин.

Одним з найбільш актуальних практичних застосувань ГІС є картографування наслідків видобутку бурштину, що є серйозною екологічною проблемою в Україні. Використання ГІС дозволяє ефективно аналізувати зміну ландшафтів і екосистем унаслідок нелегального видобутку. Завдяки просторовим даним, отриманим за допомогою ДЗ, можна відслідковувати динаміку змін поверхні, виявляти деградацію ґрунтів і вплив на водні ресурси. Поєднання цих даних з ГІС-технологіями дає змогу створювати точні карти

наслідків видобутку бурштину, що є важливим інструментом для подальшого моніторингу та прийняття рішень щодо відновлення екосистем.

Загалом, ГІК і ДЗ є взаємодоповнювальними інструментами, які значно розширюють можливості аналізу просторових явищ і процесів. Їхня інтеграція дозволяє не лише точно відображати стан довкілля, але й прогнозувати наслідки антропогенної діяльності, такі як видобуток бурштину, що є критично важливим для збереження природних ресурсів і сталого розвитку територій.

## РОЗДІЛ 2

### СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМ ВИДОБУТКУ БУРШТИНУ

#### **2.1. Характеристика об'єктів несанкціонованого обігу і видобутку бурштину**

Наукові дослідження свідчать, що близько 40 мільйонів років тому територія сучасної України могла бути островом, тоді як регіони, що зараз охоплюють Польщу та Білорусь, перебували під водою, утворюючи море. Уздовж цього острова ріс рослинний покрив, який виділяв смолу. Після затвердіння смола потрапляла в солону морську воду, де, завдяки анаеробним умовам, не могла висихати, окислюватися або мінералізуватися. Згодом смола була покрита нерівномірними і значними за потужністю шарами геологічних відкладень, що призвело до її перетворення на бурштин [12].

Археологічні дані свідчать, що людина ще понад 10 тисяч років тому, починаючи з палеоліту і неоліту, активно використовувала бурштин для виготовлення прикрас та амулетів. Проблема несанкціонованого видобутку та обігу бурштину в Україні виникла ще наприкінці 1980-х років. У наступні десятиліття ця проблема набула дедалі більшого масштабу та деструктивного характеру, що ускладнює її вирішення [7].

На початку XXI століття відбулося значне загострення проблеми незаконного видобутку бурштину так званими «старателями». Ця діяльність спричиняє серйозні порушення екосистем Західного та Центрального Полісся, які формувалися протягом тисячоліть. Одночасно спостерігається занепад державного видобутку бурштину, активізація кримінальних конфліктів, пов'язаних з незаконним обігом бурштину, а також зростання тіньового ринку та контрабанди цього каменю.

Аналіз причин несанкціонованого видобутку бурштину, його скуповування, транспортування, зберігання, переробки та реалізації вказує на декілька ключових факторів:

- високий рівень безробіття в регіонах, де відбувається незаконний видобуток; значних
- наявність прошарків бурштину у ґрунті та близькість водних об'єктів, що полегшує процес видобутку;
- віддаленість цих територій від великих населених пунктів, відсутність доріг, значна заболоченість та залісненість місцевості;
- корупція серед працівників правоохоронних органів, включаючи прокуратуру та судові органи, що створює сприятливі умови для незаконної діяльності;
- потурання з боку країн ЄС контрабанді бурштину, видобутого в Україні;
- відсутність належного контролю за наданням дозволів на промисловий видобуток бурштину;
- присвоєння бурштину статусу дорогоцінного каменю відповідно до Постанови Кабінету Міністрів України від 18 травня 1993 року № 5393;
- низький рівень екологічної свідомості серед місцевого населення, яке проживає поблизу місць незаконного видобутку бурштину.

Таким чином, ситуація, що склалася навколо бурштиновидобувної галузі, потребує комплексного підходу до вирішення, який включає економічні, правові та екологічні аспекти. НВБ в Україні здійснюється на територіях, що охоплюють ліси, болота, водно-болотні угіддя, а також землі сільськогосподарського призначення, включаючи сіножаті, луки, пасовища та орні землі. Діяльність, пов'язана з нелегальним видобуванням бурштину, спричиняє значне порушення природних екосистем, зокрема призводить до часткової або повної деградації природних ландшафтів, а також до втрати їх природоохоронних функцій.

Лісові ресурси Полісся, представлені переважно хвойними породами (зокрема, сосною звичайною), а також твердолистяними й м'яколистяними деревами — такими як дуб, береза, вільха, осика, ясен, ялина та липа — мають

важливе екологічне значення. Встановлено, що один гектар зрілого лісу під час фотосинтезу може поглинати до 8 кг вуглекислого газу (CO<sub>2</sub>) на годину, одночасно виділяючи кисень. Протягом року гектар лісу спроможний затримати до 70 тонн пилу та виробити приблизно 5 кг фітонцидів — речовин із антимікробними властивостями.

Ліси виконують низку життєво важливих екологічних функцій: санітарно-гігієнічну, водоохоронну, рекреаційну, оздоровчу, естетичну, а також є природним середовищем існування для багатьох видів рослин і тварин, у тому числі рідкісних і зникаючих, занесених до Червоної книги України. Відповідно до положень Лісового кодексу України, контроль за станом лісових екосистем покладається на Державне агентство лісових ресурсів.

Водно-болотні угіддя охоплюють території боліт і мілководних водойм як природного, так і штучного походження, глибина яких зазвичай не перевищує кількох метрів. Згідно з Рамсарською конвенцією 1971 року, Україна має право самостійно визначати перелік водно-болотних угідь, у тому числі тих, що мають міжнародне значення як середовища існування водоплавних птахів.

Контроль за станом таких екосистем, зокрема в басейні річки Прип'ять, здійснюють природоохоронні установи, що входять до складу природно-заповідного фонду України — заповідники, національні природні парки — а також спеціально уповноважені органи державного екологічного контролю.

Болота — це надмірно зволожені ділянки земної поверхні, які характеризуються специфічною вологолюбною рослинністю, особливим типом ґрунтоутворення та накопиченням торфу. Залежно від джерел водного живлення болота поділяють на три типи: верхові (оліготрофні), перехідні (мезотрофні) та низинні (автотрофні).

Верхові болота формуються на піщаних ґрунтах вододілів і терас річок, отримуючи живлення виключно з атмосферних опадів. Рослинний покрив таких боліт включає сосну, журавлину та сфагнові мохи. Загальна площа верхових боліт в Україні становить менше 1-2%.

Перехідні болота живляться як ґрунтовими, так і атмосферними водами. Вони мають торфові поклади завтовшки до 4 метрів і характеризуються осоково-сфагною рослинністю. На цих болотах зустрічаються рідкісні рослинні види, занесені до Червоної книги України, зокрема росички. Площа перехідних боліт становить близько 5-7% від усіх боліт України, більшість з них входить до складу природно-заповідних територій.

Низинні болота розташовуються у заплавах річок або поблизу озер, відзначаються значним мінеральним живленням та торфовими покладами глибиною до 6 метрів. Рослинність таких боліт представлена вільхою, бобівником, калюжницею та мохами. Низинні болота виконують важливу роль у стабілізації ландшафтів і гідрологічних процесах[18].

Отже, контроль за станом боліт здійснюють адміністрації природоохоронних установ (заповідники, національні парки) або лісгоспи, у випадках, коли болота розміщені поза межами заповідних територій. Землі сільськогосподарського призначення Полісся представлені переважно дерново-підзолистими та дерново-глеєвими ґрунтами, які утворюються в умовах тривалого перезволоження. Ці ґрунти мають значний вміст гумусу (1,5-2%), а також містять рухомий азот, фосфор і калій, що робить їх досить родючими. При правильному сільськогосподарському використанні такі ґрунти дозволяють отримати високі врожаї: до 350 центнерів зеленої маси різнотрав'я, 200 кг картоплі, 25 центнерів озимого жита з одного гектара. Оцінка родючості ґрунтів здійснюється фахівцями ДУ «Інститут охорони ґрунтів України» кожні п'ять років за результатами агрохімічних обстежень.

## **2.2. Характеристика суб'єктів несанкціонованого видобутку бурштину**

У давні часи бурштин у Європі видобувався кустарним способом у таких обсягах, які не лише задовольняли місцевий попит, але й дозволяли його експорт до країн Середземноморського узбережжя та до держав Сходу. Сучасні

дослідження, проведені на основі анкетування, свідчать, що на сьогодні у видобутку та обігу бурштину в Україні залучено від 1,2 до 1,5 тисячі осіб офіційно, тоді як нелегальною діяльністю в цій сфері займаються від 100 до 300 тисяч громадян. Умовно, з позиції їхніх прав, обов'язків та правової відповідальності, цих осіб можна поділити на декілька основних груп (таб. 2.1)[19].

Найбільшу групу учасників незаконного видобутку бурштину становлять місцеві «старателі», переважно чоловіки у віці від 18 до 60 років. Окрім них, у цей процес залучаються також жінки та діти шкільного віку. «Старателі» зазвичай працюють у складі бригад, часто ігноруючи базові правила техніки безпеки та гігієни, здійснюючи видобуток бурштину за будь-яких погодних умов, іноді навіть у нічний час. Добутий бурштин, як правило, реалізується через перекупників, які виступають посередниками на нелегальному ринку.

Таблиця 2.1

Перелік та характеристика суб'єктів несанкціонованого видобутку і обігу бурштину [19]

Суб'єкти	Характеристика їхньої діяльності	Права, обов'язки, відповідальність
«Старателі», в т. ч. діти	Здійснюють НВБ	Не мають жодних прав
Працівники місцевих органів влади	Беруть побори зі «старателів», або стають учасниками злочинних угруповань	Можуть бути притягнені до юридичної відповідальності
Працівники обласних і централізованих органів влади	Учасники грошових потоків від НВБ	Можуть бути звільнені з посад
Працівники екологічних та природоохоронних установ	Порушують норми Земельного, Лісового та Водного кодексів через халатне ставлення до своїх обов'язків	Підлягають звільненню та юридичній відповідальності

Працівники правоохоронних органів (поліція, прокуратура)	Зловживають службовими повноваженнями, отримують побори від «старателів»	Можуть задокументувати факт НВБ
Громадські організації	Проявляють пасивність щодо охорони природних ресурсів	Відсутність активних дій щодо збереження біорізноманіття
Науковці	Надають «старателям» дані про поклади бурштину	Недостатня фінансова винагорода та попит на наукові розробки
Бізнес (малий та середній)	Підпільна обробка бурштину для виготовлення ювелірних виробів	Відсутність умов для легального бізнесу
Контрабандисти	Незаконно скуповують і транспортують бурштин за кордон	Можуть бути притягнуті до кримінальної відповідальності

Як видно з таблиці, «старателі» не мають жодних законних прав на видобуток бурштину. У разі документування фактів їхньої участі в несанкціонованій діяльності вони можуть бути притягнуті до юридичної відповідальності. Окрім того, частина отриманих від незаконної діяльності коштів спрямовується особам, які «кришують» цей процес.

Другою за чисельністю категорією учасників незаконного видобутку бурштину є працівники місцевих органів влади, зокрема представники районних адміністрацій, рад та депутати. Цю групу можна поділити на три підкатегорії: осіб, які безпосередньо організують та керують бригадами «старателів»; тих, хто забезпечує захист від втручання правоохоронних органів, так зване «кришування»; а також тих, хто нехтує виконанням службових обов'язків, свідомо ігноруючи незаконний видобуток бурштину.

Третю групу становлять працівники обласних та центральних органів влади, які отримують фінансову вигоду від потоків, що виникають у результаті незаконної діяльності.

Четверту категорію складають співробітники міністерств, державних агентств і служб, відповідальних за охорону довкілля і дотримання законодавства. Їхня недбалість у виконанні службових обов'язків також сприяє розповсюдженню нелегального видобутку.

Найбільш корумпованою є п'ята група, до якої входять представники правоохоронних органів — поліції, судів і прокуратури. Вони «кришують» нелегальну діяльність, систематично вимагаючи хабарі як від «старателів», так і від затриманих правопорушників.

Таким чином, проблема незаконного видобутку та обігу бурштину в Україні має багатогранний характер і включає соціальні, економічні та правові аспекти, що вимагають комплексного підходу до її вирішення.

Шоста група відзначається різноманітним складом і включає представників громадських, політичних і релігійних організацій — екологічних, політичних, церковних, які не вживають достатніх заходів для збереження природних ресурсів, біорізноманіття, ґрунтів і водно-болотних угідь, тим самим опосередковано сприяючи екологічним правопорушенням.

Сьома, менш чисельна група, об'єднує науковців, які передають «старателям» інформацію про запаси бурштину, його залягання (карти, схеми) та методи видобутку. Ці дані використовуються для незаконної діяльності, що підтримує розвиток тіньової економіки.

Восьма група складається із суб'єктів малого та середнього бізнесу, які закупають бурштин та займаються кустарною переробкою або виготовленням ювелірних виробів на нелегальних підприємствах. Хоча вони отримують прибутки, податки не сплачують, що негативно впливає на економічний стан країни.

Дев'ята група включає підприємців, які займаються нелегальним переміщенням бурштину за кордон або його контрабандою. Така діяльність поширена і включає нелегальний обіг бурштину на міжнародному рівні.

Окрім внутрішніх проблем, варто відзначити вплив міжнародних факторів, таких як діяльність Гданської біржі бурштину (Польща), яка сприяє нелегальному обороту українського бурштину, реалізуючи його до Китаю, Європи, США та країн Близького Сходу [7].

Процес видобутку бурштину часто пов'язується із кримінальною діяльністю та тіньовою економікою, особливо в Україні. Наприклад, бурштинові старателі, які працюють на території Волинської, Рівненської та Житомирської областей, можуть заробляти від 50 до 100 доларів США на день, у той час як наймані працівники отримують від 20 до 40 доларів. За різними оцінками, цей нелегальний бізнес залучає від 16 до 30 тисяч осіб [7].

У свідомості більшості людей слово «бурштин» асоціюється передусім із Латвією. Відомий бренд «Dzintars», що в перекладі означає «бурштин», став символом цієї країни. Латвійські узбережжя Балтійського моря, зокрема курорт Юрмала, історично відомі післяштормовими знахідками бурштину, які переробляють у сувеніри. Проте в сучасних реаліях ця традиція втратила колишнє значення. Зростання світових цін на бурштин сприяло розвитку вторинного ринку, де вартість старовинних виробів може сягати 100 євро за грам — значно перевищуючи ціну золота, яка становить близько 40 євро за грам. Стародавні прикраси періоду правління президента Улманіса (1936–1940 роки) оцінюються від 2 до 20 тисяч євро залежно від розміру та якості каменю [7].

У Литві переробка бурштину була активною до введення санкцій з боку Росії, що призвело до припинення постачань бурштину. У відповідь на це, литовці відновили увагу до родовищ бурштину на узбережжі Куршської затоки, розвіданих ще в 1990-х роках. Поблизу міста Юодкранте було виявлено поклади бурштину обсягом 112 тонн, а сумарні прогностичні запаси становлять 230 тонн. Хоча історично родовище Юодкранте розроблялось у промислових масштабах

німцями в період Східної Пруссії (1862-1890 рр.), з часом воно було закинута через конкуренцію з більшими родовищами Пруссії [17].

Сучасний етап розвитку родовища Юодкранте супроводжується суперечками між геологами та ювелірами. Геологи стверджують, що економічна вигода від розробки покладів є сумнівною через переважання дрібного бурштину. Водночас виробники ювелірних виробів побоюються, що використання низькоякісної сировини може негативно позначитись на іміджі литовського бурштину.

Також з'явилися ініціативи щодо видобутку бурштину туристами, які передбачають можливість отримання обмеженої кількості бурштину під час екскурсій. Це могло б стати унікальним туристичним атракціоном для Литви. Проте питання його впровадження досі обговорюється, оскільки влада побоюється, що проєкт може втратити контроль і спричинити поширення нелегального видобутку.

Бурштиновий бізнес у Польщі переважно спрямований на переробку каменю та виготовлення прикрас, а не на його видобуток. Відповідно до прогнозів Державного інституту геології Польщі, запаси бурштину в країні оцінюються в 1,1 тис. тонн, з яких близько 1 тис. тонн зосереджені в Люблінському воєводстві, що межує з Україною. Основні поклади бурштину розташовані у трьох регіонах Польщі: на узбережжі Балтійського моря (поблизу міст Гданськ, Слупськ і Ельблонг), на території Любартівського повіту Люблінського воєводства, а також у кількох повітах Мазовецького воєводства, неподалік Варшави [7].

Видобуток бурштину в Польщі відбувається у дуже невеликих масштабах. Втім, бурштин став символом польського Балтійського узбережжя, а ювелірні вироби з нього користуються популярністю серед туристів у курортних містах, таких як Гданськ і Сопот. Хоча в Люблінському воєводстві знаходяться значні поклади бурштину, їх видобуток практично не ведеться через високі витрати на технології, пов'язані з глибоким заляганням родовищ. На Балтійському

узбережжі бурштин залягає на невеликій глибині — кілька метрів, що робить видобуток технічно простішим, але він все одно не набув широкого поширення.

Концесії на розвідку та видобуток бурштину в Польщі видають не центральні органи влади, а місцеві управління воєводств, де планується видобуток. Вартість таких дозволів становить 616 злотих (приблизно 160 доларів США), а додатково стягується плата у розмірі 10 злотих (близько 2,5 доларів США) за кожен кілограм добутого бурштину. Частина цих коштів надходить до місцевих бюджетів, а інша — до Національного фонду охорони навколишнього середовища. Водночас видобувачі сплачують і місцеві податки, які є невеликими. Так, у Поморському воєводстві з 2012 року було видано близько 100 концесій на розвідку бурштинових покладів, що дозволило в 2013 році видобути 635 кг бурштину, а в 2014 — 548 кг[17].

На теперішній час у Польщі функціонував лише один офіційний кар'єр для видобутку бурштину на півночі країни з продуктивністю 30-40 кг на місяць. Водночас продовжувався нелегальний видобуток. Лише минулого року лісова охорона виявила 15 незаконних місць видобутку бурштину на півночі Польщі. Проте боротьба з цим явищем залишається малоефективною, оскільки судові процеси тривають роками, а вилучення обладнання не вирішує проблему.

Польське законодавство передбачає покарання за завдання значної шкоди довкіллю у вигляді штрафів та ув'язнення терміном до трьох років. Уряд країни планує посилити заходи відповідальності, адже ситуація з контролем над видобутком бурштину залишається складною. Міністерство екології вже розробило законопроект у сфері гірничо-видобувного права, який передбачає суттєве збільшення штрафів за незаконний видобуток бурштину — до 400 тисяч злотих (майже 100 тисяч доларів США). Окрім того, планується підвищення податку на легальний видобуток — з 10 до 800 злотих за кілограм. Хоча жорсткіші штрафи можуть скоротити масштаби нелегального видобутку, значне зростання податків може негативно позначитись на легальних видобувачах[7].

Гданськ є центром світової торгівлі бурштином, і 70% світового виробництва ювелірних виробів з цього каменю зосереджено саме там. У

Гданську функціонує понад 2000 компаній, зайнятих у цій галузі, а в ній працюють від 15 до 20 тис. осіб. Основна частина продукції експортується до приблизно 100 країн світу, причому Китай є основним ринком збуту. Експорт бурштину з Польщі зріс на 350% [17].

Ціни на бурштин значною мірою залежать від розміру каменів: кілограм дрібних фракцій вагою менше 0,5 г коштує приблизно 100 злотих (приблизно 25 доларів США), тоді як великі шматки вагою понад 100 г можуть коштувати до 10 тисяч злотих (близько 2,5 тисяч доларів США). Через зростання попиту та обмежені обсяги місцевого видобутку польські ювеліри часто звертаються до нелегального імпорту бурштину з України. Так, у 2013 році польські митники на кордоні з Волинською областю вилучили 75 кг нелегального бурштину, у 2014 році — 170 кг, а в першій половині 2015 року — вже 650 кг. Найбільший інцидент стався на митному пункті Дорогуськ, де в багажному відсіку автобуса було знайдено 189 кг бурштину загальною вартістю понад мільйон злотих [7].

НВБ в Україні є серйозною екологічною та економічною проблемою, що має широкий спектр причин. Ці фактори спричинили руйнування екосистем Українського Полісся, занепад легальної бурштиновидобувної галузі, розвиток масштабних схем контрабанди та кримінальних конфліктів, а також відсутність законного ринку збуту бурштину.

Основні чинники, що сприяють несанкціонованому видобутку, скуповуванню, зберіганню, переробці та реалізації бурштину, включають:

- ✓ Легкодоступність бурштинових покладів, розташованих на мілкій глибині, часто в ізольованих лісистих та заболочених районах, що ускладнює державний контроль і моніторинг.
- ✓ Низька ефективність правових санкцій і слабкий контроль за їх виконанням у сфері нелегального видобутку, обробки та збуту бурштину, а також недостатньо суворе законодавче регулювання.
- ✓ Відсутність стабільних джерел доходу у місцевого населення регіонів видобутку та недостатня увага держави до цих проблем,

зокрема у сфері просвітницької роботи щодо геологічних і екологічних аспектів.

- ✓ Неєфективність дій парламенту, уряду та місцевої влади у боротьбі з нелегальним видобутком через слабку координацію і відсутність єдиної стратегії на різних рівнях управління.

Отже, ці причини комплексно впливають на зростання масштабів НВБ, погіршуючи економічну ситуацію в регіоні та посилюючи екологічну кризу.

### **2.3. Аналіз заподіяної шкоди економіці і довкіллю при несанкціонованому видобутку бурштину**

У 1990-х роках нелегальні добувачі бурштину використовували примітивне обладнання — лопати, лотки, сита і ручні бури. Проте на початку XXI століття їх змінила важка сучасна техніка: гідравлічні мотопомпи, земснаряди, екскаватори. Це спричинило масштабне руйнування екосистем Полісся, перетворюючи території на безплідні «бедленди» або «місячні ландшафти».

З початку XXI століття площі пошкоджених земель значно зросли. Використання важкої техніки без подальшого засипання котлованів руйнує кореневу систему дерев і знищує чагарниковий і трав'яний покрив. Через це на поверхні утворюються глибокі ями і піщані пагорби, змішані з породою. Підвищення рівня ґрунтових вод призводить до загнивання коренів рослин і виникнення «п'яного лісу», який швидко гине.

Коли незаконні розробки проводяться на орних угіддях і пасовищах, це завдає значних збитків сільському господарству. Окрім прямої шкоди, яка завдається лісовим масивам, водно-болотним угіддям та сухопутним екосистемам, моторизований видобуток бурштину руйнує верхні пласти, які є найбільш продуктивними, до глибини 4-10 метрів і більше. Ці пласти формувалися протягом мільйонів років, і їх руйнування є непоправним.

Збитки, завдані природі внаслідок варварського видобутку бурштину в Поліссі, можна порівняти з руйнівними геологічними процесами. Екологічний

стан цих територій оцінюється як катастрофічний, з важкими наслідками в майбутньому. Це викликає серйозне занепокоєння як в Україні, так і в країнах Балтійсько-Дніпровської бурштиновмісної провінції, таких як Польща, Литва, Латвія та інших європейських державах.

Згідно з Постановою Кабінету Міністрів України № 1364 від 28 грудня 2011 року, шкода, заподіяна лісам у результаті НВБ, оцінюється за такими критеріями:

- пошкодження дерев і чагарників до ступеня, при якому припиняється їх ріст;
- пошкодження без припинення росту;
- знищення або часткове пошкодження лісових культур, їхнього природного підросту та самосіву на територіях, призначених для відновлення лісів;
- знищення або пошкодження сіянців і саджанців у лісових розсадниках та на плантаціях;
- пошкодження межувальних знаків у лісах [17].

Шкода довкіллю також виникає через забруднення земельних ресурсів, що є наслідком порушень природоохоронного законодавства. Забруднені землі характеризуються змінами в кількості та якості верхніх шарів ґрунту, де збільшується частка материнської або підстилаючої породи без гумусу, що призводить до втрати родючості.

Збитки завдаються й через псування земель лісового фонду та сільськогосподарських угідь (сінокосів, пасовищ) внаслідок їх затоплення. Нелегальний видобуток бурштину, що супроводжується розмиванням ґрунту та облаштуванням розкопів, змінює середовище існування рослин і тварин, особливо видів, занесених до Червоної книги України. Особливо відчутною є шкода для водно-болотних угідь, зокрема охоронюваних природно-заповідних територій.

Знищення територій, що перебувають під охороною держави, та об'єктів природно-заповідного фонду є одним із найважчих наслідків НВБ. Окрім шкоди

довкіллю, НВБ завдає значних збитків економіці України. Це відбувається як через порушення встановлених правил використання надр і НВБ, що є корисною копалиною загальнодержавного значення, так і через незаконний обіг бурштину всередині країни та його контрабанду за кордон.

Щороку в Україні видобувається від 120 до 300 тонн бурштину, з яких лише близько 4 тонн добувається легально. Нелегальний видобуток спричиняє значні економічні втрати та серйозну шкоду довкіллю — пошкоджено близько 400 гектарів земель.

У 2015 році польська прикордонна служба зафіксувала 65 випадків нелегального вивезення бурштину з України, вилучивши понад 600 кг каменю. Міністерство фінансів Польщі повідомило про вилучення близько 20 тонн бурштину в ході розслідування майже 230 випадків незаконного перевезення мінералу між країнами[37].

Причинами такої ситуації, ймовірно, є корупційні зловживання серед місцевої влади та прикордонних служб, що веде до правопорушень у регулюванні обігу бурштину. Річний обіг незаконно видобутого бурштину в Україні оцінюється приблизно в 200 мільйонів доларів США, тоді як щорічні позови, подані Державною екологічною інспекцією, складають менше 40 тисяч гривень [35].

Розрахунки свідчать про значні економічні збитки, спричинені НВБ. Згідно з нормативною формулою оцінки шкоди, у випадку видобутку 120 тонн бурштину на рік, збитки для держави у 2015 році перевищували 200 мільйонів гривень, а при обсягах видобутку 300 тонн сума збитків сягала понад 500 мільйонів гривень. Враховуючи формулу Міжнародної асоціації екологічних експертів [31], яка включає витрати на відновлення порушених територій, збитки можуть перевищувати шість і п'ятнадцять мільйонів гривень відповідно, а шкода від порушення ґрунту та його збідніння гумусом становитиме понад 40 мільйонів гривень.

Методика розрахунку збитків, що використовується Державною екологічною інспекцією, базується на обсягах видобутого бурштину,

мінімальній заробітній платі та базовому показнику ставки збитків, що дорівнює 1,42 від мінімальної заробітної плати. Отже, у 2015 році, при мінімальній заробітній платі трохи більше 1 тисячі гривень, штраф за 1 кг НВБ мав би становити менше 2 тисяч гривень. Водночас середня ціна бурштину коливається в межах 500-2000 доларів США, що свідчить про необхідність перегляду базової ставки збитків. Для більш точного оцінювання шкоди доцільно використовувати комплексний розрахунок, що включає врахування збитків від незаконного видобутку, забруднення, порушення ґрунтового покриву, знищення гумусу, шкоди рослинному і тваринному світу, а також порушення режимів ґрунтових вод і територій природно-заповідного фонду [29].

Ефективна боротьба з незаконним видобутком бурштину (НВБ) у регіонах з покладами цього каменю потребує комплексного підходу. До основних напрямів належать:

Удосконалення природоохоронного законодавства та посилення відповідальності за НВБ;

- Регулювання видачі дозволів на видобуток для організованих бригад;
- Розроблення методів рекультивації земель, пошкоджених незаконним видобутком;
- Впровадження механізмів впливу на учасників незаконної діяльності.
- Науковці наголошують на потребі ухвалення Закону України «Про видобуток і реалізацію бурштину», який має включати:
  - Врегулювання приватно-правових аспектів видобутку;
  - Введення статусу «місцевого старателя»;
  - Видачу та автоматизовану реєстрацію дозволів через Державну службу геології та надр;
  - Надання об'єднаним територіальним громадам і сільським радам права створювати фонди для георозвідувальних робіт;

- Підтримку формування ринку переробки та експорту бурштину під контролем Державної фіскальної служби[24].

Додатково в наукових працях підкреслюється необхідність посилення ефективності притягнення до відповідальності осіб, які займаються НВБ або надають посередницькі незаконні послуги. Запропоновано вдосконалити статтю 239 ККУ шляхом посилення кримінальної відповідальності за знищення родючих шарів ґрунту, а також статтю 240 ККУ за встановлення кримінальної відповідальності за переміщення і збут незаконно видобутих корисних копалин загальнодержавного значення [25].

Основні запаси бурштинових копалин зосереджені в трьох областях Поліського регіону України: Волинській, Рівненській та Житомирській. У період з 2014 по 2019 роки НВБ пошкодив 16 га у Волинському ОУЛМГ і 453,6 га у Житомирському ОУЛМГ [39]. Існує нагальна потреба в моніторингу земель, порушених НВБ, площа яких щорічно зростає.

Перспективним, надійним і доступним методом для визначення розташування, площ та картографування земель, порушених НВБ, є використання БПЛА або багатозональних космічних знімків. Застосування супутникових систем Landsat і Sentinel-2 дозволяє з високою точністю і надійністю визначати місця НВБ та оцінювати масштаби завданої екологічної шкоди [42].

Дослідження порівняння точності визначення площ за допомогою знімків Sentinel-2 і ортофотопланів масштабу 1:5000, створених за даними БПЛА, показали, що відхилення в оцінці площ цих методів не перевищує  $\pm 2\%$  [42].

У наукових дослідженнях також значну увагу приділено аналізу стану лісових ділянок, пошкоджених НВБ, в яких визначаються економічні, соціальні та екологічні наслідки такого видобутку. Наведено приклади пошкоджень ґрунтового покриву у вигляді розкопів, кратерів глибиною від 2 до 12 м та насипів підстилаючих порід на поверхню ґрунтів. Наголошується, що відновлення земель, пошкоджених НВБ, є відносно новою проблемою, що потребує детального дослідження [39].

Під час дослідження стану лісових насаджень на ділянках, пошкоджених незаконним видобутком бурштину (НВБ), було виявлено значне знищення деревини, чагарникової та трав'яної рослинності, незадовільне природне поновлення, руйнування структури ґрунту, а також погіршення санітарного стану окремих дерев і загального стану насаджень. Одним із серйозних негативних наслідків, що ускладнює відновлення цих ділянок, є суттєве підвищення кислотності субстратів (порід), винесених на поверхню лісових земель.

Подібні рекомендації для рекультивації земель, порушених НВБ, були також обґрунтовані іншими науковцями. А. Свіланс і С. Ковалевський пропонують спочатку проводити технічну рекультивацію на ділянках, де видобуток здійснювався гідромеханічним способом, а потім біологічну. М. Казимир, Т. Бедерніченко та Н. Заїменко рекомендують для рекультивації використовувати суміш дрібнодисперсних кремнієвмісних мінералів і органічних субстратів. О. Решетнюк і В. Терлецький вважають, що на сильно пошкоджених ділянках необхідно здійснювати суцільну реконструкцію насаджень шляхом санітарних рубок і висадження лісових культур. А. Єрміїчук рекомендує для складних суборів, пошкоджених НВБ, здійснювати природне поновлення сосни звичайної та берези повислої. К. Ярошовець пропонує здійснювати відновлення лісу на порушених ділянках за допомогою природного поновлення, посіву насіння або висаджування сіянців та саджанців. Новосельцева В. інформує про вирішення проблеми рекультивації порушених видобутком бурштину земель на прикладі проєкту рекультивації ділянок Дубровицького лісництва Рівненської області, який виконується ДП «Бурштин України» [44].

Серед чисельних наукових праць, які досліджують проблеми раціонального використання порушених земель, еколого-економічні аспекти їх рекультивації та вибір технологічних схем відновлення земельних угідь, слід виділити роботи Д. Дебряка, В. Мандрика, А. Мартина, Р. Панаса, Л. Моторної та В. Овчинникова [47].

Фахівці підкреслюють, що незаконний видобуток бурштину завдає Україні значних економічних збитків. Тому виникає гостра потреба у внесенні змін до законодавства, що регулює рекультивацію земель, порушених через незаконний видобуток, з метою забезпечення ефективного відшкодування завданих збитків.

Впровадження економіко-правового механізму, який зобов'язуватиме порушників компенсувати завдані збитки та виконувати роботи з відновлення пошкоджених земель, може суттєво знизити кількість правопорушень у сфері користування земельними ресурсами і сприяти охороні довкілля.

Необхідно розробити методику для оцінки збитків, яких зазнають держава, власники паїв і орендарі, що здійснюють економічну діяльність на землях з лісовими насадженнями, сільськогосподарських угіддях, водно-болотних територіях та на землях водного фонду. Проблеми оцінювання втрат, які зазнає держава внаслідок НВБ, визначення площ деградованих земель, що потребують рекультивації, а також відновлення їх родючості та агроекологічного стану, досліджуються науковцями та фахівцями різних галузей [42].

Розроблена методика для обчислення збитків, завданих державі внаслідок НВБ, включає наступні показники: самовільне користування бурштином і земельною ділянкою; знищення або пошкодження ґрунтового покриву без належних дозволів; накопичення на ділянці рослинних решток та побутового сміття без спеціальних дозволів.

Отже, аналіз літературних джерел показує, що наразі відсутні єдині підходи до визначення напрямків рекультивації порушених земель лісового фонду, сільськогосподарських угідь та земель водного фонду. Причиною цього є недостатня увага до інвентаризації та класифікації земель, порушених НВБ, що вимагає диференційованих підходів до їх ремедіації та рекультивації.

У рамках другого розділу кваліфікаційної роботи було проведено комплексне дослідження сучасного стану проблем, пов'язаних із НВБ, з акцентом на його вплив на економіку та довкілля, а також проаналізовано перспективи вирішення цих проблем. Висновки за результатами цього розділу можна поділити на кілька ключових аспектів.

Аналіз ситуації з несанкціонованим видобутком бурштину (НВБ) в Україні показує, що основні проблеми сконцентровані у регіонах Полісся — Рівненській, Волинській та Житомирській областях, де зосереджені великі поклади цього мінералу. Нелегальні об'єкти видобутку часто залишаються поза контролем державних органів, не мають належного оформлення та дозволів на використання земель.

Видобуток бурштину, особливо гідромеханічним способом, викликає значні екологічні проблеми: руйнується ландшафт, деградують ґрунти, ушкоджуються водно-болотні угіддя, що ускладнює подальше відновлення територій і рекультивацію земель.

Суб'єктами НВБ є переважно нелегальні артілі, сформовані з місцевого населення, яке не має інших джерел доходу, а також організовані злочинні угруповання, що контролюють не лише видобуток, а й канали збуту бурштину на внутрішніх і міжнародних ринках. Це робить проблему багатогранною та вимагає комплексного підходу для її розв'язання.

Значну роль у цьому процесі відіграють корупційні схеми, що дозволяють суб'єктам незаконного видобутку уникати відповідальності та знижують ефективність державного контролю. Відсутність належного правового регулювання та дієвих механізмів запобігання незаконній діяльності призводить до подальшого поглиблення проблеми.

Слабкість правових механізмів і неефективний нагляд за видобутком дозволяють нелегальним видобувачам працювати без страху бути покараними. Спільноти, що займаються нелегальним видобутком, часто мають локальні зв'язки в правоохоронних органах і місцевій владі, що дозволяє їм продовжувати свою діяльність.

Хоча законодавство в Україні було змінено, щоб спробувати легалізувати видобуток, на практиці воно не завжди ефективне. Високі адміністративні та екологічні витрати на легальний видобуток стимулюють підприємців і робітників звертатися до незаконних методів.

НВБ має значні негативні наслідки як для економіки, так і для довкілля України. Дійсно, економічні втрати через ухилення від сплати податків та відсутність офіційного обліку значні — держава втрачає великі кошти, а тіньовий ринок бурштину розростається, що ускладнює контроль і регулювання галузі.

Щодо екології — пошкодження лісів, знищення родючого шару ґрунту, забруднення вод, підвищення кислотності ґрунтів і деградація земель — це комплексні проблеми, які впливають не лише на природу, але й на аграрний сектор і життя місцевих громад. Втрата біорізноманіття та погіршення якості води можуть мати довгострокові негативні наслідки, які важко буде відновити без системних заходів.

Це підтверджує, наскільки важливо підходити до проблеми комплексно: посилювати законодавство, контролювати видобуток, відновлювати пошкоджені землі та створювати альтернативні джерела доходів для місцевого населення. Як ти вважаєш, які з цих напрямів мають бути пріоритетними? Таким чином, вирішення проблеми НВБ вимагає системного підходу, що включає правові, економічні, екологічні та технологічні заходи, спрямовані на зменшення негативного впливу цього процесу на економіку та довкілля України.

### РОЗДІЛ 3

## ДОСЛІДЖЕННЯ НАСЛІДКІВ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОГО КАРТОГРАФУВАННЯ ВИДОБУТКУ БУРШТИНУ ЗА ДАНИМИ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ

### 3.1. Супутниковий моніторинг територій незаконного видобутку бурштину

Україна посідає друге місце у світі за запасами бурштину (див. Рис. 3.1) і має найбільший у світі відсоток бурштину ювелірної якості. За конкурентоспроможністю родовищ та перспективними площами бурштин випереджає всі інші українські самоцвіти [18]. Проте складне правове регулювання користування надрами, тривала і заплутана процедура отримання спеціальних дозволів на видобуток, а також необхідність отримання численних додаткових дозволів і погоджень тривалий час гальмували інвестиції в розробку бурштинових родовищ. Водночас зростання світових цін на бурштин, низький рівень зайнятості на Поліссі, корупція в правоохоронних органах, недостатня відповідальність за незаконний видобуток, а також відносна простота та дешевизна кустарних методів видобутку через неглибоке залягання каменю сприяли масовому поширенню нелегальної діяльності старателів у цьому регіоні. Найактивніше видобуток здійснюється в Олевському та Овруцькому районах Житомирської області, Рокитнівському, Дубровицькому, Володимирецькому, Зарічненському та Сарненському районах Рівненської області, а також у Ратнівському і Любешівському районах Волинської області. Таким чином, «бурштинова лихоманка» охопила майже всю північно-західну частину України, загальною площею понад 14,6 тис. км<sup>2</sup>[36].

Формування бурштинових розсипів залежить від трьох ключових чинників: 1) тривалого існування хвойних лісів на підвищеному суходолі з розвиненою річковою системою; 2) сприятливих кліматичних умов; 3) наявності морського басейну, в осадах якого акумулювався бурштин. Ці природні умови

сприяли утворенню бурштинових родовищ на території України, які нині розробляються як легально, так і нелегально.

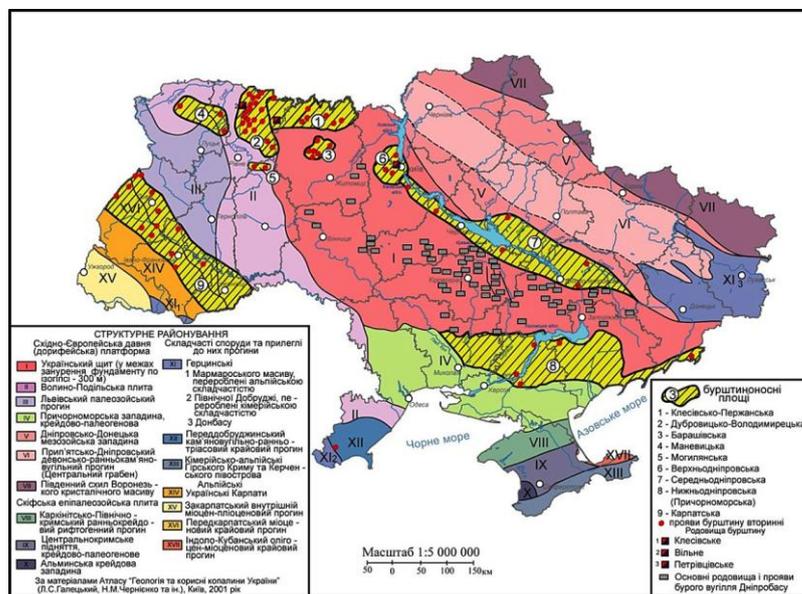


Рисунок 3.1. Бурштинові родовища України [37]

Незаконний видобуток бурштину негативно впливає на екологічну та соціально-економічну безпеку північно-західних регіонів України, завдаючи шкоди таким сферам, як сільське господарство, лісове господарство та гірничодобувна промисловість. Серед основних екологічних проблем — руйнування геологічних пластів, виснаження бурштиноносних шарів, погіршення гідрогеологічного режиму прилеглих територій, знищення рослинності та родючого ґрунту, вирубка дерев із пошкодженням кореневої системи, зміни у болотних екосистемах, а також посилення водної та вітрової ерозії.

Економічні втрати включають збитки у лісовому та водному господарстві, деградацію ґрунтів, значну втрату державного бурштину-сирцю, що перевищує обсяг законного видобутку, недоотримання податкових надходжень, як загальнодержавних, так і місцевих, а також сприяння розвитку «тіньової» економіки. У соціальній сфері нелегальний видобуток спричиняє підвищення

рівня криміногенної ситуації в регіоні, високий рівень травматизму та смертності серед старателів, що є наслідком недотримання правил безпеки, а також зростання соціальної напруги через конфлікти між старателями та місцевим населенням.

НВБ здійснюється переважно помповим методом, який полягає у вимиванні ґрунту водою під високим тиском на глибину 6–10 метрів [42]. Оскільки бурштин легший за воду, він спливає на поверхню, звідки його виловлюють сітками. Коли старателі доходять до глини, яка залягає під покладами бурштину, подальша розробка припиняється. Цей спосіб видобутку повністю знищує родючий шар ґрунту, оскільки тонкий гумусовий шар змішується з піщаними та супіщаними ґрунтами. Відновлення родючого шару може зайняти десятки років. Окрім цього, руйнується коренева система дерев, що призводить до масового вирубування лісів.

Нелегальний видобуток бурштину також спричиняє забруднення повітря продуктами згоряння паливно-мастильних матеріалів та порушення гідрологічного режиму території через нераціональне використання поверхневих і підземних вод. Це призводить до зниження рівня ґрунтових вод і посилення ерозійних процесів. Такий руйнівний спосіб видобутку порушує геологічну структуру території, ускладнюючи або роблячи неможливою подальшу експлуатацію родовищ.

Окрім екологічних втрат, Україна зазнає значних економічних збитків. Наприклад, на Житомирщині незаконний видобуток пошкодив приблизно 200 гектарів лісогосподарських земель. Збитки для лісових угідь оцінюються близько мільйона гривень, а для відновлення екосистем на цих територіях необхідно приблизно 400 тисяч гривень на гектар. [23].

Для оцінки масштабів НВБ та визначення територій, що потребують рекультивації й відновлення екологічного стану, необхідно провести комплексну інвентаризацію пошкоджених ділянок. НВБ переважно здійснюється в ізольованих або напівізольованих місцевостях, таких як чагарники, ліси та лісосмуги, віддалені від населених пунктів і транспортних шляхів. Доступ до

таких ділянок часто контролюється озброєними приватними охоронцями, що ускладнює своєчасне й точне визначення їх місцезнаходження за допомогою традиційних наземних методів. Для подолання цієї проблеми пропонується застосовувати супутникові знімки в режимі моніторингу, що дозволяють з високою точністю виявляти місця незаконної діяльності й оцінювати масштаби екологічних руйнувань.

Супутниковий моніторинг рекомендується здійснювати на двох рівнях: регіональному та локальному. На регіональному рівні (області, райони) використовують знімки супутників серії LANDSAT, які мають просторову роздільність до 15 метрів (Рис. 3.2). Первинні дані можна безкоштовно завантажити з сайту Геологічної служби США. Обробка одного зображення площею близько  $180 \times 180$  км фахівцями ДУ "Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України" коштує приблизно 180–210 доларів США, що становить близько 1–1,2 долара за км<sup>2</sup>. Для моніторингу території Українського Полісся потрібні два повних знімки, які оновлюються кожні 16 днів. Витрати на обробку таких даних є незначними у порівнянні з економічними збитками, що їх зазнає держава через незаконний видобуток бурштину.

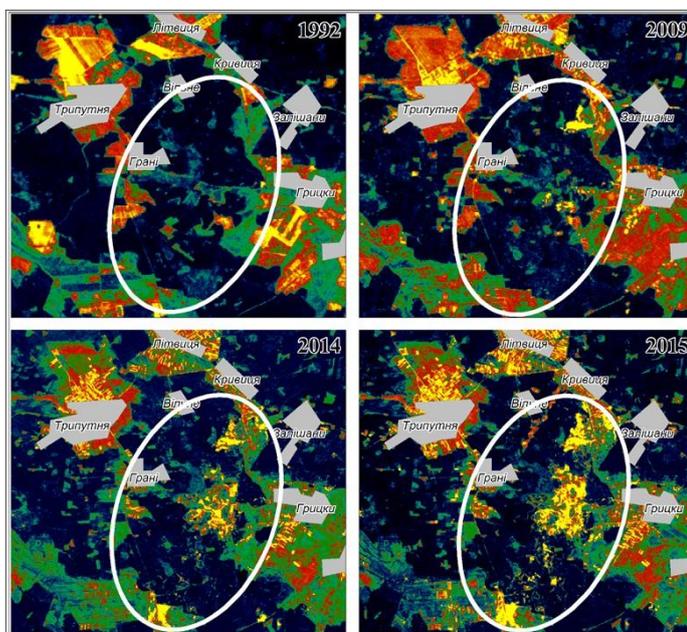


Рисунок 3.2 Моніторинг територій НВБ на регіональному рівні. Рівненська область. Білим кольором окреслена ділянка приросту площ незаконного видобутку

На локальному рівні (сільські громади, лісові господарства тощо) використовуються супутникові дані з комерційних супутників серії WorldView (США) або Pleiades (Франція, Європейський Союз), які забезпечують роздільність від 0,5 до 2 метрів. Ці супутники передають дані на Землю щоденно та можуть бути використані для детального аналізу екологічного стану пошкоджених територій. Однак такі дані не є безкоштовними: вартість архівних даних (старших за місяць) в Україні становить \$20–40 за км<sup>2</sup> для супутників WorldView і €12–20 за км<sup>2</sup> для Pleiades, за умови мінімального замовлення 100 км<sup>2</sup> і 25 км<sup>2</sup> відповідно.

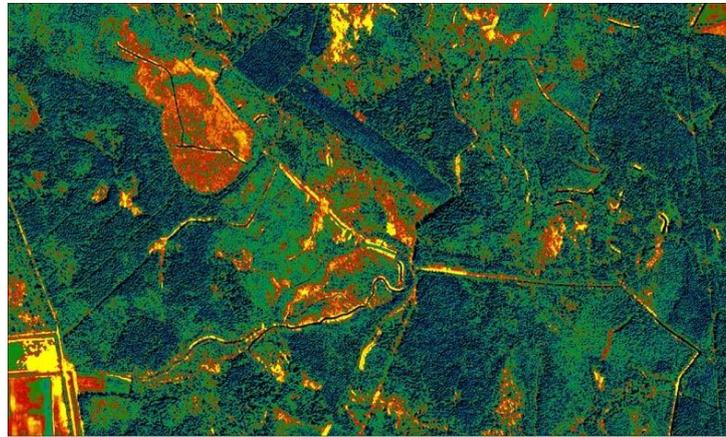


Рисунок 3.3 Виявлення місць НВБ на локальному рівні в районі населених пунктів Володимирець — Дубівка (Рівненська область, Володимирецький район). Масштаб оригіналу 1:10 000

Застосування супутникових даних дозволяє виявляти ділянки НВБ навіть у закритих місцевостях, як показано на Рис. 3.3 та 3.4. Основні можливості використання космічних знімків для моніторингу територій НВБ полягають у наступному:

На регіональному рівні:

- Виявлення ділянок незаконного видобутку та періодичний контроль стану навколишнього середовища.

На локальному рівні:

- Деталізація порушених площ, оцінка екологічних та економічних збитків.
- Моніторинг стану ґрунтово-рослинного покриву.

- Контроль якості поверхневих вод.
- Відстеження дотримання умов гірничого відводу та рекультивації пошкоджених територій.
- Дотримання екологічних норм, зокрема на територіях природоохоронних зон як національного, так і місцевого рівня.

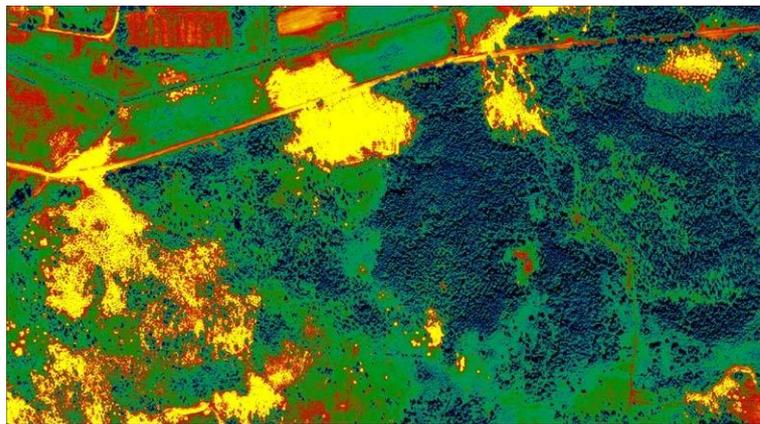


Рисунок 3.4 Виявлення місць НВБ на локальному рівні в районі селищ Жовкинi — Дубiвка (Рiвненська область, Володимирецький район). Масштаб оригiналу 1:5 000

Отже, для ефективного вирішення проблеми нелегального видобутку бурштину необхідно створювати високоточні ГІС-моделі бурштинових ділянок на основі супутникових даних з високою роздільною здатністю. На рівні державної політики доцільно запровадити систематичні моніторингові дослідження постраждалих територій із обов'язковим залученням даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ).

### **3.2. Аналіз екологічних наслідків видобутку бурштину в Україні за даними дистанційного зондування**

Найперспективнішою для видобутку бурштину територією України вважається південний і північно-західний схил Українського щита (УЩ), що охоплює зону кристалічних порід УЩ та осадово-вулканогенні породи Прип'ятського прогину й Волино-Подільської плити. До цього регіону належать

північні й північно-західні райони Житомирської та Рівненської областей, а також північно-східна частина Волинської області.

Згідно з державним балансом запасів корисних копалин, в Україні враховано ресурси десяти бурштинових родовищ. Серед них — Клесівське, Вільне, Володимирець-Східний, «Золоте», Каноничі (західна частина), «Томашгород» у Рівненській області, а також Маневицькі родовища–1 і –2 та Камінь-Каширське–2 у Волинській області.

Найбільшим родовищем є Клесівське, відкрите у 1980 році в Рівненській області. Воно розташоване на північно-західному схилі УЩ, у межах Клесівської слабохвилястої рівнини, яка простягається на кордоні Рівненської та Житомирської областей. Геологічна структура цієї території представлена осадовими породами палеогенового та антропогенового віку товщиною до 20 м, що залягають на кристалічному фундаменті. Промислові шари бурштину зосереджені в глауконітових піщано-глинистих відкладах палеогену на глибині 3–10 м, з товщиною продуктивного шару від 0,5 до 5 м. Родовище відзначається складною геологічною будовою, нерівномірним розподілом бурштину у породах, а також варіативністю якісних характеристик каменю[36].

Для розуміння масштабу та специфіки впливу на навколишнє середовище доцільно розглянути технології видобування бурштину:

- Механічний метод передбачає розробку масиву ґрунту у відкритому кар'єрі або під землею з використанням екскаваторів та самоскидів, які транспортують продуктивну породу до промивального цеху. Однак, цей метод виявився економічно не вигідним через низьку рентабельність: великі експлуатаційні та економічні витрати, необхідність винесення породи на поверхню, а також негативний екологічний вплив на навколишнє середовище.

- Гідравлічний метод полягає у розмиванні продуктивного шару ґрунту струменями води під високим тиском, з подальшим винесенням бурштину на поверхню родовища гідравлічними потоками. Починаючи з 2008 року, на території Житомирської та Рівненської областей підприємством «Бурштин України» застосовувався шнеково-гідравлічний метод розробки бурштинових

родовищ. Видобування здійснювалося свердловинним способом, з використанням спеціальної сітки для буріння діаметром 80 см. Максимальна глибина розробки родовища становила 15 м. На породу впливали гідравлічним тиском, що дозволяло винести її на поверхню у вигляді водяної пульпи, яка далі піддавалася додатковій промивці та розділенню у спеціальній установці. Промивна вода після цього поверталася до відстійника, де вона проходила повторне очищення та знову використовувалася. В Україні ведеться державний видобуток бурштину, проте поруч із ним існує незаконний видобуток, який знижує рентабельність державного виробництва. Це призвело до того, що частка бурштину, видобутого державою, значно зменшилася, внаслідок чого у 2009 році видобуток бурштину підприємством «Бурштин України» був припинений.



Рисунок 3.5 Кар'єрний спосіб видобутку бурштину

НВБ здійснюється двома методами: кар'єрним та гідромеханічним. Кар'єрний метод видобутку бурштину, на відміну від офіційного, передбачає використання менших за розмірами кар'єрів, оскільки видобування здійснюється переважно вручну. Однак, цей метод не передбачає дотримання норм охорони праці, заходів з охорони водних ресурсів та інших екологічних стандартів.



Рисунок 3.6 Гідромеханічний спосіб видобутку бурштину

Гідромеханічний спосіб видобутку бурштину полягає у розмиванні ґрунту водою під великим тиском на глибину 6–10 метрів. За допомогою мотопомп (див. Рис. 3.6) вода з найближчих водойм подається у ґрунт, утворюючи глибокі «свердловини». Завдяки тому, що бурштин має меншу густину, ніж вода, він спливає на поверхню, де його збирають за допомогою сіток. Роботи припиняються, коли досягають шару глини, розташованого нижче бурштиновмісних порід.

Вплив НВБ на навколишнє середовище:

- Засмічення земельних ділянок: внаслідок присутності великої кількості людей значні площі забруднюються побутовими відходами.
- Забруднення атмосферного повітря: викиди в атмосферу сполук  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$  внаслідок спалювання паливно-мастільних матеріалів (Рис. 3.7а).
- Порушення гідрологічного режиму: використання води для мотопомп призводить до прориву каналів, зміни русел річок, їх осушення та зникнення (Рис. 3.7б).



а)



б)

Рисунок 3.7. а) Забруднення атмосферного повітря у місцях НВБ; б) Канал у місцях НВБ

- Знищення рослинного покриву проявляється у пошкодженні трав'янистих і чагарникових рослин, а також у механічному порушенні кореневої системи дерев, що спричиняє їх нахил або повалення. У багатьох випадках великі площі лісів повністю знищуються. Крім того, луки покриваються шаром неродючого ґрунту, що змивається з розкопів, унаслідок чого втрачається гумус, а також важливі макро- та мікроелементи (Рис. 3.8).



а)



б)

Рисунок 3.8. а) Лісові масиви, зруйновані внаслідок НВБ б) Наслідки НВБ на луках

НВБ на землях сільськогосподарського призначення призводить до ерозії верхнього родючого шару ґрунту, й до порушення структури ґрунтового покриву, що виражається у формуванні воронки глибиною 3-8 м (Рис. 3.9).

Ведення незаконних робіт на посівних площах і пасовищах завдає значної прямої шкоди та непоправних втрат аграрному сектору (Рис. 3.10).



Рисунок 3.9 Вплив незаконного видобутку бурштину на сільськогосподарські



Рисунок 3.10 Динаміка деградації сільськогосподарських земель внаслідок НВБ– космічні знімки

Окрім цього, незаконний мотопомповий видобуток бурштину завдає суттєвої шкоди лісовим, болотним та іншим природним екосистемам. Цей процес повністю руйнує приповерхневі бурштиноносні горизонти, які залягають на глибині від 4 до 10 і більше метрів. Землі, на яких здійснюється така діяльність, належать до зон відповідальності офіційних природокористувачів (лісогосподарські підприємства), надрокористувачів (видобувні підприємства) та землекористувачів (сільськогосподарські підприємства), які відповідно до вимог природоохоронного та земельного законодавства зобов'язані використовувати ці території за цільовим призначенням. Частина таких ділянок також може належати до земельного запасу сільських або селищних рад, що відповідно до п. 4 статті 10 Кодексу України про надра відповідають за

здійснення контролю за використанням і охороною надр на відповідних територіях.

Інформаційне забезпечення прийняття рішень щодо дотримання вимог нормативно-правового регулювання видобутку бурштину повинно ґрунтуватися на достовірних, точних і своєчасних геодезичних даних про локалізацію нелегальних видобутків, а також про характер і масштаби їх впливу на довкілля. Сучасні підходи до збору таких даних базуються на застосуванні технологій ДЗЗ та ГІС.

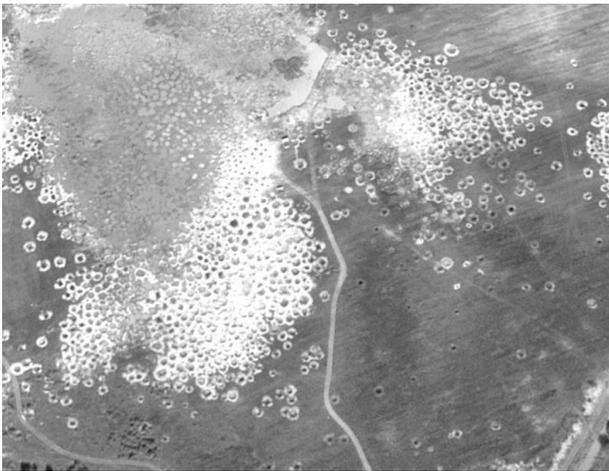
Розпізнавання об'єктів природокористування за допомогою методів ДЗЗ здійснюється через аналіз космічних знімків земної поверхні, отриманих у різних діапазонах електромагнітного випромінювання. Методика космічного моніторингу видобутку бурштину передбачає реалізацію таких етапів:

- Вибір даних ДЗЗ з урахуванням детальності картографічних матеріалів і спектральних характеристик, що дозволяють найкраще розрізняти об'єкти.
- Класифікація зображень поверхні Землі.
- Порівняння космічних знімків, зроблених у різний час.
- Створення тематичних карт, що відображають негативні наслідки видобутку бурштину.

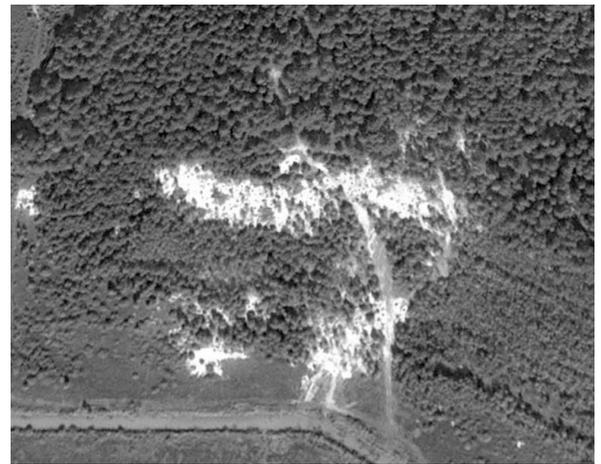
Основними дешифрувальними ознаками місць НВБ на космічних знімках є текстурні та яскравісні характеристики. Текстурні ознаки включають в себе:

- Воронкоподібну структуру поверхні (Рис. 3.11а).
- Зменшення щільності лісових масивів (Рис. 3.1б).

Для ілюстрацій використовуються космічні знімки, отримані за допомогою ресурсів DigitalGlobe, Google.



а)



б)

Рисунок 3.11 а) Космічний знімок з воронкоподібною структурою підстилаючої поверхні у місцях НВБ; б) Космічний знімок з меншою щільністю лісових масивів у місцях НВБ

Яскравісні ознаки включають такі характеристики: зростання коефіцієнта спектральної яскравості, що зумовлене підвищенням вологості ґрунту внаслідок виходу підземних вод на поверхню, а також усуненням природного ґрунтово-рослинного покриву (Рис. 3.12, 3.13).



Рисунок 3.12 Території видобутку бурштину на космічному знімку з комбінацією каналів інфрачервоного діапазону

Практична реалізація концепції космічного моніторингу видобутку бурштину потребує наявності таких інформаційних ресурсів:

- Фонду космічних знімків оптичного та інфрачервоного діапазонів.

- Векторних та растрових електронних топографічних карт з масштабом до 1:100 000.

- Картографічного програмного забезпечення, такого як ArcGIS ESRI.

Фонд космічних знімків формується на основі вимог до оперативності та інформативності даних. Аналіз сучасного міжнародного ринку послуг у сфері надання космічних знімків і їх інформативності щодо ідентифікації просторового розподілу антропогенного впливу на визначені території показує, що цей фонд доцільно формувати з використанням знімків, зроблених за безхмарної погоди.

Пошук і замовлення необхідних космічних знімків може здійснюватися за допомогою Інтернету. Останніми роками в мережі Інтернет створено технології накопичення, систематизації матеріалів космічних зйомок Землі та забезпечення користувачів, які зацікавлені в їх практичному застосуванні. Існують каталоги, з яких можна безоплатно отримати інформацію про наявність знімків певного типу для відповідної території, оцінити їх якість за зменшеними переглядовими зображеннями (quicklook). Недоліком таких джерел отримання інформації є відсутність необхідної періодичності зйомки.



Рисунок 3.13 Збільшення коефіцієнта спектральної яскравості внаслідок видалення ґрунтово-рослинного покриття на території розробки родовища бурштину "Клесівське" на космічному знімку у видимому діапазоні

Комерційні супутникові знімки відрізняються насамперед високою роздільною здатністю, що характерно, зокрема, для знімків із супутника Ikonos.

Незважаючи на відносно низьку вартість за один квадратний кілометр (приблизно 20–30 доларів США), мінімальна сума замовлення таких знімків становить кілька тисяч доларів. Каталог знімків супутника Ikonos, а також деяких інших супутників, доступний за посиланням: <http://www.spaceimaging.com>.

Інші безкоштовні дані, корисні для аналізу ситуації, включають цифрову модель рельєфу GTOPO30 та кадастрову карту України, доступну на сайті Міністерства екології. Для відображення ситуації часто використовуються електронні топографічні карти України, представлені як у векторному, так і в растровому форматах.

Методологічні підходи до дешифрування стану компонентів довкілля на космічних знімках передбачають використання ознак, пов'язаних зі змінами альbedo, для аналізу техногенних змін земель. Серед численних чинників, що впливають на альbedo, вирішальну роль відіграє наявність та стан ґрунтово-рослинного покриву. Картографування зон зі зміненим фоновим рівнем доцільно виконувати за допомогою програмного забезпечення ERDAS IMAGINE від компанії Leica Geosystems GIS & Mapping. Оцінка класифікації включає такі методи, як класифікація верхнього шару, визначення порога, перекодування класів та оцінка точності.

Класифікація верхнього шару полягає у приведенні початкових даних супутникового знімка у відповідність з окремими класами тематичного растрового шару, який було створено на основі неконтрольованої класифікації. Такий підхід дозволяє зіставити спектральні характеристики зображення з попередньо визначеними зонами змін, виявленими автоматичними методами.

Цей процес відіграє важливу роль в ідентифікації природних або антропогенних об'єктів на зображенні, адже він забезпечує порівняння і уточнення класів, отриманих у результаті контрольованої класифікації, де використовуються навчальні зразки (training sites). Таким чином, класифікація верхнього шару дозволяє підвищити точність інтерпретації результатів дистанційного зондування Землі.

На ілюстрації (Рис. 3.14) продемонстровано приклад використання цього методу для визначення зон із порушеним природним станом території, зокрема — внаслідок незаконного видобутку бурштину.

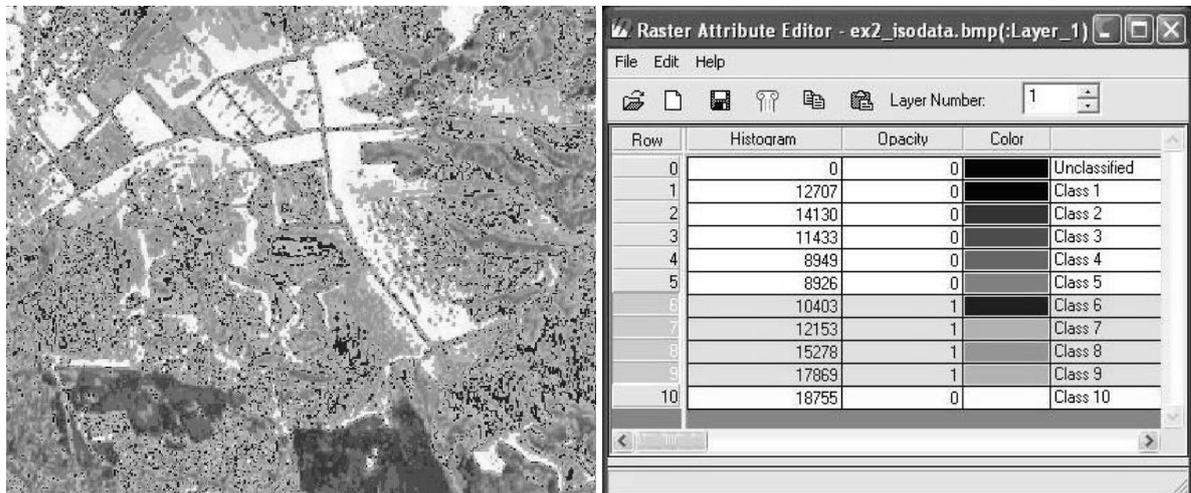


Рисунок 3.14 Класифікація виділених ділянок верхнього шару ґрунту

Для дешифрування стану ґрунтово-рослинного покриву програмне забезпечення ERDAS IMAGINE зазвичай застосовується для визначення контурів об'єктів, що маскують цей покрив, зокрема лісових та урбанізованих територій. Оконтурювання зон з аномальними значеннями альбедо покриву може бути здійснене на основі двох підходів. Перший підхід включає такі етапи:

- Формування додаткової структурної дешифрувальної ознаки.
- Побудова двовимірної гістограми в просторі "яскравість – структурна ознака".
- Розробка розпізнавального правила.

Враховуючи складність використання текстурних ознак, більш зручним є застосування градієнту. За наявності багатозонального знімка, що охоплює оптичну та ІЧ-частини спектра, можна уникнути необхідності в додатковій структурній ознаці, побудувавши двовимірну гістограму в просторі  $X_1$ – $X_2$ , де  $X_1$  та  $X_2$  відповідають яскравості у відповідних спектральних діапазонах.

Другий підхід передбачає застосування алгоритмів розпізнавання, які дозволяють віднести кожен елемент космічного знімка до одного з попередньо визначених класів. Це здійснюється шляхом аналізу таких характеристик, як відхилення зонального альbedo від фонового рівня, текстурні особливості зображення та форма обмежувальних контурів. Для реалізації цих алгоритмів використовується спеціалізоване програмне забезпечення IMPROC [16].

Таким чином, запропонована концепція аналізу космічних даних дає змогу оперативно і з високою точністю виявляти ділянки незаконного видобутку бурштину (НВБ), що є важливим як для проведення превентивних заходів, так і для оцінки економічних і екологічних збитків, завданих довкіллям.

### **3.3. Аналіз ідентифікації порушених земель внаслідок видобування бурштину з використанням мультиспектральних супутникових знімків**

За останні роки спостерігається суттєве розширення масштабів незаконного видобутку бурштину (НВБ) на великих площах у північно-західній частині Українського Полісся. Неконтрольоване використання природних ресурсів призводить до серйозних негативних наслідків для економіки і довкілля регіону. Зокрема, це спричиняє дестабілізацію природних ландшафтів, погіршення агроекологічного стану ґрунтів, зміни у гідрологічному режимі поверхневих і підземних вод, руйнування рослинного покриву та масове винищення лісових масивів.

Наслідки НВБ становлять загрозу екологічній рівновазі та соціально-економічній безпеці північно-західних областей України, що негативно впливає на розвиток сільського, лісового і гірничодобувного секторів. Для комплексної оцінки масштабів нелегальної діяльності, визначення обсягів пошкоджених земель і планування рекультиваційних заходів необхідно здійснювати детальний моніторинг цих територій. Нелегальні розробки здебільшого локалізуються на важкодоступних заліснених і заболочених масивах, які знаходяться на значній відстані від населених пунктів і не мають належної транспортної

інфраструктури. Перспективним методом оперативного картографування таких територій є застосування БПЛА. Однак ефективність їх використання суттєво обмежується складними природними умовами та ризиком втрати обладнання.

Наземні методи моніторингу земель, пошкоджених незаконним видобутком бурштину (НВБ), з використанням безпілотних літальних апаратів (БПЛА) часто не забезпечують необхідної оперативності через швидке поширення і великі масштаби явища. Одним із можливих рішень цієї проблеми є застосування мультиспектральних супутникових знімків середньої роздільної здатності, отриманих зі супутника Landsat-8. Водночас методи обробки таких даних для ідентифікації порушених земель на території Українського Полісся залишаються недостатньо дослідженими.

Для проведення досліджень використовуються мультиспектральні знімки, отримані системою Landsat-8, яка входить до космічної програми "Landsat". Цей супутник працює у видимому та ближньому інфрачервоному спектрах із роздільною здатністю 15 метрів на піксель для панхроматичних зображень та 30 метрів на піксель для мультиспектральних. Завдяки високій геометричній точності (близько 20 метрів без застосування опорних точок) та відкритому доступу, ці дані є важливим інструментом для моніторингу екологічно небезпечних процесів.



Рисунок 3.15 Фрагмент растрової підкладки публічної кадастрової карти території досліджень

Як об'єкт дослідження було обрано лісову територію поблизу села Жовкині Володимирецького району Рівненської області. На зображенні, представленому на Рис. 3.15, показано фрагмент публічної кадастрової карти України, де видно, що досліджуваній території не здійснювався видобуток бурштину.

Для проведення досліджень були завантажені супутникові знімки з відкритих джерел, таких як сервер USGS. Перед початком аналізу важливо було відібрати знімки з мінімальною часткою хмарності. Через великий обсяг даних та складність їх обробки, було виконано вирізання досліджуваної ділянки.



Рисунок 3.16 Зображено так званий "ямковий" ландшафт, що утворився внаслідок видобутку бурштину за допомогою гідропомпових методів

З огляду на надмірну зволоженість ґрунтів на ділянках, де здійснювався гідропомповий метод видобутку бурштину (Рис. 3.17), для аналізу були побудовані моделі водних індексів: NDWI, NWIgreen-swir, NWIred-swir1,

NWInir–swir1, NWIblue–nir, NWIblue–swir1, NWIswir1–swir2, NWIblue–swir2, NWIgreen–swir2, NWIred–swir2, NWInir–swir2.

Механічний склад ґрунтів істотно впливає на їх водний режим. Піщані ґрунти швидко втрачають вологу через випаровування, бо вони мають нижчу здатність утримувати вологу порівняно із суглинковими або глинистими ґрунтами. Крім того, важливу роль відіграє рельєф поверхні: рівні ділянки випаровують менше вологи, ніж ті, які зазнали механічної обробки.



Рисунок 3.17 Демонструє фрагмент космічного знімка супутника Landsat-8 OLI з загальним видом порушених земель внаслідок видобутку бурштину в лісовому масиві поблизу села Жовкинi (синтезоване зображення RGB 2:3:4).

Водозатримуючі властивості ґрунтів залежать від таких характеристик, як водопроникність, водопідйомна здатність та вологоємність. Водопроникність визначається здатністю ґрунту поглинати вологу і вимірюється швидкістю проникнення рідини в ґрунт. Суглинкові ґрунти легкого механічного складу

характеризуються високою водопроникністю, тоді як глинисті ґрунти мають низьку водопроникність, яку можна підвищити шляхом механічної обробки.

Вологоємність, у свою чергу, є показником кількості води, яку ґрунт може утримувати під час повного насичення. Залежно від природи сил, що утримують воду, виділяють повну, капілярну та молекулярну вологоємність. Розмір капілярної вологоємності залежить від обсягу капілярних пор, які визначаються механічним складом ґрунту та вмістом органічних речовин, таких як гумус.

Вологість ґрунту, яку визначають як вміст води в його порах і тріщинах, є важливим параметром для оцінки механічних та агроекологічних властивостей ґрунту. В умовах природного середовища вода, що міститься в ґрунті, отримала назву природної вологості ґрунту ( $W$ ). Здебільшого цей параметр вимірюється у вигляді відношення ваги води ( $q_B$ ), яка присутня в ґрунтовій породі, до ваги сухого ґрунту ( $q_C$ ), що відображається у вигляді відсоткової вагової вологості за формулою (1):

$$W = \frac{q_B}{q_C} \quad (1)$$

Вологість ґрунту має особливе значення при оцінці його механічних властивостей, оскільки вона істотно впливає на стійкість і міцність різних типів ґрунтів. У піщаних ґрунтах вплив вологості помітний головним чином у дрібнозернистих і глинистих різновидах, тоді як середньо- та крупнозернисті піски майже не реагують на зміни вологості. Натомість глинисті ґрунти значно змінюють свої властивості в залежності від рівня вологості: при низькій вологості вони поведуться як тверді тіла, а зі збільшенням вологості втрачають міцність і переходять у більш плинний стан.

Механічний склад ґрунту також має суттєвий вплив на його вологоємність. Для різних типів ґрунтів вологоємність може варіюватися:

- піщані ґрунти – вологоємність становить 15–18% від об'єму;
- супіщані ґрунти – 22–24%;
- суглинкові ґрунти – 25–28%.

Вивчаючи вологоємність ґрунту, особливу увагу приділяють максимальній молекулярній вологоємності — кількості води, яку можуть утримувати на своїй поверхні частинки ґрунтової породи. Для точного визначення вологості важливо спершу встановити тип ґрунту, адже з підвищенням вмісту фізичної глини зростає й здатність ґрунту утримувати воду. Також слід враховувати стан поверхні після обробітку, оскільки оброблений ґрунт втрачає більше вологи через випаровування, а також вплив погодних умов регіону.

Для оцінки вологості ґрунтів, уражених видобутком бурштину за допомогою мотопомп, використовували дані супутникових досліджень. Результати численних досліджень свідчать про високий потенціал застосування сучасних супутникових знімків у видимому, інфрачервоному та мікрохвильовому діапазонах для виявлення порушених ділянок. Такий підхід дозволяє не лише аналізувати дані дистанційного зондування, а й визначати зони перезволоження та підвищеної вологоємності ґрунту на територіях з відкритим ґрунтовим покривом та складною мікрорельєфною структурою.

Мультиспектральні космічні знімки, зокрема, надають можливість оцінювати зволоженість ґрунту на основі спектрального відбиття в різних діапазонах електромагнітного випромінювання. Ці дані використовуються для класифікації ґрунтової поверхні, обчислення індексів вологості, а також для узагальненої оцінки інтенсивності процесів накопичення вологи в ґрунті.

Зокрема, індекс NDWI (Normalized Difference Water Index), запропонований В. Gao, широко застосовується для оцінки зволоженості ґрунтової поверхні:

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

Таким чином, використання супутникових даних дозволяє точно оцінити рівень вологості ґрунту та виявити критичні ділянки, що потребують рекультивациі. Проаналізовано та застосовано нормалізований різницевий водний індекс (NWI), що базується на використанні зеленого (Green) та

середнього інфрачервоного (SWIR) каналів, який рекомендовано для оцінювання вологості верхнього шару відкритого ґрунту. Формула індексу NWI виглядає наступним чином:

$$NWI = \frac{\text{Green} - \text{SWIR1}}{\text{Green} + \text{SWIR1}} \quad (3)$$

З метою оцінювання вологості ґрунтів на основі водних індексів, було розраховано та побудовано модифікації індексів з використанням каналу SWIR 1 (1560–1650 нм) та інших спектральних каналів, таких як червоний (Red, 0,630–0,680 нм), близький інфрачервоний (NIR, 0,845–0,885 нм), та блакитний (Blue, 0,450–0,510 нм). Різницеві індекси формуються таким чином:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Отримане зображення, побудоване на основі розрахунків індексу NWI для каналу green-swirl1, показує ділянки з підвищеною вологістю у вигляді темних плям, які відповідають зонам перезволоження, зокрема водоймам. Для більш детального аналізу було створено зображення за методом неконтрольованої класифікації, на якому зволожені території представлені світлими плямами.



Рисунок 3.18 Відображає динаміку зміни площ порушених земель внаслідок видобутку бурштину за матеріалами зйомок супутникової системи Landsat-8

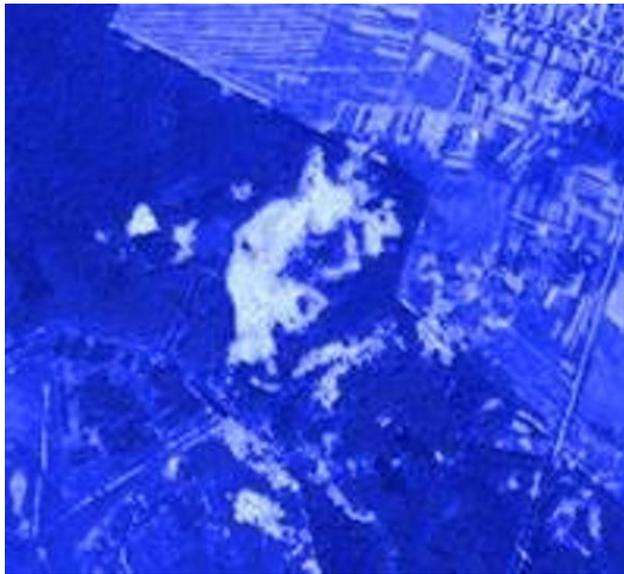


Рисунок 3.19 Зображення, побудоване методом неконтрольованої класифікації, де найсвітліші ділянки відповідають порушеним землям внаслідок видобутку бурштину

Отже, на основі супутникових знімків та розрахункових методів було визначено осередки видобутку бурштину гідропомповим методом, оскільки територія характеризувалася відкритим перезволоженим ґрунтом і "ямкуватою" структурою.

У процесі дослідження було виявлено, що ГІТ в поєднанні з даними ДЗЗ є надзвичайно ефективним інструментом для вивчення та моніторингу екологічних наслідків НВБ в Україні. Розглянуті аспекти дослідження показали можливість застосування сучасних технологій у науково-практичній діяльності для оцінки екологічних ризиків та порушень у природних екосистемах.

Аналіз супутникових знімків територій із нелегальним видобутком бурштину (НВБ) дає змогу оперативно та точно оцінювати масштаби руйнувань. Використання різних типів космічних даних, зокрема оптичних і радіолокаційних, дозволяє отримувати комплексну інформацію про просторові особливості змін ландшафтів та їх деградацію. Зокрема, доведено, що застосування високороздільних супутникових знімків не лише допомагає ідентифікувати активні місця видобутку, а й відстежувати динаміку трансформацій ландшафтів, пов'язаних з цією діяльністю. Таким чином,

супутниковий моніторинг стає невід'ємною складовою системи контролю за станом земельних ресурсів і довкілля у регіонах з масштабним НВБ.

Завдяки використанню даних дистанційного зондування (ДЗ) було проведено аналіз екологічних наслідків видобутку бурштину в Україні. Одним із найвагоміших результатів є руйнування природних екосистем, зокрема лісових і болотяних територій. На супутникових знімках чітко простежується масова вирубка лісів, розорювання земель і поява відкритих котлованів, що призводить до ерозії ґрунтів, забруднення водних ресурсів та зміни місцевого мікроклімату. Аналіз підтвердив, що такі зміни мають тривалі негативні наслідки для біорізноманіття регіону та сприяють деградації природних ресурсів.

У 2013-2014 роках, до початку активних реформ, площа видобутку була значною, і деякі джерела оцінювали загальну площу в межах 10-15 тисяч гектарів. Водночас більшість цих площ — це нелегальні ділянки, де бурштин видобувається без необхідних дозволів та контролю. Легальний видобуток бурштину зосереджений на значно менших площах, і він регулюється державними органами. На 2024 рік частка нелегального видобутку залишалась дуже великою, а площі, де це відбувалося, збільшувалися за рахунок нових незаконних кар'єрів.

З 2017 року були зроблені спроби легалізувати видобуток бурштину через нові закони та постанови, які мають на меті зменшити нелегальний видобуток і впорядкувати ринок. Але ефективність цих заходів залишається обмеженою через високий рівень корупції та труднощі в реалізації законів на місцях.

Мультиспектральні супутникові знімки дають змогу детальніше досліджувати пошкоджені території та класифікувати їх за рівнем ушкоджень. Аналіз різних спектральних каналів допоміг виокремити різні типи порушень, зокрема зміни рослинного покриву, ерозію ґрунтів та трансформації водних ресурсів. Крім того, ці знімки дозволяють проводити диференційовану оцінку стану екосистем, зокрема виявляти ділянки з відновленням рослинності та області, які зазнають тривалої деградації. Такий підхід сприяє ефективному

розподілу ресурсів для рекультивації земель та плануванню подальших екологічних заходів.

Таким чином, дослідження доводить ефективність застосування ГІС та даних ДЗ для моніторингу та оцінки екологічних наслідків видобутку бурштину. Завдяки використанню цих технологій можна оперативно і точно виявляти порушені території, аналізувати масштаби та динаміку змін ландшафту, що дозволяє планувати заходи з мінімізації екологічної шкоди.

## ВИСНОВКИ

У ході дослідження було встановлено, що геоінформаційні системи (ГІС) є потужним інструментом для збору, аналізу та візуалізації просторових даних. Вони відіграють ключову роль у таких сферах, як екологічний моніторинг, управління земельними ресурсами та планування міських і сільських територій. ГІС дають змогу інтегрувати різні джерела інформації, зокрема супутникові знімки, та проводити комплексний аналіз динаміки природних і антропогенних процесів. Це підтверджує доцільність використання ГІС для виявлення та картографування наслідків видобутку бурштину в Україні, особливо на незаконних ділянках.

Дистанційне зондування Землі (ДЗЗ) є базовою технологією сучасного моніторингу земельних ресурсів. У роботі було розглянуто основні типи ДЗЗ — оптичне, радіолокаційне та гіперспектральне зондування. Кожен із цих методів має свої переваги та обмеження, що дозволяє ефективно їх поєднувати залежно від завдань дослідження. Зокрема, оптичне зондування забезпечує високу роздільну здатність знімків, необхідну для детального аналізу територій нелегального видобутку бурштину, тоді як радіолокаційні знімки корисні для моніторингу за умов хмарності або у нічний час.

Аналіз даних засвідчив високу ефективність ГІС-технологій для картографування наслідків видобутку бурштину. За допомогою таких систем можливо автоматично виявляти пошкоджені ділянки земель, відстежувати динаміку змін навколишнього середовища та створювати тематичні карти, що демонструють масштаби видобутку і пов'язані з ним екологічні наслідки. Зокрема, у контексті бурштинового видобутку використання ГІС дозволяє формувати інтерактивні карти з чітким позначенням територій пошкоджених земель, що сприяє покращенню екологічного контролю і плануванню заходів з відновлення.

Об'єкти нелегального видобутку бурштину характеризуються значними порушеннями земельних ресурсів, деградацією ґрунтів, знищенням рослинного покриву та забрудненням водних джерел. Найчастіше це території Полісся, де видобуток здійснюється без належного контролю з боку державних органів. Дослідження також показали, що НВБ призводить до появи численних відкритих кар'єрів, які після завершення робіт залишаються без рекультивації.

Суб'єктами НВБ здебільшого є нелегальні групи та організації, що діють поза правовим полем. Ці суб'єкти використовують нелегальні методи видобутку, часто завдаючи значних збитків не лише природним ресурсам, але й економіці країни. Відсутність контролю з боку держави, недостатні законодавчі механізми та корупційні фактори призводять до розширення масштабів незаконного видобутку.

Нелегальний видобуток бурштину завдає значних збитків як економіці, так і довкіллю. Економічні втрати проявляються у зменшенні податкових надходжень до бюджету та зниженні вартості земель через їх деградацію. Окрім того, довкілля зазнає серйозних пошкоджень: руйнуються природні екосистеми, активізуються ерозійні процеси, порушується водний баланс територій. Важливо зазначити, що без спеціальних рекультиваційних заходів природне відновлення таких ділянок є неможливим.

Супутниковий моніторинг показав високу ефективність у виявленні та контролі земель, постраждалих від НВБ. Зокрема, застосування мультиспектральних знімків дозволяє автоматично ідентифікувати порушені ділянки за змінами рослинного покриву і станом ґрунтів. Регулярне спостереження за цими територіями дає змогу швидко виявляти нові осередки видобутку та вчасно вживати заходів для їх припинення.

На основі отриманих даних ДЗ були проаналізовані екологічні наслідки видобутку бурштину в Україні. Результати показали, що найбільші екологічні порушення спостерігаються в Поліській зоні, де відбувається найбільша концентрація незаконного видобутку. Внаслідок чого відбувається

деградація ґрунтів, знищення природних ландшафтів і забруднення водних ресурсів, що має довготривалі наслідки для біорізноманіття регіону.

Найгостріші екологічно-економічні проблеми, пов'язані з нелегальним видобутком бурштину, спостерігаються у Рівненській, Волинській та Житомирській областях. Ця діяльність завдає значної шкоди довкіллю: порушується рельєф, погіршується екологічний стан ґрунтів та гідрологічний режим, знищуються лісові ресурси, а також спостерігаються зміни у міграційних процесах фауни регіону.

Для подолання цих проблем необхідно посилити контроль за бурштиновим промислом, спрямувати кошти від штрафів на рекультивацію пошкоджених земель, а також впроваджувати раціональну політику у сфері видобутку бурштину. Своєчасна ідентифікація об'єктів НВБ та аналіз потенційних негативних наслідків забезпечують інформаційну підтримку для розробки і реалізації заходів, спрямованих на прогнозування, запобігання або мінімізацію екологічних і соціально-економічних ризиків для кожної можливої ситуації.

Ефективна технологія інформаційного забезпечення управління екологічними наслідками видобутку бурштину доцільно базувати на методах ДЗЗ та інструментарію ГІС. Перспективні напрями подальших досліджень включають розробку системи моніторингу кризових територій на основі дистанційних даних, визначення обсягів рекультивації ґрунтів та відновлення екосистем.

Одним із ключових результатів дослідження є успішне використання мультиспектральних супутникових знімків для ідентифікації порушених земель. Такий метод дозволяє виявляти навіть незначні зміни у рослинному покриві та ґрунтах, що є результатом НВБ. Виявлені порушені території можуть бути використані для подальшого аналізу та планування відновлювальних заходів.

У дослідженні запропоновано методику визначення порушених земель внаслідок видобування бурштину з використанням мультиспектральних супутникових знімків Landsat-8 для північної частини Рівненської області.

Використання супутникових даних дозволило ідентифікувати осередки видобутку бурштину та оцінити вплив видобутку на стан ґрунтового покриву.

Запропонований підхід базується на інтеграції мультиспектральної зйомки з традиційними методами дешифрування супутникових зображень для виявлення пошкоджених земель та оцінки масштабів екологічних збитків. Методика ідентифікації порушених територій може бути покращена за рахунок використання тематичного аналізу даних інших супутникових систем і геоінформаційних сервісів.

Дослідження підтвердило, що геоінформаційні системи (ГІС) і дистанційне зондування Землі (ДЗЗ) є ефективними інструментами для моніторингу та картографування наслідків видобутку бурштину. Завдяки сучасним технологіям можливе більш якісне виявлення та контроль незаконної діяльності, а також сприяння охороні навколишнього середовища і відновленню порушених земель.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Аерокосмічні методи. URL: <http://ecology.udau.edu.ua/assets/files/024.pdf> (дата звернення: 16.09.2024).
2. Баранова В. О. Актуальні проблеми законотворчості у сфері легалізації видобутку бурштину. Проблеми легалізації видобутку бурштину місцевими жителями : Збірник матеріалів Всеукраїнської науково-практичної конференції, м. Київ, 11 вересня 2015 р. Київ: «МП Леся», 2015. С. 136.
3. 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.
4. Беліченко, О. П. Родовища та прояви каменесамоцвітної сировини Північно-західної України як об'єкти геотуризму. Матеріали міжнар. наук.-практ. конф. «Геологічні пам'ятки – яскраві свідчення еволюції Землі» (м. Кам'янець-Подільський, 16–20 травня 2011 р). К.: Логос, 2011. С. 16–18.
5. Біланчин Я. Ландшафтно- і ґрунтово-екологічні наслідки зрошення в степовій зоні півдня України. Україна та глобальні процеси: географічний вимір: Зб. наук. праць. В 3-х т. Київ-Луцьк: Ред.-вид. відд. “Вежа” Волин. держ. ун-ту ім. Лесі Українки, 2000. Т.3. С.71-73.
6. Білоус В.В., Боднар С.П., Кучар Т.М., Молочко А.М., Патиченко Г.О., Підлісецька І.О. Дистанційне зондування з основами фотограметрії: навчальний посібник. К.: Видавництво-поліграфічний центр «Київський університет», 2011. 367 с.
7. Бурштинова лихоманка загрожує Україні екологічною катастрофою. URL: <http://www.dw.com/uk/a-19077234> (дата звернення: 16.09.2024).
8. Булакевич С. Концептуальні засади використання даних дистанційного зондування для створення ГІС управління територіями. Вісник НУВГП. 2007. С. 85–95.

9. 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.
10. Висоцька Н. Ю., Зубов О. Р., Зубова Л. Г., Фомін В. І. Стан захисних лісових смуг різного призначення в Олешківському районі Херсонської області. Херсон: Лісівництво і агролісомеліорація, 2019. Вип. 135, 14 с.
11. Гебрин-Байди Л. Застосування аерокосмічних методів для оцінювання родючості земель сільськогосподарського призначення ландшафтних зон Закарпаття : автореф. ... дис. к.т.н. Л., 2018. 24 с.
12. Гнатушенко В. В. Супутниковий м
13. оніторинг наслідків незаконного видобутку бурштину в Україні бурштину. Науковий вісник НГУ. 2017. № 2. С. 99-105.
14. Довгий С.О. Сучасні інформаційні технології екологічного моніторингу Чорного моря. К.: Інформаційні технології, 2010. 260 с.
15. Довгий С.О., Красовський Г.Я., Радчук В.В. та ін. Геомоделі в завданнях еколого-економічних оцінок земель. Київ: ТОВ «Видавництво Юстон», 2018. 256 с.
16. Довгий С.О., Лялько В.І., Бабійчук С.М., Кучма Т.Л., Томченко О. В. Основи дистанційного зондування Землі: історія та практичне застосування: навч. посіб. Київ: Інститут обдарованої дитини НАПН України, 2019. 316 с.
17. Дрони і супутники: моніторинг стану посівів впродовж сезону. URL: <https://smartfarming.ua/ua-blog/monitoring-sostoyaniya-posevov-vtechenie-sezona> (дата звернення: 16.09.2024).
18. Коломієць С. Обсяг незаконного видобутку бурштину сягає 300 тонн на рік. Міністерство екології та природних ресурсів. URL: <https://menr.gov.ua/news/29977.html> (дата звернення: 16.09.2024).
19. Корнієнко В. Я. Сучасні технології видобутку бурштину з родовищ. Вісник НУВГП. Технічні науки: зб. наук. праць. Рівне: НУВГП, 2014. Вип. 1(65). С. 462-470.

20. Ковалевич Л. А., Оляницька О. М. Геолого-промислові типи родовищ бурштину та їх розподіл за складністю геологічної будови. Вісник ЖДТУ. № 3 (38). 2006. С. 167–171.
21. Кохан С.С., Востоков А.Б. Дистанційне зондування Землі: теоретичні основи: підруч. К.: Вища школа, 2009. С. 16.
22. Крижановський Є.М., Мокін В.Б., Яцолт А.Р., Скорина Л.М. Системний аналіз та проектування ГІС. Електронний навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2015. 127 с.
23. Ладичук Д.О. Особливості формування водно-солевого режиму темно-каштанових ґрунтів півдня України в умовах тривалого зрошення на фоні горизонтального дренажу: дис. канд. с.-г. наук: 06.01.02. Херсон. 2000. 261 с.
24. Лебідь М. Про можливу участь буровугільного бітуму у формуванні корінних першоджерел розсипів бурштину. Інститут Тутковського, статті, 2010. URL: <http://training.tutkovsky.com/stati/print:page,1,42-pro-mozhlivu-uchast-burovugilnogo-bitumu-u-formuvanni-korinnix-pershodzherel-rozsipiv-burshtinu.html> (дата звернення: 16.09.2024).
25. Методика пошуку та локалізації ділянок незаконного видобутку бурштину за матеріалами багатозональної космічної зйомки. Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях : зб. наук. пр. 14-ї Міжнар. наук.-практ. конф., 5–9 жовтня 2015 р, м. Київ, Пуща-Водиця. С. 181–198.
26. Морозов О.В., Морозов В.В., Пичура В.И., Безницкая Н.В. Формування показників родючості меліорованих ґрунтів в умовах регіональних змін клімату в південному регіоні України. Херсон: Таврійський науковий вісник № 100, 2019, Т. 2. С 236-245.
27. Надання спецдозволів на видобуток бурштину повинно здійснюватись відкрито – Олег Прохоренко. URL: <https://www.epravda.com.ua/news/2016/07/28/599915> (дата звернення: 16.09.2024).

28. Наукові досягнення молоді - вирішенню проблем людства 2019: матеріали 11-ї Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів та молодих вчених, м. Суми, 24-25 квітня 2019 р. Суми : Сумський національний аграрний університет, 2019.
29. Паранько І.М., Козир К.В., Пархуць Д.О. Методологія застосування аерокосмічних даних в ГІС-дослідженнях зміни природних ландшафтів. Актуальні проблеми аерокосмічних зйомок, дистанційного зондування Землі та ГІС в Україні. Київ, 2018. С. 25-36.
30. Пашинна К. М. Застосування дистанційного зондування Землі для моніторингу наслідків видобутку бурштину на Поліссі. Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України. 2017. №27. С. 120–127.
31. Печенюк М. М. Досвід застосування ГІС-технологій у землевпорядкуванні та охороні навколишнього середовища. Збірник наукових праць з питань землевпорядкування. 2015. Вип. 1(15). С. 57–63.
32. Поліщук В. А. Екологічні наслідки нелегального видобутку бурштину в Україні. Екологія і природні ресурси. Збірник наукових праць Науково-дослідного інституту екології та природних ресурсів. 2017. С. 32–41.
33. Прилуцька Н. М. Регіональні геоекологічні дослідження з використанням ГІС. Геоінформаційні системи в екологічному управлінні: матеріали міжнародної науково-практичної конференції, Київ, 2016. С. 78–83.
34. Проекція загроз екосистемам Полісся від нелегального видобутку бурштину: використання супутникових технологій для ідентифікації. Екологічна безпека та природокористування. 2018. №2(18). С. 44–49.
35. Пугач Ю. П., Бабенко О. І., Липецький П. В. Технології дистанційного зондування Землі та їх роль у сучасних геодослідженнях. Моделі і технології геопросторових даних: збірник наукових праць. Харків: Харківський національний університет міського господарства, 2015. С. 99–106.
36. Регіональні програми екологічного моніторингу в Україні: аналіз результатів і перспективи розвитку / за ред. О. В. Бондаря. К.: Центр екологічного моніторингу та інформаційних технологій, 2017. 263 с.

37. Савчук Л. А. Супутникові дані для визначення змін в землекористуванні на території видобутку бурштину: досвід застосування в Україні. Сучасні проблеми дистанційного зондування Землі. Збірник матеріалів конференції. 2018. С. 123–129.
38. Сегеда К. Бурштиновий бізнес України: реалії та перспективи розвитку. Політична економія природокористування: збірник наукових праць. Київ: Інститут економіки природокористування, 2019. С. 95–101.
39. Супутникові технології в екологічному моніторингу України: від наукових досліджень до практичних рекомендацій. Збірник наукових праць Інституту геології України. 2018. №17. С. 56–63.
40. Суспільні та екологічні наслідки видобутку бурштину в Україні: досвід оцінки з використанням ГІС. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції "Геоінформаційні системи в екологічному управлінні", Київ, 2017. С. 128–133.
41. Тарасенко А. О., Кравченко О. М. Застосування ГІС-технологій для аналізу екологічних наслідків нелегального видобутку бурштину. Наукові записки Національного університету «Острозька академія». Географія. 2017. Вип. 10. С. 211–219.
42. Ткачук С. Роль аерокосмічного моніторингу в контролі за нелегальним видобутком бурштину. Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Екологічні проблеми України», Київ, 2018. С. 72–78.
43. Ткачук С., Власенко А. Проблеми незаконного видобутку бурштину на території України: аналіз екологічних наслідків. Вісник екології та природокористування. 2019. №11(21). С. 93–102.
44. Філіпчук М. ГІС як інструмент для моніторингу видобутку бурштину: теоретичні та практичні аспекти. Матеріали науково-практичної конференції «Геоінформаційні технології в природокористуванні», Львів, 2019. С. 45–52.

45. Фомін В.І., Жуков О.С., Лазаренко О.А. Використання супутникових знімків для вивчення екологічних проблем регіонів України. Екологічні дослідження і природоохоронні заходи. 2016. №4. С. 108–115.
46. Хом'як Н. ГІС в екологічному менеджменті: досвід та перспективи розвитку в Україні. Екологічний вісник України. 2015. № 7. С. 88–93.
47. Чорна Т., Довгаль Л. Моніторинг наслідків видобутку бурштину за допомогою ГІС: практичний досвід на Поліссі. Науковий вісник Львівського університету. Серія географічна. 2018. №47. С. 157–165.
48. Шаповалов В. Використання супутникових технологій для вивчення антропогенних змін в ландшафтах України: досвід застосування. Збірник наукових праць Харківського національного університету. 2019. С. 112–118.
49. Шевченко С. М., Лялько В. І., Кучма Т. Л. Геоінформаційні системи в природоохоронному моніторингу: навчальний посібник. Київ: Національна академія наук України, 2014. 275 с.
50. Яворовський П. А. Застосування методів дистанційного зондування та ГІС для контролю за станом природних ресурсів України. Екологічний журнал України. 2017. №9. С. 33–41.
51. Яременко І. Використання геоінформаційних технологій для вирішення екологічних проблем, пов'язаних з видобутком бурштину. Тези доповідей на Всеукраїнській конференції «Екологія та природокористування», Київ, 2019. С. 53–57.
52. Яременко І. М. Геоінформаційне моделювання антропогенних змін в екосистемах України: приклади використання в контексті бурштиновидобутку. Сучасні геоінформаційні системи та їх роль у сталому розвитку: матеріали міжнародної науково-практичної конференції, Київ, 2020. С. 102–109.
53. Яремчук В. В. Системи дистанційного моніторингу та їх застосування в охороні навколишнього середовища. Вісник екології та безпеки. 2018. №3(23). С. 56–63.

54. Яценюк О. В. Екологічні аспекти використання ГІС-технологій в управлінні земельними ресурсами: регіональний підхід. Вісник екології України. 2019. №5. С. 91–97.

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

56. 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.

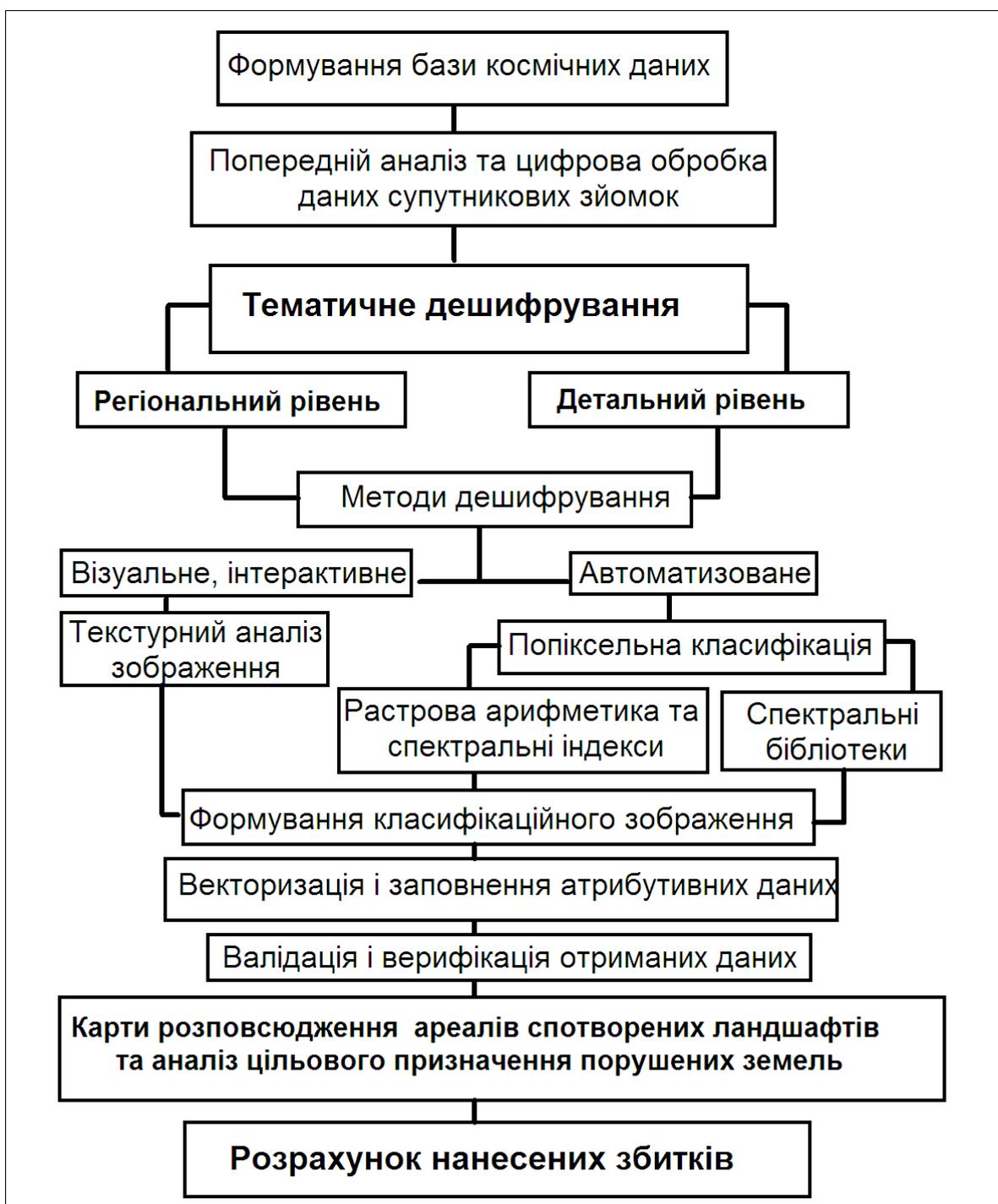


Рисунок А.1 Технологічна схема використання космічних даних для визначення нанесених збитків на територіях НВБ