

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ТАРАСА
ШЕВЧЕНКА

ГЕОГРАФІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА ФІЗИЧНОЇ ГЕОГРАФІЇ ТА ГЕОЕКОЛОГІЇ

На правах рукопису

УДК: 528.88

ГЕОЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ ТЕРИТОРІЙ НЕЛЕГАЛЬНОГО
ВИДОБУТКУ БУРШТИНУ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ДАНИХ
ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ
(НА ПРИКЛАДІ ЖИТОМИРСЬКОГО ПОЛІССЯ)

Галузь знань: **10 – природничі науки**

Спеціальність: **106 – географія**

Освітня програма: **«Природнича географія»**

Кваліфікаційна робота магістра
студентки 2 курсу магістратури
Освітнього рівня «Магістр»
Атаманчук Вікторії Анатоліївни

Науковий керівник:
Свідзінська Дар'я Валеріївна
кандидат географічних наук, доцент

Київ – 2021

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ I. ВИКОРИСТАННЯ ДАНИХ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ДЛЯ ГЕОЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ	7
1.1. Методи дистанційного зондування Землі	7
1.2. Використання ДДЗ для вивчення компонентів ландшафту	11
1.2.1. Дослідження ґрунтового покриву	122
1.2.2. Дослідження водних об'єктів	144
1.2.3. Дослідження рослинного покриву	188
1.2.4. Дослідження атмосферного повітря	20
РОЗДІЛ II. ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕРИТОРІЇ ЖИТОМИРСЬКОГО ПОЛІССЯ	23
2.1. Географічне положення та межі	23
2.2. Тектонічна будова та рельєф	24
2.3. Клімат	26
2.4. Гідрографічна мережа та водні ресурси	28
2.5. Ґрунтовий покрив	30
2.6. Рослинний покрив і тваринний світ	33
2.7. Ландшафти області	35
2.8. Антропогенний вплив на ландшафти області	37
РОЗДІЛ III. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРИТОРІЙ НЕЛЕГАЛЬНОГО ВИДОБУТКУ БУРШТИНУ ЗА ДАНИМИ ДЗЗ	41
3.1. Вибір, підготовка та первинна обробка супутникових даних	41
3.2. Дешифрування земельних покривів території дослідження за спектральними характеристиками	44
3.3. Моніторинг температур поверхні території дослідження за знімками Landsat 8	60
3.4. Моніторинг рослинності за вегетаційним індексом NDVI	66
3.5. Визначення класів земельного покриву за результатами класифікації даних Sentinel-2	72
3.6. Дослідження змін у структурі земельних покривів за результатами аналізу даних ДЗЗ	74

3.7. Рекомендації щодо застосування результатів дослідження для планування рекультивації порушених територій	80
3.8. Перспективи застосування методики для геоecологічного моніторингу	82
ВИСНОВКИ.....	84
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	88

ВСТУП

Актуальність теми. Протягом останніх років в Україні гостро постала проблема нелегального видобутку бурштину на Поліссі. Перспективним способом для оперативної і точної ідентифікації порушених територій та визначення площ незаконних розробок є використання даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ). Методи ДЗЗ базуються на реєстрації та подальшій інтерпретації відбитого електромагнітного випромінювання від поверхні ґрунту, рослинності, водних та інших об'єктів на території дослідження. Для більшого охоплення територій використовують пристрої, котрі винесені у повітряний або навколосемний простір. Оскільки переважна більшість ділянок незаконного видобування розміщена на важкодоступних закритих лісами та чагарниками територіях, віддалених від населених пунктів і проїзних частин, використання космічних даних дозволяє з великою достовірністю і достатньою точністю визначити і локалізувати місця незаконного видобування та простежити динаміку змін у структурі земельних покривів. Для вирішення цієї проблеми пропонується застосування матеріалів космічних зйомок, а саме даних супутникових систем Sentinel-2 та Landsat 8. Космічні знімки із зазначених супутників наявні у вільному доступі, а також містять архівні дані, що дають змогу для здійснення моніторингу змін земної поверхні на території дослідження. Запропонована методика дослідження надалі може бути використана при вирішенні різних геоекологічних завдань.

Теоретико-методологічна основа дослідження. Супутниковий моніторинг територій нелегального видобутку бурштину – відносно новий метод дослідження проблеми в Україні. Основні напрацювання в цьому напрямку здійснюють фахівці ДУ «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі» ІГН НАН України В. Філіпович [86] та Р. Шевчук [90]. Екологічні проблеми видобутку бурштину знайшли відображення у працях П. Надточія [50;49], В. Маслія [43]. Про важливість проведення рекультивації на порушених внаслідок видобутку корисних копалин у своїх дослідженнях наголошують В. Корнієнко та Є. Маланчук [41]. Перспективи застосування космічних даних для прогнозування екологічної

обстановки окреслені у роботах С. Втюріна та Н. Князева [9]. Про важливість проведення моніторингу зазначали А. Абросімов та Б. Дворкін [2], І. Лабутіна [34].

Об'єкт дослідження – території нелегального видобутку бурштину на території Житомирського Полісся.

Предмет дослідження – підходи та методи до проведення моніторингу на основі даних ДЗЗ з метою ідентифікації порушених територій внаслідок самовільного вилучення бурштину.

Мета дослідження – ідентифікація та картографування порушених ділянок внаслідок несанкціонованого вилучення бурштину, а також проведення геоecологічного моніторингу територій нелегального видобутку бурштину в межах Житомирського Полісся за період 2017-2020рр.

Завдання дослідження. Досягнення мети дослідження передбачало розв'язання наступних завдань:

- розглянути сучасні методи ДЗЗ, котрі використовуються в геоecології та визначити їх переваги над іншими методами дослідження, а також проаналізувати можливості використання даних ДЗЗ для вивчення ландшафту та його окремих компонентів;
- дати комплексну фізико-географічну характеристику Житомирського Полісся та виявити негативний вплив діяльності, пов'язаної із незаконним вилученням бурштину на окремі компоненти ландшафту;
- запропонувати методику забезпечення моніторингу та контролю незаконного видобутку бурштину на основі ДЗЗ;
- ідентифікувати ділянки нелегального видобутку бурштину за матеріалами різних супутникових систем та здійснити картографування території дослідження;
- провести порівняльний аналіз кількісних та якісних змін у ландшафтній структурі території дослідження у розрізі останніх чотирьох років (2017-2020 роки);
- надати рекомендації для проведення рекультивації порушених територій на основі отриманих даних;

- визначити можливості застосування запропонованої методики дослідження в інших галузях.

Методи та організація дослідження. Для вирішення поставлених завдань були використані наступні методи:

- теоретичний: аналіз, систематизація і зіставлення джерел інформації, що дозволило узагальнити та систематизувати відомості про об'єкт вивчення;
- аерокосмічний: використання матеріалів різних супутникових зйомок території дослідження, які дозволили локалізувати місця нелегального видобутку з великою детальністю;
- картографічний: наочна фізико-географічна характеристика території дослідження, умовних класів ландшафтного покриву території інтересу, що дала змогу простежити трансформацію угідь за чотири роки.

Магістерська робота складається зі вступу, трьох розділів, кожен з яких послідовно висвітлює поставлені завдання, висновків та списку використаних джерел. У першому розділі описано сучасні методи дистанційного зондування, а також проаналізовано використання космічних даних для геоекологічного моніторингу в цілому та окремих компонентів ландшафту. Другий розділ має на меті провести фізико-географічну характеристику території дослідження та визначити можливий вплив діяльності, пов'язаної із незаконним вилученням бурштину на ландшафти місцевості. Третій розділ присвячено методиці ідентифікації та картографування порушених земель на основі супутникових знімків Sentinel-2 та Landsat 8. В розділі також наведено рекомендації щодо проведення подальшої рекультивації порушених територій та використання запропонованої методики для інших потреб природокористування.

Обсяг роботи становить 74 сторінки, список літератури складається з 90 найменування, включено 9 таблиць, 41 рисунок.

РОЗДІЛ I. ВИКОРИСТАННЯ ДАНИХ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ДЛЯ ГЕОЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ

1.1. Методи дистанційного зондування Землі

Дистанційне зондування землі (ДЗЗ) – окремий метод отримання даних про земну поверхню та земні об'єкти без безпосереднього контакту з ними за допомогою наземних, авіаційних і космічних засобів та знімальної апаратури. Методи ДЗЗ базуються на реєстрації та подальшій обробці (інтерпретації) відбитого електромагнітного випромінювання від поверхні ґрунту, рослинності, водних та інших об'єктів. Для таких цілей використовують пристрої, винесені у повітряний або навколоремний простір з метою більшого охоплення території дослідження. При дистанційному зондуванні на якість і застосування одержуваних даних великою мірою впливають спектральний діапазон знімання, просторова і радіометрична точність, просторове охоплення, а також оперативність та повторюваність знімання [55;16].

В залежності від типу літального апарата що застосовується для зйомки, розрізняють аерозйомку (здійснюється літальними апаратами, що рухаються в атмосфері) та космічну зйомку за допомогою супутників, котрі здійснюють рух по встановленій орбіті на висотах понад 150 км.

За способом отримання інформації про досліджувані об'єкти всі методи ДЗЗ поділяють на дві великі групи – активні та пасивні. Пасивні використовують природне відбите або вторинне теплове випромінювання об'єктів на поверхні Землі, обумовлене сонячною активністю – тобто тільки приймають випромінювання. Активні, в свою чергу використовують випромінювання об'єктів, ініційоване штучним джерелом направленої дії – знімальний прилад сам випромінює необхідний сигнал на земну поверхню і сам фіксує відбиття цього ж сигналу.

До пасивних методів належить фотознімання, теплова та сканерна зйомка, спектрометричне знімання, супутникова зйомка. До активних методів відносять радіолокаційне, радарне та лідарне знімання [90].

Теплова зйомка – знімання земної поверхні та об'єктів на ній в інфрачервоному діапазоні спектра, що визначається шляхом фіксації теплового випромінювання поверхні та об'єктів, зумовленого сонячним випромінюванням, ендогенними процесами. Теплове знімання дозволяє проводити дослідження змін температури поверхні в урбанізованих територіях під впливом забудови, виявляти «острови тепла» [84;65]. Міські теплові острови виникають внаслідок зміни радіаційного балансу поверхні внаслідок антропоїзації (заміни природної поверхні на штучну). Теплова зйомка дає змогу виявити різницю температур на поверхні природних та штучних об'єктів та ідентифікувати міський острів тепла.

Окрім цього, теплова зйомка дозволяє вивчати геологічну структуру поверхні дослідження, її літологічний і мінералогічний склад [80;10]. Теплове випромінювання з мінералів, гірських порід та ґрунтів було використано для виявлення мінеральних груп, таких як силікати, карбонати, сульфати та фосфати [81].

Широко застосовується теплове знімання для отримання даних у дослідженні та розвитку прибережної ерозії та зсувів. За допомогою датчиків теплового інфрачервоного випромінювання вчені отримують інформацію щодо змін у прибережних скелях, ґрунті та гірських породах та її співвідношення з геологічними особливостями території [80]. Зокрема, дослідження було запропоноване в рамках проекту MAREGOT (Управління ризиками ерозійних процесів та транскордонних урядових дій), що фінансується в рамках Морської програми: 2014–2020 INTERREG VA Італія – Франція [42]. MAREGOT зосереджується на спільному запобіганні та управлінні ризиками, що виникають внаслідок ерозії узбережжя в районі Середземномор'я. Ця діяльність, спрямована на вивчення нестабільності прибережних скель, посилила вимогу до методології для збору та інтерпретації теплових даних. Більшість теплових даних застосовуються у дослідженнях геологічних небезпек, картографуванні та

моніторингу повеней та небезпеки затоплення у прибережних зонах [83]. Інфільтрація води в гірських масивах, розривах гірських порід та покривах уламків може бути виявлена шляхом інтерпретації теплових зображень високої роздільної здатності [4].

У галузі гляціології супутникове дистанційне зондування стало зручним інструментом для вивчення льодовиків та льодовикових покривів, що дозволяє проводити дослідження великих та важкодоступних територій [63]. Теплова зйомка зокрема має важливе значення для вивчення процесу танення льодовиків внаслідок глобальних кліматичних змін. Спектральна відбивна здатність снігу залежить від таких параметрів, як розмір та форма, вміст домішок, вміст рідкої води поблизу поверхні, глибина і шорсткість поверхні та висота Сонця. У видимій області спектру свіжий сніг має дуже високу відбивну здатність, і коли сніг починає метаморфізуватися, відбивна здатність дещо зменшується. Таким чином можна ідентифікувати й різні льодовикові форми рельєфу [74;45].

Моніторинг вулканічної діяльності за термальними даними складається з отримання інформації у реальному часі, зборі та обробці даних ДЗЗ [82]. Окрім цього, для виявлення вулканічної активності в глобальному масштабі існує автоматична система виявлення гарячих точок вулканів, заснована на аналізі даних MODIS – MIROVA (Middle Infrared Observation of Volcanic Activity). Система здатна виявляти, знаходити та кількісно визначати теплові аномалії майже в реальному часі. Дані інфрачервоні зображення та часові ряди теплового потоку на понад 200 вулканах у всьому світі доступні на спеціальному веб-порталі <https://www.mirovaweb.it/> [46]. Окрім цього, супутникова теплова зйомка може бути дуже ефективним інструментом для пошуку геотермальних джерел [5].

Спектрометричне знімання – метод дослідження, в основі якого лежить вимірювання відбиваючої здатності поверхні дослідження чи шарів певної речовини, наприклад типів ґрунтів чи певного класу земельних покривів. Власне спектрометричне знімання проводиться у мікрохвильовому та інфрачервоному діапазонах, а також у видимому та ближньому інфрачервоному діапазоні. Широко

застосовується для вивчення гірських порід, типізації об'єктів на основі схожості та розбіжності у спектральних характеристиках [90].

Сканерне знімання має ряд переваг у порівнянні з фотознімками, оскільки сканери не лише отримують зображення, а й вимірюють значення енергетичної яскравості, що дозволяє проводити ряд математичних розрахунків і ефективніше проводити моніторинг стану земної поверхні. Також серед переваг даного методу – можливість мультиспектральної зйомки у значно більшій кількості каналів, в тому числі – гіперспектральній (понад 100 каналів). Знімки отримуються шляхом сканування поверхні смугами перпендикулярно напрямку польоту і передаються на станції прийому даних радіоканалами.

Радіолокаційні знімки отримуються шляхом активного сканування земної поверхні. Перевагою цього методу є можливість виконання знімань в темний час доби та незначний вплив погодних умов – туману, хмарності, оскільки радіохвилі здатні проникати крізь хмари та вглиб земної поверхні. Радарне знімання сьогодні широко використовуються у геологічних та екологічних дослідженнях, зокрема для вивчення геологічної структури та рельєфу території. Зокрема на основі радарних даних супутника Sentinel-1 ідентифікують літологічний склад, приховані геологічні тіла, удари метеоритів та великі розломи [6;38]. Обробка та інтерпретація даних SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) виявляє інформацію щодо геоморфних та структурних характеристик території, за допомогою розривів схилів та затіненого рельєфу [48].

Для проведення дистанційного геоекологічного моніторингу територій відкритого видобування корисних копалин радіолокаційні знімки цікаві, перш за все, як вихідні дані для побудови цифрових моделей рельєфу (ЦМР). Видобування корисних копалин завжди супроводжується виїмкою та переміщенням гірських порід, а отже і постійною зміною мікрорельєфу. Використання радарних даних дозволяє прослідкувати ці зміни та прогнозувати негативний вплив на навколишнє природне середовище.

Лідарна зйомка за принципом сканування схожа з радіолокаційною, однак лідарні дані мають кращу роздільну здатність, а також сигнал лідару (на відміну від

радару) не може проникнути вглиб земної поверхні або через густий хмарний покрив. Лідар – це активний оптичний датчик, що пропускає лазерні промені під час руху за спеціальними знімальними маршрутами. При проведенні зйомки промінь лазера випускається на об’єкт, відбивається назад і потрапляє на приймач, який записує точний час прийому. Таким чином визначається відстань до об’єкту і вираховується його висота. Результати зйомки відображаються у вигляді тривимірної хмари точок. Кожна з цих точок містить дані про своє географічне положення та висоту [90]. Широке застосування даний метод отримав при моніторингу стану лісових екосистем – для вивчення складу порід лісових насаджень, висоти окремих деревостанів, загальної залісненості території тощо [39].

Мультиспектральна супутникова зйомка також має як переваги, так і недоліки. Такі космічні дані охоплюють великі площі, однак знімки із найвищою роздільною здатністю є комерційними. У вільному доступі знаходяться космічні знімки середнього розрізнення (дані супутників місії Landsat та Sentinel). Головною перевагою використання даних супутникової зйомки є можливість проводити дослідження у ретроспективі, порівнюючи результати у розрізі декількох років чи декількох десятиріч.

Таким чином, головними перевагами застосування методів ДЗЗ є:

- оглядовість – можливість одержання одночасної інформації про великі за площею території;
- можливість переходу від значень показників стану навколишнього середовища до їх просторового розподілу;
- наявність інформації про важкодоступні райони.

1.2. Використання ДДЗ для вивчення компонентів ландшафту

Дані ДЗЗ є важливим джерелом інформації при будь-яких природознавчих, у т. ч. ландшафтних, дослідженнях. На сьогодні в Україні головними напрямками досліджень у сфері ДЗЗ є створення методик та алгоритмів для інтерпретації та аналізу супутникових даних, що мають велике значення для вирішення різних тематичних завдань при дослідженнях стану ландшафтів чи його окремих компонентів [20;40].

Інформацію про земельні покриття, їхні типи і стан використовують для оцінки і прогнозування розвитку регіону з метою забезпечення сталого управління територіями; моніторингу і контролю за використанням природних ресурсів; управління розвитком територій, проведення заходів для оптимізації їх стану [19].

1.2.1. Дослідження ґрунтового покриття

Будь-яка механічна обробка ґрунту, особливо якщо вона проведена з технологічними порушеннями, призводить до руйнування і розпорошення макроагрегатів у товщі ґрунту. Внаслідок цього, знижується водопроникність, посилюється ерозія, зменшується вміст гумусу. При швидкому таненні снігового покриття та опадах може відбуватися перезволоження ґрунту і змив верхнього родючого шару. Саме тому своєчасне виявлення зон деградації і забруднень дозволить вжити необхідних заходів і припинити деструктивні процеси ґрунтового покриття на території дослідження. Для проведення контролю за станом ґрунту найбільш прийнятним і економічно вигідним рішенням є використання даних дистанційного зондування. Сучасний рівень розвитку космічних і наземних засобів дозволяє отримати знімки конкретної ділянки два і більше разів на добу, а сучасні обчислювальні можливості забезпечують високу оперативність їх обробки [33].

Основними перевагами застосування даних ДЗЗ в дослідженні ґрунтів є незалежність від метеорологічних умов та можливість отримання інформації в будь-який час доби. Оскільки основним фактором, що впливає на радіотеплове

випромінювання і зворотне розсіювання, є вміст вологи, будь-які зміни, що відбуваються в ґрунті при її нестачі, можуть бути виявлені.

За космічними знімками можна здійснювати аналіз та оцінку розвитку несприятливих процесів на території дослідження, зокрема дефляції ґрунтів. При вивченні цих властивостей застосуються спеціальні різновиди зйомки. Наприклад, для визначення засоленості ґрунту, перспективним є використання радіотеплолокаційного вимірювання. Даний метод є високоефективним, оскільки вологий засолений ґрунт відрізняється більш високою електропровідністю у порівнянні з іншими ґрунтами, а також підвищеним значенням радіолокаційної температури [62].

Також дані ДЗЗ використовують для оцінки вмісту вологи в поверхні ґрунту [64]. Одним з таких методів є TVDI (індекс сухості температури і рослинності), який використовується для визначення ступеня мінливості поверхневої вологи. Використання індексу TVDI для оцінки вмісту вологи в ґрунті показано в ряді досліджень [24;31;78]. Зокрема індекс TVDI, отриманий із зображень Landsat-5 TM може бути використаний для моніторингу вологості ґрунту. На основі цього показника доцільно провести оцінку раціонального використання сільськогосподарських земель на території дослідження [31]. Індекс TVDI являє собою величину, яка вказує на зміну вмісту вологи в ґрунтовому покриві, що може бути використана для ідентифікації районів, вразливих до опустелювання та для спостереження за цими процесами [78].

Власне сам індекс розраховується таким чином:

$$TDVI = 1.5 \times \left[\frac{(NIR - RED)}{\sqrt{(NIR^2 + RED + L)}} \right], \text{ де}$$

NIR – коефіцієнт відбиття в червоному каналі;

RED – коефіцієнт відбиття в ближньому інфрачервоному каналі; *L*=0.5.

Індекс SAVI (індекс рослинності зі зміненим ґрунтовим покривом) ідентифікує ділянки без рослинності із відкритим ґрунтом. У районах, де вегетативний покрив низький (< 40% території), а поверхня ґрунту оголена,

відбивна здатність світла в червоному та ближньому ІЧ-спектрах може впливати на значення індексу рослинності. Це особливо проблематично, коли проводяться порівняння між різними типами ґрунтів, які можуть відбивати різну кількість світла на червоній та ближній інфрачервоній довжинах хвиль (тобто ґрунти з різними значеннями яскравості). Індекс був розроблений як модифікація індексу NDVI з метою усунення впливу ґрунту на територіях з низькою часткою рослинного покриву [71].

Обрахування SAVI подібне до визначення NDVI, але з додаванням окремого коефіцієнта корекції впливу ґрунту:

$$SAVI = \left(\frac{NIR - RED}{NIR + RED + L} \right) \times (1 + L),$$

де L - коефіцієнт корекції яскравості ґрунту. Значення L змінюється залежно від кількості або % покриву зеленої рослинності: у регіонах з дуже густим рослинним покривом $L = 0$; а в районах без зеленої рослинності $L = 1$. Як правило, в більшості ситуацій $L = 0,5$ [32]. У випадку якщо $L = 0$, то $SAVI = NDVI$.

1.2.2. Дослідження водних об'єктів

За допомогою даних ДЗЗ і програмних комплексів по їх обробці можна вирішувати багато важливих завдання для дослідження водного середовища. Найважливішими серед них є [2]:

- інвентаризація водосховищ та інших водних об'єктів;
- постійні спостереження за станом дамб та інших вододозахисних і гідротехнічних споруд;
- оцінка екологічного стану водних об'єктів, в тому числі виявлення забруднення в результаті аварійних скидів і розливів шкідливих речовин, виявлення джерел забруднення;

- вивчення руслових процесів і картографування мікрорельєфу дна на мілководді;
- прогнозування і оперативний моніторинг затоплених територій, моделювання процесів затоплення внаслідок повеней;
- моніторинг стану водоохоронних зон, несанкціонованого будівництва в їх межах промислових і житлових об'єктів;
- визначення біологічної продуктивності водойм, виявлення водних біоресурсів тощо.

З наведеного переліку завдань, для їх вирішення в більшості випадків необхідно отримувати дані ДЗЗ з космосу постійно, із заданим періодом спостережень. Для проведення моніторингу водних об'єктів дуже важлива щоденна періодичність зйомки, а також можливість її здійснення на замовлення [2].

За даними ДЗЗ також здійснюється дешифрування водних об'єктів. Це досягається за рахунок використання деяких особливостей відображення водної поверхні на космічних знімках. Водні об'єкти характеризуються найнижчими значеннями коефіцієнтів відбиття серед інших природних об'єктів. При цьому всі інші природні об'єкти навіть в стані зволоженості мають більший коефіцієнт відображення. Зокрема, у видимому діапазоні спектра вода має більш високий коефіцієнт поглинання, а це означає, що на денних знімках водні поверхні є темнішими, ніж суша [28].

Космічна зйомка дозволяє не просто разово встановити межі водойми, а й здійснювати регулярне визначення положення берегової лінії водосховищ та інших водних об'єктів, відслідковувати всі зміни у конфігурації водного дзеркала за заданим ступенем періодичності [2].

Для виявлення водних об'єктів за космічними багатоспектральними знімками широко використовуються наступні індекси: NDWI, NDMI, MNDWI, WRI, AWEI (табл.1.2).

Таблиця 1.2

Багатоспектральні індекси, що використовуються для дослідження водних об'єктів [28;15]

Індекс	Обчислення	Діапазон значень
NDWI (Normalized Difference Water Index)	$\frac{GREEN - NIR}{GREEN + NIR}$	Водна поверхня має додатні значення
NDMI (Normalized Difference Moisture Index)	$\frac{NIR - MIR}{NIR + MIR}$	Водна поверхня має додатні значення
MNDWI (Modified Normalized Difference Water Index)	$\frac{GREEN - MIR}{GREEN + MIR}$	Водна поверхня має додатні значення
NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)	$\frac{NIR - RED}{NIR + RED}$	Водна поверхня має від'ємні значення
WRI (Water Ratio Index)	$\frac{GREEN + RED}{NIR + MIR}$	Водна поверхня >1
AWEI (Automated Water Extraction Index)	$4 \times (GREEN - MIR) - (0.25 \times NIR + 2.75 \times SWIR)$	Водна поверхня має додатні значення

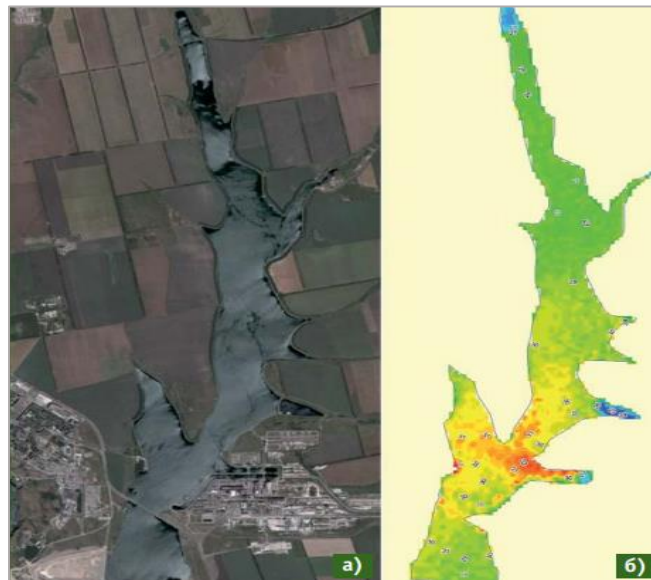
Значення для усіх індексів лежать в межах [-1;1].

Космічні знімки дозволяють оцінювати технічний стан споруд, проектувати нові об'єкти. Особливо перспективним є застосування таких даних для будівництва та експлуатації, наприклад, водоохоронних дамб чи гідротехнічних споруд у важкодоступних районах тощо. Важливе значення має постійний оперативний моніторинг стану дамб і плотин з метою своєчасного виявлення процесів їх ерозійного розмиву, вітрової ерозії, розвитку карстових, термокарстових процесів, фізичного і хімічного вивітрювання [2].

Просторово-часовий моніторинг динаміки поверхневих вод є надзвичайно важливим завданням для багатьох суміжних областей, таких як гідроекологічні дослідження та управління водними ресурсами. Дана технологія включає в себе першочергову обробку космічних знімків (радіометричне калібрування, атмосферну коррекцію) і їх автоматизоване дешифрування (тематична класифікація за спектральними характеристиками, обчислення індексів, автоматична векторизація). Результати дешифрування оформляються у вигляді

серій оперативних тематичних карт і стають інформаційної базою спеціалізованих ГІС. Для цього завдання зазвичай потрібні навички аналізу часових рядів або виявлення змін. Загалом екологічний стан водного об'єкта характеризується рядом ознак, які краще або гірше проявляють себе на космічних знімках. Тут найбільш перспективними є мультиспектральні знімки, по котрим добре виявляється наявність біогенних елементів та процеси евтрофікації, що призводять до негативних наслідків для всієї екосистеми водойми [15].

Для оцінки теплового забруднення водних об'єктів зазвичай використовується метод дистанційного геотермічного картографування, що реалізується за допомогою аерокосмічної зйомки в інфрачервоній області спектра (рис. 1.1).



**Рис. 1.1. Ташлицька водойма-охолоджувач
на Південноукраїнській АЕС [2]:**

**а – зображення в природних кольорах на знімку QuickBird 06.07.2016 р;
б – температурні поля поверхневого шару води, побудований за тепловим
каналом знімка з Landsat**

Як правило, зйомка відбувається в середній (SWIR) і далекій (TIR) частинах ІЧ області спектра (1.5-3.0 і більше 3.0 мкм відповідно). У зазначених спектральних

діапазонах поширюється власне теплове випромінювання об'єктів земної поверхні. Інтенсивність випромінювання тим вища, чим вища температура поверхні [2].

1.2.3. Дослідження рослинного покриву

Рослинність, у порівнянні з іншими компонентами ландшафту, за допомогою даних ДЗЗ досліджують найбільше. Відносно вивчення рослинного покриву можна виділити декілька груп завдань, у вирішенні яких може істотно допомогти використання космічних знімків [30]:

- інвентаризація рослинного покриву, тобто отримання первинної інформації про його склад і структуру;
- кількісна оцінка на основі спектральних індексів. За допомогою космічних знімків можна оцінити велике число параметрів: біологічне різноманіття, біомасу, зімкнутість крон, фотосинтетичну активність;
- моделювання та прогнозування розподілу окремих елементів рослинного покриву, зміни кордонів спільнот і т. д. У цих процесах дані дистанційного зондування можуть виступати як кількісні або якісні вхідні дані або як основа для екстраполяції результатів моделювання;
- оцінка і картографування параметрів середовища (вологості ґрунтів, водойм або боліт як місця проживання певних видів або типів рослинності), антропогенного впливу (дороги, вирубки, видобуток корисних копалин, що впливають на розподіл елементів рослинного покриву);
- оцінка просторового розподілу характеристик рослинного покриву, виявлення коридорів, придатних для середовища існування рідкісних видів;
- спільний ГІС-аналіз даних ДЗЗ та інших даних (наприклад, параметрів рельєфу, гідро мережі тощо);

- дані ДЗЗ використовуються для оцінки стану лісового покриву, прогнозування хвороб дерев, визначення рослинності, що зазнала значного впливу від пожеж, паводків тощо, а також для оцінки збитків від таких явищ. Одним з найбільш поширених підходів є визначення індексу NDVI на територію дослідження. Розрахунок NDVI здійснюється за формулою:

$$NDVI = \frac{r_4 - r_3}{r_4 + r_3}$$

де r_3 і r_4 – коефіцієнти спектральної яскравості після

атмосферної корекції відповідно в червоному і ближньому інфрачервоному каналах супутникових оптичних сканерів. Розрахунки NDVI для кожного космічного знімка лежать в діапазоні значень від -1 до 1. Нуль означає повну відсутність рослинності, для рослинного покриву ці значення завжди позитивні, а значення, близькі до 1 (0,8-0,9), вказують на максимально можливу щільність покриття зеленими рослинами [53].

Окрім NDVI, для дослідження зміни якості рослинного покриву можуть використовуватися й інші вегетаційні індекси, що отримуються на основі даних дистанційних спостережень (табл.1.4).

Таблиця 1.4

Найбільш вживані багатоспектральні індекси, що використовуються для дослідження рослинного покриву [7]

Індекс	Обчислення	Діапазон значень
RVI (Ratio Vegetation Index)	$\frac{NIR}{RED}$	в межах $[0; \infty)$. Для зеленої рослинності > 1 і збільшується зі збільшенням зеленої фітомаси, (зазвичай 2-8)
NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)	$\frac{NIR - RED}{NIR + RED}$	в межах $[-1; 1]$. Для рослинності набуває позитивних значень (зазвичай 0,2-0,8)

TVI (Transformed Vegetation Index)	$\sqrt{NDVI + 0.5}$	0,5 додається виключно до негативних значень під коренем.
EVI (Enhanced Vegetation Index)	$\left(\frac{NIR - RED}{NIR + C1 \times RED - C2 \times BLUE + L} \right) \times (1 + L)$	Коефіцієнти C1=6, C2=7.5 та L=1. в межах [-1;1]. Для зеленої рослинності набуває позитивних значень (зазвичай 0,2-0,8)
IPVI (Infrared Percentage Vegetation Index)	$\frac{NIR}{NIR+RED} = \frac{NDVI+1}{2}$	в межах 0-1. Для зеленої рослинності набуває позитивних значень (зазвичай 0.6 -0.9)
SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index)	$\left(\frac{NIR-RED}{NIR+RED+L} \right) \times (1 + L)$	L [0;1], L = 0 для дуже густого рослинного покриву, L = 1 для дуже розрідженого. Набуває значень від -1 до 1

1.2.4. Дослідження атмосферного повітря

Моніторинг стану забруднення повітря є важливим та актуальним для підтримки якості навколишнього середовища та сталого управління природними ресурсами території. Використання даних ДЗЗ надає переваги для здійснення такого моніторингу за рахунок широкого територіального охопту та низької вартості. Крім цього, можна відслідковувати історію змін якості повітря, щоб зрозуміти вплив антропогенних та природних процесів на викиди забруднюючих речовин в атмосферу. Такі зміни у концентраціях забруднюючих речовин фіксують спеціальні прилади-супутники [59].

Одним із пристроїв, є прилад для вивчення тропосфери TROPOMI (Tropospheric Monitoring Instrument), встановлений на борту космічного апарату

Sentinel-5 Precursor (S5P), який зараз знаходиться в орбіті. Супутник S5P був запусканий 13 жовтня 2017 року для забезпечення безперервності збору даних після виведення з експлуатації апаратів Envisat (ESA) та Aura (NASA), а також у попередніх версіях запуску Sentinel-5. S5P має бортовий багатоспектральний датчик TROPOMI, який реєструє відбивальну здатність, ультрафіолет (UV), видиме випромінювання (VIS), ближнє (NIR) та короткохвильове інфрачервоне (SWIR), взаємодіючи з різними складовими атмосферами, включаючи аерозолі, монооксид вуглецю, формальдегід, діоксид азоту, озон, діоксид сірки та метан (табл. 1.5) [79].

Таблиця 1.5

Параметри, що реєструє сенсор TROPOMI [79]

Тип даних	Параметри
L2_O3__	Загальний вміст озону
L2_O3_TCL	Вміст озону в тропосфері
L2_O3_PR	Вміст озону (профіль)
L2_O3_TPR	Вміст озону (тропосферний профіль)
L2_NO2__	Оксид азоту(IV) – загальний та вміст в тропосфері
L2_SO2__	Діоксид сірки (загальний вміст)
L2_CO__	Чадний газ (загальний вміст)
L2_CH4__	Метан (загальний вміст)
L2_HCHO__	Формальдегід (загальний вміст)
L2_CLOUD_	Хмари, альbedo, верхній тиск
L2_AER_AL	УФ індекс аерозолів
L2_AER_LH	Висота аерозольного шару
UV Product	Опромінення поверхні/еритемна (біологічна) доза

S5P також дозволяє оцінювати деякі характеристики хмарності. Місія супутника входить у глобальну програму моніторингу «Коперник», спільного проекту Європейської комісії та Європейського космічного агентства [79]. Серед усіх зазначених показників, що фіксує сенсор супутника в найбільших кількостях в атмосферу потрапляє оксид азоту NO^2 , що є шкідливим для здоров'я людини [59].

Щоб забезпечити користувачеві зручність та оперативність під час роботи з даними S5P TROPOMI, а також запропонувати платформу для подальшого аналізу, спеціалісти Google, створили інтерактивний додаток [85], що дозволяє проаналізувати зміни концентрацій забруднюючих речовин за заданий час, використовуючи інструменти візуалізації [47;13].

РОЗДІЛ II. ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕРИТОРІЇ ЖИТОМИРСЬКОГО ПОЛІССЯ

2.1. Географічне положення та межі

Житомирське Полісся знаходиться на схід від Волинського в межах Поліської провінції зони мішаних лісів Східно-Європейської рівнинної країни. Дана область займає більшу частину Житомирської, північно-східну частину Рівненської та Хмельницької адміністративних областей (рис. 2.1). Західна межа області проходить по лінії Клесів – Соснове – Корець, а на сході йде по лінії Народичі – Малин – Радомишль – Корнин. У структурному відношенні до складу фізико-географічної області Житомирського Полісся входять Коростенський, Новоград-Волинський та Житомирський райони Житомирської області, частина Сарненського та Рівненського районів Рівненської області та частина Шепетівського району Хмельницької області [54] (рис. 2.1).



виходять на денну поверхню – Словечансько-Овруцький кряж та підвищення, яке сполучається з північними відрогами східної частини Волинської височини. Поверхня кристалічних порід докембрію Українського щита в межах області має пересічений характер. У багатьох місцях її рельєф розчленований глибше, ніж денна поверхня. Товща осадових мезо-кайнозойських відкладів згладжує нерівності поверхні кристалічних порід щита, що мають тектонічне і денудаційне походження. Зіставлення карти їхнього рельєфу з гіпсометричною картою сучасної поверхні свідчить про тісну залежність сучасного рельєфу від рельєфу кристалічних порід. Майже всі значні нерівності кристалічного фундаменту відображаються в сучасному рельєфі. Деякі тектонічні структури щита відображаються в геоморфологічній будові – Овруцький синклінорій майже відповідає Словечансько-Овруцькому кряжу [12].

Житомирське Полісся відрізняється найвищим гіпсометричним положенням у порівнянні з іншими фізико-географічними областями Поліської провінції (рис.2.3).

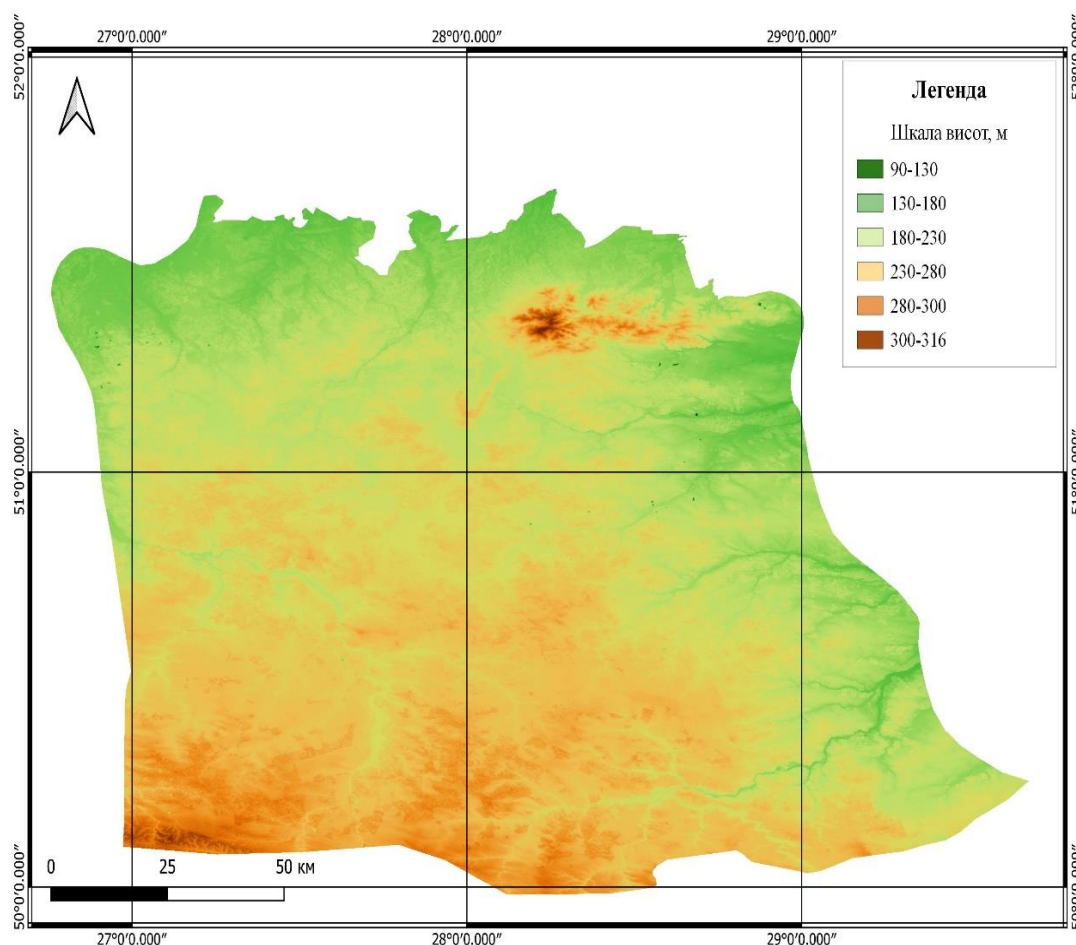


Рис. 2.3. Рельєф Житомирського Полісся за даними SRTM [70]

В межах Житомирського Полісся спостерігається слабо виражений макрорельєф і дуже розвинутий мезорельєф. Східна частина області являє собою моренну рівнину з грядово-хвилястим рельєфом льодовикових форм, таких як моренні горби, ками й ози [18](рис. 2.4).



Рис. 2.4. Типові форми рельєфу Житомирського Полісся [5]:

А – зандр та Б – кама

2.3. Клімат

Клімат Житомирського Полісся належить до континентального типу з теплим і вологим літом та м'якою, хмарною зимою. Взимку він формується під впливом теплого і вологого повітря, яке надходить з Атлантики у вигляді циклонів, що викликають відлиги та збільшену кількість атмосферних опадів. На Полісся надходять також маси арктичного повітря, які зумовлюють взимку значне похолодання, а навесні – пізні заморозки. Відповідно до карт та схем агрокліматичного районування Українське Полісся належить до вологої, помірно теплої зони. У кліматичному відношенні в його межах виділяють три райони –

Західний (Волинське Полісся), Центральний (Житомирське та Київське Полісся) та Східний (Чернігівське та Новгород-Сіверське Полісся) [18].

Річний радіаційний баланс області Житомирського Полісся становить 1300-1500 МДж/м². Пересічна температура січня змінюється із заходу на схід від -4,5°C до -8°C, січневі ізотерми мають майже меридіональний напрямок, а липневі ізотерми зростають з півночі на південь від +17°C до +19°C. Мінімальні температури, зафіксовані в січні-лютому, сягають -32...-39°C, а максимальні температури липня-серпня дорівнюють +33...+39°C. Середньорічні температури коливаються в межах 6 – 8 °С. Переважають вітри західного напрямку із середньою швидкістю 3-5 м/с. Кількість опадів у теплий період (квітень-жовтень) становить 400-450мм, а в холодний – 200-250мм. Середньорічна кількість опадів не перевищує 600-800 мм. Випаровування не перевищує 400-450 мм. Коефіцієнт зволоження $K > 1$ [44].

Загалом, клімат Житомирського Полісся є не таким вологим, як у Волинському Поліссі, і не таким сухим, як в інших фізико-географічних областях Поліської провінції, що розташовані далі на схід.

Найбільший вплив на зміну погодних умов області мають сучасні кліматичні зміни. Внаслідок підвищення середньорічних температур кліматичні зони в Україні мігрують на північ, що в свою чергу загрожує зникненням мікроклімату Полісся з подальшим його переходом в зону нестійкого зволоження. За останні роки в області майже вдвічі зросла повторюваність днів з максимальними температурами влітку понад 35 і 40°C, що належить до екстремальних погодних явищ [23].

За даними Житомирського обласного центру з гідрометеорології та міських метеостанцій в області за період 2005-2020 рр. зросла на 40,5 мм середньорічна кількість опадів, але відбувся їх сезонний перерозподіл (основна кількість опадів випадає в осінньо-зимовий період, а літо стало більш посушливим). Також в межах Житомирського Полісся вже спостерігається тенденція до посилення посух, підвищення пожежної небезпеки (пожежі у Житомирській області та зоні

обов'язкового відселення), зростає повторюваність та інтенсивність гроз, сильних злив, граду, шквалів [77].

2.4. Гідрографічна мережа та водні ресурси

Рельєф поверхні, а також кліматичні умови обумовлюють значну водність на території Житомирського Полісся. Регіон має густу річкову сітку, багато боліт, озер, штучних водойм та водотоків, а також великі запаси підземних вод із близьким заляганням до поверхні (рис.2.5).

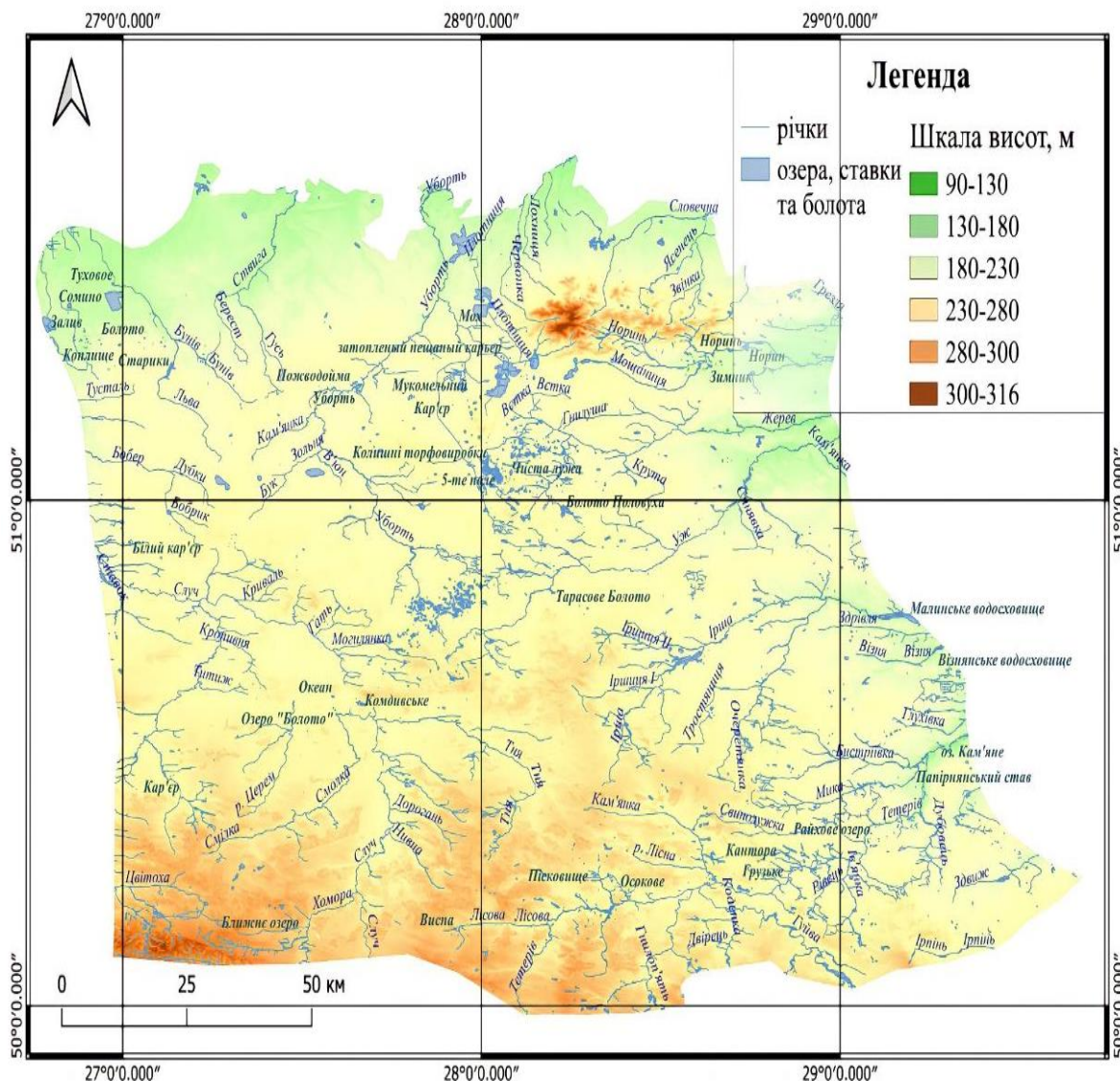


Рис. 2.5. Водні об'єкти на території Житомирського Полісся

Найбільшими водними артеріями Житомирського Полісся є річки Тетерів, Уборть, Случ та Уж. Для річок фізико-географічної області характерний мішаний тип живлення із переважанням снігового. Близько 50% річкового стоку припадає на талі снігові води. Частка підземних і дощових вод у живленні річок приблизно однакова. Добре вираженими є весняні паводки. Під час паводків річки, особливо в північній частині області, заливають великі площі. В літній період на річках спостерігаються найнижчі рівні і найбільші витрати води. Однак часто бувають паводки, викликані літніми зливами. Льодоутворення на річках регіону починається, як правило, в кінці листопаду – на початку грудня. Середня тривалість льодоставу – 3-4 місяці, середня товщина льодового покриву – 0,2-0,4м.

Головна річка фізико-географічної області – р. Тетерів. Основні її притоки – р. Гнилоп'ять (довжина 97 км), р. Ірша (128 км), р. Здвиж (144 км). Долина річки на території Житомирського Полісся (до Радомишля) переважно V-подібна, шириною 0,3-0,8 км, з крутими або помірно крутими, звичайно опуклими схилами висотою 7-30 м. Русло річки звивисте, переважно нерозгалужене. На всій протяжності річки спостерігається чергування плесів і перекатів, зустрічаються піщані коси, обмілини. Ширина річки змінюється від 0,4 до 200 м. Глибина річки на плесах 1,0-1,5 м, найбільша – 4,5 м [29].

Також на території Житомирського Полісся зустрічається багато невеликих озер та ставків. Найбільші з них - Чорне, Куп'є, Озерянське, Дуже, Дідове. Всі вони розташовані в басейні річки Уборть. Менш поширені ставки з атмосферним живленням, які наповнюються за рахунок стоку весняних паводків. Особливістю поліських водойм є сильне заростання їх вищою водною рослинністю, що відбивається на їх гідрохімічному режимі і на розвитку тваринного населення.

Значні площі в межах Житомирського Полісся займають болота. Найбільше їх у північній частині області – в басейнах річок Уж та Уборть. Заболоченість північної частини регіону становить понад 25% і на південь зменшується. В центральній частині фізико-географічної області площа боліт становить 4120 га. Болота тут невеликі (1-15 га), найчастіше – це болота-блюдця в межиріччях. Ще менше боліт у південній частині області. За характером мінерального живлення

болота регіону належать до оліготрофних (верхових), мезотрофних (перехідних) і евтрофних. Найбільш поширеними є евтрофні болота, розташовані в заплавах річок, а також в межиріччях (особливо в моренній – східній частині області). Оліготрофні та мезотрофні сфагнові болота, котрі живляться водами бідними на мінеральні солі, зрідка зустрічаються в північно-західній та західній безморенній частині Житомирського Полісся [72].

2.5. Ґрунтовий покрив

Ґрунтовий покрив в межах території Житомирського Полісся складний. Він характеризується не тільки великою кількістю ґрунтових відмін, а й частими змінами їх на відносно невеликих площах. Це зумовлюється складністю геологічної і геоморфологічної будови території, різноманітністю ґрунотвірних порід, а також частими змінами гідрологічного режиму.

Залежно від механічного складу і різних порід ґрунти Житомирського Полісся мають неоднакові агрономічні і виробничі властивості. У геоморфологічному відношенні, за винятком території Коростенського та Овруцького районів область являє собою терасовану знижену рівнину. Течія річок на ній дуже повільна, і їх дренажна роль незначна. Такі умови сприяють заболочуванню ґрунтів не тільки по долинах рік, а й на вододілах.

Кожен тип рельєфу, що присутній на території області характеризується певними відкладами порід, які відрізняються механічним, мінеральним і хімічним складом та глибиною залягання. Їх роди відповідно впливають на ґрунотвірні процеси і родючість ґрунту. Водно-акумулятивні форми рельєфу, що зустрічаються в межах області вкриті заболоченими ґрунтами. Порооди, на яких утворюються ці ґрунти, є алювіальними наносами рік. Серед кристалічних порід найбільш поширені граніти, базальти і гнейси, які часто виходять на поверхню в районі центральної частини Житомирського Полісся. На решті території ці породи вкриті ярусами молодших відкладів четвертинного походження – переважно мореною

піщаного механічного складу, а також сучасними алювіальними відкладами та лесуватими суглинками [88].

Основними ґрунотвірними породами області Житомирського Полісся є делювіогляціальні і флювіогляціальні відклади піщаного і супіщаного механічного складу, які містять мало кальцію, фосфору, магнію. Окрім них, подекуди на вододільних ділянках поширені лесовидні породи та лес. Таким чином, в межах області сформувався сім основних типів ґрунтів [14] (рис.2.6):

- 1) дерново-підзолисті – не оглеєні і мають профіль з добре вираженими генетичними горизонтами. Утворилися дерново-підзолисті ґрунти на різних породах і є основним типом ґрунтів області;
- 2) дернові та дернові оглеєні – відрізняються від дерново-підзолистих меншим гумусовим горизонтом та мають низьку родючість внаслідок перезволоження;
- 3) ясно-сірі та сірі опідзолені – утворилися на карбонатних лесовидних породах в умовах нормального зволоження. Поширені на Словечансько-Овруцькому лесовому кряжі та в південно-західній частині області;
- 4) чорноземи типові неглибокі малогумусні – залягають на схилах вододілів, лесових терасах на лесових породах за нормального типу зволоження. На території Житомирського Полісся поширені на крайньому півдні області, є природною межею із лісостеповою частиною Житомирської області;
- 5) лучні та чорноземно-лучні – залягають на неглибоких та широких знижених плато вододілів, на низьких давніх терасах річок та характеризуються близьким до поверхні заляганням ґрунтових вод;
- 6) лучно-болотні – залягають на заболочених пониженнях, днищах балок і заплавах річок на алювіальних та делювіальних суглинках в умовах надмірного зволоження;
- 7) торфво-болотні та торфовища – поширені по всій території області, на річкових заплавах і знижених елементах рельєфу. Це ґрунти надмірного зволоження, що характеризуються значною оглеєністю та шаром торфу 25-50см.

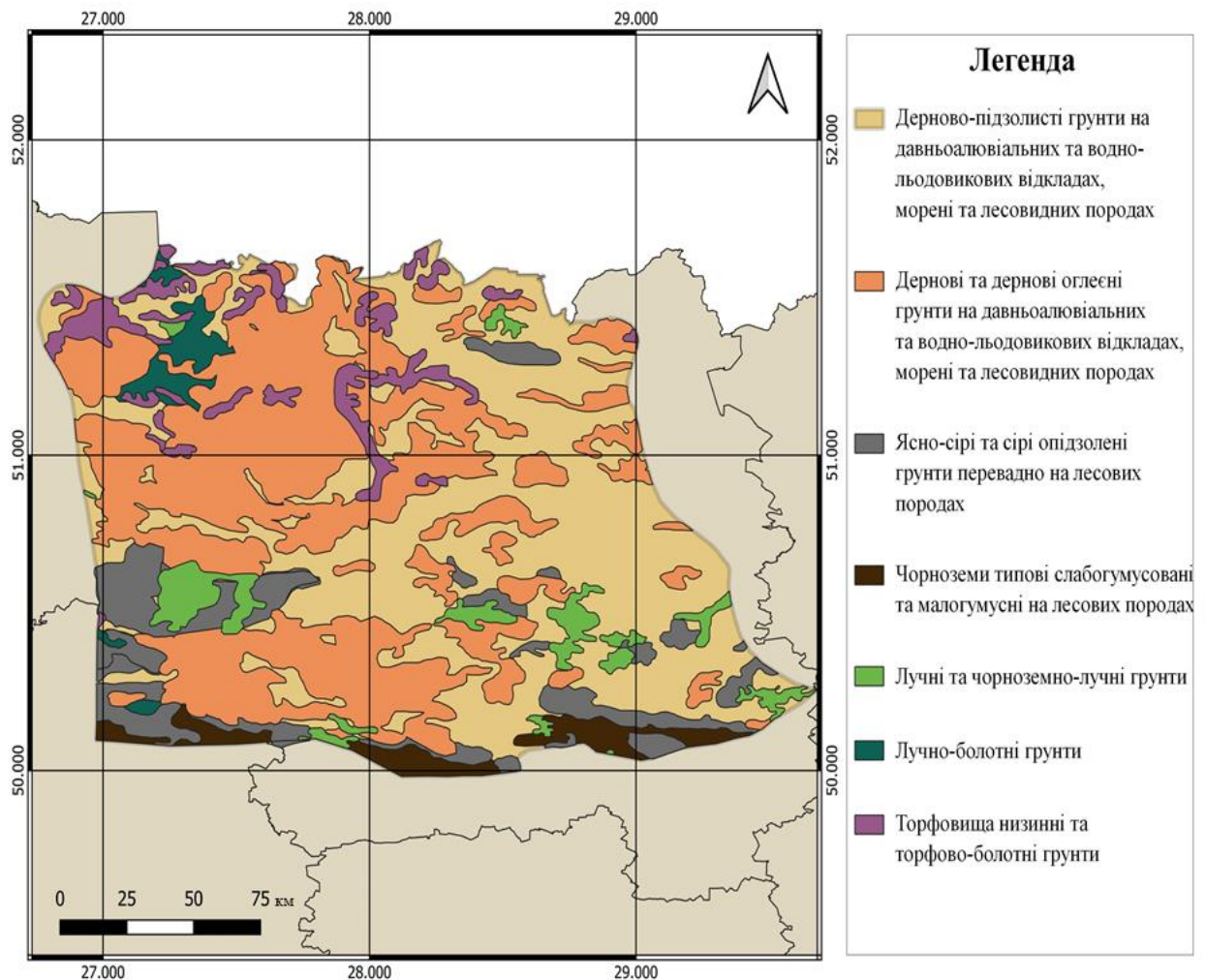


Рис. 2.6. Ґрунти Житомирського Полісся за даними Національного атласу України [51]

За механічним складом ґрунти області поділяють на піщані, суглинкові, глинисті і крупнопиливаті. Реакція ґрунту досить кисла (рН 4,3-5,3), проте ґрунти, утворені на карбонатних породах, мають реакцію майже нейтральну або слабколужну (рН 7,1-7,3).

Загалом, ґрунти Житомирського Полісся містять невисокий вміст гумусу (1-3%) та є малородючими, окрім островів ясно-сірих та сірих опідзолених ґрунтів (5-7%), а також малогумусних чорноземів типових (4-6%) [18].

Радіоактивне забруднення території Житомирського Полісся (особливо в межах північних районів Житомирської області) значно ускладнює їх екологічно-безпечне сільськогосподарське використання.

2.6. Рослинний покрив і тваринний світ

У сучасному рослинному покриві Житомирського Полісся основна роль належить лісовій та болотній рослинності. Значні площі займає також лучна рослинність, що розвивається на суходільних, низинних та заплавних луках. Природна рослинність найкраще представлена в північній частині Житомирського Полісся, де розораність території не перевищує 15%. В інших місцях розораність території становить понад 60%. Осушені великі території низинних та заболочених лук, які майже повністю трансформовані в сільськогосподарські угіддя. Постійно розорюються суходільні луки [21].

Лісистість території Житомирського Полісся порівняно висока – від 10 до 50% і в середньому становить 32,1% [73].

Лісова рослинність області представлена сосновими, сосново-дубовими, вільховими та березовими лісами. У лісовому фонді області основне місце належить хвойним насадженням, зокрема лісостани з переважанням сосни звичайної становлять 50% від загальної площі лісонасаджень. Соснові ліси займають найвищі ділянки з бідними піщаними дерново-підзолистими ґрунтами. Друге місце за площею після соснових насаджень займають березняки (13%). Вони утворилися на місці вирубаних соснових та дубових лісів. Переважна більшість їх молоді, зрідка трапляються віком більше, ніж 50 років [73].

Крім сосни звичайної, найбільш поширеними видами у лісах цієї зони є дуб звичайний, береза пухнаста, вільха чорна та осика. Дубові ліси переважають в тій частині, де на поверхню виходить кристалічний щит. Підлісок у лісових насадженнях Житомирського Полісся відносно бідний. До його складу найчастіше входять горобина, ліщина, зрідка в підліску трапляються глід, терен, бузина чорна й червона, жимолость пухнаста. У західній частині Житомирського Полісся поширений рододендрон жовтий [87].

За господарським значенням ліси держлісфонду розподілені на дві групи. Ліси першої групи є фактором поліпшення кліматичних, гідрологічних, ґрунтових

умов, тобто виконують переважно природоохоронні функції і належать до таких категорій [21]:

- 1) водоохоронні – смуги лісів вздовж берегів річок, навколо озер, водоймищ та інших водних об'єктів;
- 2) захисні – протиерозійні, захисні смуги лісів вздовж залізниць, автомобільних шляхів;
- 3) санітарно-гігієнічні та оздоровчі, в тому числі ліси зелених зон навколо населених пунктів і промислових підприємств;
- 4) ліси в межах природно-заповідного фонду.

Ліси другої групи поряд з екологічним, мають експлуатаційне значення і є головним джерелом отримання ресурсів деревини [73].

Фауна фізико-географічної області Житомирського Полісся багата та різноманітна. В області мешкають переважно лісові тварини. Серед них досить багато тайгових видів (лось *Alces alces*, заєць білий *Lepus timidus*, сова бородата *Strix nebulosa*, синиця чорна *Periparus ater*, снігур *Pyrrhula pyrrhula*, ящірка живородна *Zootoca vivipara*, жаба трав'яна *Rana temporaria* тощо). Зустрічаються також види, що поширені більшою мірою в Європі (свиня дика *Sus scrofa*, куниця лісова *Martes martes*, тхір звичайний *Mustela putorius*, дятел середній *Dendrocopos medius*, в'юрок канарковий *Serinus serinus*, горихвістка чорна *Phoenicurus ochruros*, квакша звичайна *Hyla arborea* тощо). Близькість лісостепової зони обумовлює проникнення південних (степових) видів тварин (кажан двоколірний *Vespertilio murinus*, заєць сірий *Lepus europaeus*, велика біла чапля *Ardea alba*, коловодник ставковий *Tringa stagnatilis*, лунь лучний *Circus pygargus*, черепаха болотяна *Emys orbicularis* тощо) [75].

Багато видів тварин, які поширені в межах фізико-географічної області занесено до вітчизняних та міжнародних Червоних списків, зокрема до Червоної книги України, Червоної книги МСОП та Європейського Червоного списку. Це, зокрема ведмедиця велика *Pericallia matronula*, вечірниця руда *Nyctalus noctula*, видра річкова *Lutra lutra*, вухань звичайний *Plecotus auritus*, глухар *Tetrao urogallus*, горностай *Mustela erminea*, дятел зелений *Picus viridis*, лелека чорний

Ciconia nigra, махаон *Papilio machaon*, норка європейська *Mustela lutreola*, орлан-білохвіст *Haliaeetus albicilla*, рись *Lynx*, тетерук *Lyrurus tetrix*, шуліка рудий *Milvus milvus* та ялець звичайний *Leuciscus leuciscus* [89].

2.7. Ландшафти області

Мішанолісові ландшафти займають значні площі в ландшафтній структурі Житомирського Полісся. Вони представлені ландшафтами моренних, моренно-водно-льодовикових, задрових, озерно-водно-льодовикових, лесових рівнин на неоген-палеогенових, архей-протерозойських кристалічних породах складені валунними, лесовидними суглинками, ландшафтними комплексами терас, заплав. Райони денудаційно-рівнинні на кристалічній основі є типовими для області Житомирського Полісся [21].

У межах Житомирського Полісся виділяються дві фізико-географічні підобласті – Західно-Житомирська безморенна та Східно-Житомирська моренна. Перша займає західну частину Житомирського Полісся. Для неї характерні майже повна відсутність льодовикових відкладів, широкий розвиток зандрів, поширення переважно піщаних та глинисто-піщаних дерново-слабопідзолистих ґрунтів, на яких панують бори та субори, наявність у північній частині оліготрофних боліт. Східно-Житомирська підобласть, завдяки присутності морени, набуває характерних рис, будова її поверхні більш складна. Помітну роль тут відіграють льодовикові форми рельєфу. Дуже часто зустрічаються лесові острови [57;18].

Таким чином, ландшафтна структура Житомирського Полісся досить строката та складається з різних ландшафтних комплексів [57] (рис. 2.7).

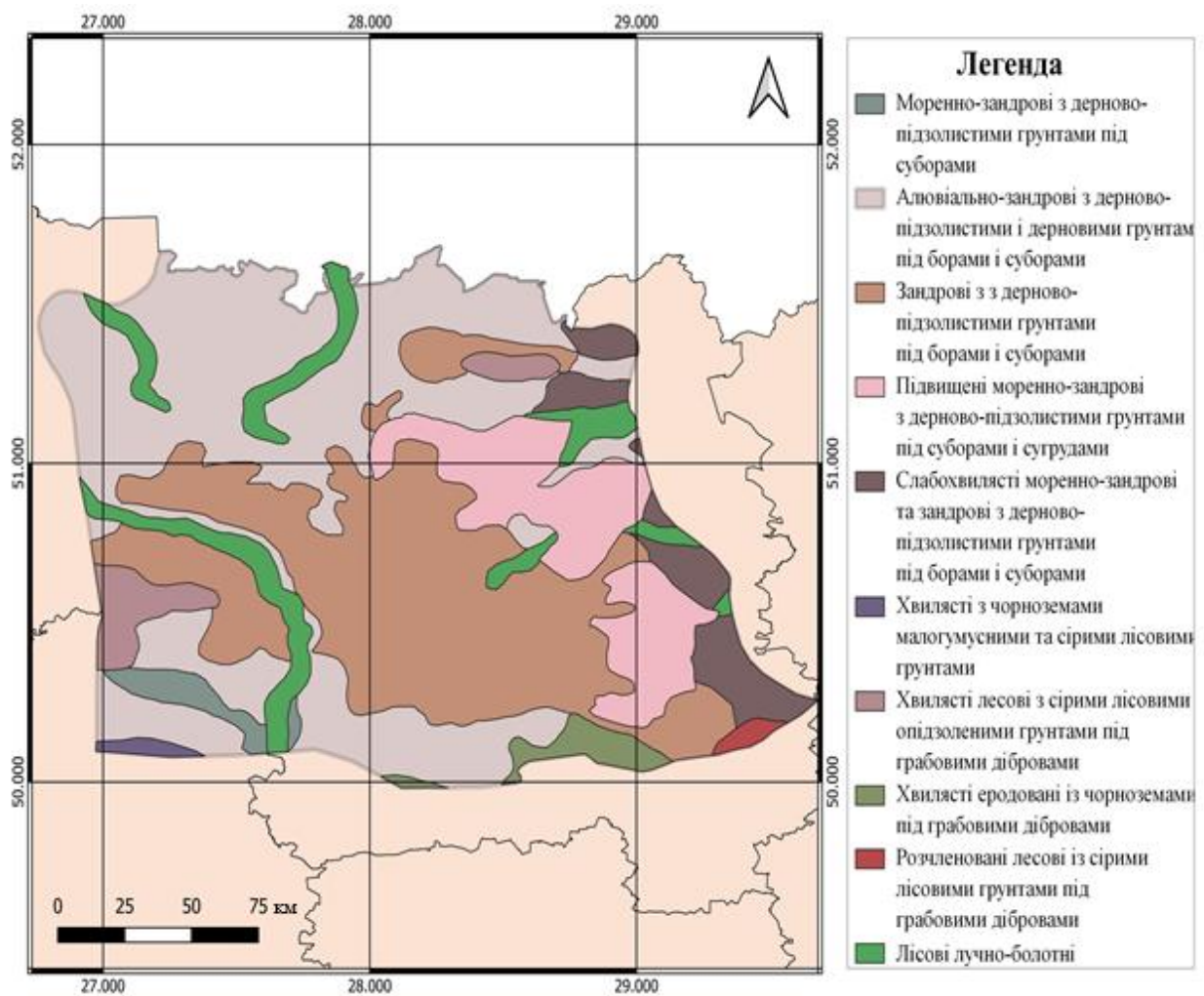


Рис.

2.7. Ландшафтні комплекси Житомирського Полісся за даними Національного атласу України [51]

Зандрові на кристалічній основі з переважанням дерново-слабопідзолистих ґрунтів під борами і суборами. Водно-льодовикові піски мають потужність 4-6 м і залягають на гранітах, гнейсах або продуктах їх вивітрювання. Місцями зустрічаються піщані вали і горби еолового походження, а в зниженнях – невеликі болота та заболочені землі. Найбільше ці місцевості поширені в центральній частині області.

Моренно-зандрові та долинно-зандрові заболочені місцевості з дерново-слабопідзолистими глеюватими і болотними ґрунтами на докембрійських кристалічних, крейдових і палеогенових осадових породах під лісами борового типу поширені в районі Олевська, Перги, р. Болотниця. Тут зустрічають верхові й

перехідні болота площею понад 1000 га, з потужністю торф'яного шару до 4-5 м. В цих районах проведено меліоративні роботи.

Слабохвилясті моренно-зандрові з дерново-слабопідзолистими і дерново-середньо-підзолистими ґрунтами ландшафтні місцевості поширені в східній підобласті Житомирського Полісся поблизу Потієвки, Горбулева, Модилева, Дівочок, Торчина та ін.

Денудаційні хвилясто-рівнинні підвищені моренно-зандрові на кристалічних породах з дерново-слабопідзолистими щебенюватими ґрунтами місцевості мають значне поширення на межиріччях з високим заляганням докембрійських порід. Водно-льодовикові піски тут малопотужні або відсутні взагалі, зустрічаються елювіально-делювіальні щебенюваті відклади –продукти вивітрювання кристалічних порід. Такі ландшафтні місцевості поширені в районі м. Коростеня, поблизу сіл Краєвщини, Топорищ, Пекерщина та в інших районах.

У Житомирському Поліссі, на відміну від інших областей Поліської провінції, поширені ландшафтні місцевості лесових островів із сірими лісовими ґрунтами та малогумусними чорноземами, збезлісені й зайняті переважно сільськогосподарськими угіддями. На них розвинені яри і балки, відбуваються інтенсивні ерозійні процеси. Ці місцевості мають риси лісостепових ландшафтів та зустрічаються в південній частині області у районі Житомира, Коростишева та ін.

Також, значні площі на території Житомирського Полісся займає заплавний лучно-болотяний тип місцевості [57].

2.8. Антропогенний вплив на ландшафти області

Ландшафти Житомирського Полісся зазнали значних змін внаслідок антропогенної діяльності – вирубування лісів, меліорації, розорювання, особливо у зв'язку з добуванням корисних копалин – гранітів, лабрадоритів, пегматитів, кварцитів, розсипних родовищ ільменіту, бурого вугілля, гравію.

Неконтрольований видобуток бурштину на території області має величезний негативний вплив на ландшафти території дослідження. Незаконний видобуток бурштину здійснюється ручним і гідромеханічним способом (помпуванням). Останній на цей час переважає і має більш катастрофічні наслідки [86;90].

Гідромеханічний спосіб видобутку полягає в розмиванні водою під великим тиском ґрунту до 6–10 метрів у глибину. Оскільки бурштин легший за воду, він спливає на поверхню та виловлюється сітками. Коли вимив доходить до глини, яка залягає під покладами бурштину, розробку залишають. Видобуток таким способом повністю знищує родючий шар ґрунту, оскільки під час «розмивання» гумусовий шар переміщується з основною масою підстеляючих піщаних і супіщаних порід. Відновлення родючого шару займає десятки років. Струмінь води під великим тиском розмиває ґрунт, повністю руйнуючи ґрунтовий покрив у місці ймовірного залягання корисної копалини, внаслідок чого утворюється яма [50].

Масове неконтрольоване вилучення бурштину з надр веде до низки негативних наслідків для природних комплексів території (табл.2.1). Бодай навіть якщо відбувається зміна в якомусь одному компоненті – це неминуче призведе до змін в усьому біогеоценозі.

Таблиця 2.1

Вплив діяльності, пов’язаної з незаконним видобуванням бурштину на окремі компоненти ландшафту [49;50]

Компонент ландшафту	Характер змін	Наслідки
Атмосферне повітря	забруднення внаслідок спалювання паливно-мастильних матеріалів	викиди в атмосферу CO, CO ₂ , SO ₂ , NO ₂ та інших шкідливих речовин
Геологічна будова	порушення геологічної структури території та виснаження надр	деформація земної поверхні, пошкодження родовищ корисних копалин, яке повністю виключає або суттєво обмежує можливість їх подальшої експлуатації
Ґрунтовий покрив	зменшення/втрата верхнього шару; порушення цілісності ґрунтового покриву; деградація та втрата	погіршення якості ґрунту; осування ґрунту; виникнення процесів вітрової та водної ерозії

	родючості; засмічення земельної ділянки	
Водні об'єкти	самовільне використання поверхневих та підземних вод; засмічення водотоків відходами від видобутку; незаконне утворення нових водойм на місці ям-копанок	порушення гідрологічного режиму річкової мережі та усієї території загалом; зниження рівня ґрунтових вод; можливе підтоплення території
Рослинність	порушення цілісності трав'яного покриву; пошкодження кореневої системи дерев	зnelіснення великих ділянок території; виникнення процесів вітрової ерозії та зсувів ґрунту

РОЗДІЛ III. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРИТОРІЙ НЕЛЕГАЛЬНОГО ВИДОБУТКУ БУРШТИНУ ЗА ДАНИМИ ДЗЗ

3.1. Вибір, підготовка та первинна обробка супутникових даних

Для вирішення ряду задач під час проведення геоecологічного моніторингу можуть бути використані дані ДЗЗ, отримані з різних знімальних систем. Кожен сенсор має різні характеристики, основними з яких є періодичність оновлення, просторова та радіометрична роздільна здатність, частотний діапазон тощо.

Основними критеріями відбору супутникових знімків при проведенні моніторингу та оцінюванні геоecологічного стану територій видобутку корисних копалин були наступні [90]:

- середня роздільна здатність;
- доступність архівних даних для здійснення моніторингу змін земної поверхні території дослідження;
- низький відсоток хмарності на космічному знімку, що покриває територію дослідження;
- дата зйомки у теплий період року (з травня по вересень), оскільки при наявності рослинного покриву на земній поверхні порушені ділянки набагато краще дешифруються;
- наявність супутникових даних у вільному доступі.

Відповідно до вищенаведених критеріїв, для моніторингу територій нелегального видобутку бурштину на території Житомирського Полісся було обрано дані супутників серії Sentinel-2 та Landsat 8.

Супутники Sentinel-2A і Sentinel-2B призначені для мультиспектральної зйомки середньої просторової здатності задля здійснення дистанційного спостереження та фіксування змін у лісовому та земельному покриттях, відстеженням наслідків стихійних лих.

Межі покриття зйомки супутників серії Sentinel-2A і Sentinel-2B складають від 56° пд. ш. до 84° пн. ш. Існує декілька рівнів даних. Користувачам видаються тільки продукти рівня 1С і 2А. Операції обробки даних рівня 0 виконуються в реальному часі під час операцій прийому даних. Обробка рівня 1 використовує консолідовані дані рівня 0 як вхідні дані. Обробка рівня 1А орієнтована на розпакування відповідних вихідних пакетів місії. Продукт Level-1А недоступний для користувачів. Обробка рівня 1В використовує продукт рівня 1А і застосовує необхідні радіометричні поправки. Він також недоступний. Обробка 1С використовує продукт рівня 1В і застосовує радіометричні та геометричні поправки (включаючи орторектифікацію та просторову реєстрацію). Обробка рівня 2 (Level-2А) включає в себе класифікацію сцени і корекцію атмосферного впливу, що застосовується до зображень. Основним виходом рівня 2А є продукт з корекцією відбиття нижньої частини атмосфери (рис. 3.1) [69].

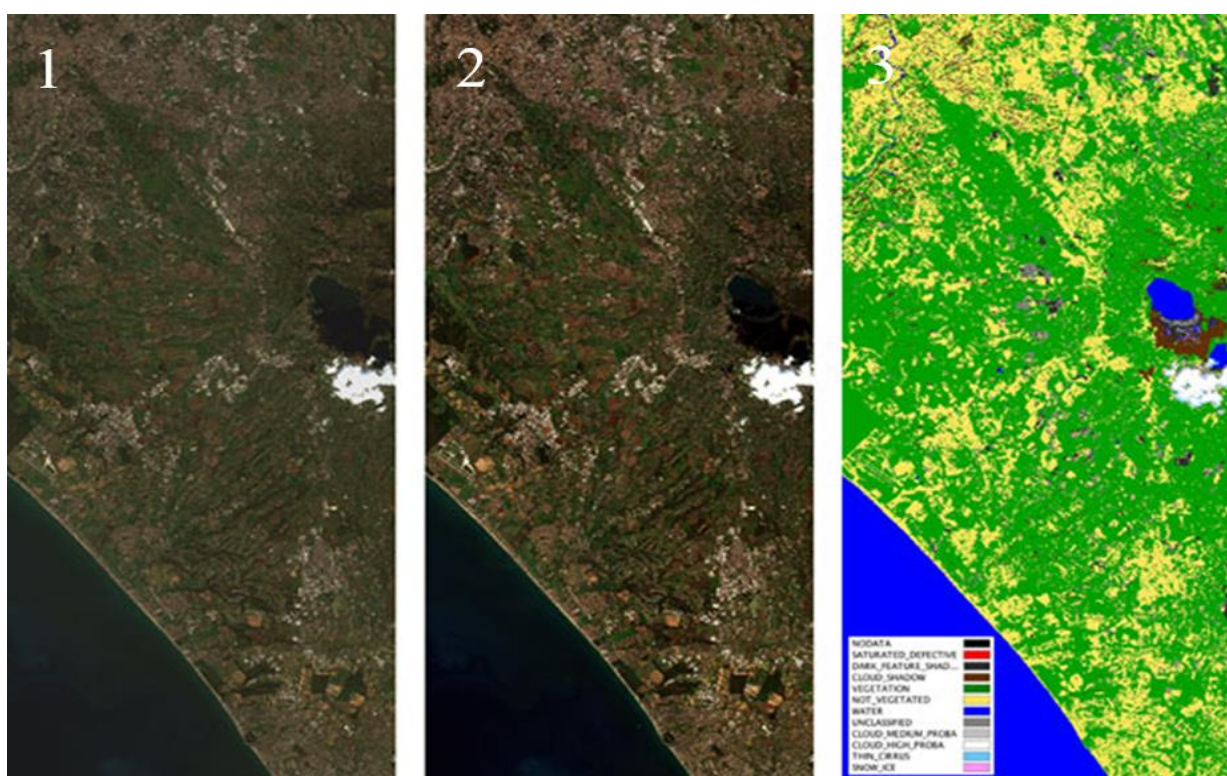


Рис. 3.1. Рівні обробки даних [69]. 1 – вхідне зображення Level-1С, 2 – зображення рівня 2А із атмосферною корекцією, 3 – класифікація вихідної сцени продукту Level-1С

Завдяки середній роздільній здатності супутників Sentinel-2 (у 10, 20 та 60 м в залежності від каналу), геометричній точності та періоду знімання такі дані незамінні у процесі моніторингу екологічно небезпечних явищ, одним із яких і являється нелегальний видобуток бурштину.

З метою проведення геокологічного моніторингу та оцінки змін у структурі земельних покривів території дослідження було обрано космознімки за останні 4 роки – 2017-2020рр. що знаходяться у вільному доступі на веб-порталі Sentinel Hub <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>.

На території Житомирського Полісся несанкціонована діяльність, пов'язана із вилученням бурштину найбільше проявляється в Олевському районі [90], тому ділянкою досліджень було вибрано саме цю територію (поблизу населених пунктів Обище, Шебедиха та Замисловичі).

Для проведення моніторингу було завантажено знімки, отримані 27.08.2017р., 14.08.2018р., 24.08.2019 та 16.08.2020р. як найбільш репрезентативні через найнижчий відсоток хмарності.

Ідентифікатори завантажених супутникових знімків:

1. S2A_MSIL2A_20170827T092031_N0205_R093_T35UNS_20170827T092029
2. S2B_MSIL2A_20180814T090549_N0208_R050_T35UNS_20180814T180143
3. S2A_MSIL2A_20190824T090601_N0213_R050_T35UNS_20190824T113523
4. S2B_MSIL2A_20200816T092029_N0214_R093_T35UNS_20200816T113749

Завдання першого етапу досліджень було розділено на два етапи:

1. Приведення каналів до однакової роздільної здатності (без урахування 1, 9 і 10 каналів що мають найменшу РЗ – лише 60м).
2. Вирізання області інтересу.

Опрацювання космічних знімків виконувалося у геоінформаційній системі QGIS 3.16 за допомогою окремого модуля Semi-Automatic Classification Plugin (SCP) [67;68], що був розроблений спеціально для роботи з мультиспектральними знімками Landsat, Sentinel-1, Sentinel-2, Sentinel-3, ASTER, MODIS та GOES.

Для проведення подальших робіт всі канали зображення були приведені до одного значення роздільної здатності (resampling), в нашому випадку до 10 м за допомогою меню Preprocessing. У зв'язку із великими розмірами космознімків (280×280 км) та складністю опрацювання даних таких розмірів було виконано вирізання досліджуваної області – фрагменту території, де найбільш виражене явище нелегального видобутку бурштину.

3.2. Дешифрування земельних покривів території дослідження за спектральними характеристиками

Термін «дешифрування» означає «процес розпізнавання об'єктів, їх властивостей і взаємозв'язків за їхніми зображеннями на космічному знімку» [76]. Згідно більш розгорнутого визначення, дешифрування – це процес вивчення за аеро- та космічним зображенням територій, акваторій і атмосфери, в основі якого лежить залежність між властивостями об'єктів дешифрування і характером їх відтворення на знімках. В англійській літературі як аналог терміну «дешифрування» зазвичай використовується «аналіз та інтерпретація зображень (Image analysis and interpretation) [76].

Змістом і завданням дешифрування є отримання певного обсягу якісної і кількісної інформації про стан, склад, структуру, розміри, взаємозв'язки і динаміку процесів, явищ і об'єктів за допомогою дешифрувальних ознак.

Розрізняють візуальне дешифрування, інструментальне або вимірювальне та автоматичне дешифрування. За змістом дешифрування може бути загальногеографічним (топографічним), тематичним (геологічним, геоботанічним, ґрунтовим) або спеціальним (меліоративним, лісовпорядним тощо). Автоматичне (автоматизоване) дешифрування включає в себе завдання класифікації зображень, розпізнавання образів [76].

Ключовим у здійсненні дешифрування є візуальне розрізнення дешифрувальних ознак – елементів зображення, що визначають можливість коректної інтерпретації і подальшого картографування місцевості. Розрізняють прямі (елементи зображення самого об'єкта) і непрямі (елементи зображення, що допомагають розпізнаванню об'єкта дешифрування) ознаки, успішне використання яких залежить від досвіду самого дослідника.

В цілому методологія дешифрування передбачає наявність наступних етапів [34]:

- 1) вивчення досвіду і рекомендацій по даному виду дешифрування і по конкретній місцевості;
- 2) виявлення набору об'єктів дешифрування (об'єктів інтересу) і властивих їм дешифрувальних ознак;
- 3) підбір знімального матеріалу і обчислювальних засобів (комп'ютерних програм), що дозволяють використовувати виявлені дешифрувальні ознаки об'єктів інтересу;
- 4) дешифрування знімків і оцінка достовірності результатів;
- 5) оформлення результатів дешифрування.

Спектральні характеристики є основним параметром на основі якого здійснюється дешифрування різних ландшафтів земної поверхні.

Після виконання підготовчих робіт (приведення каналів до однієї роздільної здатності та вирізання території інтересу) здійснювалась побудова індексних та композитних зображень на основі підбору спектральних каналів (табл.3.2), які найкраще підходять для дешифрування земельних покривів.

Таблиця 3.2

Перелік спектральних каналів Sentinel-2 [1]

№ (band)	Інтерпретація каналів	Довжина хвилі, нм	Роздільна здатність, м
1	Coastal aerosol	0,443	60
2	Blue	0,490	10
3	Green	0,560	10

4	Red	0,665	10
5	Vegetation red edge	0,705	20
6	Vegetation red edge	0,740	20
7	Vegetation red edge	0,783	20
8	NIR	0,842	10
8a	Narrow NIR	0,865	20
9	Water vapour	0,945	60
10	SWIR – Cirrus	1,375	60
11	SWIR-1	1,610	20
12	SWIR-2	2,190	20

Методом підбору спектральних каналів було встановлено найпридатніші для ідентифікації порушених земель та вибору еталонних ділянок композити.

Комбінація **4-3-2 (Red, Green, Blue)**, «природні кольори» (рис.3.2-3.5). Застосовується для оцінки і вивчення антропогенних об'єктів. Об'єкти земної поверхні виглядають схожими на те, як вони сприймаються людським оком [76]. Рослинність набуває кольору від яскраво- до темно-зеленого, дороги – сірого та світло-сірого кольору, відкритий ґрунт виділяється яскравим білим кольором.

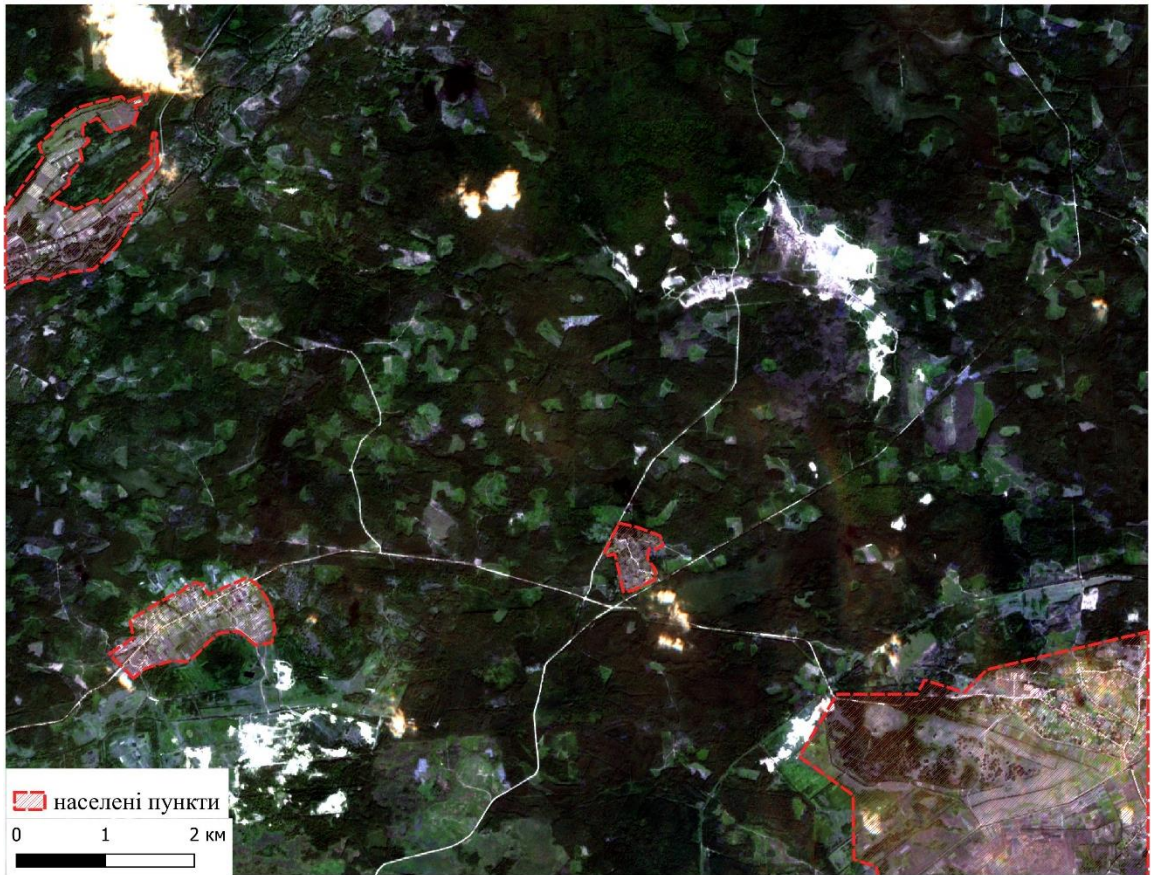


Рис. 3.2. Композитне зображення, утворене комбінацією каналів В4, В3, В2. Дата зйомки 27.08.2017 р.

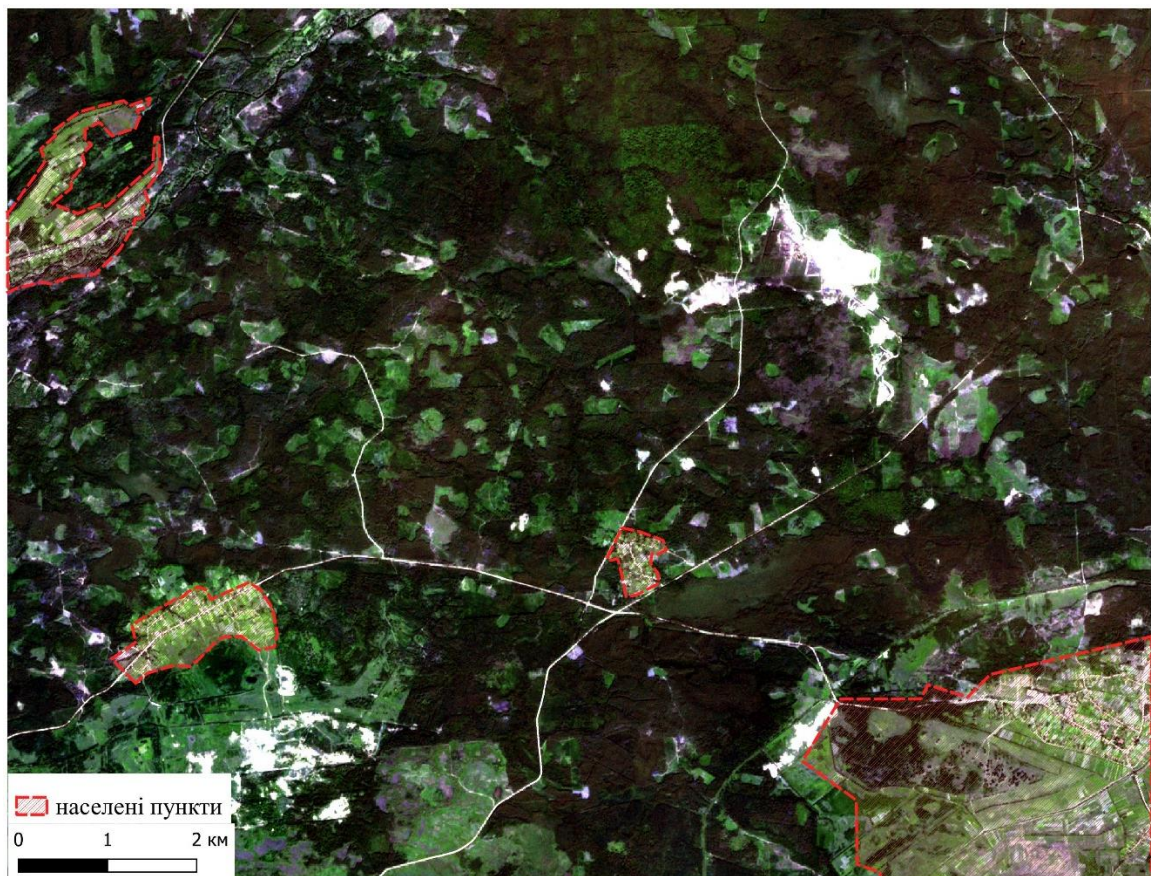


Рис. 3.3. Композитне зображення, утворене комбінацією каналів В4, В3, В2. Дата зйомки 14.08.2018 р.

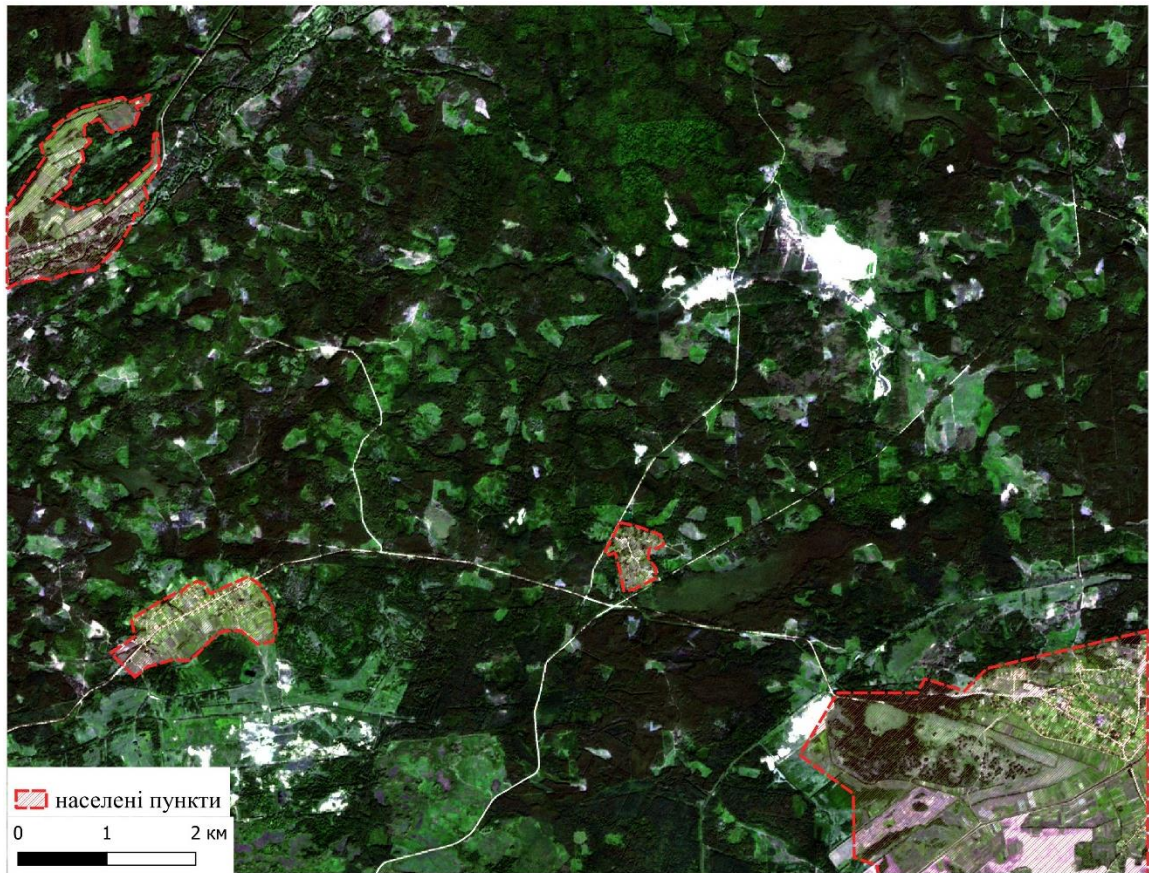


Рис. 3.4. Композитне зображення, утворене комбінацією каналів В4, В3, В2. Дата зйомки 24.08.2019 р.

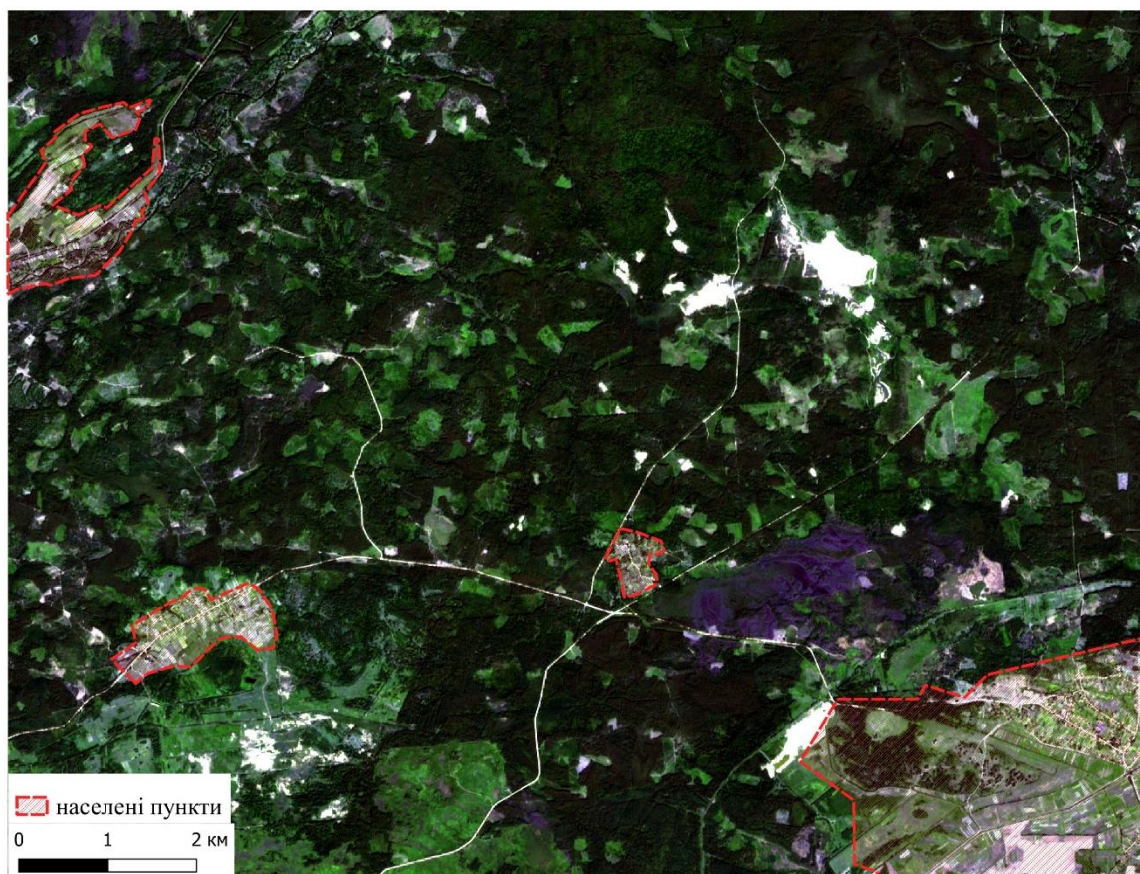


Рис. 3.5. Композитне зображення, утворене комбінацією каналів В4, В3, В2. Дата зйомки 16.08.2020 р.

Комбінація 8-4-3 (NIR, Red, Green), «штучні» або «червоні» кольори (рис.3.6-3.9). Застосовується для вивчення стану рослинного покриву, моніторингу дренажу і ґрунтової мозаїки, вивчення сільськогосподарських культур [76]. Насичені відтінки червоного із бархатистою текстурою є індикаторами широколистяної рослинності, в той час як більш світлі відтінки характеризують трав'янисту рослинність або рідколісся/чагарники. Хвойний ліс ідентифікується темно-червоним кольором, житлова забудова має зелено-блакитні кольори. Пошкоджені землі внаслідок видобутку ідентифікуються яскравим бірюзовим кольором, ділянки відкритого ґрунту – білим.

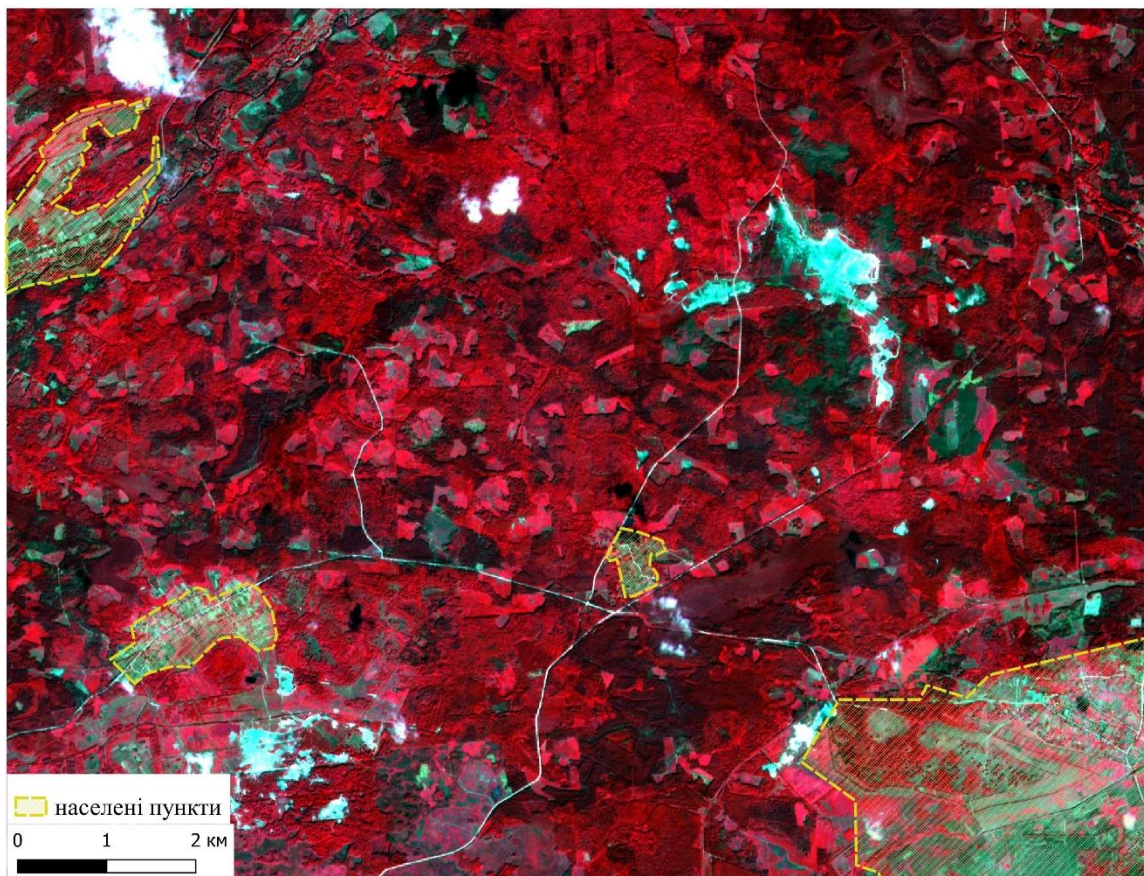


Рис. 3.6. Композитне зображення, утворене комбінацією каналів В8, В4, В3. Дата зйомки 27.08.2017 р.

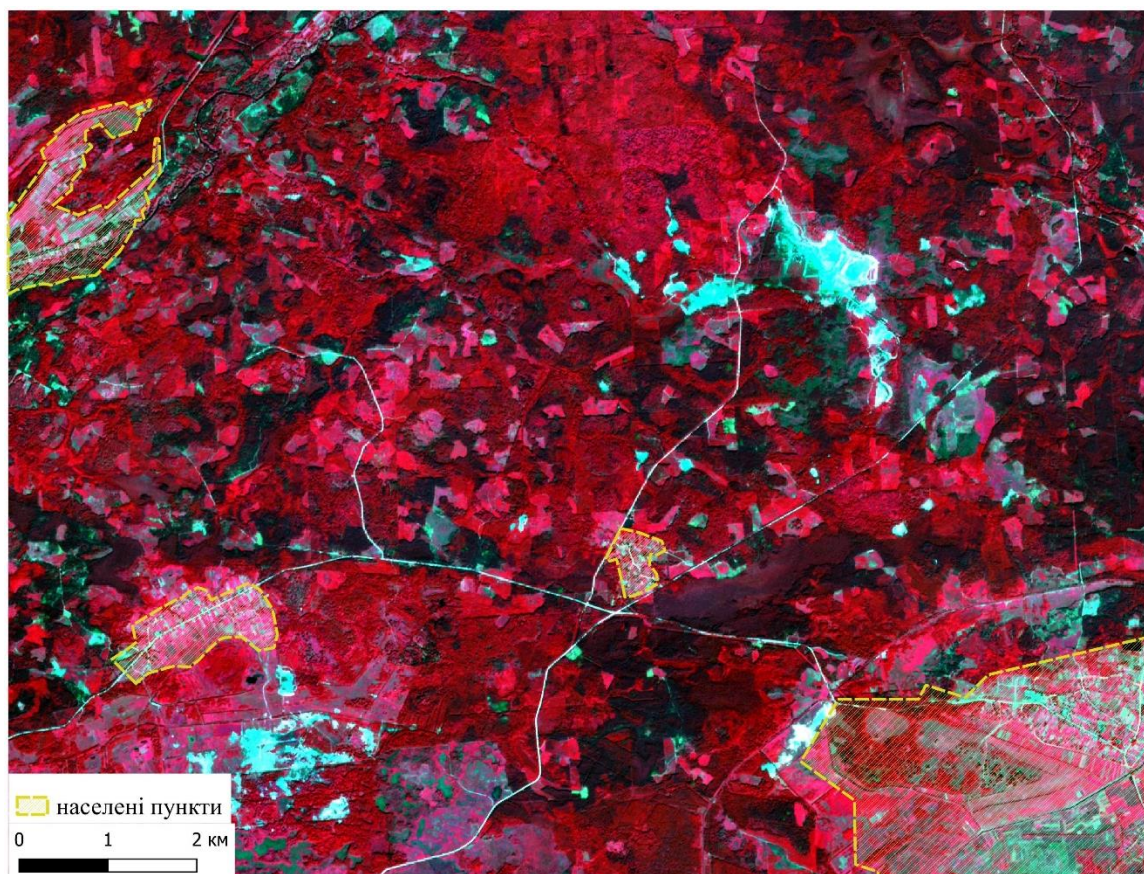


Рис. 3.7. Композитне зображення, утворене комбінацією каналів В8, В4, В3. Дата зйомки 14.08.2018 р.

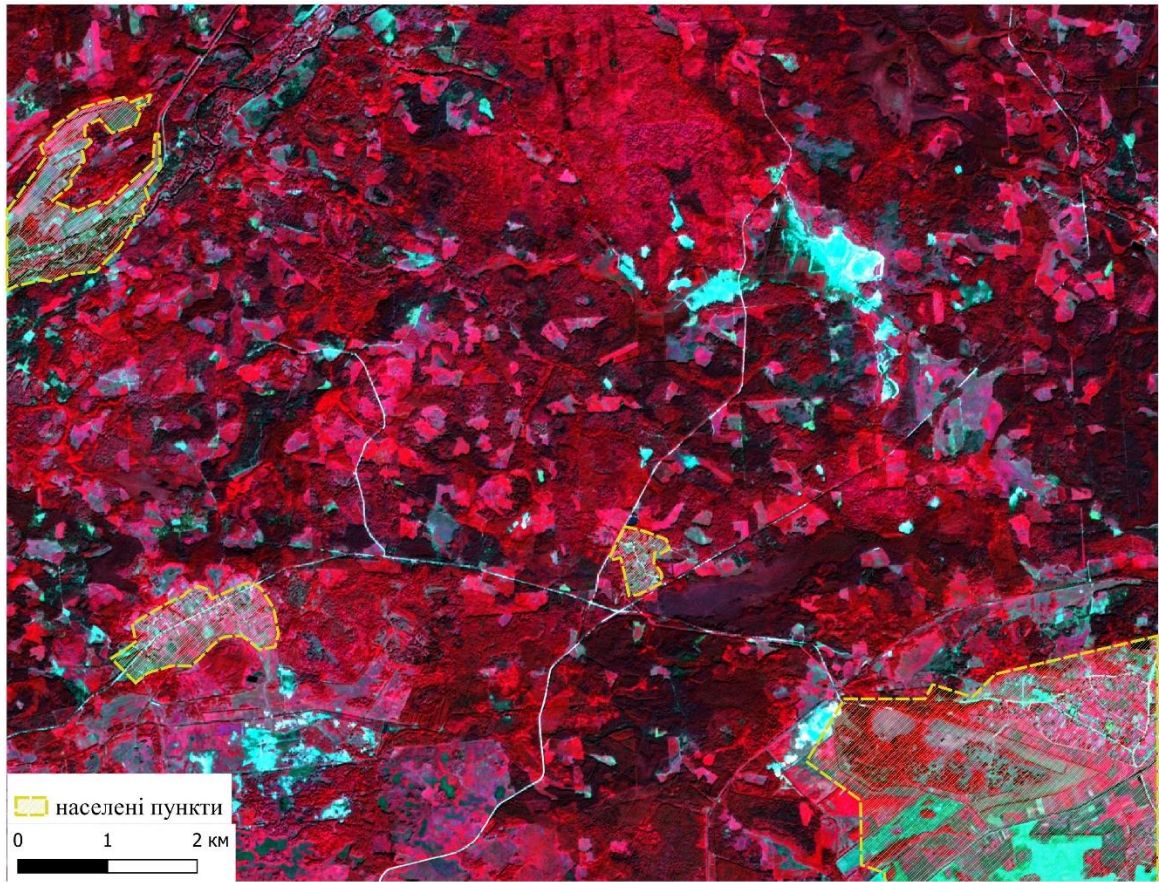


Рис. 3.8. Композитне зображення, утворене комбінацією каналів В8, В4, В3. Дата зйомки 24.08.2019р.

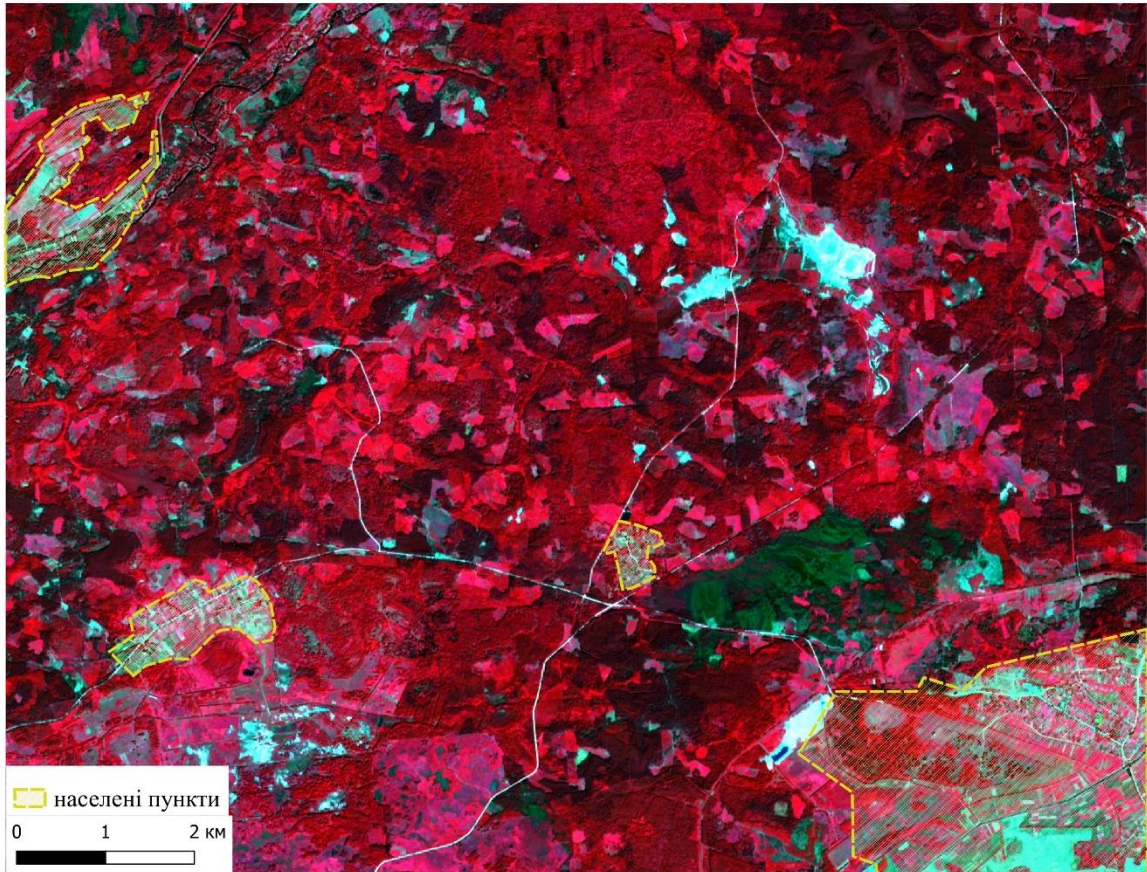


Рис. 3.9. Композитне зображення, утворене комбінацією каналів В8, В4, В3. Дата зйомки 16.08.2020р.

При комбінації **11-8-3 (SWIR, NIR, Green)** (рис. 3.10-3.13) відтінками рожевого виділяються лісові вирубки, відтінками білого – відкритий ґрунт. Чітко ідентифікуються пошкоджені ділянки, що мають синій колір. Також добре дешифруються ділянки хвойного лісу, позначені темно-зеленим кольором, широколистяні ліси (яскраво-зелений колір), трав'яниста рослинність має яскравий світло-зелений відтінок. Міська забудова відображається у відтінках рожево-фіолетового.

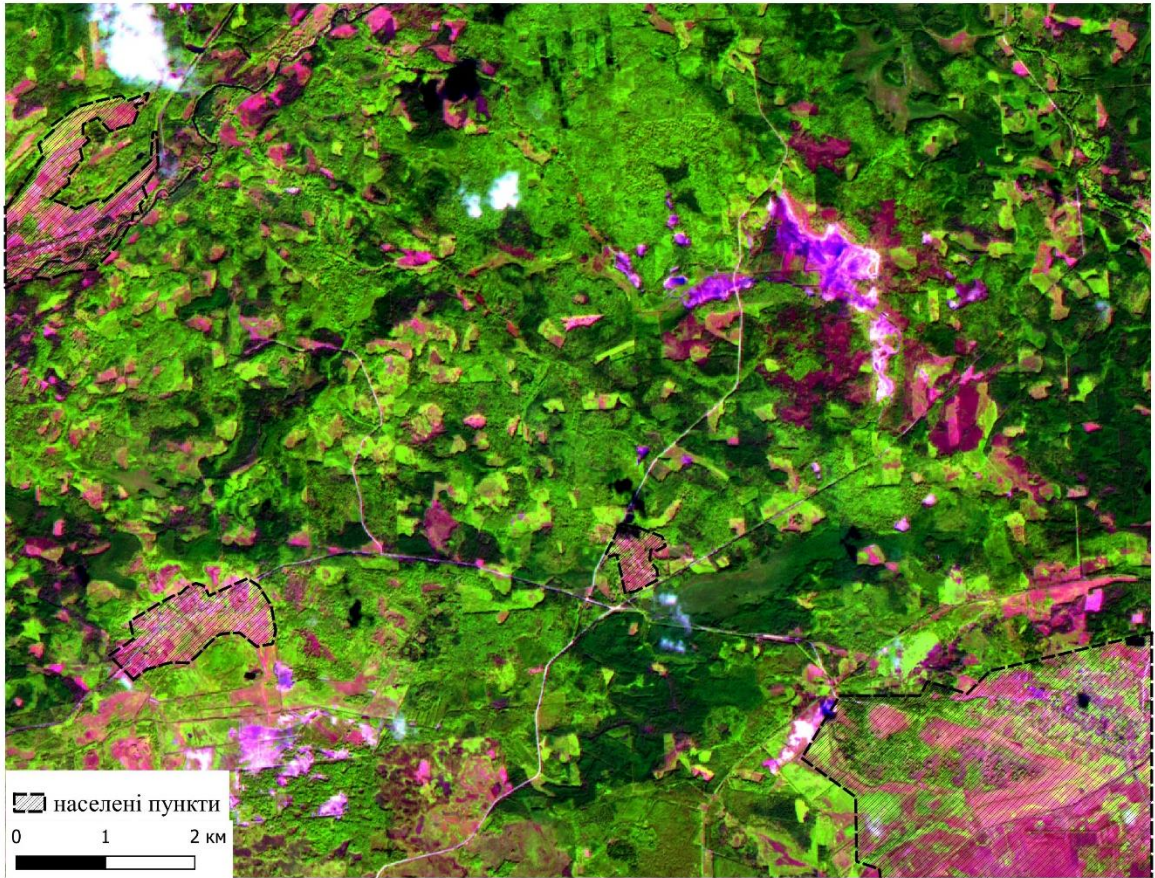


Рис. 3.10. Композитне зображення, утворене комбінацією каналів B11, B8, B3. Дата зйомки 27.08.2017 р.

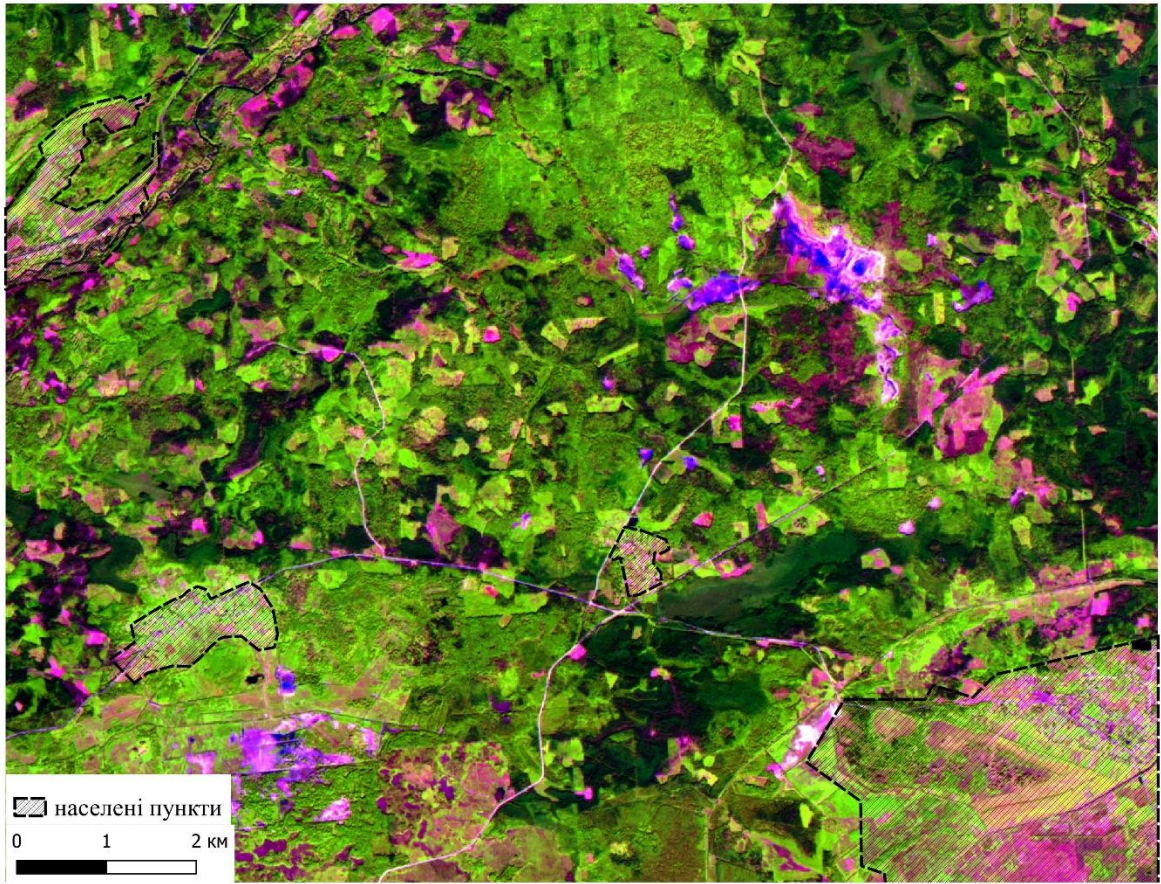


Рис. 3.11. Композитне зображення, утворене комбінацією каналів В11, В8, В3. Дата зйомки 14.08.2018 р.

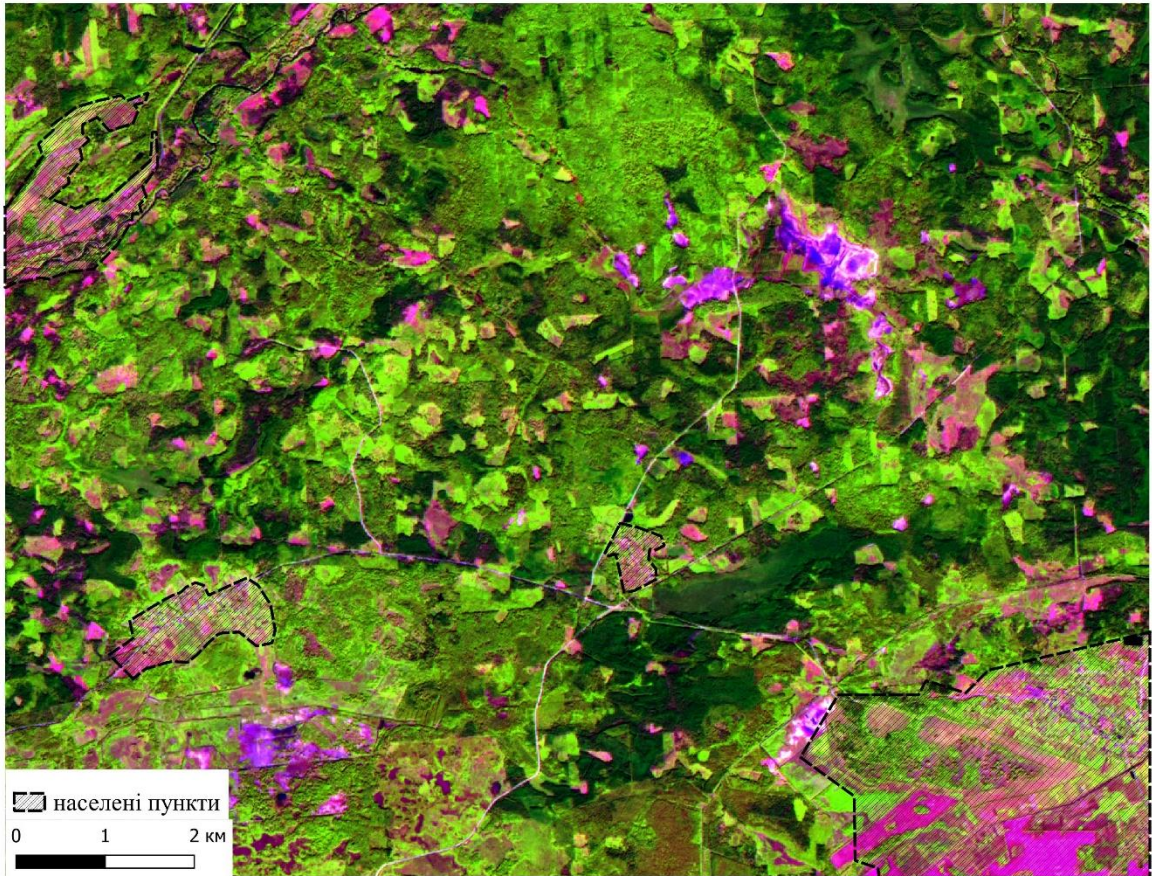


Рис. 3.12. Композитне зображення, утворене комбінацією каналів В11, В8, В3. Дата зйомки 24.08.2019р.

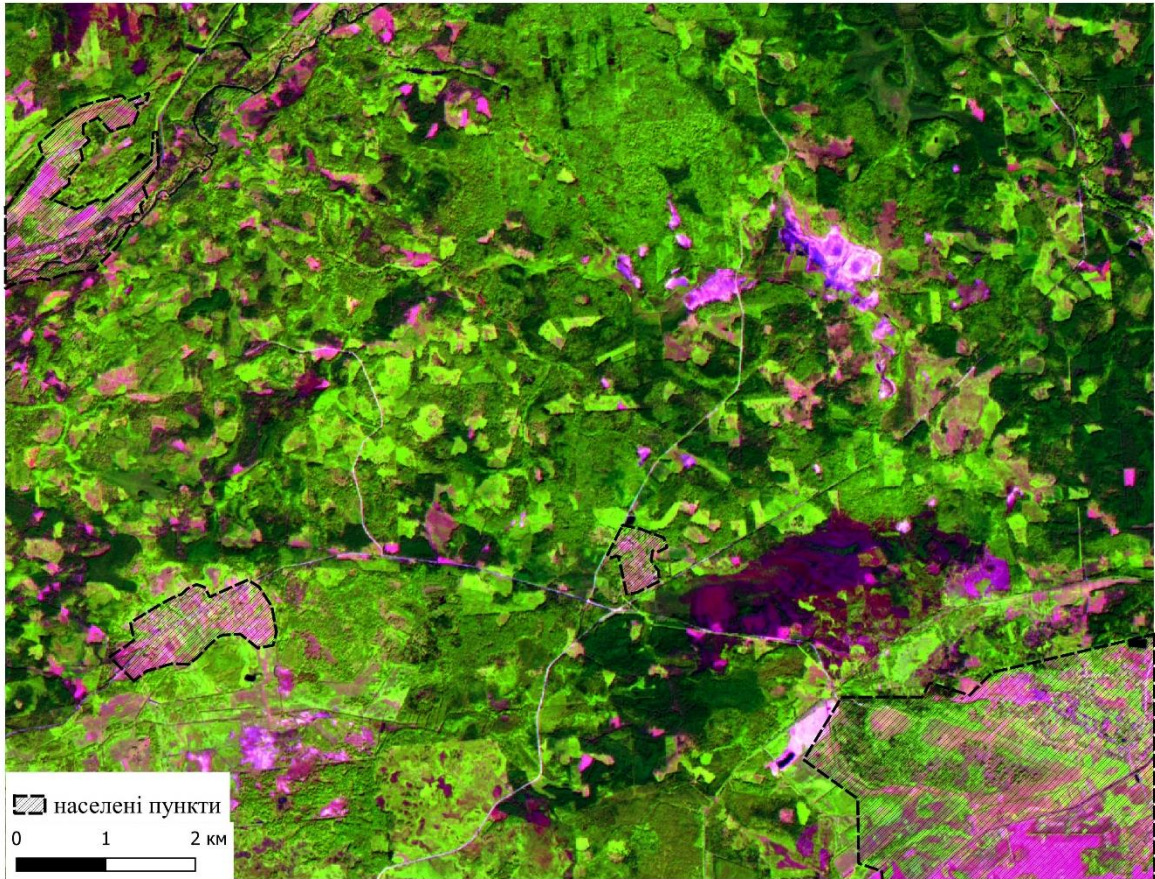


Рис. 3.13. Композитне зображення, утворене комбінацією каналів В11, В8, В3. Дата зйомки 16.08.2020р.

Комбінація 12-8А-4 (SWIR, NIR, Red) (рис. 3.14-3.17). Цей композит показує рослинність у різних відтінках зеленого. Загалом, темні відтінки зеленого вказують на більш щільну рослинність. Пошкоджені внаслідок видобутку ділянки мають яскраво-рожевий колір.

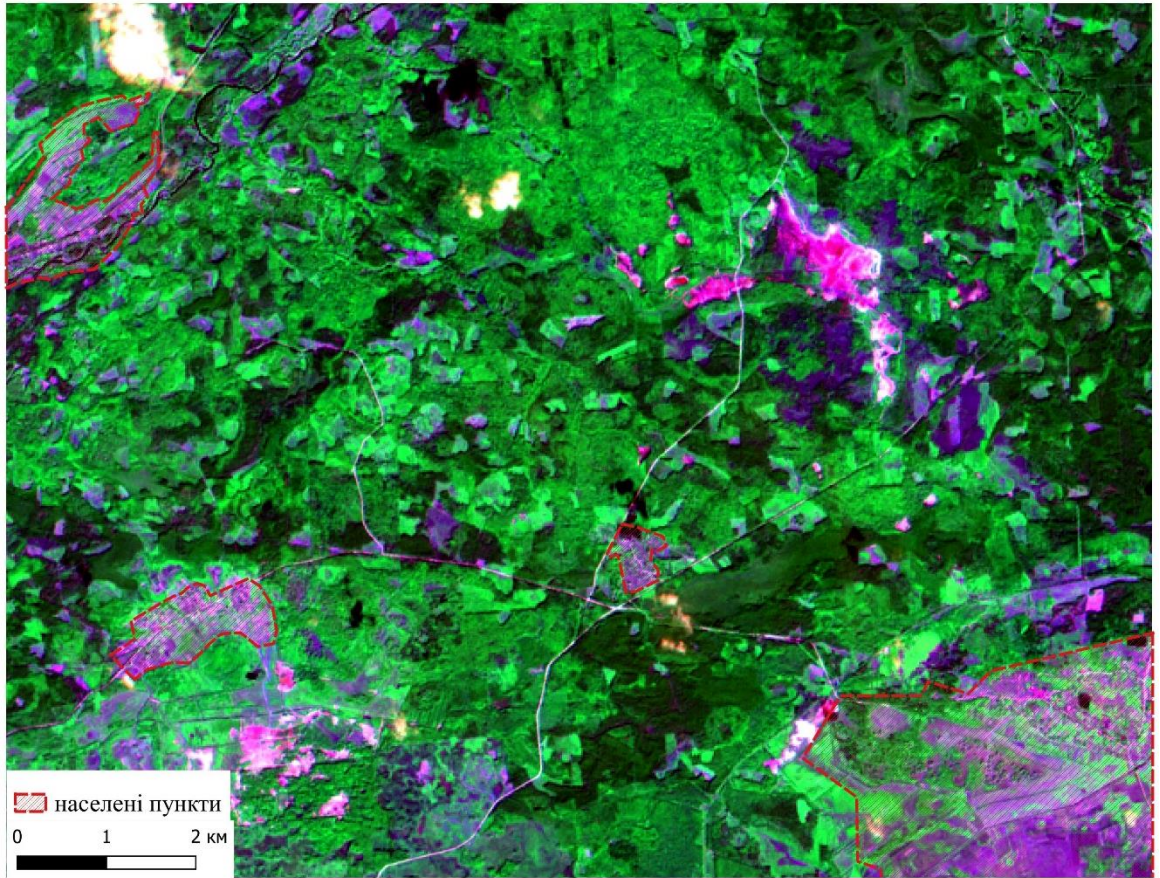


Рис. 3.14. Композитне зображення, утворене комбінацією каналів В12, В8А, В4. Дата зйомки 27.08.2017 р.

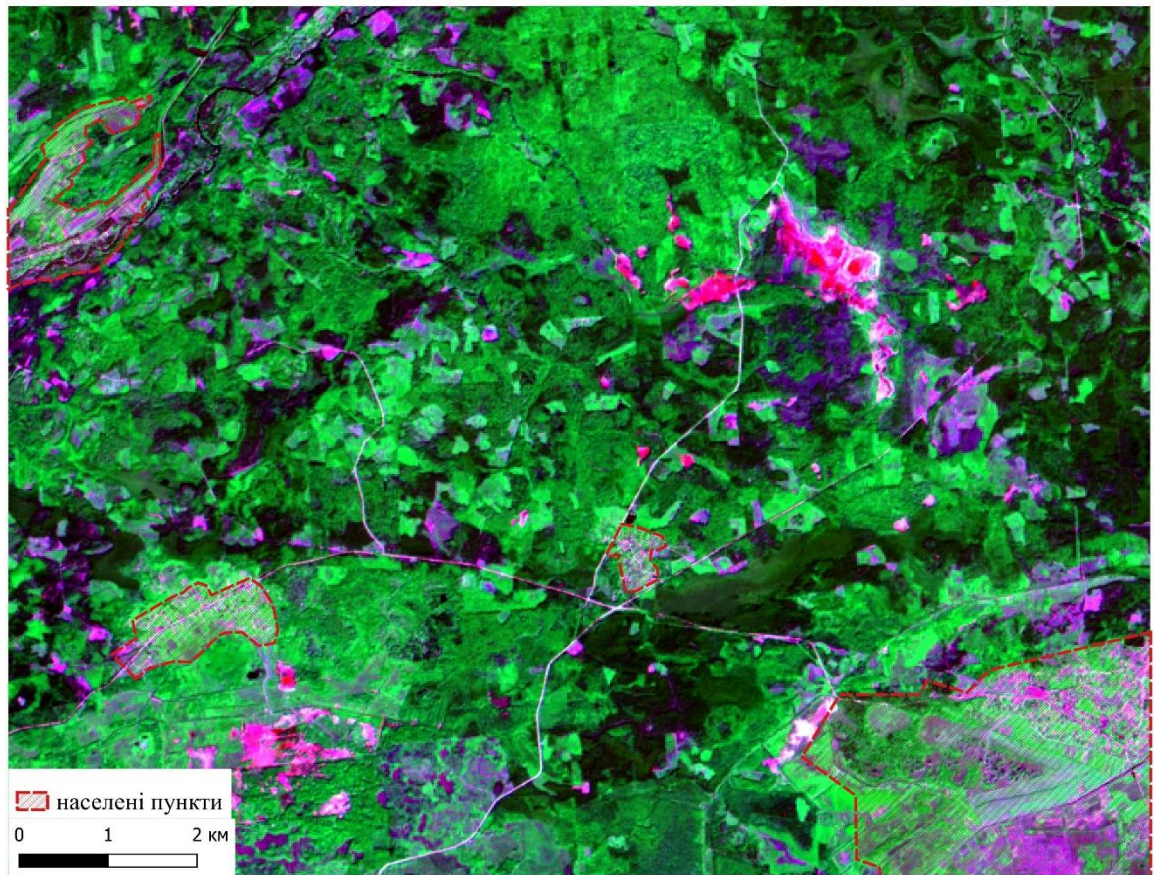


Рис. 3.15. Композитне зображення, утворене комбінацією каналів В12, В8А, В4. Дата зйомки 14.08.2018 р.

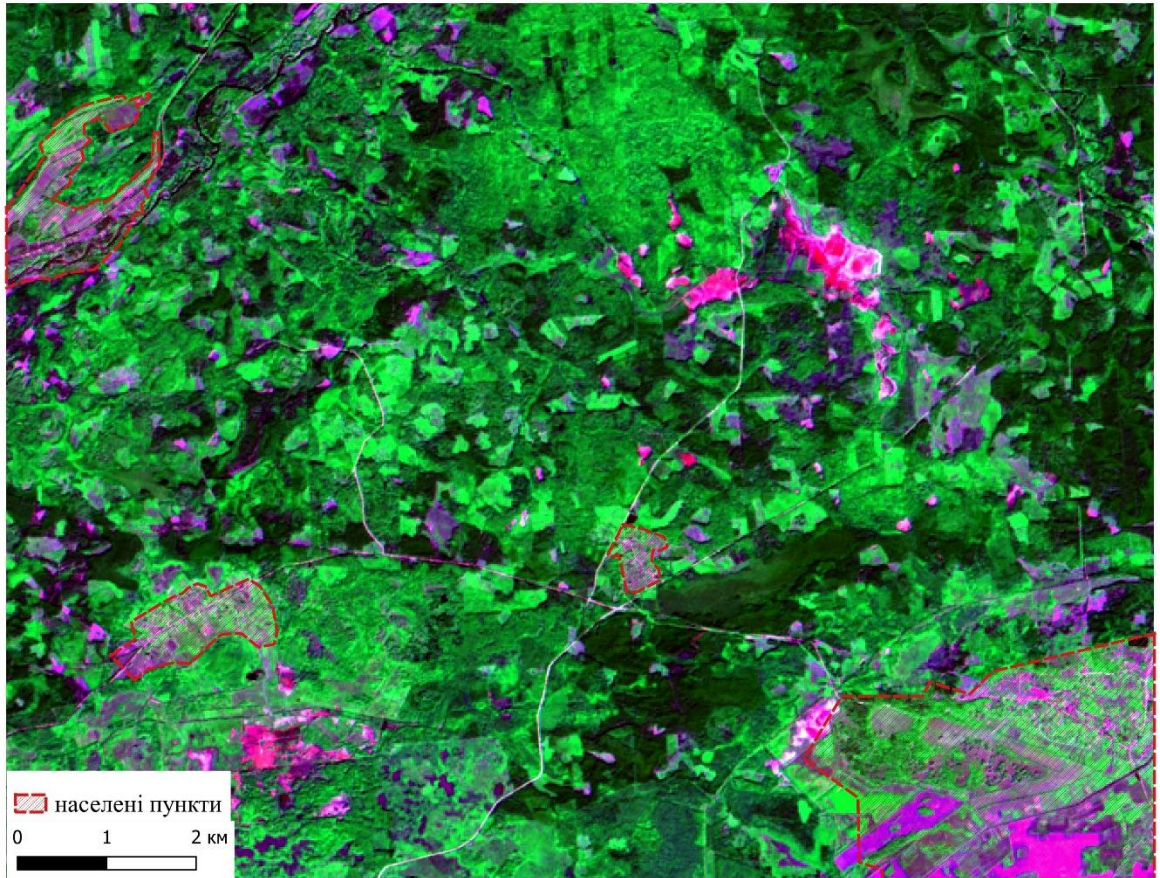


Рис. 3.16. Композитне зображення, утворене комбінацією каналів В12, В8А, В4. Дата зйомки 24.08.2019 р.

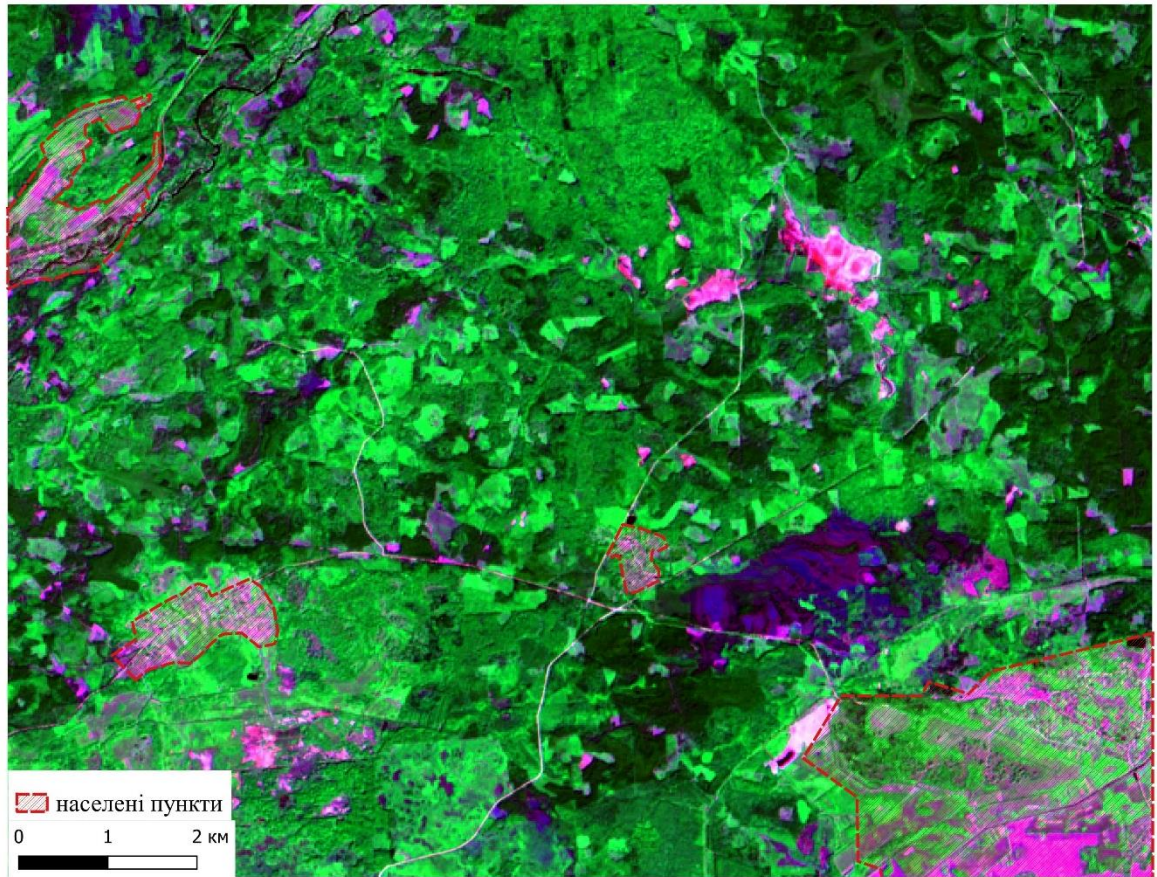


Рис. 3.17. Композитне зображення, утворене комбінацією каналів В12, В8А, В4. Дата зйомки 16.08.2020 р.

Комбінація 8-11-2 (NIR, SWIR, Blue) (рис. 3.18-3.21). Здорова рослинність відображається у відтінках коричневого, оранжевого та зеленого. Ґрунти можуть виглядати зеленими або коричневими, урбанізовані території – білі та сірі. Зелено-блакитний та яскоро-блакитний колір мають ділянки видобутку бурштину.

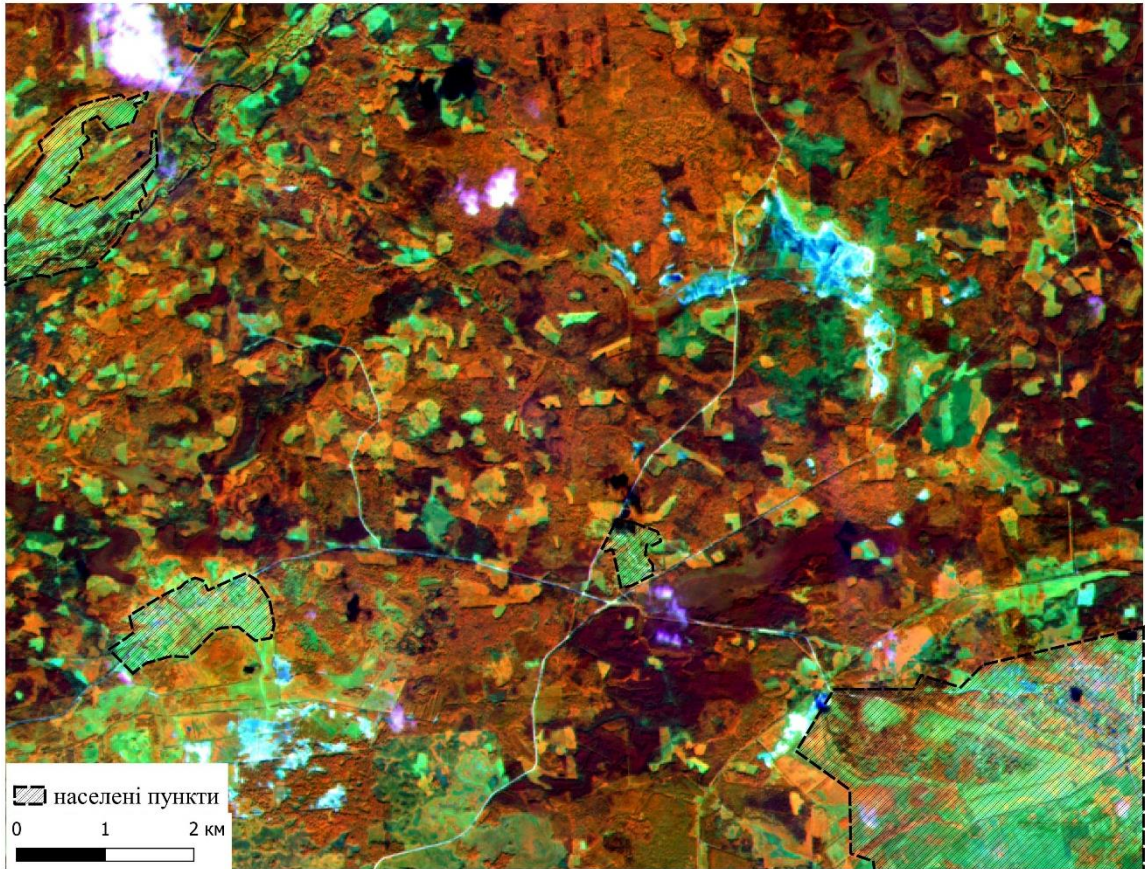


Рис. 3.18. Композитне зображення, утворене комбінацією каналів B8, B11, B2. Дата зйомки 27.08.2017 р.

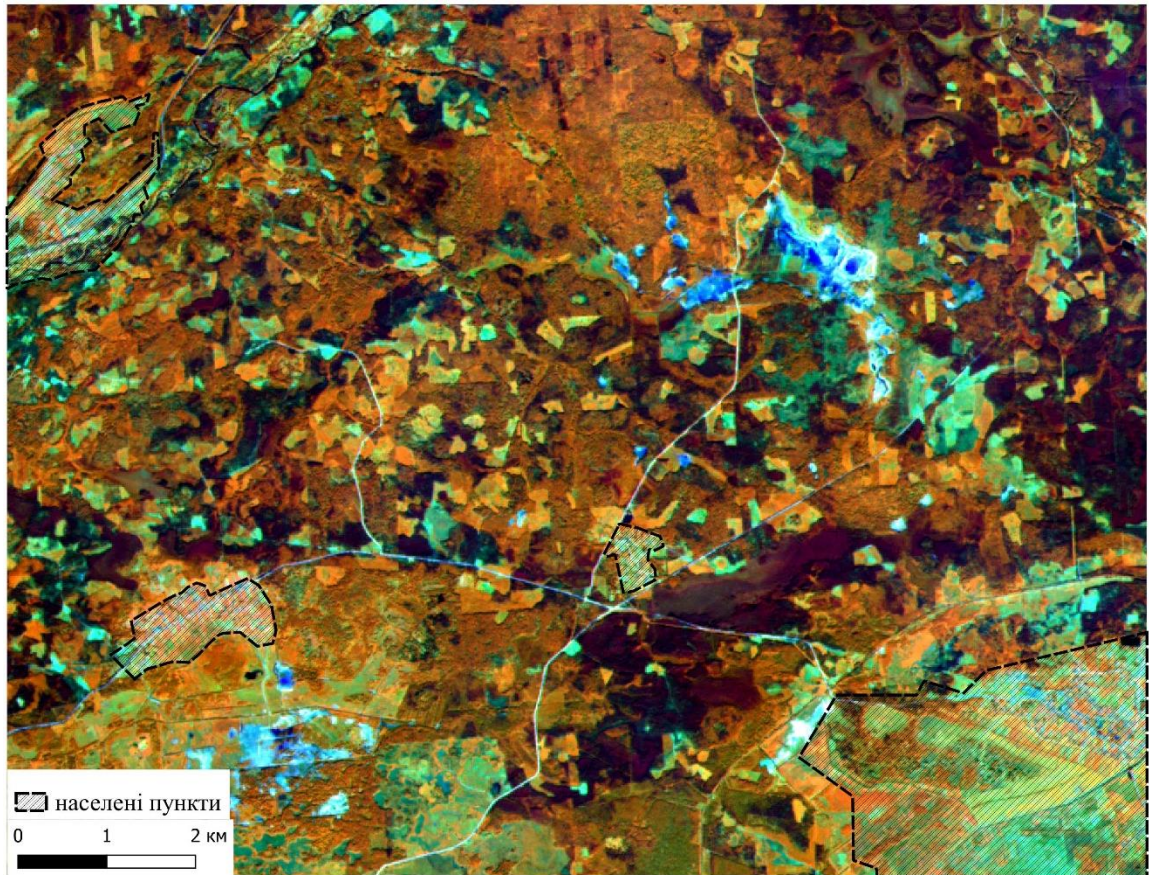


Рис. 3.19. Композитне зображення, утворене комбінацією каналів B8, B11, B2. Дата зйомки 14.08.2018 р.

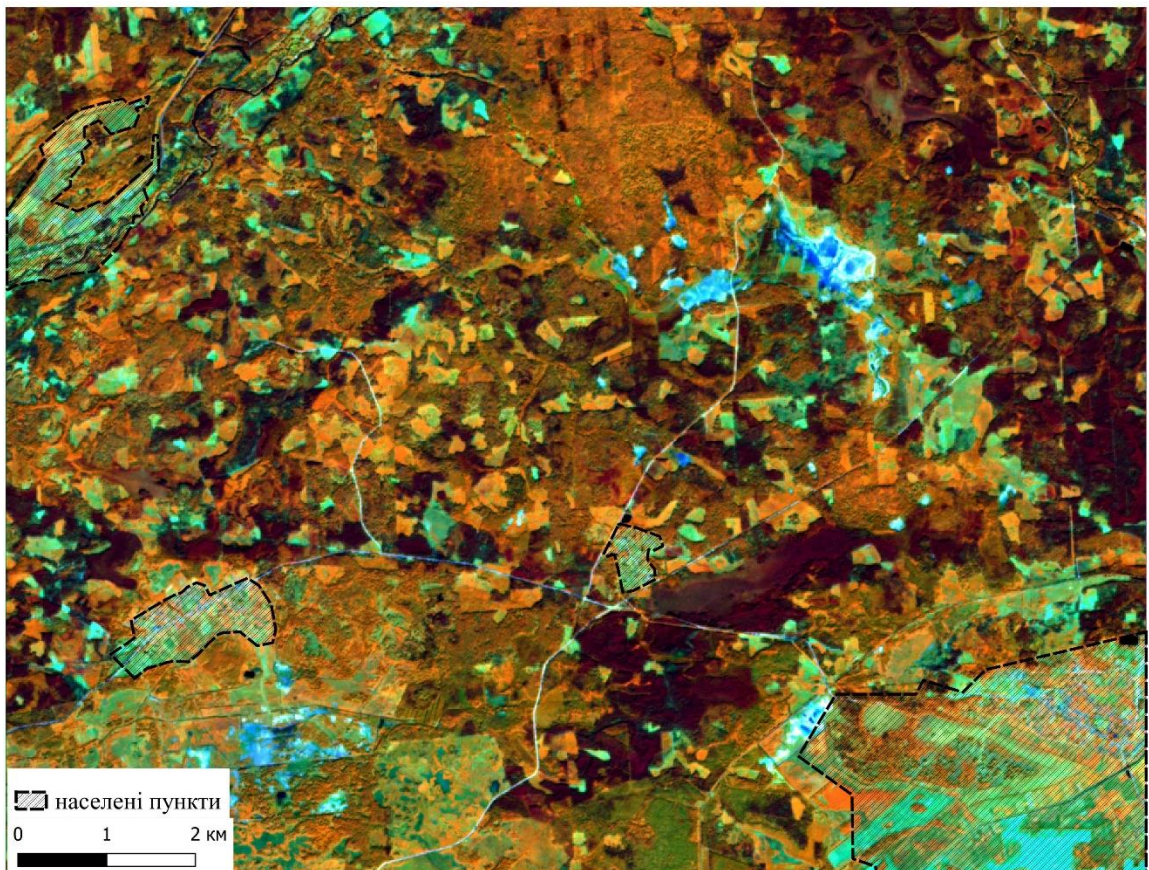


Рис. 3.20. Композитне зображення, утворене комбінацією каналів В8, В11, В2. Дата зйомки 24.08.2019 р.

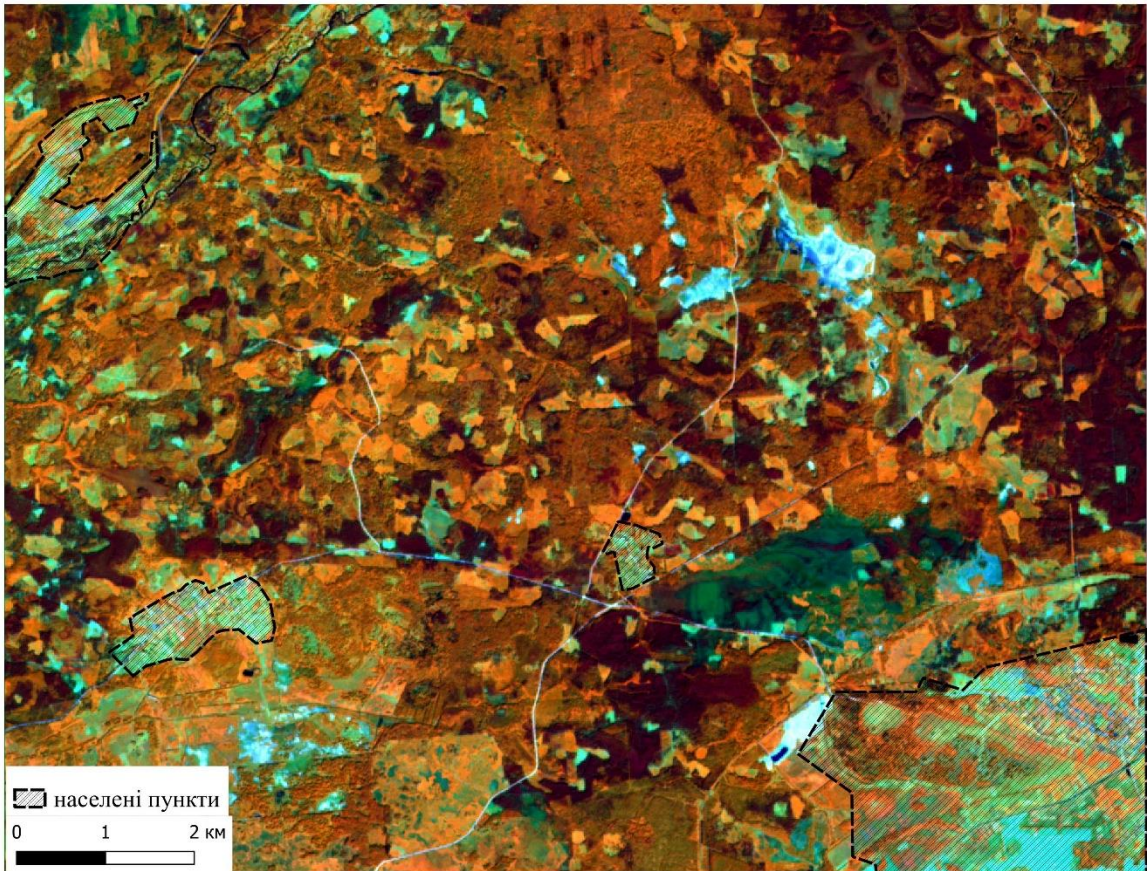


Рис. 3.21. Композитне зображення, утворене комбінацією каналів В8, В11, В2. Дата зйомки 16.08.2020 р.

3.3. Моніторинг температур поверхні території дослідження за знімками Landsat 8

На сучасному етапі дешифрування космічних знімків в інфрачервоному діапазоні має важливе значення для вивчення властивостей та характеристик предметів, розміщених на земній поверхні, непомітних для людського ока. Дані теплової зйомки застосовуються у різних галузях наук про Землю, зокрема у картографії, гідрології, геології тощо [17].

Технології теплової космічної зйомки почали активно розроблятися з середини ХХ ст. Вони застосовувалися для пошуку корисних копалин, для інженерних завдань. З появою можливостей отримання зображень земної поверхні з космосу спектр завдань значно розширився [26].

Найбільшою просторовою роздільною здатністю серед наявних у відкритому доступі теплових космічних знімків є знімки системи TIRS (РЗ 100 м), встановленої на борту супутника Landsat-8. Сканер TIRS призначений для отримання зображень у дальньому ІЧ. TIRS веде зйомку в двох каналах 10,6–11,2 мкм (10 канал) та 11,5–12,5 мкм (11 канал) [26]. Саме тому для вивчення розподілу поверхневих температур ландшафтів на території дослідження було обрано знімки системи TIRS супутника Landsat-8. Температура земної поверхні визначалася за показниками теплових каналів (табл. 3.3).

Таблиця 3.3

Перелік спектральних каналів Landsat 8 [35]

№ (band)	Інтерпретація каналів	Довжина хвилі, нм	Роздільна здатність, м
1	Coastal aerosol	0,43 – 0,45	30
2	Blue	0,45 – 0,51	30
3	Green	0,53 – 0,59	30
4	Red	0,64 – 0,67	30
5	Near Infrared (NIR)	0,85 – 0,88	30
6	SWIR 1	1,57 – 1,65	30
7	SWIR 2	2,11 – 2,29	30
8	Panchromatic	0,50 – 0,68	15
9	Cirrus	1,36 – 1,38	30
10	Thermal Infrared (TIRS) 1	10,60 – 11,19	100
11	Thermal Infrared (TIRS) 2	11,50 – 12,51	100

Сцени було завантажено із відкритого каталогу даних <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Були обрані знімки другого рівня обробки – Landsat 8 OLI/TIRS C2 L2 [10].

Ідентифікатори завантажених сцен:

- 1) LC08_L2SP_183024_20170831_20200903_02_T1_ST_V10;
- 2) LC08_L2SP_183024_20180901_20200831_02_T1_ST_V10;
- 3) LC08_L2SP_184024_20190829_20200826_02_T1_ST_V10;
- 4) LC08_L2SP_184024_20200830_20200906_02_T1_ST_V10.

Температура земної поверхні визначалася за показниками термального каналу №10 [9]. Були проведені розрахунки із урахуванням мультиплікативного та адитивного факторів, встановлених для Landsat 8 [36]:

$$("band\ 10" \times 0,00341802 + 149) - 273.15, \text{ де}$$

0,00341802 – мультиплікативний фактор для Landsat 8;

149 – адитивний фактор для Landsat 8.

В результаті нами були отримані картосхеми, що демонструють температуру земної поверхні на території дослідження у градусах Цельсія (рис. 3.22-3.25).

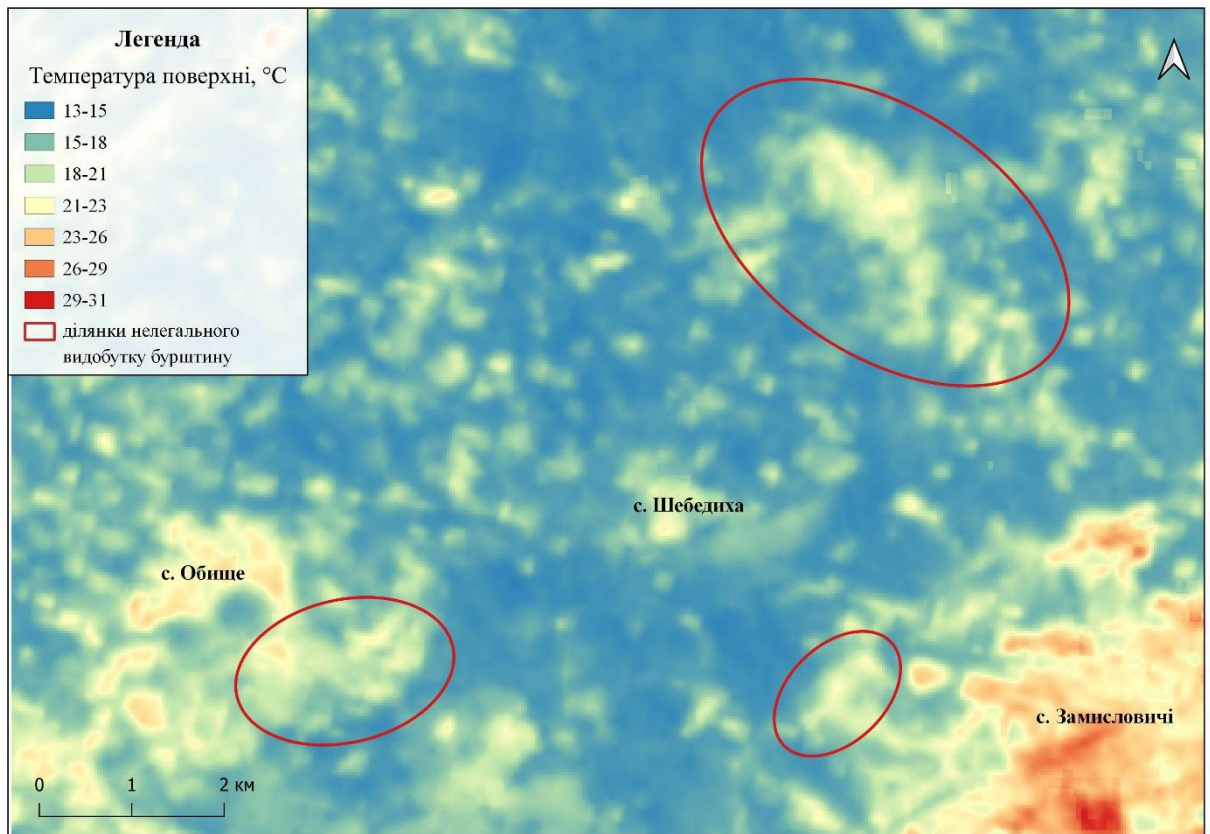


Рис. 3.22. Картосхема поверхневого розподілу температур земної поверхні на території ведення нелегального видобутку бурштину на основі даних системи TIRS супутника Landsat-8 за 31.08.2017р.

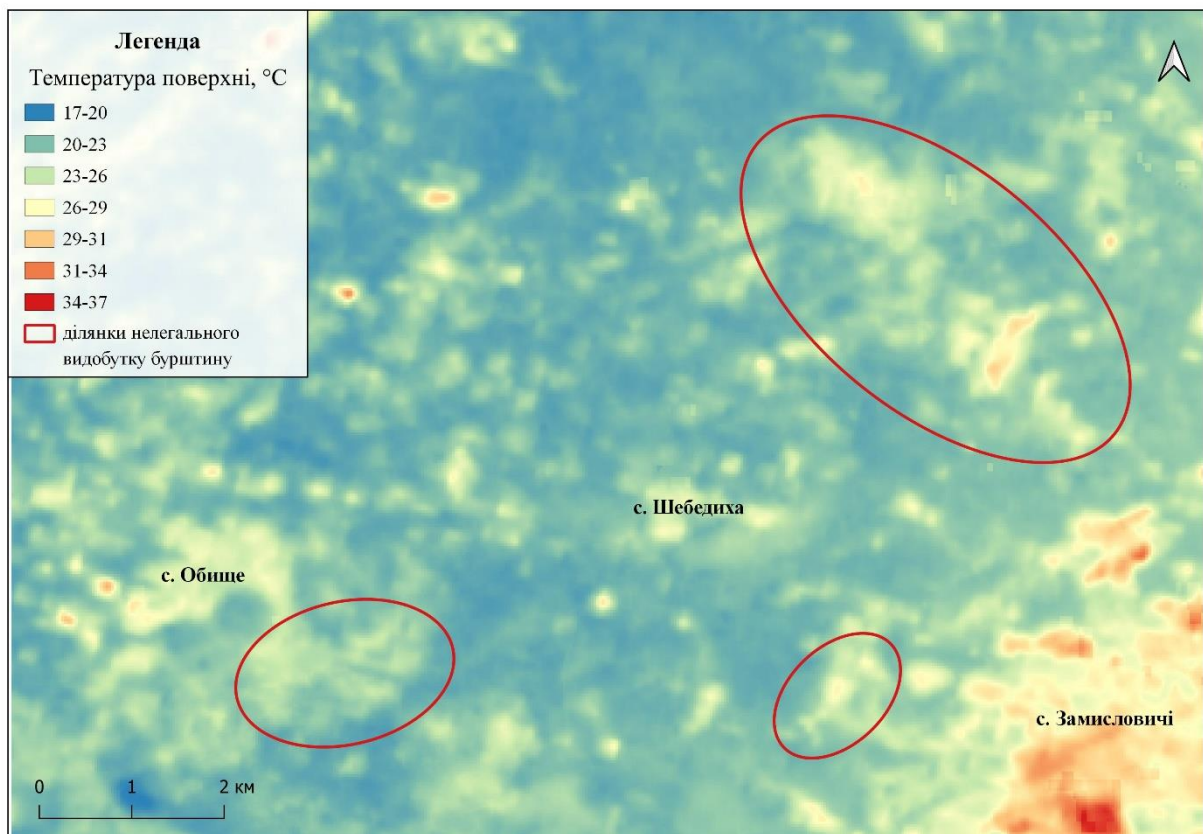


Рис. 3.23. Картосхема поверхневого розподілу температур земної поверхні на території ведення нелегального видобутку бурштину на основі даних системи TIRS супутника Landsat-8 за 01.09.2018р.

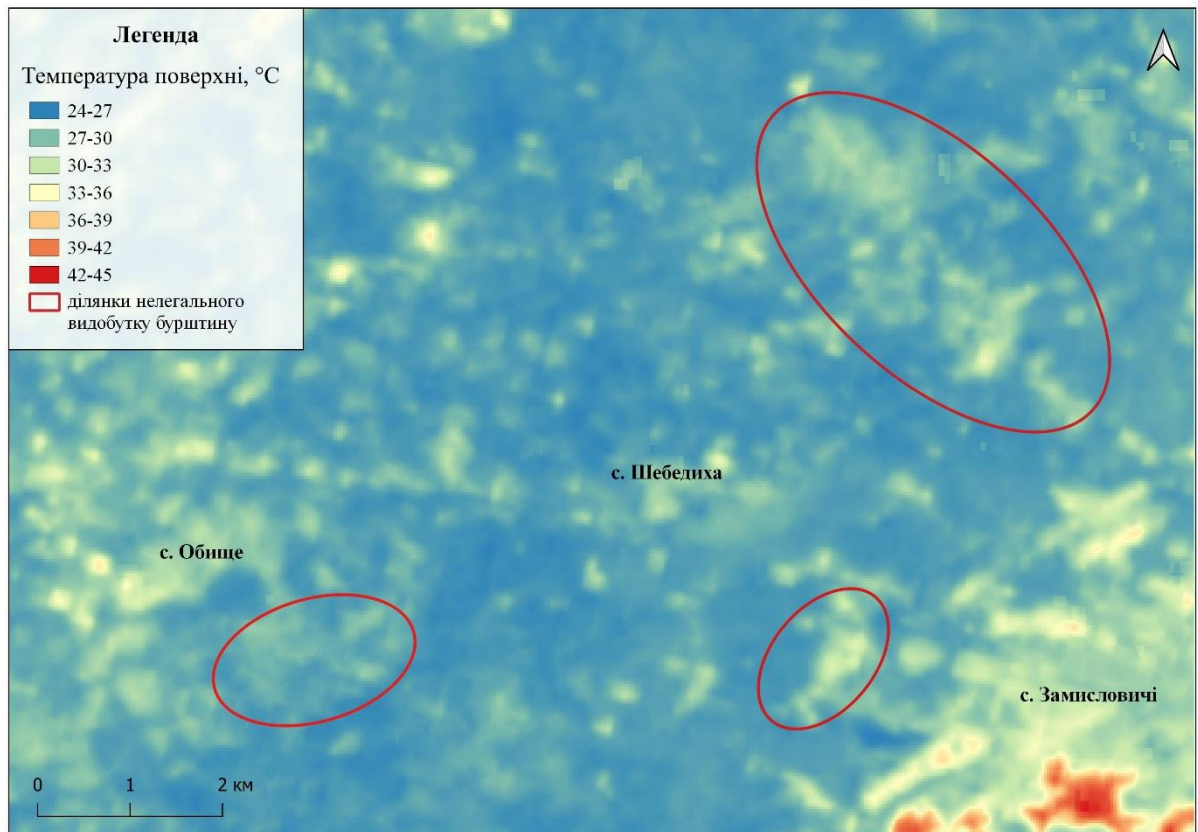


Рис. 3.24. Картосхема поверхневого розподілу температур земної поверхні на території ведення нелегального видобутку бурштину на основі даних системи TIRS супутника Landsat-8 за 29.08.2019р.

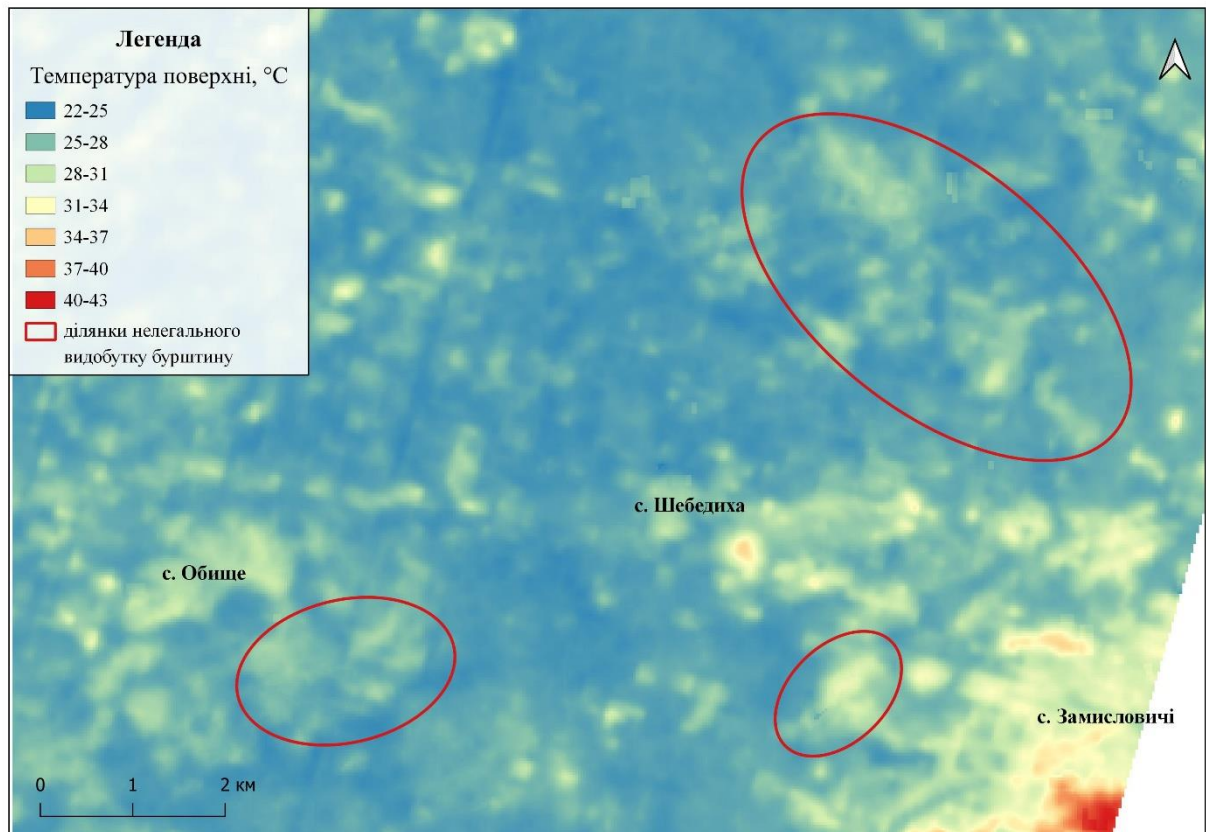


Рис. 3.25. Картосхема поверхневого розподілу температур земної поверхні на території ведення нелегального видобутку бурштину на основі даних системи TIRS супутника Landsat-8 за 30.08.2020р.

Даний метод дослідження також дешифрує порушені землі внаслідок нелегального видобування бурштину. Як видно із картосхем, температура піщаних відвалів бурштину та відкритого ґрунту в середньому на 4 – 5 °C вища, ніж температура на ділянках із лісовим покривом. Найвищими значеннями температури (понад 35 °C) відзначається житлова забудова.

3.4. Моніторинг рослинності за вегетаційним індексом NDVI

Найбільш популярним вегетаційним індексом є NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), нормалізований різницевий індекс рослинності [8]. Він

заснований на відношенні відображення в червоній та ближній інфрачервоній зонах спектра. Його значення змінюються в діапазоні від -1 до +1. Завдяки особливості відображення в NIR-RED областях спектра, природні об'єкти, не пов'язані з рослинністю, мають фіксоване значення NDVI, що дозволяє використовувати цей параметр для їх ідентифікації. Так, величини NDVI до -0,33 відповідають водним об'єктам, інтервал від -0,1 до 0,1 відповідає виходам гірських порід, піску, снігу; до 0,2 – відкритий ґрунт; 0,2-0,4 – трав'яниста рослинність і чагарники; 0,4-0,5 – рідколісся. Густому лісовому покриву відповідають величини NDVI понад 0,67-0,8 (табл. 3.4).

Таблиця 3.4.

Значення NDVI для різних природних об'єктів [52]

Тип об'єкта	Значення NDVI
Густа рослинність	0,7-0,9
Розріджена рослинність, рідколісся	0,5
Відкритий ґрунт	0,025
Хмари	0
Сніг і лід	-0,05
Вода	-0,25
Штучні матеріали (бетон, асфальт)	-0,5

Будучи штучним безрозмірним показником, NDVI в першу чергу призначений для вимірювання еколого-кліматичних характеристик рослинності, але в той же час може мати тісний зв'язок з такими параметрами, як вологість ґрунту, обсяг опадів тощо [8].

Майже вся територія Житомирського Полісся вкрита густим рослинним покривом, на відміну від територій нелегального видобутку бурштину де відкритий ґрунт. Саме тому аналіз із застосуванням NDVI є ефективним інструментом для підрахунку площ порушених земель та поширення нездорової рослинності внаслідок видобутку бурштину.

Тому наступним кроком став моніторинг рослинності за індексом NDVI, що обчислюється за формулою: $NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED}$

де *NIR* – 760-900 нм – інфрачервона область спектру,

RED – 630-690 нм – видима червона область спектру [52].

В результаті були отримані картосхеми (рис. 3.26-3.30).

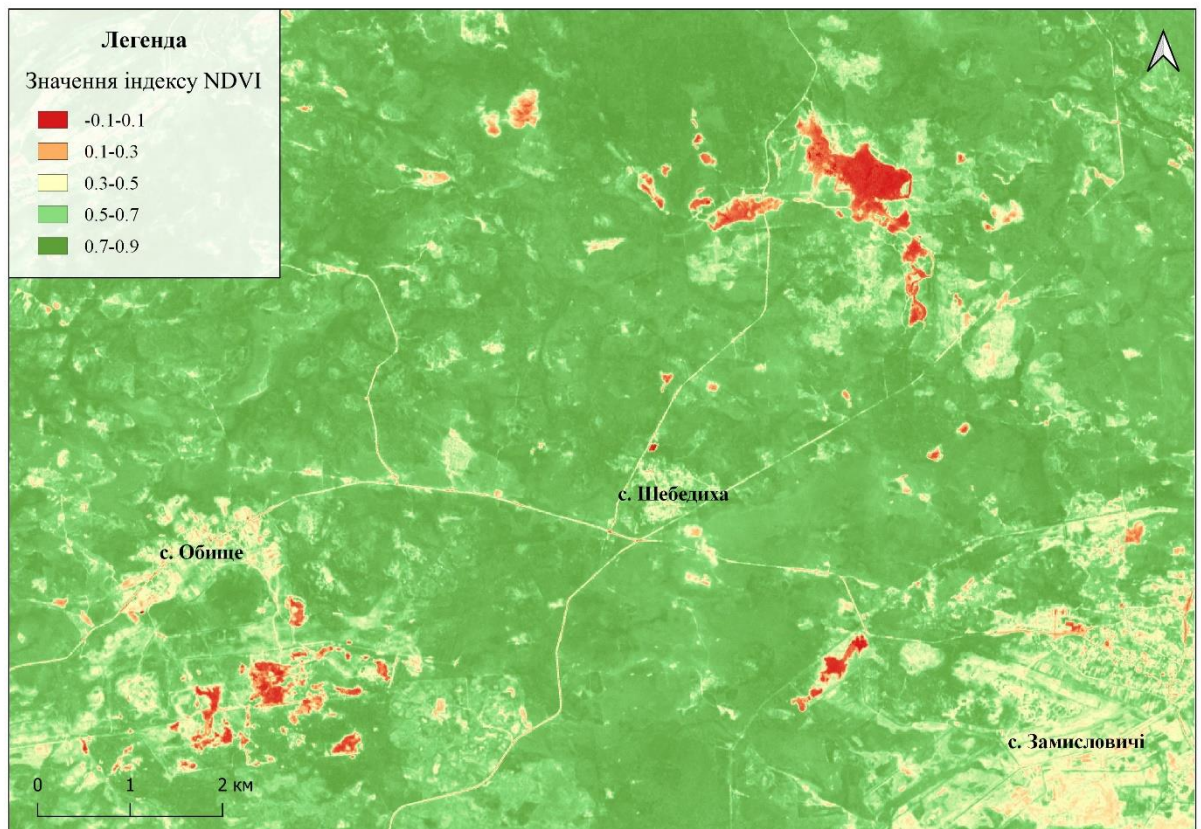
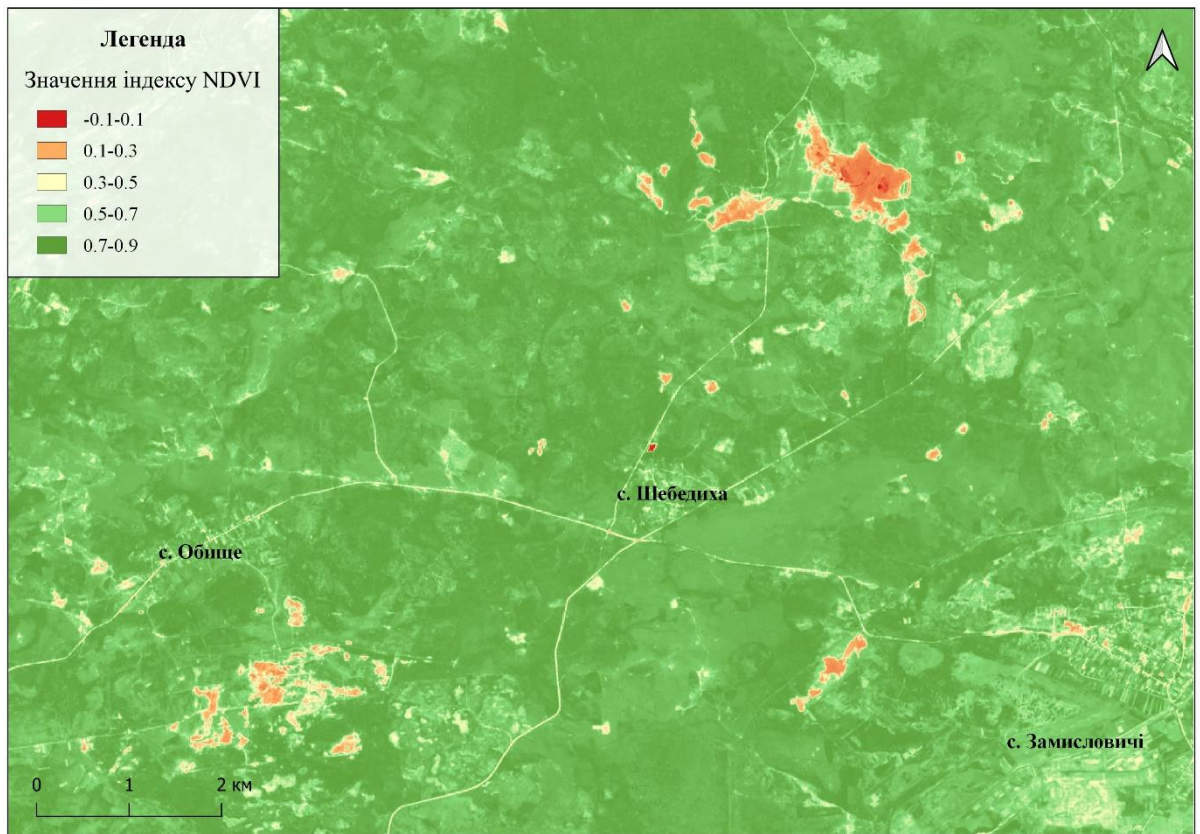
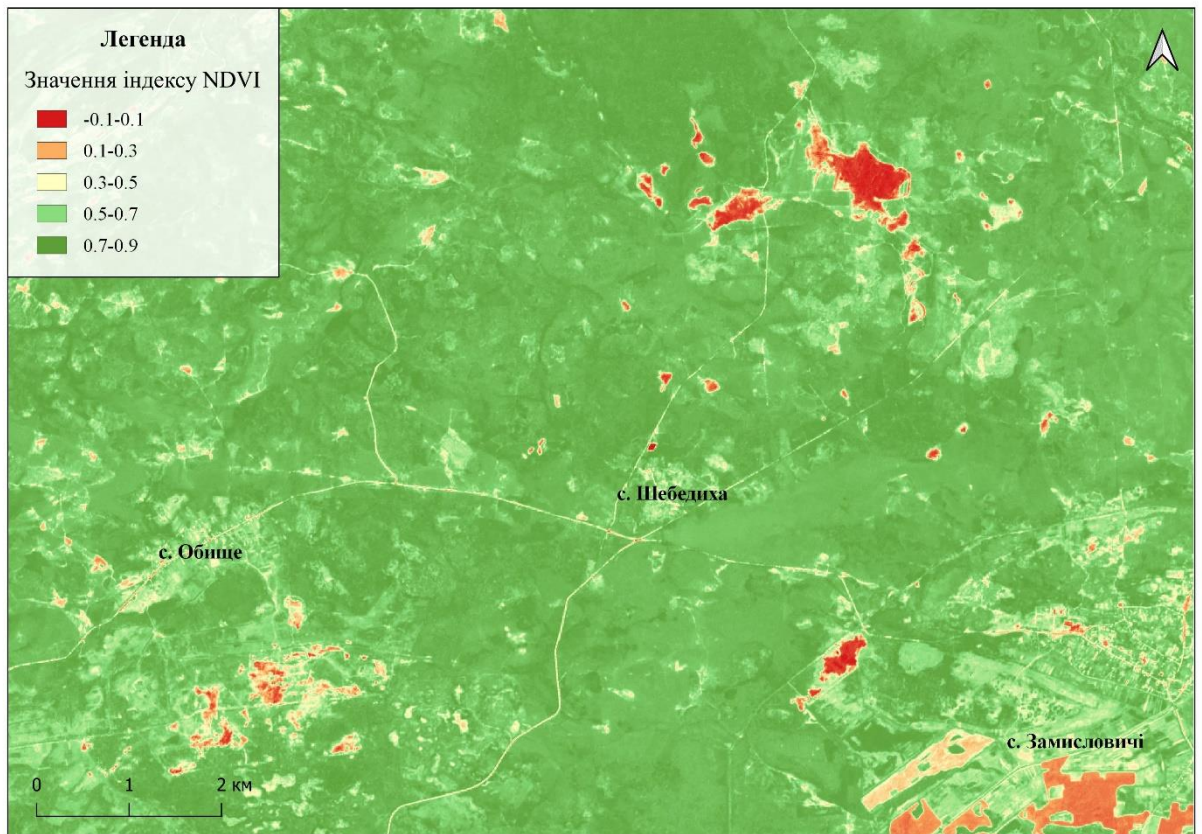


Рис. 3.26. Індекс NDVI на основі космознімку Sentinel-2 за 27.08.2017р.



**Рис. 3.12. Індекс NDVI на основі космознімку
Sentinel-2 за 14.08.2018р.**



**Рис. 3.13. Індекс NDVI на основі космознімку
Sentinel-2 за 24.08.2019р.**

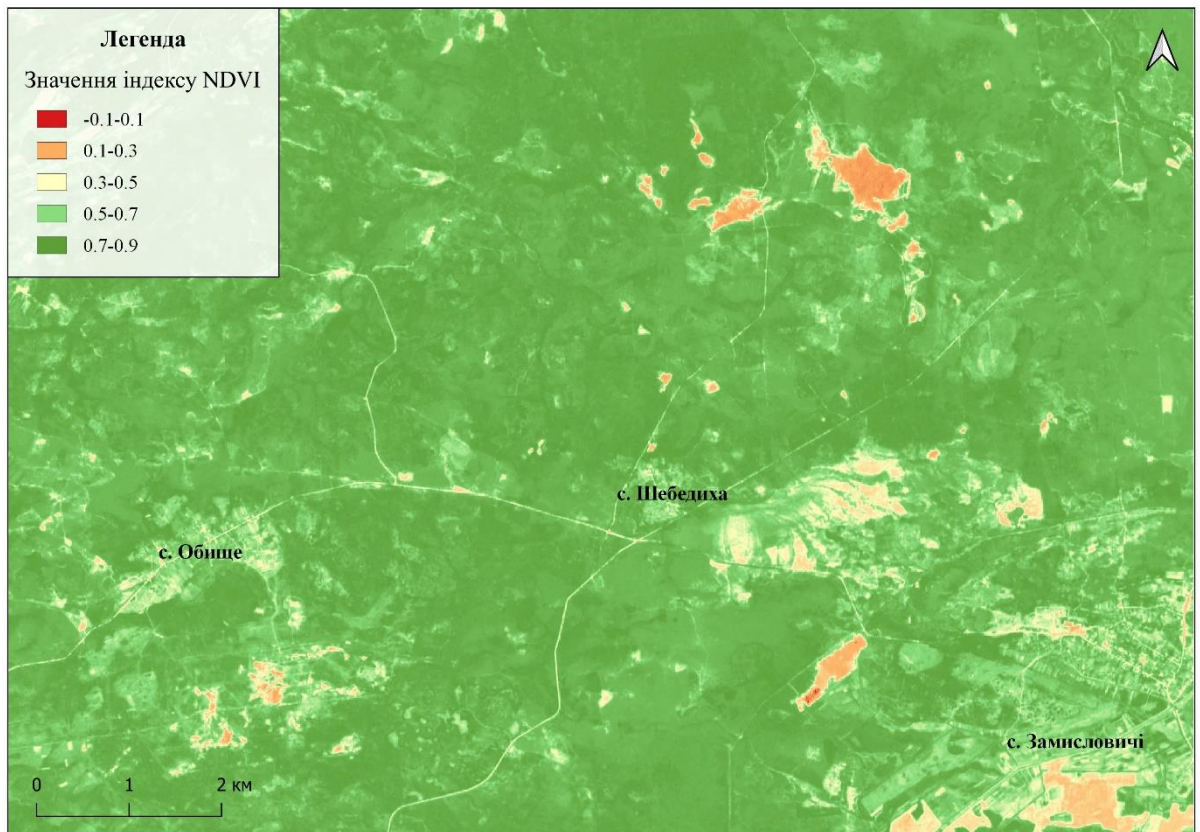


Рис. 3.14. Індекс NDVI на основі космознімку Sentinel-2 за 16.08.2020р.

В діапазоні 0,1-0,3 дешифруються рілля та с/г угіддя. Градація в інтервалі 0,3-0,5 відповідає трав'янистій та молодій рослинності. Значення від 0,5 до 0,7 мають широке розповсюдження на території і характерні для лісової рослинності. В інтервалі 0,7-0,9 ідентифікуються ділянки густого лісового покриву.

На картосхемах чітко виділяються ділянки порушених земель внаслідок видобутку бурштину – градація NDVI в інтервалі -0.1-0.1. Також візуально помітно, що частина ділянок має вищий показник NDVI, що вказує на заростання рослинністю та зменшення видобутку.

3.5. Визначення класів земельного покриття за результатами класифікації даних Sentinel-2

Тематична класифікація – процес отримання тематичної інформації на основі ДДЗ із застосуванням автоматизованих методів їх обробки. Процес класифікації полягає в розподілі всіх пікселів знімка по класах відповідно до їх відбивної здатності (значення спектральної яскравості) [34]. Наприклад, урбанізовані території, рілля, водні об'єкти, лісовий покрив тощо. Таким чином, процес розподілу пікселів по класам здійснюється в просторі спектральних ознак.

У даному дослідженні була використана контрольована класифікація (англ. supervised classification). В алгоритмах контрольованої класифікації враховується інформація про типи об'єктів та про еталонні значення спектральних характеристик цих об'єктів, від якості яких залежить точність і достовірність класифікації.

Еталонні об'єкти (навчальні вибірки) – це набори пікселів, які представляють потенційний клас і служать для його ідентифікації. Зазвичай це певні ділянки на знімку, ідентифіковані на підставі польових даних. Вибір еталона в значній мірі залежить від наявності додаткової інформації про досліджувану територію і переліку класів, які потрібно виділити на знімку. Основною вимогою до навчальних вибірок є їх репрезентативність – пікселі вибірки повинні відповідати одному класу об'єктів місцевості. Такий клас повинен займати територію, яка досить добре представлена пікселями на знімку [56;66].

Таким чином, на наступному етапі дослідження здійснювалась побудова еталонних ділянок – набору сигнатур, які репрезентують обрані класи земельних покривів:

1. Рослинність:
 - 1.1. Широколистяний ліс;
 - 1.2. Хвойний ліс;
 - 1.3. Трав'яний покрив;
2. Вода.

3. Сільськогосподарські угіддя.
4. Відкритий ґрунт (території нелегального видобутку бурштину).
5. Штучні об'єкти:
 - 5.1. Населені пункти;
 - 5.2. Дороги.

Було побудовано по 20 еталонних ділянок для кожного класу та макрокласу. Таким чином для класифікації із кожного класу до еталонної вибірки увійшло пікселів:

- широколистяний ліс – 10725;
- хвойний ліс – 9120;
- трав'яний покрив та чагарники – 4169;
- вода – 187;
- сільськогосподарські угіддя – 2864;
- дороги – 417;
- населені пункти – 3415;
- видобуток бурштину – 3069.

До побудованих еталонних ділянок увійшло 33 966 пікселів, що становить 2,5 % всіх пікселів знімку.

Після побудови набору еталонних ділянок, на основі непараметричного алгоритму максимальної подібності (Maximum Likelihood) було здійснено контрольовану класифікацію території дослідження за допомогою Semi-Automatic Classification Plugin в QGIS.

В якості критерію віднесення пікселя до певного тематичного класу застосовується відстань Махаланобіса від спектрального середнього класу. Чим ближче значення яскравості пікселя до центра певного еліпса, тим вища імовірність належності пікселя до певного класу. Таким чином при класифікації задовольняється умова максимальної імовірності віднесення пікселя до даного

класу. Растр контролю якості (Proximity) містить значення імовірності належності спектрального образу кожного пікселя до певного тематичного класу [66].

Після отримання растрового файлу класифікованої території дослідження була проведена векторизація кожного умовного класу земельних покривів. На заключному етапі на основі отриманих векторних шарів класифікації було здійснено картографування досліджуваної території.

3.6. Дослідження змін у структурі земельних покривів за результатами аналізу даних ДЗЗ

Після проведення класифікації території була здійснена оцінка точності класифікації [3;61]. Результати наведені нижче (табл.3.5).

Таблиця 3.5.

Точність проведеної класифікації

Клас	PA producer's accuracy (ТВ — точність «виробника»)		UA = user's accuracy (ТК — точність «користувача»)	
	К-ть пікселів	%	К-ть пікселів	%
Широколистяний ліс	10725/10773	99,5	10725/10850	98,8
Хвойний ліс	9120/9194	99,1	9120/9189	99,2
Трав'яний покрив та чагарники	4169/4485	92,9	4169/4267	97,7
Вода	187/200	93,5	187/196	95,4
С/г угіддя	2864/2969	96,4	2864/3145	91,1
Дороги	417/508	82,1	417/471	88,5
Населені пункти	3415/3479	98,1	3415/3543	96,3
Видобуток бурштину	3069/3109	98,7	3069/3085	99,5

Кінцевим результатом дослідження стала карта поширення ділянок нелегального видобутку бурштину у розрізі чотирьох років (рис. 3.15-3.19).

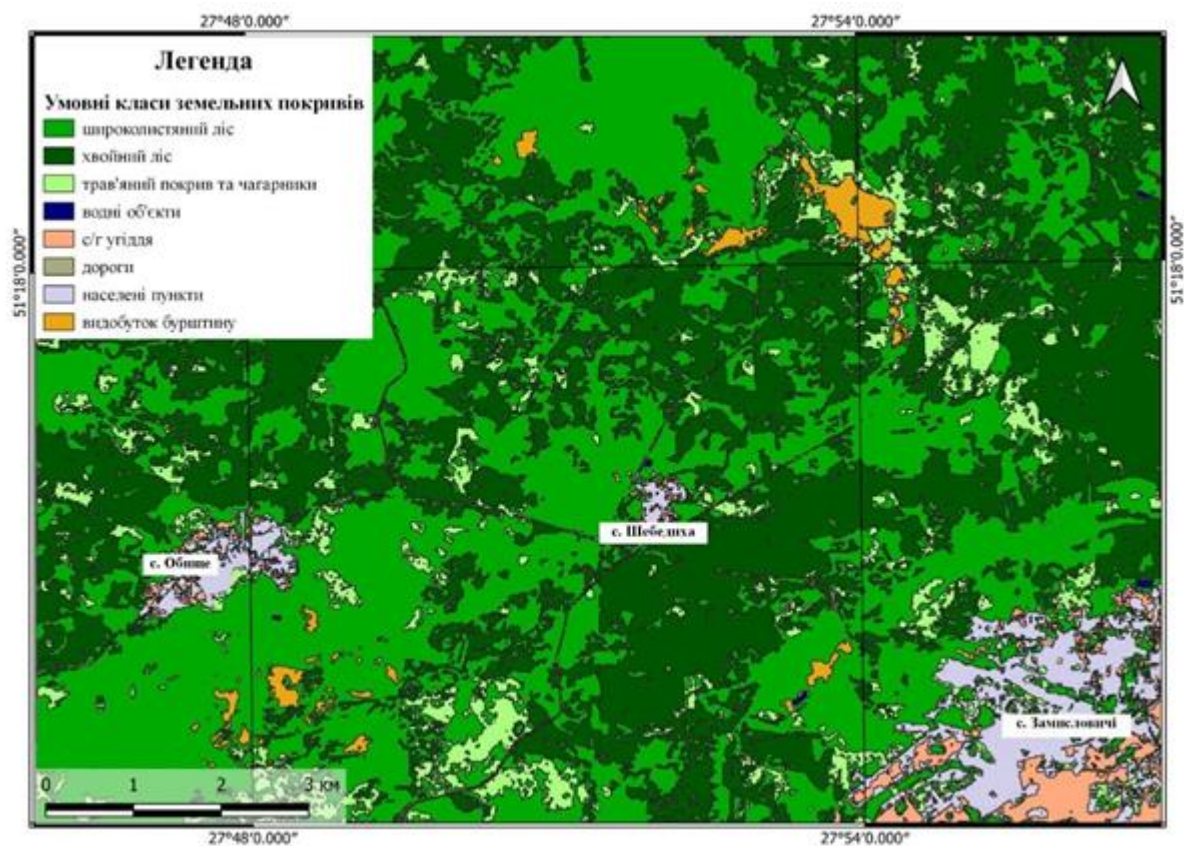


Рис. 3.15. Картосхема розподілу об'єктів земної поверхні поблизу с. Обище Олевського району за результатами класифікації знімка Sentinel-2A 27.08.2017р.

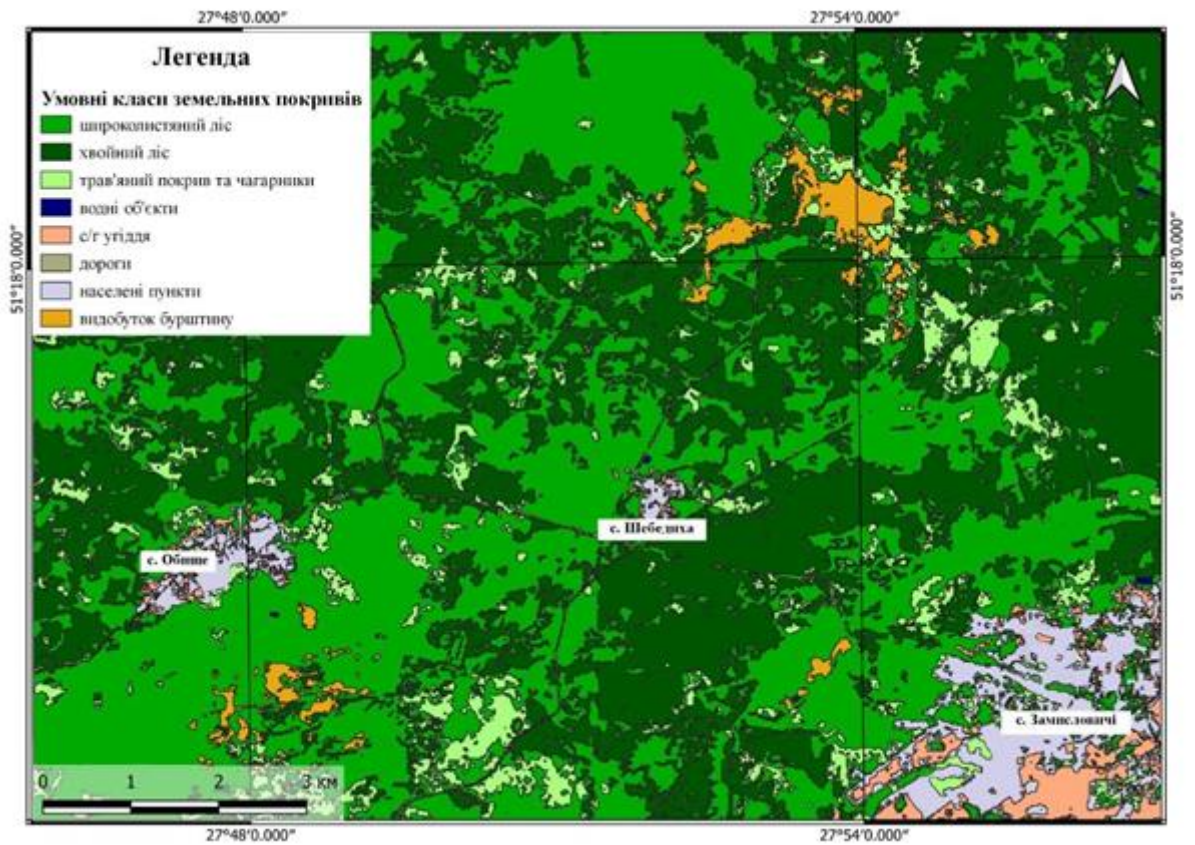


Рис. 3.16. Картосхема розподілу об'єктів земної поверхні поблизу с. Обище Олевського району за результатами класифікації знімка Sentinel-2B 14.08.2018р.

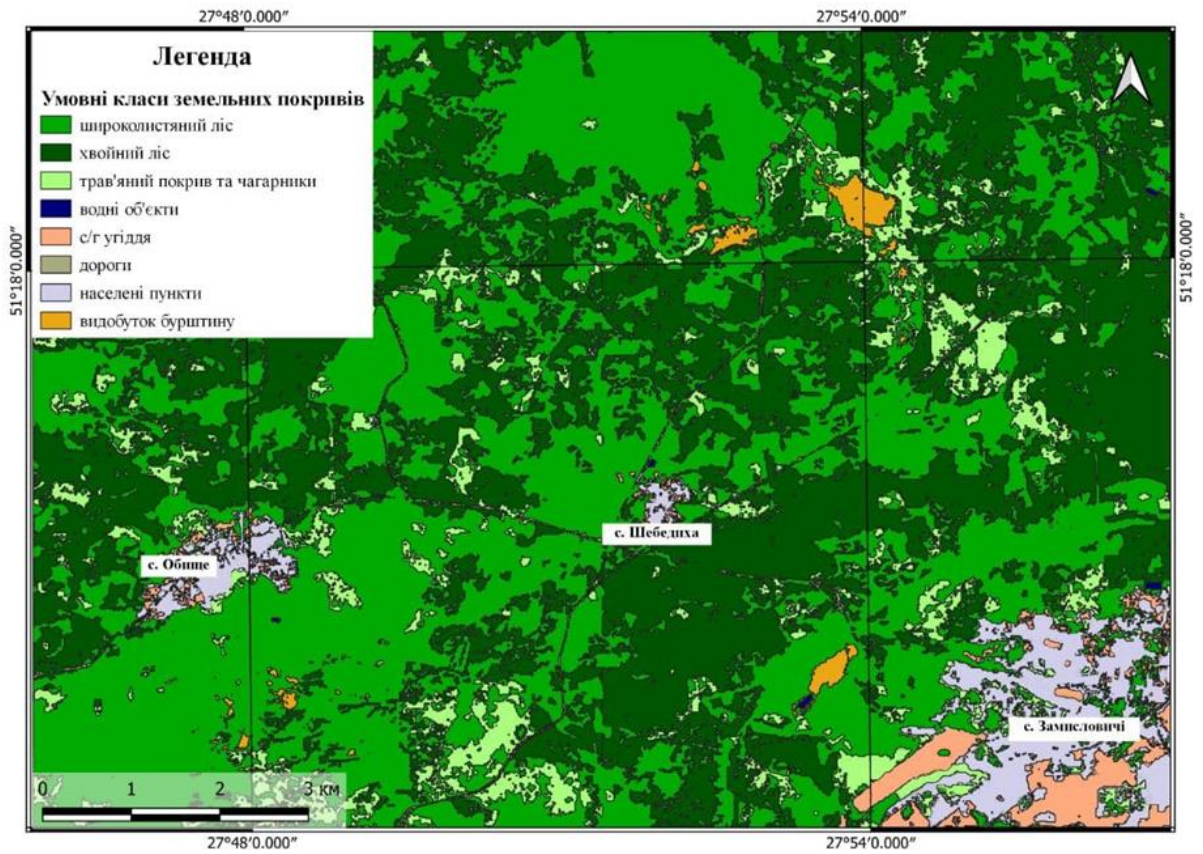


Рис. 3.17. Картосхема розподілу об'єктів земної поверхні поблизу с. Обище Олевського району за результатами класифікації знімка Sentinel-2A 24.08.2019р.

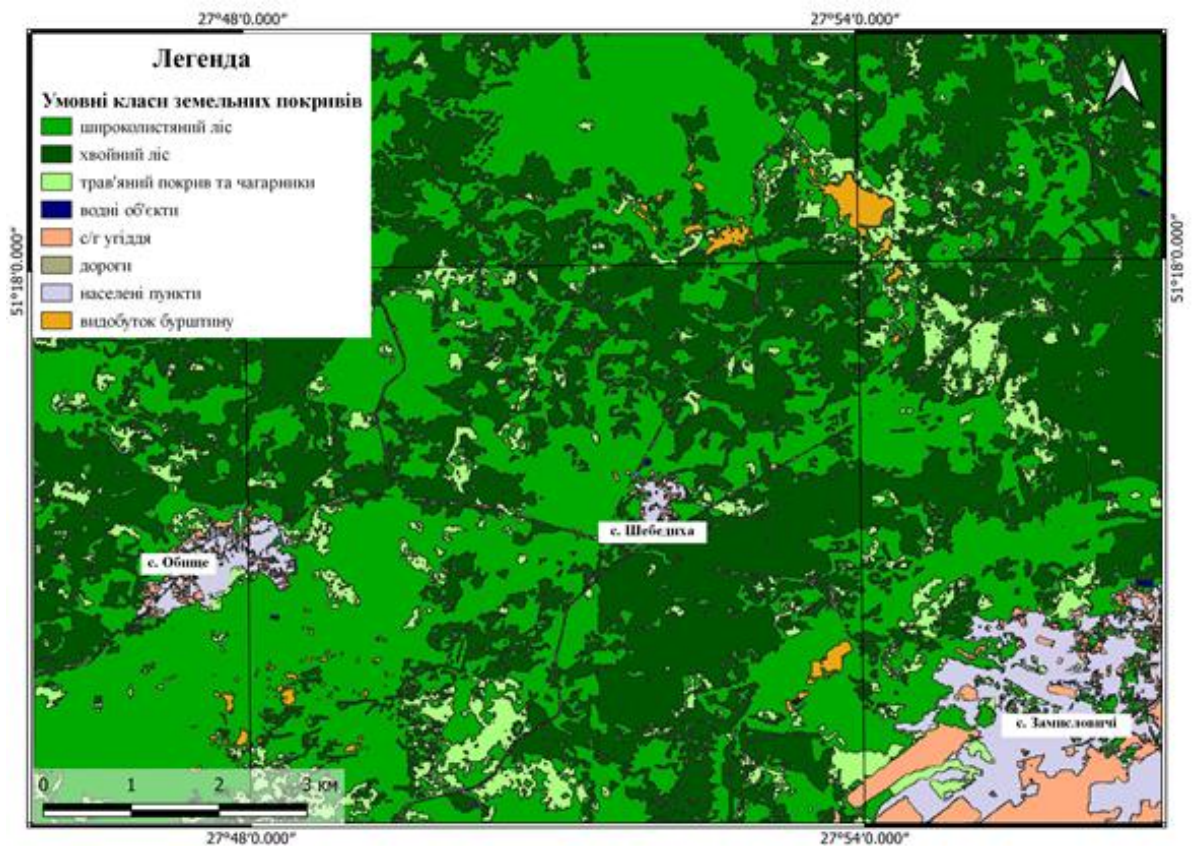


Рис. 3.18. Картосхема розподілу об'єктів земної поверхні поблизу с. Обище Олевського району за результатами класифікації знімка Sentinel-2В 16.08.2020р.

Ділянка картографування має розміри 14,17 км × 9,94 км та загальну площу 140,85 км². Проаналізувавши побудовані картографічні матеріали, можна стверджувати про позитивну динаміку змін у структурі земельних покривів досліджуваної території (табл. 3.6).

Таблиця 3.6

Зміни у структурі порушених земель, км²

	2017	2018	2019	2020
Загальна площа порушених територій	6,1	6,85	4,67	4,53

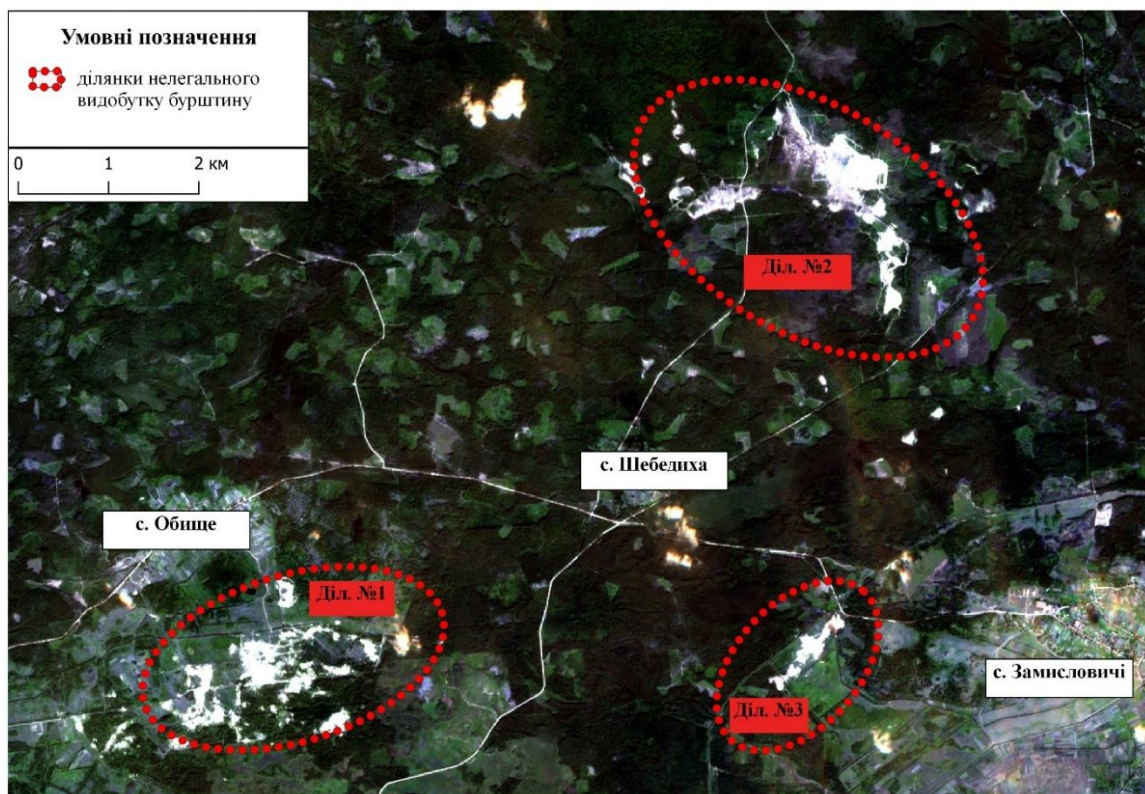


Рис. 3.19. Ділянки нелегального видобутку бурштину на території дослідження. Композитне зображення Sentinel-2 у натуральних кольорах

Так лише на ділянці №1 (рис. 3.19) площа порушеного ґрунтового-рослинного покриву внаслідок нелегального видобутку бурштину зменшилась на 1,22 км² з 2018 року до 2020 року.

На ділянці №2 також спостерігається динаміка. Період 2017-2018рр. відзначається значним збільшенням нелегального видобутку. На картосхемах добре видно, що за останні 2 роки активність розробок в межах ділянки значно знизилася: площа порушених земель зменшилась на 1,15 км². Частина піщаних відвалів покрилася рослинністю внаслідок самовідновлення ландшафтів.

В цілому на ділянці №3 загальна площа порушених земель суттєво не змінилася, лише дещо змінилася їх конфігурація.

3.7. Рекомендації щодо застосування результатів дослідження для планування рекультивації порушених територій

Рекультивація земель – заходи щодо запобігання деградації земель і відновлення їх родючості за допомогою приведення земель у стан, придатний для їх використання відповідно до цільового призначення та дозволеного використання, в тому числі шляхом усунення наслідків забруднення ґрунту, відновлення верхнього родючого шару і створення захисних лісових насаджень [58].

Всі процеси рекультивації порушених земель складаються з трьох основних етапів: підготовчого, гірничо-технічного та біологічного. Підготовчий або проектний етап включає в себе вивчення та типізацію порушених земель, вивчення властивостей ґрунтового покриву, визначення зі способами рекультивації та складання техніко-економічного обґрунтування (ТЕО). Гірничо-технічний, або інженерний етап (гірничо-технічна рекультивація) передбачає вибіркове видалення верхнього шару ґрунту, придатного для біологічної рекультивації, засипання деформованих поверхонь, меліоративні та протиерозійні заходи. При рекультивації порушених лісових земель технічний етап включає роботи, пов'язані зі збереженням та повторним використанням родючих ґрунтів, а також за необхідності проводиться хімічна рекультивація із впорядкуванням дренажних мереж [60].

Найважливішим етапом є біологічна рекультивація. Вона полягає у створенні штучних лісових насаджень на порушених ділянках. Заходи біологічної рекультивації визначаються фізико-хімічними властивостями підстилаючих порід на території дослідження. Цей комплекс охоплює внесення сівозмін, введення органічних та мінеральних добрив. Біологічну стадію рекультивації потрібно починати якомога швидше, з метою запобігання ущільненню ґрунтів, поширенню бур'янів та проявів водної та вітрової ерозії. У біологічних меліораціях широко застосовуються трав'янисті рослини. Вони швидко закріплюють ґрунтову суміш і

допомагають зупинити ерозійні процеси. Також важливо забезпечити для кожного екотопу набір відповідних деревних порід для відтворення природного лісового середовища. При виборі деревних та чагарникових порід для посадки на порушених землях придатними є місцеві види, пристосовані до умов цього регіону [22].

Відновлення лісової рослинності на порушених внаслідок видобутку бурштину територіях залежить від придатності ґрунтів, що безпосередньо впливає на сам технологічний процес. Ґрунтова суміш, утворена після незаконного видобутку бурштину помітно відрізнятиметься від попереднього складу ґрунтів за їх фізико-хімічним складом. У цьому випадку важливим фактором є проведення додаткових агроекологічних досліджень стану ґрунтів [41].

Досвід рекультивації порушених земель [22] передбачає повернення родючого шару ґрунту на поверхню. Оскільки під час незаконного видобутку бурштину родючий шар ґрунту знищується, тому вважається доцільним вносити органічні добрива, зокрема торф для підвищення родючості. Подальше насадження лісових культур на порушених землях значно посилює і прискорює процес ґрунтоутворення.

Альтернативним варіантом є переведення порушених внаслідок видобутку бурштину лісових ділянок до іншої категорії земель. Прикладом є створення лісового озера – водосховища з відновленням частини лісової площі. Таке водосховище може мати як рекреаційне, так і технологічне призначення – як резервуар для пожежних або інших цілей. Перевагою цього способу рекультивації є його нижча вартість у порівнянні із повною біологічною рекультивацією, що включає повне відновлення рослинності [60].

3.8. Перспективи застосування методики для геоecологічного моніторингу

Використання методики моніторингу на основі даних ДЗЗ дозволяє оперативно вирішувати найрізноманітніші завдання в області геоєкології та природокористування. На основі аналізу всіх наявних даних (супутникових знімків, даних наземних спостережень, картографічних матеріалів тощо), може бути сформовано ситуаційне та прогнозне моделювання екологічного стану навколишнього середовища на обраній території дослідження [9].

При створенні системи геоєкологічного моніторингу необхідним є дотримання наступних основних принципів [32]:

- об'єктивність та достовірність інформації;
- систематичність спостереження за станом навколишнього природного середовища та об'єктами, що впливають на нього;
- підвищення достовірності первинних даних за рахунок використання вдосконалених технологічних процесів збору, накопичення та обробки інформації;
- сумісність технічного, інформаційного та програмного забезпечення і їх складових частин;
- підвищення рівня та якості інформаційного обслуговування користувачів;
- доступність екологічної інформації для населення.

Запропонована методика може бути використана при вирішенні різних завдань в геоєкології. Зокрема, для моніторингу територій видобутку корисних копалин відкритим способом, виявлення територій, забруднених нафтопродуктами.

В лісовому господарстві на основі запропонованої методики можна виявляти існуючі незаконні вирубки, осередки виникнення лісових і торф'яних пожеж, оцінювати стан лісових насаджень внаслідок забруднення промисловими викидами чи дії шкідників.

Для потреб водного господарства методика може бути застосована для виявлення антропогенних змін водного середовища (процеси евтрофікації, зміна загальної мінералізації тощо), оцінки ступеня заростання русла річок, моделювання

процесів затоплення, виявлення джерел забруднення водних об'єктів на території дослідження, моніторинг і прогнозувати процесів заболочування тощо.

У сільському господарстві на основі запропонованої методики можна здійснювати оцінку темпів розвитку ерозійних процесів, ідентифікувати та аналізувати процеси опустелювання, засолення та забруднення ґрунтів.

Загалом запропонована методика має ряд переваг [43]:

- можливість використання супутникових знімків, наявних у відкритому доступі;
- можливість використання безкоштовного програмного забезпечення для обробки супутникових знімків;
- скорочення наземних вимірювань до мінімуму.

При успішному проходженні всіх етапів валідації, атестації та сертифікації дана методика може бути використана як державними службами, так і окремими користувачами.

ВИСНОВКИ

ДЗЗ – один із найбільш сучасних методів отримання даних про земну поверхню із охопленням великих територій дослідження. Застосування методів ДЗЗ має ряд переваг над традиційними методами. По-перше, це оглядовість – можливість одержання одночасної інформації про великі за площею території. По-друге, можливість переходу від значень показників стану навколишнього середовища до їх просторового розподілу. По-третє, це наявність інформації про важкодоступні райони. Дані ДЗЗ є важливим джерелом інформації при будь-яких природознавчих, у т. ч. ландшафтних, дослідженнях.

При дослідженнях ґрунтового покриву за космічними знімками можна здійснювати оцінку розвитку несприятливих процесів (наприклад дефляції), визначити ступінь засоленості, вмісту вологи в ґрунті. За допомогою даних ДЗЗ можна вирішувати багато важливих завдань для дослідження водного середовища, наприклад таких як оцінка екологічного стану вод та визначення джерел їх забруднення, вивчення руслових процесів, моніторинг затоплених територій. У дослідженнях рослинності дані ДЗЗ забезпечують отримання первинної інформації про склад і структуру рослинного покриву території дослідження, на їх основі можна здійснити прогнозування антропогенного впливу, прогнозування хвороб дерев. Використання даних ДЗЗ для моніторингу якості атмосферного повітря дозволяє відслідкувати зміни якості повітря, фіксуючи концентрації викидів забруднюючих речовин. Загалом варто зазначити, що космічні дані дозволяють отримати інформацію про земельні покриви, їхні типи і стан, що в подальшому використовують для прогнозування розвитку регіону.

Неконтрольований видобуток бурштину на території Житомирського Полісся має величезний негативний вплив на ландшафтну структуру місцевостей, оскільки здійснюється переважно гідромеханічним способом, що полягає в розмиванні водою під великим тиском ґрунту до 6–10 метрів у глибину. Оскільки бурштин легший за воду, він спливає на поверхню та виловлюється сітками. Видобуток таким способом повністю знищує родючий шар ґрунту, оскільки під час

«розмивання» гумусовий шар переміщується з основною масою підстеляючих піщаних і супіщаних порід. Відновлення родючого шару займає десятки років. Атмосферне повітря території забруднюється внаслідок спалювання паливно-мастильних матеріалів. Водні об'єкти зазнають засмічення відходами від видобутку, внаслідок утворення нових водойм на місці ям-копанок порушується гідрологічний режим річкової мережі та виникає ризик можливого підтоплення території. Процес нелегального масового видобутку бурштину призводить до пошкодження кореневої системи рослин та знеліснення великих ділянок території, а також виникнення процесів вітрової ерозії та зсувів ґрунту.

Для аналізу було використано багатозональні супутникові знімки Sentinel-2 та Landsat 8. за 2017, 2018, 2019 та 2020 роки. Опрацювання космознімків виконувалося в програмі QGIS 3.16.

Результати аналізу дають підстави стверджувати про тенденцію до зменшення площі території нелегального видобутку бурштину. Територія картографування має розміри 14,17 км × 9,94 км та загальну площу 140,85 км². Так лише на ділянці №1 площа порушеного ґрунтового-рослинного покриву внаслідок нелегального видобутку бурштину зменшилась на 1,22 км² з 2018 року до 2020 року. На ділянці №2 також спостерігається динаміка. Період 2017-2018рр. відзначається значним збільшенням нелегального видобутку. За останні 2 роки активність розробок в межах ділянки значно знизилася: площа порушених земель зменшилась на 1,15 км². Частина піщаних відвалів покрилася рослинністю внаслідок самовідновлення ландшафтів. На ділянці №3 в цілому загальна площа порушених земель суттєво не змінилася, лише дещо змінилася їх конфігурація.

Запропонована методика дослідження за даними ДЗЗ має універсальний характер і може бути використана при вирішенні різних завдань в сфері геоекології та природокористування – моніторинг видобутку корисних копалин відкритим способом, виявлення забруднених нафтопродуктами ділянок, лісових рубок, прогнозування процесів підтоплення та заболочування, опустелювання та інших несприятливих процесів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. About Sentinel-2. Sentinel-2 characteristics [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://eos.com/sentinel-2/>
2. Абросимов А. В., Дворкин Б.А. Использование данных ДЗЗ для мониторинга водных объектов. Абросимов А.В., Дворкин Б.А. Возможности практического использования данных ДЗЗ из космоса для мониторинга водных объектов // Геоматика. 2009.
3. Analysis of Maximum Likelihood Classification on Multispectral Data [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.m-hikari.com/ams/ams-2012/ams-129-132-2012/ahmadAMS129-132-2012.pdf>
4. Application of Infrared Thermography for the survey of intensely jointed rock slopes [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/275715508_Application_of_Infrared_Thermography_for_the_survey_of_intensely_jointed_rock_slopes
5. Application of Thermal Infrared ASTER Data to Geothermal Exploration in Eastern California [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/253893810_Application_of_Thermal_Infrared_ASTER_Data_to_Geothermal_Exploration_in_Eastern_California
6. A Review of Geological Applications of High-spatial resolution Remote Sensing Data [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://doi.org/10.1142/S0218126620300068>
7. Вегетационные индексы [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://sovzond.ru/upload/iblock/f46/2011_02_017.pdf
8. Вегетационные индексы и их использование для картографирования горных ландшафтов Российского Кавказа [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/338656099_Vegetacionnye_indeksy_i_ih_ispolzovanie_dla_kartografirovania_gornyh_landsaftov_Rossijskogo_Kavkaz
а

9. Втюрин С.А., Князев Н.А., Палатов Ю.А., Романенко С.Н. Использование данных дистанционного зондирования Земли из космоса для прогнозного моделирования экологической обстановки [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://d33.infospace.ru/d33_conf/vol1/111-118.pdf
10. Geological application of ASTER remote sensing within sparsely outcropping terrain, Central New South Wales, Australia [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/23312041.2017.1319259>
11. Геологічна будова України [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://geografica.net.ua/publ/galuzi_geografiji/fizichna_geografija_ukrajini/geologichna_budova_ukrajini/39-1-0-516
12. Геотектонічне районування Українського щита як єдина основа тектонічних, стратиграфічних та інших побудов [Електронний ресурс] – Режим доступу: [http://irbis-nbuv.gov.ua > irbis_nbuv > cgiirbis_64](http://irbis-nbuv.gov.ua>irbis_nbuv>cgiirbis_64)
13. Global NO² monitoring [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://sgascoin.users.earthengine.app/view/global-no2-monitor>
14. Ґрунти зони Полісся УРСР [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://collectedpapers.com.ua/soil_science/grunti-zoni-polissya-ursr
15. Detecting, Extracting, and Monitoring Surface Water From Space Using Optical Sensors: A Review [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2018RG000598>
16. Дистанційне зондування землі: аналіз космічних знімків у геоінформаційних системах [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://man.gov.ua/files/49/ZZ2.pdf>
17. Железняк О. Застосування інфрачервоної зйомки для дослідження теплових полів міських агломерацій та об'єктів на їх території [Електронний ресурс] – Режим доступу: [jrnl.nau.edu.ua > SBT > article > download](jrnl.nau.edu.ua>SBT>article>download)
18. Загальна характеристика природних умов Українського Полісся [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://www.07313.in.ua/pol_prir_um.html

19. Загульська О. Б. Внесок дистанційного зондування землі в Україні у розвиток ландшафтознавства / О. Б. Загульська // Вісник Львівського університету. Серія географічна. – Л., 2014. – Вип. 48. – С. 3-11.
20. Загульська О. Б. Ландшафт на аеро- та космознімках / О. Б. Загульська // Фіз. географія і геоморфологія. – К., 2013. – Вип. 3 (71). – С. 102–111.
21. Збереження біологічного і ландшафтного різноманіття Житомирської області [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2017/05/9.pdf>
22. Звіт про оцінку впливу на довкілля рекультивації земель, порушених внаслідок нелегального видобування бурштину, розташованих у кварталі 59 (виділи №№ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, загальною площею 66,0 га) Дубровицького лісництва ДП «Дубровицьке лісове господарство», Дубровицький район Рівненської області [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://eia.menr.gov.ua/uploads/documents/794/reports/b8fefbf4438e7fb9a2858f4539fdb9a7.pdf>
23. Зміна клімату: наслідки та заходи адаптації: аналіт. доповідь / [С.П. Іванюта, О. О. Коломієць, О. А. Малиновська, Л. М. Якушенко]; за ред. С. П. Іванюти. – К.: НІСД, 2020. – 110 с. [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://niss.gov.ua/sites/default/files/2020-10/dop-climate-final-5_sait.pdf
24. Изучение многолетней динамики влажности почвы района Бак Бинь (провинция Бинь Тхуан, Вьетнам) по данным многозональной спутниковой съёмки Landsat [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://d33.infospace.ru/d33_conf/sb2018t7/89-101.pdf
25. Introduction to Remote Sensing and Image Processing [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.mtholyoke.edu/courses/tmillet/course/geog205/files/remote_sensing.pdf
26. Использование космических снимков в тепловом инфракрасном диапазоне для географических исследований [Електронний ресурс] – Режим

доступу:

http://www.geogr.msu.ru/cafedra/karta/materials/heat_img/files/1/semochnye_sistemy_teplovogo_ik.htm

27. Карти України [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://geomap.land.kiev.ua>
28. Катаев М.Ю., Бекеров А.А. Методика обнаружения водных объектов по многоспектральным спутниковым измерениям [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://journal.tusur.ru/storage/97950/22-%D0%9A%D0%B0%D1%82%D0%B0%D0%B5%D0%B2-%D0%91%D0%B5%D0%BA%D0%B5%D1%80%D0%BE%D0%B2.pdf?1516335216>
29. Козинцева Л.М. Гідрографія Українського Полісся // Нариси про природу і сільське господарство Українського Полісся. – К.: Вид-во Києв. Держ. ун-ту ім. Т. Г. Шевченка. -1955. – С.153–165.
30. Комарова А. Ф., Журавлева И. В., Яблоков В. М. Открытые мультиспектральные данные и основные методы дистанционного зондирования в изучении растительного покрова // Принципы экологии. 2016. № 1. С. 40-71. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://ecopri.ru/journal/article.php?id=4922>
31. Comparative evaluation of the Vegetation Dryness Index (VDI), the Temperature Vegetation Dryness Index (TVDI) and the improved TVDI (iTVDI) for water stress detection in semi-arid regions of Iran [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924271611001572>
32. Космический мониторинг и экологические проекты компании «Совзонд» [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.sovzond.ru/upload/iblock/2b0/2b09b1f959aa3227e8fab56496c64e4d.pdf>

- 33.Кривальцевич С. В. Дистанционное зондирование деградированных почв [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://static.freereferats.ru/_avtoreferats/01002832074.pdf
- 34.Лабутина И.А. Использование данных дистанционного зондирования для мониторинга экосистем ООПТ: метод. пособие / И.А. Лабутина, Е.А. Балдина. – М.: WWF России, 2011. – 88 с. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://wwf.ru/upload/iblock/369/metod_monitoringoopt_altai.pdf.
- 35.Landsat 8 band designations [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.usgs.gov/media/images/landsat-8-band-designations>
- 36.Landsat 8 Collection 2 (C2) Level 2 Science Product (L2SP) Guide [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://prd-wret.s3.us-west-2.amazonaws.com/assets/palladium/production/atoms/files/LSDS-1619_Landsat8-C2-L2-ScienceProductGuide-v2.pdf
- 37.Landsat Surface Reflectance-Derived Spectral Indices: Landsat Soil Adjusted Vegetation Index [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/landsat-soil-adjusted-vegetation-index>
- 38.Landslide mapping and monitoring by using radar and optical remote sensing: Examples from the EC-FP7 project SAFER [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352938516300635#s0005>
- 39.Лесоустройство с использованием технологий LiDAR [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://gis.psu.ru/wp-content/uploads/2015/11/%D0%9A%D0%B5%D0%B4%D1%80%D0%BE%D0%B2-%D0%90.%D0%92.-%D0%BB%D0%B8%D0%B4%D0%B0%D1%80%D0%BD%D0%B0%D1%8F-%D1%81%D1%8A%D0%B5%D0%BC%D0%BA%D0%B0.pdf>
- 40.Лялько В. І. Актуальні проблеми створення полігонів ДЗЗ в Україні (на прикладі Шацького національного парку) / В. І. Лялько, М. О. Попов. Л. П. Ліщенко [та ін.] // Аерокосмічні спостереження в інтересах сталого розвитку

та безпеки: матер. доповідей Першої Всеукр. конф. – К.: Наук. думка, 2008. – С. 82–84.

41. Malanchuk E.Z., Kornienko V.Ya., Volk P.P., Vasylchuk O.Yu., Semenyuk V.V. Reclamation of disturbed lands as a result of illegal amber production. Current scientific research in the modern world. Journal. Pereyaslav-Khmelnitsky. 5 (37), pp. 1 - 170, p.87-90, (2018)
42. MAREGOT - MAnagement des Risques de l'Erosion cotière et actions de GOUVERNANCE Transfrontalière [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://interreg-maritime.eu/it/web/maregot/progetto>
43. Маслей В. Н. Методика оценки последствий добычи янтаря по многоспектральным спутниковым снимкам [Електронний ресурс] / В. Н. Маслей, Д. К. Мозговой, К. Г. Белоусов, В. С. Хорошилов, А. С. Бушанская, Н. Г. Галич/ Косм. наука і технол. 2016, 22 ;(6): С. 26-36 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.mao.kiev.ua/biblio/jscans/knit/2016-22/knit-2016-22-6-04-masley.pdf>
44. Мащенко О.М. Геоморфологія. Ч.2. Зональні типи морфоскульптур суходолу: навч. посіб. для студ. спец. «Географія». – Полтава: ПНПУ імені В.Г.Короленка, 2016. - 32 с. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://dspace.pnpu.edu.ua/bitstream/123456789/7375/1/%D0%93%D0%B5%D0%BE%D0%BC%D0%BE%D1%80%D1%84%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D1%96%D1%8F%20%D0%BF%D0%BE%D1%81%D1%96%D0%B1%D0%BD%D0%B8%D0%BA%20%D0%A7.2.pdf>
45. Measuring snow and glacier ice properties from satellite [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1029/1999RG000076>
46. MIROVA (Middle Infrared Observation of Volcanic Activity) [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.mirovaweb.it/>
47. Мониторинг качества воздуха с помощью данных TROPOMI в Google Earth Engine [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://habr.com/ru/post/507046/>

48. Multispectral and RADAR images integration for geologic, geomorphic, and structural investigation in southwestern Arabian Shield, Al Qunfudhah area, Saudi Arabia [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/16583655.2020.1741957>
49. Надточій П. П. Еколого-економічна оцінка впливу діяльності, пов'язаної з незаконним видобуванням бурштину на стан довкілля Житомирщини [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://ir.znau.edu.ua/bitstream/123456789/3398/1/VZNAU_2015_1_1_28-50.pdf
50. Надточій П.П., Мислива Т.М. Екологічні наслідки видобування бурштину на Житомирщині (Практичний порадник). Видавництво ЖНАЕУ, – 2015, с.49.
51. Національний Атлас України [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://wdc.org.ua/atlas/>
52. NDVI - теорія і практика [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://gis-lab.info/qa/ndvi.html>
53. Немцева Л.Д., Беспалова Л.А., Голубева Е.И., Михайлов С.И. Оценка состояния растительного покрова сухостепных ландшафтов в условиях выпаса с применением методов дистанционного зондирования земли [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://www.ssc-ras.ru/ckfinder/userfiles/files/Nemtseva%20et%20al_p_151-164_Stud_SSCRAS_V_7_2018.pdf
54. Новий адміністративно-територіальний устрій України – інтерактивна мапа та основні дані [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://decentralization.gov.ua/news/12921>
55. Основи методів дистанційного зондування [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://elearn.nubip.edu.ua/pluginfile.php/190079/mod_page/content/5/Lekciji/Lekcija_2.pdf
56. Оценка динамики аридных экосистем на основе материалов дистанционного зондирования [Електронний ресурс] – Режим доступу:

<http://www.miigaik.ru/upload/iblock/576/576db891c019c3c863f9b3246f1c1e5e.pdf>

57. Поліський ландшафтний край [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://geografica.net.ua/publ/galuzi_geografiji/fizichna_geografija_ukrajini/poliskij_landshaftnij_kraj/39-1-0-544
58. Правила проведения рекультивации и консервации земель [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_302235/90e01d185047971fe921b2bb4ea2abe4389a57d5/
59. Путренко В.В., Назаренко С.Ю. Визначення якості повітря на основі інтелектуального аналізу ДЗЗ [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://dspace.nbuuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/131870/13-Putrenko.pdf?sequence=1>
60. Reclamation of destructed lands owing to illegal amber production in northern regions of Ukraine [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://ep3.nuwm.edu.ua/18348/1/4%20Korniyenko%20VYa%20%281%29.pdf>
61. Ретроспективна регіональна карта земного покриву для України: методологія побудови та аналіз результатів [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.mao.kiev.ua/biblio/jscans/knit/2015-21/knit-2015-21-3-05-kussul.pdf>
62. Розвиток ДЗЗ в Україні [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://www.agrosvit.info/pdf/7_2017/10.pdf
63. Romina Solorza. Literature review of glaciers monitoring from remote sensing techniques [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://aulavirtual.ig.conae.gov.ar/moodle/pluginfile.php/513/mod_page/content/76/RominaSolorza.pdf
64. Satellite remote sensing applications for surface soil moisture monitoring: A review [Електронний ресурс] – Режим доступу: [http://estc.gmu.edu/homemain_files/Pdf/FES-09006-WLL%20\(2\).pdf](http://estc.gmu.edu/homemain_files/Pdf/FES-09006-WLL%20(2).pdf)

65. Satellite Remote Sensing of Surface Urban Heat Islands: Progress, Challenges, and Perspectives [Електронний ресурс] – Режим доступу: www.mdpi.com > pdf
66. Свідзінська, Д.В. Методи геоекологічних досліджень: геоінформаційний практикум на основі відкритої ГІС SAGA: навчальний посібник / Д.В. Свідзінська. – К.: Логос, 2014. – 402 с.
67. Semi-Automatic Classification Plugin Documentation [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://readthedocs.org/projects/semiautomaticclassificationmanual-uk-ua/downloads/pdf/latest/>
68. Semi-Automatic Classification Plugin User Manual [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://fromgistors.blogspot.com/p/user-manual.html?spref=scp>
69. Sentinel Online (ESA) [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://sentinel.esa.int>
70. Shuttle Radar Topography Mission (SRTM GL1) Global 30m [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://portal.opentopography.org/raster?opentopoID=OTSRTM.082015.4326.1>
71. Soil-adjusted Vegetation Index [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://wiki.landscapetoolbox.org/doku.php/remote_sensing_methods:soil-adjusted_vegetation_index
72. Стадниченко А. П., Киричук Г. Є., Янович Л. М., Король В.В. Стан гідромережі Житомирського Полісся // А. П. Стадниченко, Г. Є. Киричук, Л. М. Янович, В. В. Король / [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://eprints.zu.edu.ua/520/1/00sapzhp.pdf>
73. Структура лісового фонду Житомирського Полісся [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2013/23_6/6.pdf
74. Surface Temperature Estimation of Gangotri Glacier using Thermal Remote Sensing [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/266738453_Surface_Temperature_Estimation_of_Gangotri_Glacier_using_Thermal_Remote_Sensing

- 75.Тваринний світ Житомирщини [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://ukrainaincognita.com/zhytomyrska-oblast/>
- 76.Тематическое дешифрирование и интерпретация космических снимков среднего и высокого пространственного разрешения [Электронный ресурс]: учебное пособие / А. Н. Шихов, А. П. Герасимов, А. И. Пономарчук, Е. С. Перминова ; Пермский государственный национальный исследовательский университет. – Электронные данные. – Пермь, 2020. – 49,6 Мб ; 191 с. [Электронный ресурс] – Режим доступу: <http://www.psu.ru/files/docs/science/books/uchebnie-posobiya/shikhov-gerasimov-ponomarchuk-perminova-tematicheskoe-deshifrovanie-i-interpretaciya-kosmicheskikh-snimkov.pdf>
- 77.Тенденції зміни клімату у Житомирській області: кліматичні зміни та їх наслідки на території Житомирської області [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://ir.znau.edu.ua/bitstream/123456789/8159/5/NME_2017_153-157.pdf
- 78.The calculation of TDVI based on the composite time of pixel and drought analysis [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.isprs.org/proceedings/XXXVIII/part2/Papers/153_Paper.pdf
- 79.The Copernicus Sentinel-5 Precursor mission [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-5p>
- 80.Thermal infrared multispectral remote sensing of lithology and mineralogy based on spectral properties of materials [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/323808118_Thermal_infrared_multispectral_remote_sensing_of_lithology_and_mineralogy_based_on_spectral_properties_of_materials
- 81.Thermal Infrared Sensing for Exploration and Mining – An Update on Relevant Systems for Remote Acquisition to Drill Core Scanning [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.dmec.ca/getattachment/a9235e86-de6f-41d0-8bc3-c59d88993d66/Resources/Exploration-17/Thermal-Imaging-for-Exploration-and-Mining.aspx>

82. Thermal Remote Sensing for Global Volcano Monitoring: Experiences From the MIROVA System [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/feart.2019.00362/full>
83. Thermal Remote Sensing from UAVs: A Review on Methods in Coastal Cliffs Prone to Landslides [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.mdpi.com/2072-4292/12/12/1971/htm#B76-remotesensing-12-01971>
84. Thermal infrared remote sensing of urban heat: Hotspots, vegetation, and an assessment of techniques for use in urban planning <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034425716303509>
85. TROPOMI Explorer [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://showcase.earthengine.app/view/tropomi-explorer>
86. Філіпович В. Є., Шевчук Р. М. Бурштинове провалля. Застосування супутникових даних для виявлення місць нелегального видобутку бурштину та оцінки завданої шкоди ландшафтам Полісся. // Человек. 2017, -С. 20-22.
87. Флора Житомирського Полісся [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.novaecologia.org/voecos-1472-2.html>
88. Характеристика ґрунтів Західного Полісся [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://core.ac.uk/download/pdf/153585878.pdf>
89. Червона книга України [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://redbook-ua.org/>
90. Шевчук Р. М. Методика супутникового моніторингу геоecологічного стану територій відкритого видобування корисних копалин [Електронний ресурс]– Режим доступу: <https://casre.kiev.ua/images/files/paper-shevchuk.pdf>