

Міністерство освіти і науки України
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
ННІ "Інститут геології"
кафедра геоінформатики

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА
спеціальність 193 – Геодезія та землеустрій
освітня програма «Оцінка землі та нерухомого майна»

**ТЕМА: "Використання методів дистанційного зондування Землі в
задачах моніторингу об'єктів лісового кадастру"**

Виконала

студентка 2-го курсу магістратури
кафедри геоінформатики

Лимар Катерина Володимирівна

Науковий керівник

професор доктор технічних наук
Зацерковний Віталій Іванович

Робота рекомендується до захисту (№ 8) засідання
кафедри геоінформатики від 15.05.2023р

Завідувач кафедри

професор

доктор технічних наук

Зацерковний Віталій Іванович

Київ-2023

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ	2
ВСТУП	3
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ДЗЗ У ЗАДАЧАХ МОНІТОРИНГУ ЛІСОВОГО КАДАСТРУ	5
1.1. Аналіз статей та публікацій	5
1.2. Загальна характеристика технологій дистанційного зондування Землі	7
1.3. Нормативно-правова база моніторингу лісового кадастру	10
РОЗДІЛ 2. ЗАСТОСУВАННЯ ДЗЗ У МОНІТОРИНГУ ОБ'ЄКТІВ ЛІСОВОГО КАДАСТРУ	12
2.1. Моніторинг лісів як завдання лісовпорядкування	12
2.2. Переваги застосування методів ДЗЗ в моніторингу об'єктів лісового кадастру	15
2.3. Практичні аспекти застосування технологій дистанційного зондування Землі.....	16
2.4. Особливості застосування технологій ДЗЗ для отримання інформації про лісовий покрив	22
2.5. Застосування технологій дистанційного зондування Землі в задачах лісової таксації.....	24
2.6. Структура геоінформаційних даних.....	35
РОЗДІЛ 3. ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ОБ'ЄКТІВ ЛІСОВОГО КАДАСТРУ	36
3.1. Обґрунтування вибору космічних знімків та їх попередня обробка.....	36
3.2. Аналіз масштабів вирубок лісів за допомогою космічних знімків	38
3.3. Аналіз впливу сміттєзвалищ на стан лісового покриву за допомогою індексу NDVI.....	45
3.4. Моніторинг пожеж та їх наслідків за допомогою технологій ДЗЗ	57

ВИСНОВКИ 67

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 69

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ

ДЗЗ — дистанційне зондування землі

ГІС — геоінформаційні системи

ГІТ — геоінформаційні технології

NDVI – (Normalized Difference Vegetation Index) – нормалізований диференціальний вегетаційний індекс

ПКМУ — постанова Кабінету Міністрів України

Спектр ЕМХ — спектр електромагнітних випромінювань

ArcGIS – програмне забезпечення для побудови ГІС будь-якого рівня

КА — космічний апарат

ВСТУП

Зміни у навколишньому середовищі відбуваються під впливом різних чинників, як природних, так і антропогенних. Зростаюче навантаження на ландшафти, прискорення темпів знищення лісу, нераціональне використання лісових ресурсів, призводять до негативних наслідків для природи та держави в цілому.

Сутність моніторингу полягає в спостереженні за довкіллям, прогнозуванні та оцінці його стану. За ПКМУ (Про затвердження Положення про державну систему моніторингу довкілля) система моніторингу - це система спостережень, збирання, оброблення, передавання, збереження та аналізу інформації про стан довкілля, прогнозування його змін і розроблення науково-обґрунтованих рекомендацій для прийняття рішень про запобігання негативним змінам стану довкілля та дотримання вимог екологічної безпеки. Це Положення визначає порядок створення та функціонування такої системи в Україні (електронний ресурс.— Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/391-98-%D0%BF#Text>).

Окрім безпосереднього спостереження та отримання інформації, моніторинг передбачає і її обробку, оцінку, прогнозування, розробку природоохоронних програм та рекомендацій.

Поняття моніторингу виникло в другій половині ХХ століття як науково-практичний напрям системної екології, завданням якої було встановлення критеріїв і визначення меж стійкості екологічних систем. На початку 70-х років ХХ століття обґрунтували альтернативні концепції моніторингу довкілля як сфери наукового знання і практичної діяльності. У наші дні, актуальну і точну інформацію про стан, розвиток, забруднення лісовкритих територій можна отримати за допомогою даних дистанційного зондування Землі.

Від здобуття Україною незалежності, вітчизняні науковці почали приділяти значну увагу створенню системи моніторингу на основі технологій ДЗЗ для вирішення актуальних питань загальнодержавних завдань та інтеграції в міжнародні системи спостережень.

Сьогодні спостерігаються постійно зростаючі вимоги до інформації викликають необхідність удосконалення методів і технологій збору даних і лісовому господарстві, охороні природи та ландшафтознавстві. Розвиток сучасних засобів дистанційного зондування Землі значно розширив можливості отримання різнобічної інформації про лісові об'єкти. Використання сучасних передових технологій та космічних зображень може істотно покращити ефективність і точність робіт зі збору інформації про стан лісових ландшафтів і об'єктів. Передові технології дозволяють ефективно вирішувати завдання, пов'язані з отриманням якісно нової інформації, яка необхідна для сталого управління лісами та виконання міжнародних зобов'язань в галузі лісового господарства і охорони природи. Поєднання нової інформації із традиційними лісовпорядними даними дозволяє значно розширити спектр користувачів лісогосподарської інформації, а також надає можливості істотно поліпшити рівень їх інформаційного забезпечення з урахуванням сучасних вимог щодо сталого управління лісами (Зацерковний В.І. Савков П. Пампуха І. Застосування технологій ГІС та ДЗЗ в задачах моніторингу лісових пожеж, 2020).

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ДЗЗ У ЗАДАЧАХ МОНІТОРИНГУ ЛІСОВОГО КАДАСТРУ

1.1. Аналіз статей та публікацій

Ліси є складними динамічними природними системами, межі яких постійно змінюються. Крім того, ліс – джерело цінної промислової сировини. Зважаючи на високу трудомісткість отримання інформації про склад лісів та їх екологічний стан наземними методами, особливо на великих площах, важлива роль в оцінюванні стану лісів, їх картографуванні та проведенні моніторингу належить дистанційним методам досліджень. Експлуатація лісових ресурсів, зокрема вирубка лісів, проводиться не завжди санкціоновано та раціонально. Для контролю за станом лісів здійснюється оперативний космічний моніторинг. Дослідженням доної теми займалися Жолобак Г.М. (електронний ресурс.– Режим доступу:<http://surl.li/evasx>), Рома В.В., Степова О. В. (електронний ресурс.– Режим доступу: <http://surl.li/dghme>), Слободяник М. П., (електронний ресурс].– Режим доступу: [file:///C:/Users/Kate/Downloads/vgtk_2014_1_8%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/Kate/Downloads/vgtk_2014_1_8%20(2).pdf))

Видовий склад лісової рослинності визначають засобами класифікації багатоспектральних космічних знімків з використання сучасних програмних засобів. При цьому вдається суттєво уточнити просторовий розподіл лісів за видовим складом у межах кварталів і виділів, визначених за картами та схемами лісовпорядкування. Серед наукових доробків можна виокремити Бурштинську Х. В., Станкевича С.А. (аерокосмічні знімальні системи), Поліщука Б. В. (електронний ресурс.– Режим доступу: <http://surl.li/evazs>), Ковальчука О. Ю (електронний ресурс.– Режим доступу: <http://surl.li/evbau>).

Ліси зазнають значних пошкоджень від різних шкідників. Крім того, на них негативно впливають забруднення ґрунтів і повітря різними токсикантами –

важкими металами, вуглеводнями, радіонуклідами від підприємств, звалищ побутових відходів тощо. Ці чинники спричиняють значні економічні збитки. Ступінь ураженості лісів коливається в широких межах: від початкового до тяжкого та повної загибелі лісу. Тому потрібний систематичний моніторинг за цими явищами, який без використання методів ДЗЗ практично неможливий (Дмитрів О. П., Дудко С. А. (електронний ресурс.– Режим доступу: <http://surl.li/evbda>), Топтун А. В. (електронний ресурс.– Режим доступу: <http://surl.li/evwej>).

Значних збитків лісове господарство зазнає від пожеж. Для моніторингу лісових пожеж та оцінювання пожежонебезпечності лісових масивів ефективним є використання космознісків. Дана тема є досить розвиненою та представлена значною кількістю досліджень таких науковців як: Іванов П. С. (електронний ресурс.– Режим доступу: http://maptimes.inf.ua/CH_11/10.pdf), Зівцев С. В., Сошенський О. М., Гуменюк В. В., Корень В. А. (електронний ресурс.– Режим доступу: <http://surl.li/evkft>), Миронюк В. В. (електронний ресурс.– Режим доступу: file:///C:/Users/Kate/Downloads/10_Zibtsev.pdf), Балабух В. О. (електронний ресурс.– Режим доступу: file:///C:/Users/Kate/Downloads/Uggj_2016_18_9.pdf), Giglio, L., Boschetti, L., Roy, D. P., Humber, M. L., Justice, C. O. (електронний ресурс.– Режим доступу: <http://surl.li/evkmf>), Goldammer J. G. (електронний ресурс.– Режим доступу: <http://surl.li/evklw>).

Вивчення біофізичних процесів, що відбуваються в лісах, дає змогу заздалегідь передбачити розвиток рослинності та своєчасно застосувати заходи щодо попередження негативного впливу шкідливих чинників. Знати біофізичні параметри потрібно для побудови моделей газообміну, зокрема вуглецевого, водообміну за участю лісових масивів тощо. Дослідженням даних

характеристик об'єктів лісового кадастру займалися: Мовчан Д. М. (електронний ресурс.– Режим доступу: <http://surl.li/evknz>).

1.2. Загальна характеристика технологій дистанційного зондування Землі

Система моніторингу заснована на використанні наявних організаційних структур суб'єктів моніторингу і передбачає функціонування на основі єдиного нормативного, організаційного, методологічного і метрологічного забезпечення, об'єднання складових частин та уніфікованих компонентів цієї системи. В залежності від масштабів об'єкта спостереження розрізняють три рівні екологічного моніторингу навколишнього середовища:

- глобальний (територія земної кулі);

- регіональний (в межах адміністративно-територіальних одиниць, на територіях окремих економічних і природних регіонів);

- локальний (коли об'єктами спостереження є окремі точки і зони, розміри яких не перевищує десятків квадратних кілометрів). Проводиться на території окремих об'єктів (підприємств), міст, на визначених ділянках ландшафтів). Сьогодні на навколосемних орбітах знаходяться понад 100 космічних апаратів ДЗЗ. Космічна інформація використовується для моніторингу потенційно небезпечних об'єктів і мінімізації ризиків, виявлення і визначення масштабів надзвичайних ситуацій, планування заходів і ресурсів для запобігання та ліквідації, оцінки наслідків техногенних аварій і природних стихійних лих. Методи дистанційного зондування Землі ґрунтуються на реєстрації й подальшій інтерпретації відбитої сонячної радіації від поверхні ґрунту, рослинності, води та інших об'єктів. Винесення пристроїв, які реєструють, у повітряний або навколосемний простір забезпечує значно ширше охоплення території порівняно з наземними методами досліджень.

При дистанційному зондуванні на якість і застосування одержуваних даних великою мірою впливають спектральний діапазон знімання, просторова і

радіометрична точність, просторове охоплення, оперативність та повторюваність знімання, вартість даних (Зацерковний В.І. Савков П. Пампуха І. Застосування технологій ГІС та ДЗЗ в задачах моніторингу лісових пожеж, 2020).

Сьогодні на навколосемних орбітах знаходяться понад 100 космічних апаратів ДЗЗ. Космічна інформація використовується для моніторингу потенційно небезпечних об'єктів і мінімізації ризиків, виявлення і визначення масштабів надзвичайних ситуацій, планування заходів і ресурсів для запобігання та ліквідації, оцінки наслідків техногенних аварій і природних стихійних лих. Методи дистанційного зондування Землі ґрунтуються на реєстрації й подальшій інтерпретації відбитої сонячної радіації від поверхні ґрунту, рослинності, води та інших об'єктів. Винесення пристроїв, які реєструють, у повітряний або навколосемний простір забезпечує значно ширше охоплення території порівняно з наземними методами досліджень. При дистанційному зондуванні на якість і застосування одержуваних даних великою мірою впливають спектральний діапазон знімання, просторова і радіометрична точність, просторове охоплення, оперативність та повторюваність знімання, вартість даних (Зацерковний В.І. Савков П. Пампуха І. Застосування технологій ГІС та ДЗЗ в задачах моніторингу лісових пожеж, 2020).

Бувають такі методи дистанційного знімання:

Фотознімання – фотографування поверхні у всьому видимому діапазоні спектра чи у певній його частині, а також в інфрачервоному діапазоні. Його широко застосовуються у повітряному та космічному зніманні з метою одержання даних для створення й оновлення карт. Сканерне знімання – знімання поверхні за допомогою оптичних або багоспектральних пристроїв – сканерів. Відмінність таких пристроїв від звичайних фотокамер полягає в тому, що сканер рухаючись уздовж чи вздовж і впоперек маршруту знімання поступово фіксує відбиття проміння від поверхні й спрямовує його об'єктів. При

зніманні поверхні за допомогою сканера формується зображення з окремих елементів (пікселів), кожному з яких відповідає яскравість, випромінювання ділянки поверхні. Радарне знімання – активний метод знімання, що ґрунтується на випромінюванні напрямку знятої поверхні сигналу та прийманні його відбиття. Як правило, радарне знімання здійснюється в радіодіапазоні за допомогою локаторів бокового огляду (ЛБО). Перевагою цього методу є можливість виконання знімань у темний час доби та незначний вплив погодних умов туману, хмарності. Радарне знімання використовують для визначення форми поверхні (рельєфу) і вивчення її геологічної структури. Теплове знімання – знімання в інфрачервоному діапазоні, яке базується на фіксації теплового випромінювання поверхні та об'єктів, зумовленого сонячним випромінюванням або ендогенними процесами, та виявленні аномалій. Воно дає змогу виявляти елементи гідрографії, вивчати геологічну структуру поверхні, льодовий стан, вулканічну діяльність, температурну неоднорідність водного середовища, досліджувати рельєф дна. Спектрометричне знімання – вимірювання відбивної здатності поверхні чи шарів речовини. Його проводять у мікрохвильовому, інфрачервоному, а також у видимому та ближньому інфрачервоному діапазонах. Застосовують для вивчення гірських порід. Лідарне знімання – активне знімання поверхні шляхом неперервної фіксації відбиття від поверхні, яка опромінюється монохроматичним лазерним випромінюванням із фіксованою довжиною хвилі. Переважно лідарне знімання ведеться із носіїв з не дуже великою висотою польоту. Частота випромінювання налаштовується на резонансні частоти поглинання елемента, що сканується і, таким чином, у разі наявності значних концентрацій цього компонента відбиття значно збільшується. Використовують при вивченні нижніх шарів атмосфери, виявленні концентрації певних елементів та сполук (Основи методів дистанційного зондування, 2022).

1.3. Нормативно-правова база моніторингу лісового кадастру

Основним законом України щодо контролю лісового покриву є Лісовий Кодекс (21.01.1994 р. № 3852-XII).

Норми збереження і відтворення, моніторингу лісових покривів за допомогою засобів ДЗЗ регулюються законами та стандартами України: “Про охорону навколишнього природного середовища” (базовий законодавчий акт, яким регулюються правові відносини у галузі охорони, використання і відтворення природних ресурсів, забезпечення екологічної безпеки, запобігання і ліквідації негативного впливу господарської та іншої діяльності на навколишнє природне середовище. Відповідно до статті 39 лісові ресурси державного значення зараховано до природних ресурсів загальнодержавного значення), “Про загальнодержавну програму формування національної екологічної мережі України 2000-2015 роки”, “Про природно заповідний фонд України”; Постановами Кабінету Міністрів України: “Про порядок спеціального використання лісових ресурсів”, “Про порядок заготівлі другорядних лісових матеріалів і здійснення побічних лісових користувань в лісах України”, “Про правила поліпшення якісного складу лісів”, “Про порядок видачі спеціальних дозволів на використання лісових ресурсів”, “Порядок ведення державного лісового кадастру та обліку лісу”, “Порядок поділу лісів на категорії та виділення особливо захисних лісових ділянок”, “Правила використання корисних властивостей лісів”, “Правила пожежної безпеки в лісах України”, “Правила рубок головного користування”, “Правила відтворення лісів”; наказами Державного комітету лісового господарства України “Про правила рубок головного користування” та “Про правила пожежної безпеки в лісах України”; законами України: “Про охорону навколишнього природного середовища”, “Про природно-заповідний фонд”, “Про охорону земель”, “Про заборону на проведення суцільних рубок у гірських ялицево-букових лісах Карпатського

регіону”; ДСТУ 4220-2003 Дистанційне зондування Землі з космосу. Терміни та визначення понять: Державний стандарт. ДСТУ 4758-2007 "Дистанційне зондування Землі з космосу: Оброблення даних: Терміни та визначення”.

РОЗДІЛ 2. ЗАСТОСУВАННЯ ДЗЗ У МОНІТОРИНГУ ОБ'ЄКТІВ ЛІСОВОГО КАДАСТРУ

2.1. Моніторинг лісів як завдання лісовпорядкування

Ліси займають більше як 15,9 % території України і розташовані в основному на півночі (Полісся) та заході (Карпати). Вони мають важливе соціально-економічне та екологічне значення, є джерелом цінних ресурсів, забезпечують збереження у зв'язному стані значної частини світового запасу вуглецю, виступають як екологічний каркас для збереження біорізноманіття екосистем, а також виконують безліч інших біосферних функцій. Необхідність здійснення регулярного моніторингу стану лісів обумовлена їх безперервною динамікою в результаті впливу природних і антропогенних факторів.

Моніторинг — це система повторних спостережень одного чи більше елементів навколишнього середовища у просторі й часі з певними цілями відповідно до завчасно підготовленої програми.

Геоінформаційний моніторинг — це технологія та автоматизована система планування й проведення моніторингу на основі інтегрування даних з різних джерел, моделювання, оцінювання стану об'єктів моніторингу в середовище геоінформаційних систем із застосуванням баз геопросторових даних і баз знань (електронний ресурс. – Режим доступу: <https://gis-lab.info/docs.html>).

Основною метою моніторингу є запобігання негативних наслідків пов'язаних з негативними наслідками господарської діяльності людини.

Завдання моніторингу лісів з метою визначення стратегії раціонального лісокористування та захисту навколишнього середовища передбачає необхідність широкого застосування технологій дистанційного зондування Землі, супутникових навігаційних систем, геоінформаційних технологій для збирання, обробки та аналізу інформації про лісові ресурси у поєднанні з

даними аеровізуальних обстежень і матеріалами традиційних наземних методів досліджень. Такий комплексний підхід дозволяє зібрати великий масив актуальних даних і на цій основі створити достовірні карти стану лісів, використовувати отримані дані для ведення державного лісового кадастру, комплексного обліку та оцінювання природних ресурсів, управління лісокористуванням, природоохоронними територіями, тощо.

Моніторинг лісів — це система регулярних спостережень, оцінки та аналізу інформації про стан лісів та прогнозування його змін з метою забезпечення інформаційно-аналітичної підтримки прийняття рішень щодо сталого управління лісами. Моніторинг є складовою частиною системи інформаційної підтримки управління лісами.

Функціонування моніторингу має забезпечити:

- підвищення оперативності отримання і якості первинних даних про екологічний стан лісів;
- зростання рівня адекватності між реальним екологічним станом лісів та його інформаційною моделлю;
- підвищення рівня обґрунтування прийняття рішень з управління лісами;
- покращення якості інформаційного забезпечення споживачів лісоекологічної інформації шляхом застосування сучасних комп'ютерних та інформаційних технологій.

Основні завдання моніторингу лісів:

- довгострокові систематичні спостереження за станом лісових екосистем України для одержання повної, об'єктивної та своєчасної інформації щодо його поточних змін;
- виявлення та оцінка факторів, які впливають на стан лісів, оцінка масштабів погіршення стану лісів, з'ясування причин і механізмів зміни стану лісів,

визначення закономірностей їх сталого функціонування і прогнозування їх динаміки;

- інформаційно-аналітична підтримка рішень щодо управління лісами.

Моніторинг — багаторівнева система спостережень. Виділяють два рівні:

1) екстенсивний — отримання інформації про часову і просторову динаміку стану лісів і визначення територій, на яких відбуваються суттєві зміни стану лісів;

2) інтенсивний - визначення закономірностей динаміки стану лісів та виявлення головних факторів, які визначають стан лісів (оцінка причинно-наслідкових зв'язків).

Основні завдання моніторингу:

- оцінка площ;
- виявлення вогнищ впливу (вирубка, загоряння і ін.);
- оцінка коефіцієнта пожежної небезпеки;
- оцінка деревостану (вікові та ін. показники);
- оцінка листяного покриву;
- виявлення шкідників і захворювань (електронний ресурс.- Режим доступу: http://ukr-referats.blogspot.com/2013/04/blog-post_12.html).

В Україні спостереження за станом лісів і досі часто проводиться наземними методами на ділянках моніторингу. Хоча має місце освоєння нових технологій інвентаризації лісів. На жаль, державної програми дистанційного моніторингу лісів не створено.

2.2. Переваги застосування методів ДЗЗ в моніторингу об'єктів лісового кадастру

1. Об'єктивність. Кожен космічний знімок - це документ, який відображає актуальний (дійсний) стан території на час знімання. Наприклад, розмір та напрямки площ лісозаготівельних робіт не залежать від матеріалів відводів

лісового господарства. Фальсифікація є практично неможливою, тому що на одну територію виконуються знімання з різних супутників і підроблені знімки можна легко виявити. Тому використання космічних зображень дає можливість незалежного та перехресного контролю лісового сектору різними національними та міжнародними організаціями.

2. Актуальність. Космічні дані можна отримати для зображень на різні дати. Отримати космічне зображення на замовлення з середньою чи високою роздільною здатністю можна впродовж декількох тижнів.

3. Масштабність. У загальному сучасне космічне знімання дає можливість отримати зображення значних територій з необхідною деталізацією.

4. Екстериторіальність. Площі, що знімаються не є обмежені державними чи адміністративними кордонами, немає потреби отримувати дозволи на знімання. Все це дозволяє отримати уніфіковані дані про стан лісів в різних лісових господарствах, адміністративних одиницях, орендованих територіях.

5. Доступність. Це одна з найбільш вагомих причин активного використання космічних зображень. На сьогодні всі дані по космічних знімках з роздільною здатністю 2 м та менше є доступними і їх можна купити (електронний ресурс.– Режим доступу : <http://surl.li/eskac>).

2.3. Практичні аспекти застосування технологій дистанційного зондування

Землі

У розвитку ДЗЗ виділяють два взаємопов'язані напрямки – природнонауковий (дистанційні дослідження) та інженерно-технічний (дистанційні методи), що знайшло відображення в широко поширених англомовних термінах *remote sensing* і *remote sensing techniques*. Терміни "віддалений носій" або "дистанційне зондування" позначають аерої космічну зйомку і запозичені з англійської мови: "віддалений" або "дистанційний" – *remote*, "зйомка з віддалених платформ" – *remote sensing* (RS).

ДЗЗ – це процес одержання інформації про різні об’єкти та динамічні процеси і явища на поверхні Землі, в її надрах і атмосфер шляхом реєстрації на прийомних чутливих елементах апаратури (сенсорах) відбитого або власного ЕМВ на відстані, з метою визначення місця розташування, виду, властивостей і часової зміни об’єктів навколишнього середовища без безпосереднього контакту з об’єктом. Тобто сутність ДЗЗ полягає в тому, щоб замість проведення вимірів за місцем розташування об’єкта спромогтися виміряти його характеристики на відстані. Оскільки безпосередній контакт з об’єктом або неможливий, або недоцільний, залишається покладатися тільки на ту інформацію, яка міститься в зареєстрованому електромагнітному сигналі, наприклад, в оптичному, інфрачервоному або мікрохвильовому діапазоні. Кінцевою метою ДЗЗ є розпізнавання об’єктів, явищ, процесів, що потрапляють у поле зору апаратури зондування, визначення їх положення в просторовій системі координат. Дані ДЗЗ сьогодні – це аерокосмічні знімки, що подані в цифровій формі у вигляді растрових зображень, тому проблематика й інтерпретація даних ДЗЗ тісно пов’язана з цифровою обробкою зображень. Діапазон масштабів сучасних аерокосмічних знімків величезний: він може змінюватися від 1:1 000 до 1:100 000 000, тобто в 100 000 разів. При цьому найбільш розповсюджені масштаби аерофотознімків лежать у межах 1:10 000–1:50 000, а космічних – 1:200 000–1:10 000 000. Усі аерокосмічні знімки прийнято поділяти на аналогові (фотографічні) і цифрові (електронні). Аерокосмічні знімки як інформаційні моделі місцевості характеризуються низкою властивостей, серед яких виділяють образотворчі, радіометричні (фотометричні) і геометричні. Образотворчі властивості характеризують здатність знімків відтворювати дрібні деталі, кольори і тонові градації об’єктів. Радіометричні властивості свідчать про точність кількісної реєстрації знімком яскравостей об’єктів. Геометричні властивості характеризують можливість

визначення за знімками розмірів, довжин і площ об'єктів і їх взаємного положення. Важливими показниками знімка слугують просторове охоплення і розрізнення. Як правило, для досліджень потрібні знімки великого охоплення і високого розрізнення (Зацерковний В.І. Дистанційне зондування Землі. Фізичні основи, 2020).

Для функціонування системи дистанційного зондування потрібна узгоджена робота 4-х складових ланок:

- носіїв знімальної апаратури (аеро- та космічних);
- знімальної апаратури та апаратури реєстрації;
- бортових засобів передачі даних на Землю;
- наземних комплексів управління польотом і зйомками, прийому інформації (наземні пункти прийому, супутники-ретранслятори), її збереження, обробку й розповсюдження (центри первинної обробки інформації, архіви знімків).

Для розв'язання широкого кола наукових і прикладних завдань дослідження Землі, атмосфери і навколоземного космічного простору за допомогою ДЗЗ, крім наявності на борту супутника спеціальних інформаційновимірвальних приладів і радіоліній для передачі даних, потрібно, щоб цільова інформація задовольняла широкий набір вимог, що висуваються до КА або космічної системи з декількох КА. Використання методів і апаратури ДЗЗ практично доцільне та корисне, якщо споживачам забезпечується:

- одержання спектрозональної вимірвальної інформації необхідного просторового, спектрального і радіометричного розрізнення з допустимими геометричними викривленнями і геоприв'язкою інформації до місцевості;
- можливість одночасного (синхронного) одержання комплексних вимірів і зображень поверхні Землі, а також профілів температури, вологості і газового

складу атмосфери в декількох різних діапазонах і багатьох піддіапазонах спектра ЕМХ;

– постійна або регульована періодичність одержання інформації з одних і тих самих районів Землі в однакових умовах сонячної освітленості для дослідження динаміки процесів, що відбуваються в природних утвореннях;

– можливість оперативного і точного наведення трас зйомки з КА на певні райони для систематичних спостережень при надзвичайних ситуаціях або на вимірювальні наземні полігони при проведенні комплексних підсупутникових експериментів;

– оптимальне сполучення достатньо оперативного глобального огляду усієї земної поверхні з можливостями одержання локальної інформації детального огляду.

Різні об'єкти ДЗЗ мають неоднакові спектрально-енергетичні відбивні та випромінювальні характеристики, відрізняються просторовими розмірами й геометричною формою, характером поведження в часі і просторі. Ці особливості об'єктів ДЗЗ слід враховувати при виборі космічної видової (іконічної) інформації для розв'язання завдань дослідження (Зацерковний В.І. Дистанційне зондування Землі. Фізичні основи, 2020).

При розв'язуванні прикладних завдань ключовими тактико-технічними характеристиками, що визначають ефективність системи ДЗЗ загалом, є просторова, спектральна і часова (оперативність повторної зйомки) розрізненості, смуга обстеження та швидкість і режими надходження інформації. Кожний з цих параметрів і сукупність їх реалізації в бортових комплексах КА визначають множину вимог до параметрів орієнтації і стабілізації, конструктивного компонування, масогабаритних і енергетичних характеристик, терморежимів, циклограм роботи й інших властивостей супутникової платформи і космічного апарата в цілому, балістики і динаміки

його орбітального руху тощо (Зацерковний В.І. Дистанційне зондування Землі. Фізичні основи, 2020).

Просторове розрізнення космічної інформації визначається миттєвим полем зору приладу реєстрації і при даній висоті орбіти характеризується розміром елементарної ділянки поверхні випромінювання ("пікселя"), спектрональний потік радіації з якої сприймається бортовим сенсором як точковий (випромінювання точки певної яскравості), тому кажуть про горизонтальне розрізнення на поверхні Землі або просто виміряну в лінійних одиницях довжину на місцевості, найчастіше у метрах. Просторова розрізненість на місцевості (spatial resolution) – характеристика зображення, створювана видовим технічним засобом ДЗЗ, що визначає розмір найменшого компактного об'єкта або ширину видовженого об'єкта певного контрасту, яку можна визначити (розрізнити) на цьому зображенні з заданою імовірністю (Зацерковний В.І. Дистанційне зондування Землі. Фізичні основи, 2020).

Знімки низького просторового розрізнення є оглядовими і дозволяють одномоментно охоплювати значні території – упритул до цілої півкулі. Такі дані найчастіше використовуються в метеорології, при моніторингу лісових пожеж й інших масштабних природних катаклізмів. Знімки середнього просторового розрізнення – основне джерело даних для моніторингу природного середовища. Знімки високого розрізнення з космосу донедавна здійснювались головним чином в інтересах військової розвідки, а з повітря – з метою топографічного картографування. Однак сьогодні вже є декілька комерційно доступних космічних сенсорів високого розрізнення (KBP-1000, IRS, IKONOS), які дозволяють виконувати просторовий аналіз з великою точністю або уточнювати результати аналізу при середньому або низькому розрізненні. Величина розрізнення на місцевості (в м² або км²) є найважливішим показником якості космічної інформації. Цей параметр визначає геометричні характеристики

зображення або поля виміру, тому його прийнято називати геометричним розрізненням на місцевості $\Delta R\lambda$ для даної ділянки спектра (Зацерковний В.І. Дистанційне зондування Землі. Фізичні основи, 2020).

Спектральне розрізнення вказує на те, які ділянки спектру ЕМХ реєструються сенсором. При аналізі природного середовища, наприклад, для екологічного моніторингу, цей параметр – найважливіший. Спектральна розрізненість (spectral resolution) – найменша різниця частот сигналів електромагнітного випромінювання, що надходить від об'єкта зондування, яку може визначити (розрізнити) технічний засіб ДЗЗ. Умовно весь спектр ЕМВ, що використовується в ДЗЗ, умовно поділяється на спектральні інтервали або зони, а в процесі ДЗЗ формують зональні знімки місцевості, кількість зон яких може становити декілька десятків, а то й навіть сотень.

Так створюють багатоспектральні і гіперспектральні зображення, що складаються з низки зональних зображень. Поділ спектра на спектральні інтервали зумовлений відмінностями взаємодії ЕМХ і земної поверхні, відмінностями в процесах, що визначають відбиття і випромінювання ЕМХ.

Весь використовуваний спектр ЕМВ від ультрафіолету до мікрохвильового, зазвичай складається з декількох спектральних діапазонів, що несуть інформацію про різні властивості і стан поверхні Землі та її атмосфери. При цьому кожний з них може бути розбитий на окремі вузькі піддіапазони.

Радіометрична розрізненість (radiometric resolution) – найменша різниця інтенсивностей сигналів, що надходять від об'єкта зондування, яку може визначити (розрізнити) технічний засіб ДЗЗ. Це кількість градацій значень кольору, що відповідають переходу від яскравості абсолютно "чорного" до абсолютно "білого". Виражається в кількості біт на піксель зображення. Зазвичай варіюється від 8 до 24 біт, що дає від 256 до 65536 рівнів. Похідною від радіометричної розрізненості є контраст зображення. Зазвичай саме через

величину контрасту визначають радіометричну якість аерота космічних зображень (Зацерковний В.І. Дистанційне зондування Землі. Фізичні основи, 2020).

Величину радіометричної розрізненності встановлюють за внутрішніми шумами фотоприймального блока видового технічного засобу, а також шумами випромінювання. Часова розрізненність (temporal resolution) – найменший інтервал часу, через який можлива повторна зйомка сцени.

Вимоги щодо оперативності надходження даних визначають параметри орбіти космічного апарату (КА), тип сенсора, склад наземних засобів обробки даних, організаційну схему доведення інформації до споживача тощо. Як свідчить досвід, близько половини тематичних завдань можуть бути розв'язані за даними ДЗЗ, що надходять до споживача у термін від 3 до 6 місяців, інші завдання потребують космічної інформації з терміном "свіжості" до 3-х місяців і менше. Вимоги до часу зйомки земної поверхні з космосу визначають тим інтервалом діб та/або сезоном (порою) року, коли контраст зображення, зумовлений сигналами від об'єктів, є найбільшим. У видимому діапазоні довжин хвиль зйомка виконується вдень, коли земна поверхня достатньо освітлена Сонцем. В ІЧ та мікрохвильовому діапазонах зйомка можна здійснюватись за відсутності сонячного освітлення, оскільки самі об'єкти зондування є джерелом випромінювання. Для довжин хвиль радіодіапазону атмосфера фактично прозора, радіочастотні засоби ДЗЗ є всепогодними, тому час зйомки і реєстрації радіолокаційного зображення особливого значення для успішної його інтерпретації не мав. Вимоги до пори року, коли саме потрібно здійснювати зйомку і отримувати видову космічну інформацію, визначаються тематичним завданням і цільовим класом об'єктів ДЗЗ. Наприклад, для виконання тематичних завдань, пов'язаних з лісогосподарством, потрібні насамперед космічні зображення літнього періоду, для прогнозування врожаю

– зображення, отримані наприкінці весни – влітку. Разом з тим деякі тематичні завдання (наприклад, оцінка зон надзвичайних ситуацій та збитків від них) потрібно виконувати у міру їх виникнення, незалежно від пори року (Зацерковний В.І. Дистанційне зондування Землі. Фізичні основи, 2020).

2.4. Особливості застосування технологій ДЗЗ для отримання інформації про лісовий покрив

Необхідність здійснення регулярного моніторингу стану лісів обумовлена їх безперервною динамікою в результаті впливу природних і антропогенних факторів (пожежі, вирубки, техногенне забруднення тощо). Завдання моніторингу лісів з метою визначення стратегії раціонального лісокористування та захисту навколишнього середовища передбачає необхідність широкого застосування технологій дистанційного зондування Землі.

Для отримання інформації про лісовий покрив використовують ультрафіолетовий діапазон (0,1-0,38 мкм) Видимий (0,38-0,74 мкм) і ближній інфрачервоний діапазони (0,74-2,50 мкм) широко використовують для знімання лісових масивів як у панхроматичному, так і в мультиспектральному режимах. Хлорофіл, що міститься в листі, поглинає червоні й сині промені, тоді як зелені в основному ним відбиваються. У синій і червоній зонах видимої ділянки спектра здатність відбивання променів рослинами дуже низька. Зате в ближньому інфрачервоному діапазоні фіксуються максимальні значення коефіцієнтів відбиття. Тому при вивченні стану лісів, їх картографуванні ефективно використовуються знімки в "крайній червоній" зоні (довжина хвилі – 0,7-0,75 мкм) видимої ділянки спектра та в ближньому інфрачервоному діапазоні (0,78-0,88 та 0,9-1,05 мкм відповідно). Тепловий діапазон (2,5 мкм-1 мм) надає інформацію про теплове поле ландшафту.

При дослідженні температурного режиму лісу було встановлено, що в різних типах рослинності, у насадженнях різної щільності, складу й віку порід у

приземному шарі на рівні поверхні і в ґрунті перепад температур досягає декількох градусів. Застосування теплового знімання надає додаткову інформацію про ліси, в т. ч. й про умови місць їх зростання, що значно різняться за ступенем зволоженості ґрунту: вологі ділянки зазвичай холодніші, ніж дреновані, поверхня яких прогрівається швидше. Перепад температур було виявлено і в полосі насаджень. Теплова зйомка може використовуватися для виявлення хворих, ушкоджених і сухостійних дерев, оскільки за температурною яскравістю вони різко відрізняються від фонові і здорової рослинності. Крім цього, тепла зйомка давно зарекомендувала себе як найкращий метод виявлення лісових пожеж. Космічна зйомка в тепловому діапазоні дозволяє контролювати ситуацію одночасно на великих площах, виявляти приховані вогнища пожеж, здійснювати моніторинг і вдень, і в нічний час, і в умовах сильного задимлення (електронний ресурс. – Режим доступу: <https://gis-lab.info/docs.html>).

2.5. Застосування технологій дистанційного зондування Землі в задачах лісової таксації

Лісова таксація – це наукова дисципліна, яка вивчає методи обліку лісових ресурсів як в статиці, так і в динаміці. Назва дисципліни походить від латинського слова *taxatio*, що означає оцінювати, вимірювати, визначати вартість. Тобто мова йде про оцінку лісу в широкому розумінні цього слова. Лісова таксація є однією з основних професійно-орієнтованих дисциплін в системі підготовки фахівців лісового господарства, оскільки знання методів лісової таксації необхідні для якісного виконання своїх службових обов'язків усіма інженерно-технічними працівниками лісової галузі. Базовими дисциплінами для вивчення лісової таксації є вища математика, біометрія, лісове товаровознавство, геодезія. Разом із тим, знання з лісової таксації необхідні під час вивчення лісівництва, лісовпорядкування, економіки, організації та

планування лісогосподарського виробництва, дистанційного зондування лісів, моделювання продуктивності лісів тощо (електронний ресурс.- Режим доступу: <https://core.ac.uk/download/pdf/95312659.pdf>).

Лісова таксація, як і будь-яка інша галузь наукових знань, розглядає ліс як цілісну систему, всі компоненти якої взаємопов'язані. Основним у лісовій таксації є метод прямої індукції, побудований на теорії ймовірностей та математичній статистиці. Для вирішення конкретних лісотаксаційних завдань існує необхідність в узагальненні масових явищ, зв'язків, закономірностей у формалізованому вигляді. Якщо певна формула знаходить своє підтвердження на якомога більшому обсязі матеріалу, то сфера її застосування розширюється. Проте, будь-яке дослідження включає також елемент дедукції: після попередніх досліджень зазвичай визначають загальну закономірність, яка підтверджується чи спростовується на основі подальших спостережень. Методи лісової таксації залежать від об'єктів таксації. Виділяють такі об'єкти таксації:

- окреме дерево (зрубане дерево, дерево, що росте) та його частини;
- сукупність (множина) дерев;
- деревостан;
- насадження;
- лісовий масив;
- лісова деревна продукція;
- недеревна продукція;
- соціальні та екологічні функції лісу (електронний ресурс.- Режим доступу:

<https://core.ac.uk/download/pdf/95312659.pdf>).

Основні таксаційні показники - склад, форма насадження, вік, середні висота і діаметр, бонітет, повнота, запас, товарність, тип лісу. Їх визначають методами наземної таксації або за допомогою аеротаксації і подальшого камерального дешифрування аерофотознімки. Найбільш поширена наземна

таксація, при якій таксаційні показники встановлюють окомірно на підставі досвіду, набутого під час таксації пробних тренувальних площ або розрахунковим способом. При розрахунковому методі всі таксаційні показники отримують на основі суцільного перерахунку дерев за породами вимірювання їх діаметру і висоти, в залежності від цілей дослідження за категоріями санітарного стану або іншим, наприклад по класах товарності.

При таксації насадження виявляють його найважливіші ознаки, і крім того, розглядають стан підросту і підліску, описують надґрунтовий покрив. Всі ці показники вписують в спеціальний документ - таксаційні опис.

Таксаційні описи служать одними з основних документів, які дають конкретне уявлення про характер і особливості окремого об'єкту лісового кадастру. Склад деревостану визначається співвідношенням запасів і складають його елемент.

Елемент лісу - статистично однорідна сукупність стовбурів однієї деревної породи в межах класу віку.

Висота насаджень - таксаційний показник, який визначається через висоту середнього за запасом дерева. При визначенні висоти деревостану вимірюють висоту кожного 5, 8 або 10-го дерева. Потім будується графік висот, на вертикальній осі відкладається висота дерева елемента лісу, на горизонтальній - діаметр.

Середній вік насадження визначається як вік середнього по запасу дерева елемента лісу.

Бонітет - найважливіший показник зростання деревостану і його продуктивності. Бонітет насаджень визначають за середньою висотою деревостану і його віком.

Густота деревостану визначається кількістю дерев на одиниці площі (на 1 га).

Запас - обсяг стовбурної деревини на пробній площі.

Повнота абсолютна - сума площ перетину стовбурів на висоті 1,3 м в насадженні на 1 га. Повнота відносна - обчислюється за стандартними таблицями обчисленням відношення повноти нормального насадження до визначеної в натурі.

Видове число - виражає відношення об'єму дерева до об'єму циліндра, що має висоту, рівну висоті дерева і основу, рівну площі його перерізу на висоті грудей. За допомогою видового числа можна легко визначити запас насаджень за відомою сумою площ перетину і середньою висотою.

Видова висота - добуток середньої висоти насадження на середнє видове число. Видова висота дає змогу визначити запас, шляхом її множення на суму площ перетину (електронний ресурс.- Режим доступу: <https://studfile.net/preview/7030096/page:2/>).

Технології спостереження за станом земного покриву з космосу набувають у сучасних умовах все більшого значення. Переконливим свідченням ефективності використання супутникових знімків для практичних і наукових цілей є постійне розширення спектра задач, які вирішуються завдяки результатам обробки супутникових знімків. Більшість сучасних завдань моніторингу лісів неможливо реалізувати без використання даних ДЗЗ. Супутникові знімки високого просторового розрізнення істотно розширюють сферу застосування дистанційних технологій під час таксації лісових насаджень. Залежно від поставлених завдань можна підібрати знімки відповідного типу, формату та інформативності. Так, для тематичного картографування лісів успішно використовуються знімки, які мають просторове розрізнення 5–30 м (SPOT-6/7, RapidEye, Sentinel 2, Landsat). Для детальнішого аналізу лісових насаджень, контурного та лісотаксаційного дешифрування необхідні

супутникові знімки надвисокого просторового розрізнення (менше 1 м), наприклад GeoEye-1, QuickBird, WorldView, IKONOS. Дані ДЗЗ відіграють важливу роль у вдосконаленні методів інвентаризації лісових ресурсів, у зв'язку з чим увага до них постійно зростає. Дешифрування матеріалів аерокосмічної зйомки для задач лісового господарства традиційно здійснюється візуальними та візуально-інструментальними методами (електронний ресурс.- Режим доступу: <http://surl.li/eqdic>).

Матеріали аерокосмічної зйомки виступають технічною основою інвентаризаційних робіт і слугують одним з визначальних факторів точності таксації лісового фонду. Методи їх обробки можна згрупувати в два великі напрями:

- контурне та лісотаксаційне дешифрування аерофотознімків;
- тематичне картографування лісових насаджень на основі комп'ютерної класифікації матеріалів супутникової зйомки.

Удосконалення систем аерокосмічного моніторингу сприяє також науковому пошуку ефективних методів оцінювання лісівничо-таксаційних показників лісових насаджень на основі даних ДЗЗ високого просторового розрізнення. Особливо активно в сучасних умовах розвиваються підходи, які дозволяють визначити вік, висоту, діаметр дерев, густоту, запас та деякі інші показники деревостанів. Цей напрям наукових досліджень становить значний інтерес із точки зору подальшого розвитку вимірювальних методів лісової таксації, а поява численних публікації стосовно цього питання зумовлює необхідність їхнього аналізу та узагальнення. Залежно від специфіки задач сформувалися різні методичні принципи лісотаксаційного дешифрування даних ДЗЗ. Особливості їхньої обробки повністю залежать від параметрів знімальної системи (просторове, спектральне, радіометричне розрізнення), які дозволяють встановити взаємозв'язок між окремими таксаційними характеристиками

насаджень та відповідними спектральними показниками на знімках (електронний ресурс.- Режим доступу: <http://surl.li/eqdic>).

Параметричні методи класифікації супутникових знімків посідають чільне місце в сучасній таксаційній діяльності. Наприклад, метод максимальної ймовірності використовувався в Швеції в проекті CORINE для класифікації типів земного покриву за знімками Landsat TM/ETM+. Регресійний аналіз застосовувався в Литві для оцінки низки таксаційних параметрів деревостанів, включаючи середній діаметр та висоту, суму площ перерізів, запас.

За останні десятиріччя класичне аналітично-вимірвальне дешифрування матеріалів зондування лісів практично втратило свою актуальність, що можна пов'язати з розвитком цифрових технологій. Нині в цьому контексті частіше застосовується зйомка з безпілотних літальних апаратів або супутникові знімки надвисокого просторового розрізнення та автоматизовані методи їхньої обробки. Відповідно до одержаних результатів, точність класифікації видового складу деревостанів залежить від площі виділу, форми насаджень і досягає 80 %. Розраховані за знімками коефіцієнти складу деревостанів відображають, так званий, дешифрувальний склад насаджень, який залежить від розмірів та зімкнутості крон і не враховує дерев, які не проглядаються на знімку. Для оцінювання таксаційних показників деревостанів на основі супутникових знімків субметрового просторового розрізнення існує можливість використовувати як методи візуального дешифрування, так і комп'ютерної класифікації.

Важливим лісівничим показником вважається зімкнутість деревостанів. Від неї залежать основні фізіологічні та біологічні процеси в лісі: фотосинтез, транспірація, теплообмін, швидкість розкладання підстилки, наявність підросту, а також формування деревостану. Ступінь зімкнутості насаджень визначає

інтенсивність лісогосподарських заходів, зокрема рубок догляду, використовується під час впорядкування лісопаркових ландшафтів.

Нині розглядаються два способи визначення зімкнутості деревостанів за знімками високого просторового розрізнення:

1) за співвідношенням суми площ проекцій крон, встановленої за знімками надвисокого просторового розрізнення, до площі таксаційного виділу;

2) методом регресії за знімками середнього просторового розрізнення. Останній метод більш обґрунтований за відсутності даних ДЗЗ надвисокого просторового розрізнення для всієї території об'єкта інвентаризації. Він полягає в моделюванні ступеня зімкнутості деревостанів шляхом поєднання даних різного просторового розрізнення. У результаті дослідження цього питання на прикладі соснових деревостанів лісів зеленої зони м. Києва вдосконалено методику визначення зімкнутості деревостанів з використанням статистичного підходу та формалізовано зв'язок у вигляді математичної моделі, яка дозволяє виконувати прогноз зімкнутості на рівні пікселя 30×30 м супутникових знімків Landsat. Останнім часом з'явилося багато публікацій, присвячених дешифруванню деревного запасу насаджень. Тривалий час проблема досліджувалася за допомогою супутникових знімків Landsat TM. У сучасних умовах активізувалися пошуки відповідних підходів на основі даних ДЗЗ надвисокого просторового розрізнення (IKONOS, QuickBird, GeoEye тощо). Завдяки цьому для прогнозування запасу розглядаються не тільки спектральні характеристики знімків, а й деякі параметри деревостанів, які можна встановити під час вимірювального дешифрування знімків – діаметр крон дерев, кількість дерев на 1 га, зімкнутість деревостанів.

У літературі все частіше з'являються публікації з питань ідентифікації дерев у насажденні за зображеннями їхніх крон. Нині активно розвиваються технології обробки супутникових знімків надвисокого просторового розрізнення з метою

локалізації дерев і розрахунку густоти насаджень. Цей показник може стати в нагоді для моделювання запасу та встановлення інших інтегральних характеристик деревостанів, зокрема, їхньої густоти та просторової структури. В основу методики ідентифікації дерев у насажденні за даними ДЗЗ покладено особливості розподілу інтенсивності освітлення різних частин намету деревостану. Цілком закономірно, що найбільш освітлені в ньому верхівки крон, тоді як прогалини будуть затіненими. Ця особливість дозволяє застосувати спеціальні алгоритми ідентифікації окремих дерев за знімками. Їх можна згрупувати у три основні групи:

1) методи, які ґрунтуються на пошуку локальних максимумів;

2) метод вододілу – виділення дерев на основі перепаду яскравості між затіненими й освітленими ділянками крон;

3) шаблонні методи.

Другий підхід є найпоширенішим. Він полягає в локалізації дерев на основі пошуку локальних максимумів, тобто значень пікселів із приблизно однаково високим рівнем сигналу. Метод вододілу передбачає аналіз градієнта вихідного зображення у вигляді ландшафту, де величина його яскравості являє собою значення відносних висот. Під час заповнення цього ландшафту водою на ділянках з низькими значеннями градієнта утворюються басейни, а в точках з високими – пройдуть лінії водорозділу, які відповідають однорідним за рівнем спектральної яскравості ділянкам. Мінімуми градієнта формують точки росту регіонів, під час якого на кожному наступному етапі нова нерозмічена точка приєднується до сусідніх з найближчим значенням градієнта. У результаті відбувається злиття регіонів, а сам алгоритм завершує роботу, коли всі пікселі будуть розміченими. Під час ідентифікації дерев він зупиняється на певному значенні градієнта, який вказує дослідник.

Серед варіантів реалізації цього підходу в двовимірному просторі виокремлюється метод порогової класифікації. Його зміст полягає в порівнянні яскравості кожного пікселя із заданим граничним значенням. У результаті вихідне напівтонове зображення, що має певну кількість рівнів яскравості, перетворюється у чорно-біле (бінарне), пікселі якого розділені на два класи – об'єкт (крони дерев) і фон. Точність розпізнавання дерев залежить від низки факторів. У першу чергу, це – деревна порода, вік, висота та густота насадження, по-друге, важливе значення мають кліматичні умови та час зйомки.

Ще однією передумовою для успішної ідентифікації дерев є можливість їхнього розпізнавання під час візуального аналізу знімка. У зв'язку з цим, значну увагу варто приділяти вибору оптимального спектрального каналу та просторового розрізнення даних ДЗЗ. Доведено, що найточніші результати можна отримати, коли вивчаються хвойні лісостани з рівномірним розміщенням дерев на основі даних зеленого каналу супутникових знімків із просторовим розрізненням 1 м і менше. Перевірка підходу на основі соснових деревостанів лісів зеленої зони м. Києва підтвердила можливість ідентифікації дерев за знімками GeoEye-1. У загальному вигляді використана методика включає в себе кілька послідовних етапів:

- попередня обробка знімка та видалення відкритих ділянок на території лісових насаджень;
- вибір найбільш контрастного спектрального каналу для аналізу;
- фільтрація зображення з метою зменшення «зернистості»;
- пошук локального максимуму яскравості та ідентифікація дерев.

Порівнюючи дані наземної таксації з матеріалами дешифрування, можна стверджувати, що зі збільшенням віку деревостанів точність ідентифікації дерев за даними ДЗЗ значно знижується. На пробних площах, вік яких перевищує 100

років, існує висока ймовірність завищення оцінки кількості дерев. Насамперед, це пояснюється значним діаметром крон, які можуть мати кілька локальних максимумів. У результаті було встановлено, що запропонований підхід забезпечує коректні результати для соснових деревостанів віком від 30 до 90 років. Таким чином, увага до розробки нових економічно ефективних методів лісової інвентаризації з використанням аерокосмічних технологій постійно зростає. Можливості дистанційної оцінки таксаційних показників насаджень залежать від комплексу факторів, які включають технічні параметри знімальної системи, умови проведення зйомки, параметри просторової, вікової структури лісових насаджень, їхнього складу та наявності відповідного алгоритмічного забезпечення. У зв'язку з тенденцією до збільшення просторового розрізнення даних ДЗЗ все більшого розвитку набувають методи лісотаксаційного та аналітично-вимірювального дешифрування цифрових супутникових знімків. Виконаний аналіз результатів різних досліджень дозволяє визначити шляхи подальшого розвитку та перспективи використання дистанційних технологій для вирішення різних прикладних облікових задач.

Для вирішення задач лісової таксації можуть використовуватися різноманітні картографічні матеріали, які можуть слугувати інформаційними тематичними ресурсами для створення баз даних з метою їх застосування в лісотаксаційній справі. Наприклад, план лісонасаджень ДП “Малинський лісгосп” Чоповицьке лісництво Житомирська область; схема розміщення урочищ за категоріями лісів масштабу 1:25000.

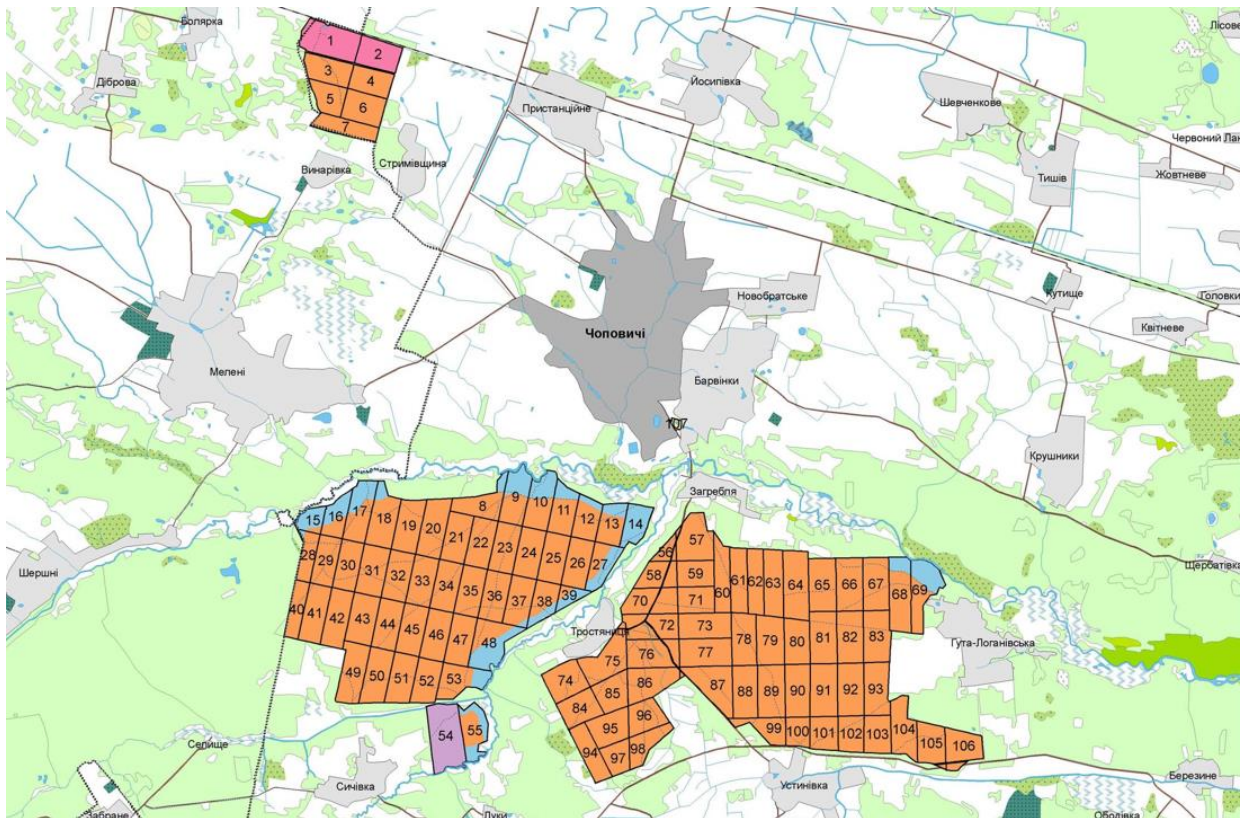


Рис. 2.1 - Схема розміщення урочищ за категоріями лісів Чоповицького лісництва

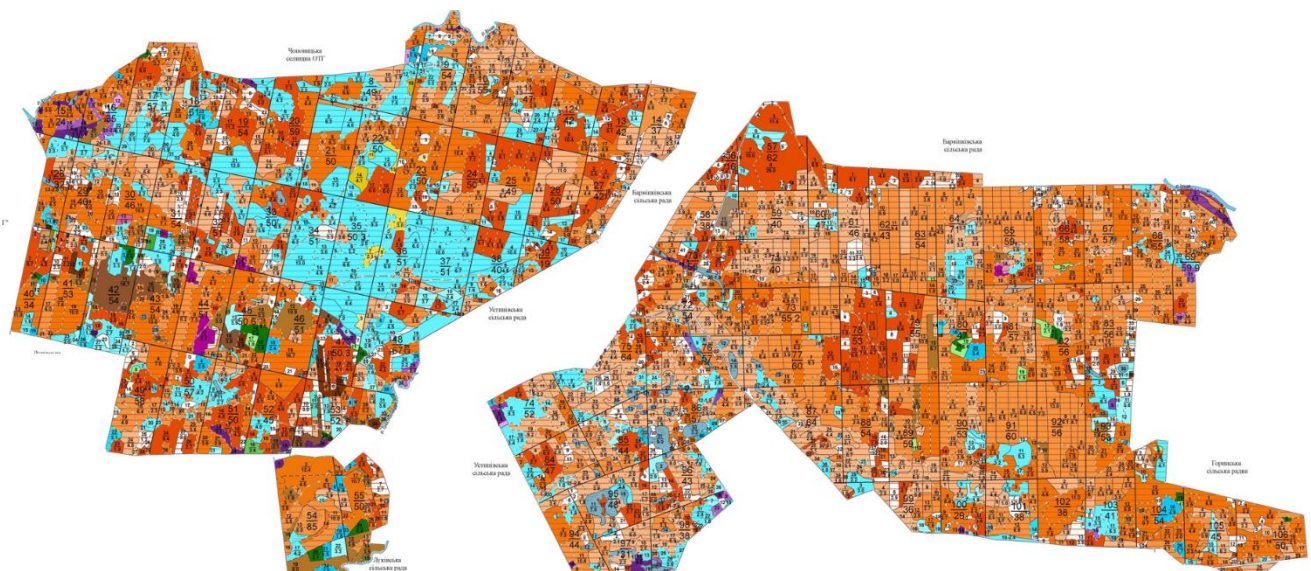


Рис. 2.2 - Карта лісових виділів Чоповицького лісництва

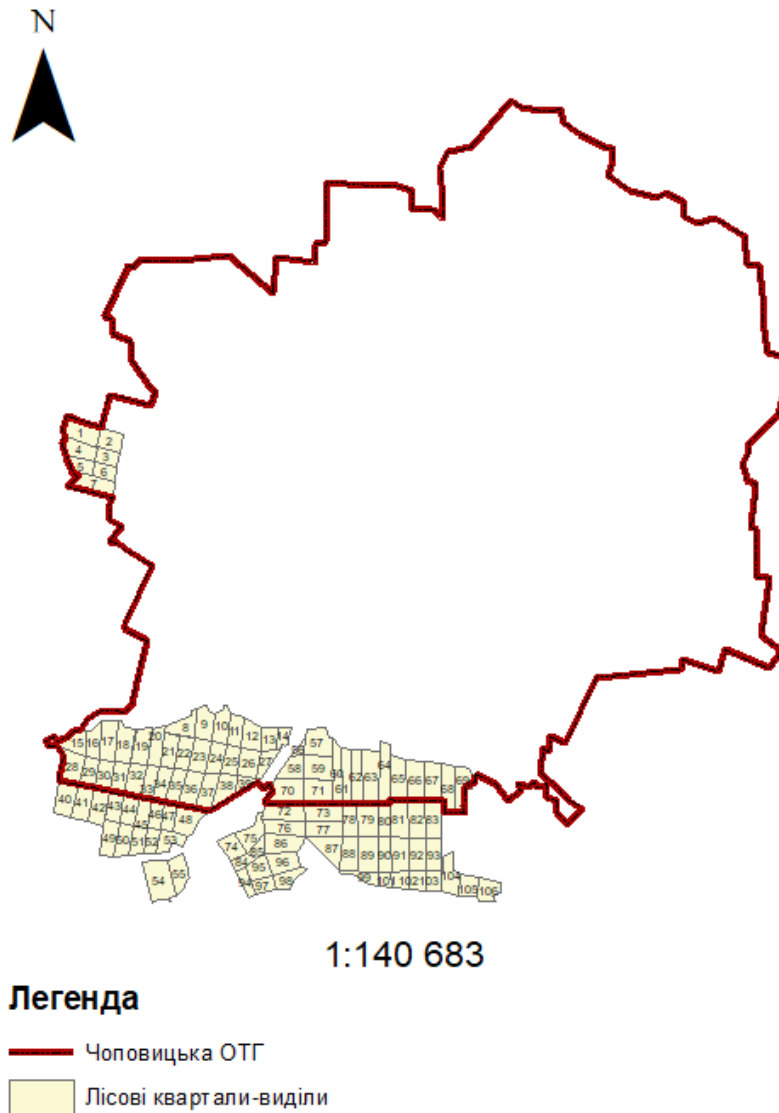


Рис. 2.3 - Дешифрована карта лісових виділів Чоповицького лісництва

2.6. Структура геоінформаційних даних

До базових ресурсів належать:

- єдина електронна картографічна основа (ортофотоплани, планшети лісових господарств), сучасний адміністративно-територіальний устрій, ландшафтне, лісогосподарське, ґрунтово-кліматичне районування, природноресурсний потенціал (рельєф, ґрунтовий та рослинний покрив, річкову

мережу, мінеральні ресурси) та географічні умови території, дорожньо-транспортна інфраструктура, реєстр назв тощо;

- тематичні інформаційні ресурси: межі лісництв, кварталів, виділів, просіки, дороги, джерела забруднення лісових екосистем, нормативно-грошова оцінка лісів, санітарний стан лісів (вік дерев, бонітет, середня висота, середній діаметр, запас деревостану, породний склад лісів, категорія захищеності лісу тощо;

- аналітичні інформаційні ресурси: зони ушкодження лісів шкідниками та хворобами, іншими природними факторами (вітровал, бурелом, сніголам), зони техногенного забруднення лісів і земель лісового фонду, ареали поширення лісових пожеж (кількість, сума завданих збитків, об'єм згорілого лісу), обстеження і дослідження лісових природних комплексів (ландшафтні, ґрунтові, лісотипологічні, лісобіологічні) (електронний ресурс.– Режим доступу: <https://magneticonemt.com/geoinformatsijna-systema-dlya-lisovogo-gospodarstva/>).

РОЗДІЛ 3. ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ОБ'ЄКТІВ ЛІСОВОГО КАДАСТРУ

3.1. Обґрунтування вибору космічних знімків та їх попередня обробка

У даний час дані ДЗЗ із космосу широко використовуються для вирішення різноманітних задач, кожна зі своїми специфічними вимогами до властивостей зображень та самих систем запису, наприклад, частота та регулярність зйомки (спостереження), висока просторова і радіометрична розрізненність (детальна оцінка). Ретельне врахування характеристик зображень, отриманих від різних датчиків, правильний підбір програмного забезпечення та відповідність вихідних матеріалів 30 поставленим завданням повинні бути запорукою успішної обробки просторових зображень та отримання необхідних кінцевих даних. Для вивчення стану рослинності в уражених районах за допомогою даних ДЗЗ рекомендуються такі критерії вибору космічних знімків:

☐ стабільність отримання нових знімків та кількість архівних даних достатня для проведення аналізу довготривалих змін стану рослинності;

☐ основний діапазон дат зйомки має припадати на вегетаційний період основних видів рослинності досліджуваної території;

☐ прийнятні спектральні характеристики та просторова розрізненність (таблиця 3.1);

☐ хмарність космічного знімку або його фрагменту, що досліджується, не перевищує 10% (електронний ресурс.- Режим доступу: file:///C:/Users/Kate/Desktop/Babyak_bakalavr%D0%B4%D0%B8%D0%BF%D0%BB%D0%BE%D0%BC.pdf).

*Таблиця 3.1. Характеристики основних знімків, які прийнятні для оцінки
рослинності*

Супутник	Просторова розрізненність, м	Спектральний діапазон	Періодичність зйомки однієї території, діб
Pléiades-1A	2,8 (2,0)*	B,G,R,NIR	1**
Kompsat-3	2,8	B,G,R,NIR	3
RapidEye	6,5 (5)*	B,G,R,RE,NIR	1
Січ-2	8,2	G,R,NIR,SWIR	5
Landsat- 5, 8	30	B,G,R,NIR,SWIR	16
EO-1/ALI	30	B,G,R,NIR,SWIR	16**

* – після обробки, ** – в залежності від ширини області зйомки

При вирішенні задач на локальних ділянках невеликої площі, що потребують високої оперативності, слушно використовувати космічні знімки високої просторової розрізненності Pléiades-1A та Kompsat-3. Для дослідження змін за невеликий проміжок часу (напротязі року або декількох) корисні знімки середньої просторової розрізненності, такі як RapidEye та 31 Січ-2. Наявність у знімків RapidEye каналу кромки червоного (red-edge) надає додаткову можливість оцінки якісних змін стану рослинності. Сталість поставки, перевірені методи калібрування та корекції, велика база з архівними даними та вільний доступ роблять знімки Landsat практичним інструментом для дослідження змін рослинності протягом довгих періодів (десятиліть). Порівнюючи різні супутники та властивості знімків, можна зробити висновок, що в цьому дослідженні краще використовувати знімки супутників Landsat – 5, 8, оскільки вони відповідають цілям, поставленим у роботі (електронний ресурс.- Режим доступу: file:///C:/Users/Kate/Desktop/Babyak_bakalavr%D0%B4%D0%B8%D0%BF%D0%BB%D0%BE%D0%BC.pdf).

3.2. Аналіз масштабів вирубок лісів за допомогою космічних знімків

Технології дистанційного зондування Землі сьогодні є одним з найточніших і найефективніших способів отримання інформації про стан лісового покриву планети. За допомогою даних дистанційного зондування Землі можливо відслідковувати масштаби вирубок лісів на певних територіях, у тому числі й незаконних.

Для візуалізації таких можливостей була обрана Чоповицька територіальна громада Коростенського району Житомирської області.

Адміністративний центр — смт Чоповичі. Площа громади 359,4 км², населення — 5978 мешканців.

До складу громади входять 1 смт (Чоповичі), 26 сіл: Барвінки, Будницьке, Владівка, Головки, Гутянське, Загребля, Заліски, Йосипівка, Кам'янка, Квітневе, Крушники, Кутище, Липляни, Лідівка, Лісове, Маклаївка, Новобратське, Омелянівка, Писарівка, Пристанційне, Репище, Скурати, Стримівщина, Тишів, Червоний Лан, Шевченкове.

Громада була створена 26 серпня 2016 року шляхом об'єднання Чоповицької селищної ради та Барвінківської, Йосипівської, Шевченківської сільських рад Малинського району (електронний ресурс. – Режим доступу: <http://surl.li/dkcea>).

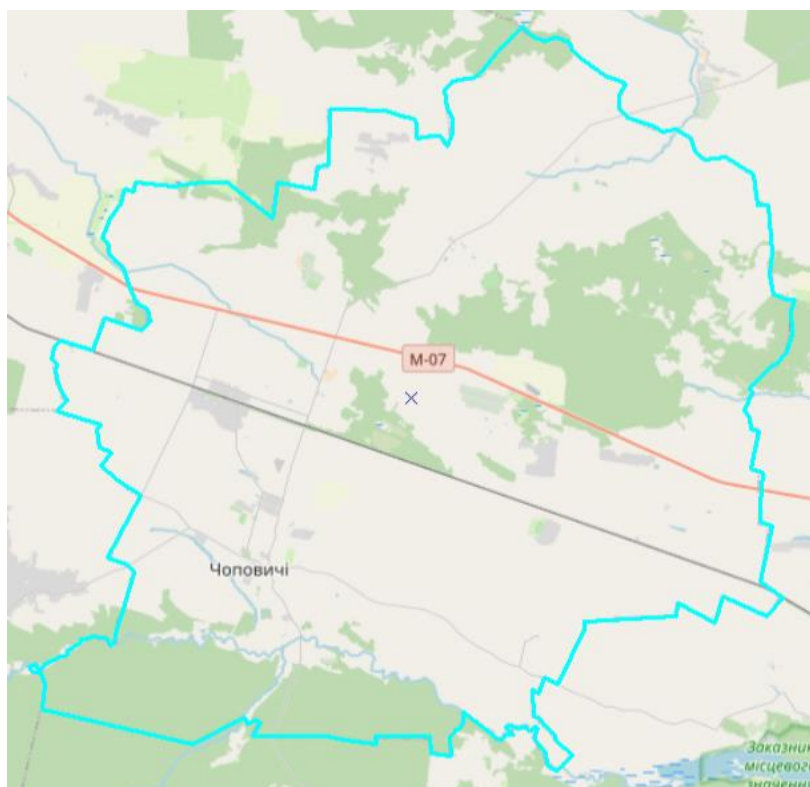


Рис. 3.1 — Карта Чоповицької територіальної громади

Для виконання практичної частини використовуватиметься комплекс геоінформаційних програмних продуктів ArcGis.

Порівняльний період становить п'ять років (з 2017 по 2022 рік). Для цього були завантажені знімки Sentinel-2L2A. Sentinel-2 це космічний апарат, який складається з двох однакових супутників Sentinel-2A і Sentinel-2B. Вони проходять однією орбітою, повернені на 180 градусів один від одного, що дає змогу знімати всю територію Землі кожні п'ять днів. Космічні апарати серії Sentinel відносяться до космічного сегменту програми "Copernicus", яка займається моніторингом навколишнього середовища. Оптичні камери на супутниках Sentinel-2 мають змогу розпізнати об'єкти розміром до 10 м. Прилади, що знімають у 13 спектральних каналах, відстежують цілий ряд властивостей різних об'єктів Землі.

Таблиця 3.2 — Спектральні канали Sentinel-2

Канали Sentinel-2	Центральна довжина хвилі (мкм)	Роздільна здатність (м)
Канал 1 — Узбережний аерозоль	0,443	60
Канал 2 - Синій	0,490	10
Канал 3 - Зелений	0,560	10
Канал 4 - Червоний	0,665	10
Канал 5 — Червоний край рослинності	0,705	20
Канал 6 — Червоний край рослинності	0,740	20
Канал 7 - Червоний край рослинності	0,783	20
Канал 8 - NIR	0,842	10
Канал 8A — Червоний край рослинності	0,865	20
Канал 9 — Водяна пара	0,945	60
Канал 10 — SWIR — Пір'їсті хмари	1,375	60
Канал 11 - SWIR	1,610	20
Канал 12 - SWIR	2,190	20

(Електронний ресурс. – Режим доступу:
<https://uk.wikipedia.org/wiki/Sentinel-2>).

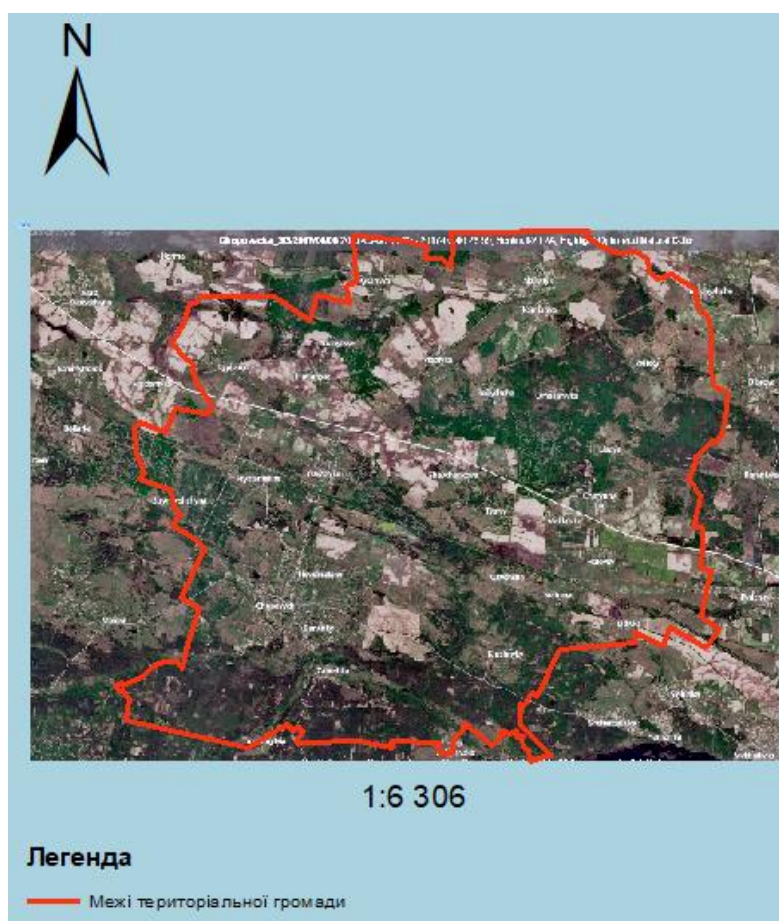


Рис. 3.3 — Космічний знімок території Чоповицької територіальної громади
за 06.05.2017



Рис. 3.4 — Космічний знімок території Чоповицької територіальної громади за 03.05.2022

У мережі Інтернет можна побачити багато дописів про звернення місцевих жителів щодо несанкціонованих рубок лісовкритих територій у Коростенському районі Житомирської області, у тому числі і на території Чоповицької територіальної громади.

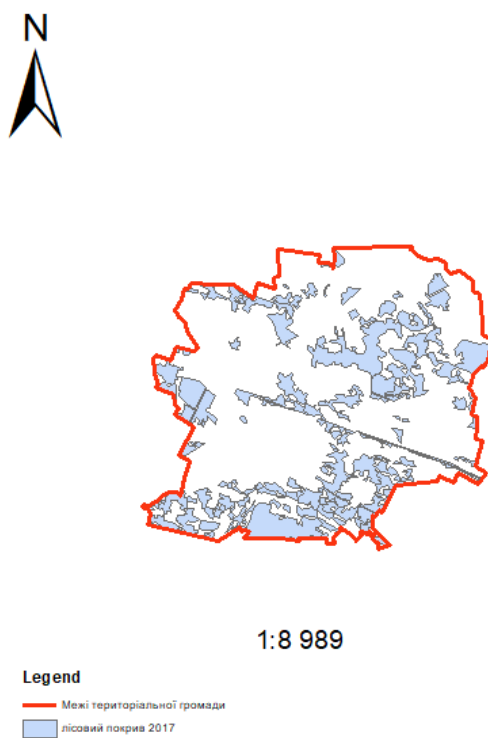


Рис 3.5 — План лісового покриття Чоповицької територіальної громади станом на 2017 рік

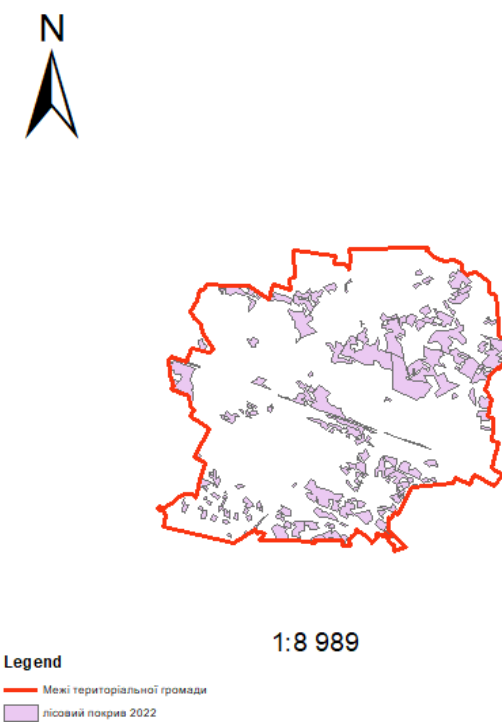
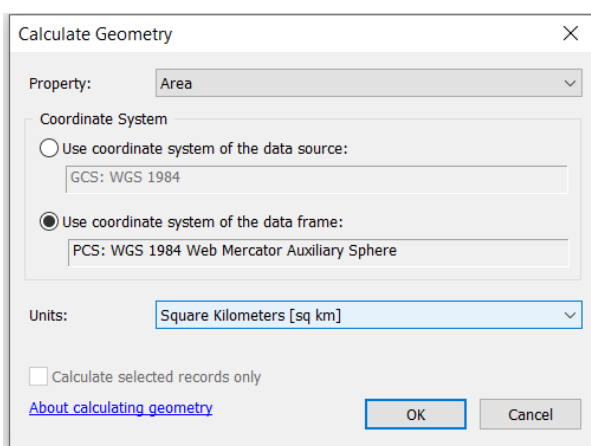


Рис 3.6 — План лісового покриття Чоповицької територіальної громади станом на 2022 рік

У програмному забезпеченні ArcGis було візуалізовано території вкриті лісами у межах Чоповицької територіальної громади. Без додаткових розрахунків можна побачити, що за п'ять останніх років їх площа помітно зменшилася.

За допомогою функції обрахунку площі (Calculate Geometry) за даними атрибутивних



таблиць можна побачити конкретну цифру в гектарах.

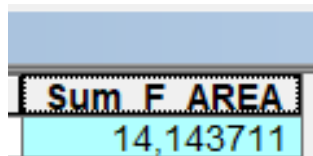
Рис. 3.7 —

Функція
Calculate
Geometry

лісовий покрив 2017		
OBJEKTID *	SHAPE *	SHAPE_Length
1	Polygon	0.001164
2	Polygon	0.000727
3	Polygon	0.000752
4	Polygon	0.010522
5	Polygon	0.002132
6	Polygon	0.001085
7	Polygon	0.001571
8	Polygon	0.006533
9	Polygon	0.000935
10	Polygon	0.002567
11	Polygon	0.002595
12	Polygon	0.002778
13	Polygon	0.003712
14	Polygon	0.003591
15	Polygon	0.001546
16	Polygon	0.001244
17	Polygon	0.001551
18	Polygon	0.000341
19	Polygon	0.000546
20	Polygon	0.003928
21	Polygon	0.000496
22	Polygon	0.001112
23	Polygon	0.000568
24	Polygon	0.000033
25	Polygon	0.002899
26	Polygon	0.000986
27	Polygon	0.006327
28	Polygon	0.001491
29	Polygon	0.001565
30	Polygon	0.000735
31	Polygon	0.005877
32	Polygon	0.00274
33	Polygon	0.002505
34	Polygon	0.001538
35	Polygon	0.002012
36	Polygon	0.003346
37	Polygon	0.003349
38	Polygon	0.00136
39	Polygon	0.002041
40	Polygon	0.002756
41	Polygon	0.00085
42	Polygon	0.001713
43	Polygon	0.00103
44	Polygon	0.001877
45	Polygon	0.001562
46	Polygon	0.003431
47	Polygon	0.001466
48	Polygon	0.002217
49	Polygon	0.00138
50	Polygon	0.001698
51	Polygon	0.001517
52	Polygon	0.000942
53	Polygon	0.001224

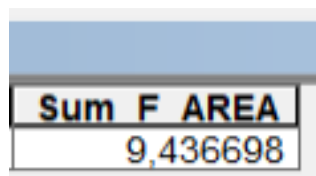
лісовий покрив 2022		
OBJEKTID *	SHAPE *	SHAPE_Length
1	Polygon	0.003118
2	Polygon	0.000542
3	Polygon	0.001547
4	Polygon	0.001204
5	Polygon	0.000681
6	Polygon	0.001504
7	Polygon	0.002294
8	Polygon	0.001013
9	Polygon	0.001534
10	Polygon	0.001825
11	Polygon	0.005457
12	Polygon	0.002721
13	Polygon	0.004672
14	Polygon	0.001102
15	Polygon	0.003468
16	Polygon	0.005959
17	Polygon	0.001625
18	Polygon	0.003693
19	Polygon	0.001021
20	Polygon	0.003428
21	Polygon	0.003848
22	Polygon	0.001483
23	Polygon	0.000827
24	Polygon	0.001242
25	Polygon	0.000718
26	Polygon	0.000308
27	Polygon	0.001205
28	Polygon	0.001988
29	Polygon	0.000789
30	Polygon	0.001315
31	Polygon	0.000966
32	Polygon	0.000685
33	Polygon	0.001632
34	Polygon	0.001538
35	Polygon	0.001707
36	Polygon	0.00166
37	Polygon	0.000434
38	Polygon	0.000784
39	Polygon	0.001213
40	Polygon	0.001084
41	Polygon	0.000453
42	Polygon	0.001083
43	Polygon	0.000471
44	Polygon	0.000934
45	Polygon	0.001399
46	Polygon	0.001353
47	Polygon	0.000855
48	Polygon	0.000848
49	Polygon	0.00098

Рис. 3.8 — Атрибутивні таблиці планів лісонасаджень за 2017 і 2022 роки



Sum F AREA
14,143711

Рис. 3.9 - Площа лісовкритих територій станом на 2017 рік



Sum F AREA
9,436698

Рис. 3.10 - Площа лісовкритих територій станом на 2022 рік

Після обрахунку суми, можна зробити висновки, що за період з 2017 по 2022 рік було вирубано майже 5 тис.га лісів. Санітарні та планові рубки становлять невеликий відсоток з них.

3.3. Аналіз впливу сміттєзвалищ на стан лісового покриву за допомогою індексу NDVI

У даний час дані ДЗЗ із космосу широко використовуються для вирішення різноманітних задач, кожна зі своїми специфічними вимогами до властивостей зображень та самих систем запису, наприклад, частота та регулярність зйомки (спостереження), висока просторова і радіометрична розрізненність (детальна оцінка). Ретельне врахування характеристик зображень, отриманих від різних датчиків, правильний підбір програмного забезпечення та відповідність вихідних матеріалів 3D поставленим завданням повинні бути запорукою успішної обробки просторових зображень та отримання необхідних кінцевих

даних. Для вивчення стану рослинності в уражених районах за допомогою даних ДЗЗ рекомендуються такі критерії вибору космічних знімків:

☐ стабільність отримання нових знімків та кількість архівних даних достатня для проведення аналізу довготривалих змін стану рослинності;

☐ основний діапазон дат зйомки має припадати на вегетаційний період основних видів рослинності досліджуваної території;

☐ прийнятні спектральні характеристики та просторова розрізненість (таблиця 3.2);

☐ хмарність космічного знімку або його фрагменту, що досліджується, не перевищує 10%. Порівнюючи різні супутники та властивості знімків, можна зробити висновок, що в цьому дослідженні краще використовувати знімки супутників Landsat – 7, 8, оскільки вони відповідають цілям, поставленим у роботі (С.В. Солодянкіна. Можливості використання даних дистанційного зондування Землі в крупномасштабному ландшафтному плануванні, 2006).

Космічні технології – це ефективний інструмент для постійного та надійного глобального моніторингу навколишнього середовища. Завдяки прозорості, об'єктивності та ефективності одержання інформації, дані дистанційного зондування Землі з космосу є важливим джерелом геоданих. Аерокосмічна інформація використовується для доповнення, узагальнення та деталізації даних, отриманих із наземних джерел і використовуються в різних соціально-економічних сферах. Щодо збору інформації, існує нагальна потреба швидко обробити дані дистанційного зондування. Найбільш детальний рівень опису структури та взаємозв'язків між компонентами природного середовища дозволяють проводити тематичні методи декодування (С.В. Солодянкіна. Можливості використання даних дистанційного зондування Землі в крупномасштабному ландшафтному плануванні, 2006).

На сьогоднішній день саме сміттєзвалища є великою проблемою не тільки для громади, а й країни в цілому, та нажаль кількість їх щороку зростає. Сміттєзвалища є одними із основних джерел забруднення навколишнього середовища. Багато сміття викидаються на узбіччя доріг та лісів. Проте, більше школи навколишньому середовищу, у тому числі лісам, завдають масові сміттєзвалища. Таким об'єктом є Полігон № 5 у Підгірцях, найбільше сміттєзвалище в Україні. За рік на нього звозять понад 450 тисяч тонн відходів. Працює цей полігон – вже 34 роки (електронний ресурс. Режим доступу: <http://surl.li/dwejo>).



Рис. 3.11 — Звалище побутових відходів “Полігон № 5”

Для розрахунку індексу NDVI, було обрано знімки Landsat – 7, 8 у червоному та інфрарачервоному діапазонах за 2003 та 2018 роки. Landsat – 7 супутник дистанційного зондування Землі, сьомий із запущених в рамках космічної програми «Landsat». Виведений на орбіту в 1999 році і продовжує роботу. Основною метою супутника було оновлення глобального архіву супутникових зображень (електронний ресурс. – Режим доступу:

https://uk.wikipedia.org/wiki/Landsat_7). Landsat 8 — супутник дистанційного зондування Землі, восьмий із запущених в рамках космічної програми «Landsat». Виведений на орбіту 11 лютого 2013. Об'єднана місія NASA і USGS (електронний ресурс. – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Landsat_8).



Рис. 3.12 —
Знімок Landsat 8
(2018)

Рис. 3.13 — Знімок Landsat 7 (2003)

(електронний ресурс. – Режим доступу: <https://earthexplorer.usgs.gov/>).

Landsat 7 містить сенсор Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM +), вдосконалену версію інструментів Thematic Mapper, які знаходилися на борту Landsat 4 і Landsat 5. Продукти Landsat 7 поставляються у вигляді 8-бітних зображень з 256 рівнями сірого. Описи позначень діапазону Landsat 7 та порівняння всіх датчиків Landsat доступні у вільній формі (електронний ресурс. – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Landsat_7). Landsat-8 (Ландсат-8) зібраний компанією Orbital Sciences Corporation за контрактом від NASA на базі власної платформи Orbital LEOSt. Для оптимізації точності визначення орієнтації супутника використовуються три високоточні астродатчики (ар-3, два з яких працюють в активному режимі), масштабована інерційна система наведення SIRU (Scalable Inertial Reference Unit), приймачі системи GPS і два тривісні магнетометри (електронний ресурс. – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Landsat_8).

Таблиця 3.3 — Спектральні канали Landsat 7

Канал	Довжина хвилі, мкм	Розрізненність, м
Band 1 видимий (синій колір)	0.52 — 0.60	30
Band 2 видимий (зелений колір)	0.63 — 0.69	30
Band 3 видимий (червоний колір)	0.77— 0.90	30
Band 4 близький інфрачервоний (NIR)	1.55 — 1.75	30
Band 5 близький інфрачервоний (NIR)	10.40 — 12.50	30

Band 6 тепловий (Thermal)	2.08 — 2.35	60
Band 7 середній інфрачервоний	0.52 — 0.90	30
Band 8 панхроматичний (PAN)	0.52 — 0.90	15

(електронний ресурс. – Режим доступу: <http://surl.li/dwhxr>).

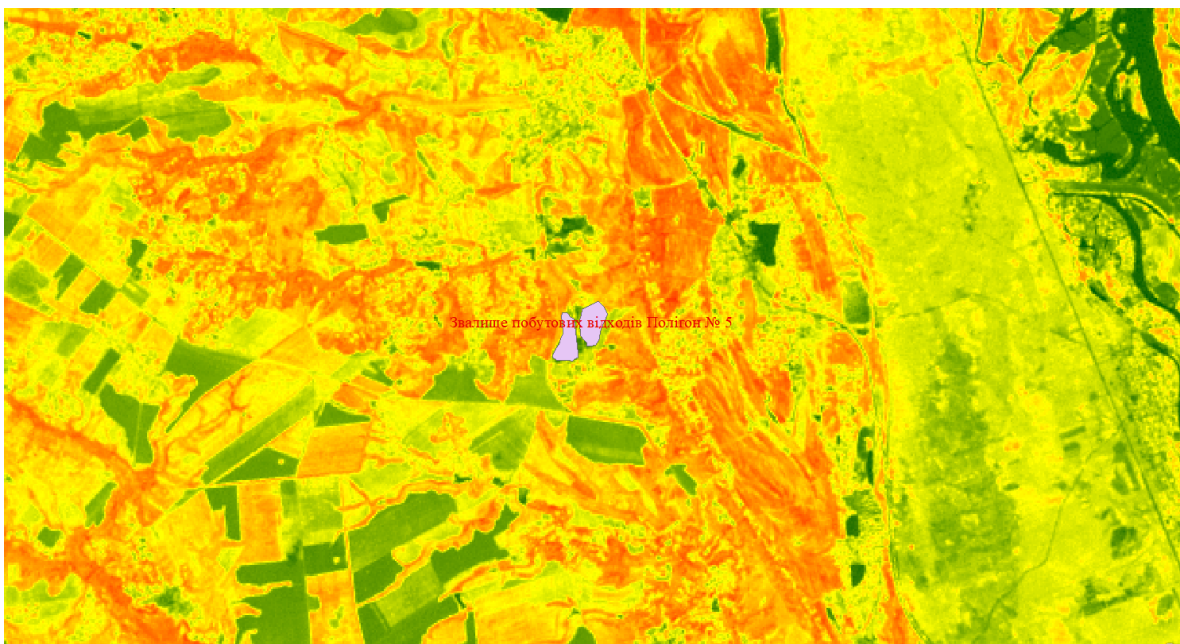
Таблиця 3.4 — Спектральні канали Landsat 8

Канал	Довжина хвилі, мкм	Розрізненність, м
Band 1 видимий (узбережжя і аерозолі)	0.433 – 0.453	30
Band 2 видимий (синій колір)	0.450 – 0.515	30
Band 3 видимий (зелений колір)	0.525 – 0.600	30
Band 4 видимий (червоний колір) (NIR)	0.630 – 0.680	30
Band 5 ближній інфрачервоний (NIR)	0.845 – 0.885	30
Band 6 ближній інфрачервоний (NIR)	1.560 – 1.660	30
Band 7 ближній інфрачервоний (NIR)	2.100 – 2.300	30

Band 8 панхроматичний (PAN)			0.500 – 0.680	15
Band 9 перисті хмари			1.360 – 1.390	30
Band 10	дальній		10.30 – 11.30	100
інфрачервоний				
Band 11	дальній		11.50 – 12.50	100
інфрачервоний				

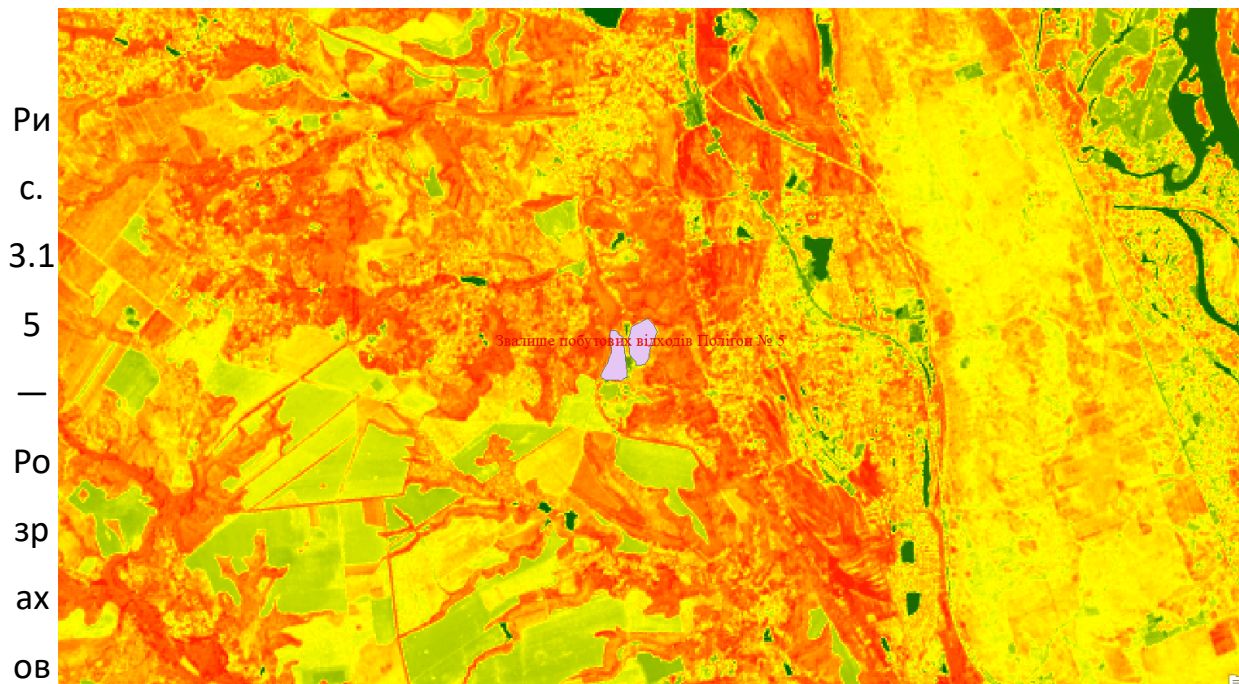
(електронний ресурс. – Режим доступу: <http://surl.li/dwhxr>).

За допомогою програмного забезпечення ArcGis було проведено

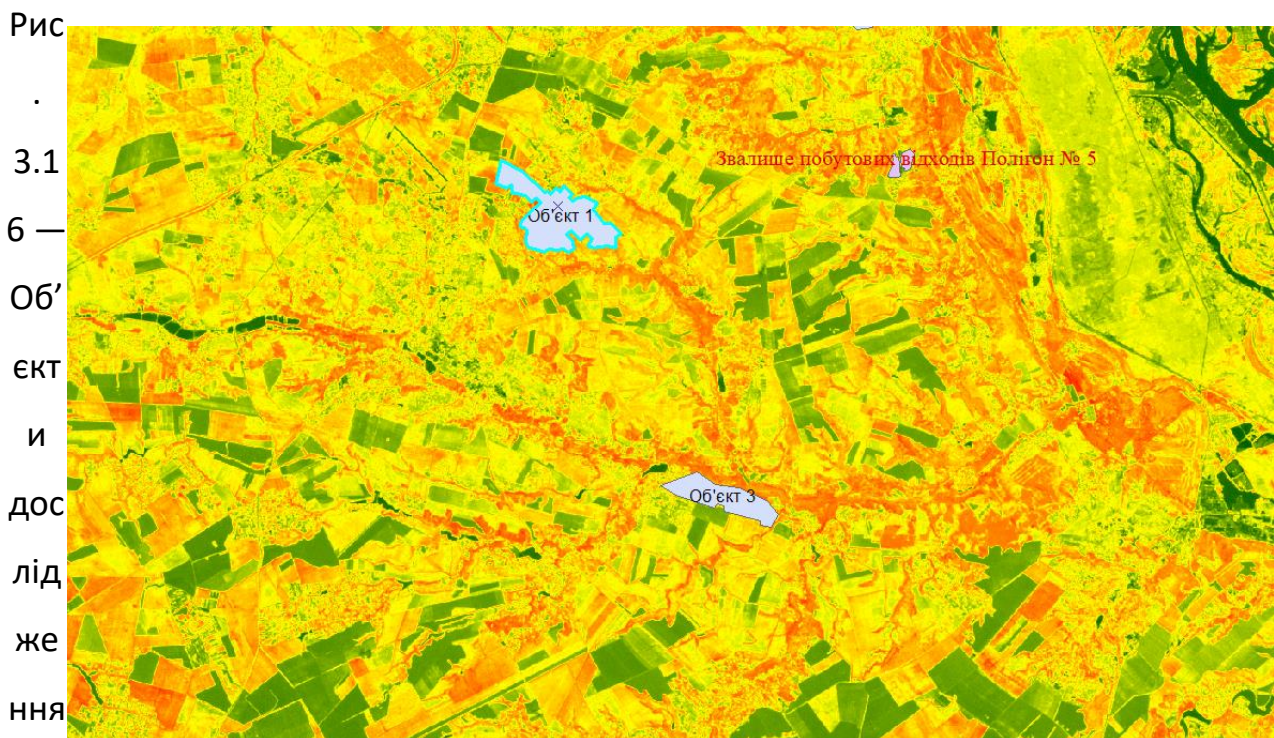


роз
рах
ова
но
інд
екс
ND
VI.
Рис

3.14 — Розрахований індекс NDVI (2018)



аний індекс NDVI (2003)



Для аналізу стану лісового покриття до уваги було взято об'єкти лісового господарства наближених до таких населених пунктів, як Крушінка, Копачів, Родосівка, віддалені від Полігону № 5 приблизно 8 - 10 кілометрів.

Розрахунок нормалізованого вегетаційного індексу проводився за допомогою інструменту "Raster Calculator" з використанням наступної формули:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}, (3.1)$$

де: NIR – ближнє інфрачервоне світло;

Red –

видиме  Raster Calculator

червоне

світло.

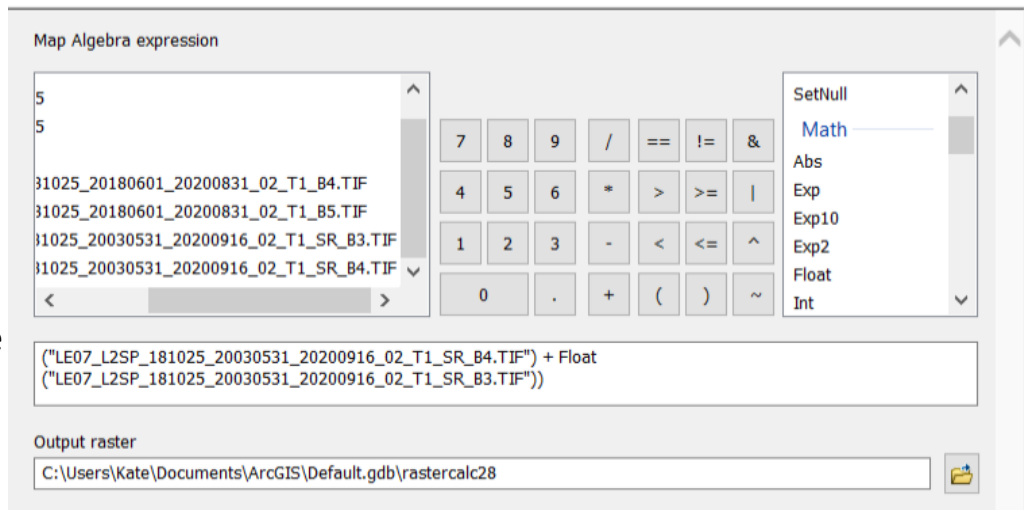
Рис.

3.17 –

інструме

нт

“Raster



Calculator”

Шкала NDVI варіюється в межах від -1 до 1. Негативні значення дають водні поверхні, будови, гори, хмари, сніг; відкритий ґрунт зазвичай відповідає індекс 0,1-0,2. У разі рослин – це завжди позитивні значення.

- Якщо NDVI нижчий від 0,15– ймовірно, на ділянці всі рослини загинули. Зазвичай такі показники відповідають зораному ґрунту без вегетації;

- 0,15–0,2 – теж низький показник. Це може говорити про те, що рослинність є ураженою;

- 0,2–0,3 – відносно хороший показник. Ймовірно, лісовий покрив не втратив вегетацію, але рослинність є ослабленою;

- 0,3–0,5 – хороший показник відносно здорових дерев;

- вище ніж 0,5 – показник здорової рослинності (електронний ресурс.–

Режим доступу: <http://surl.li/dwhbt>).

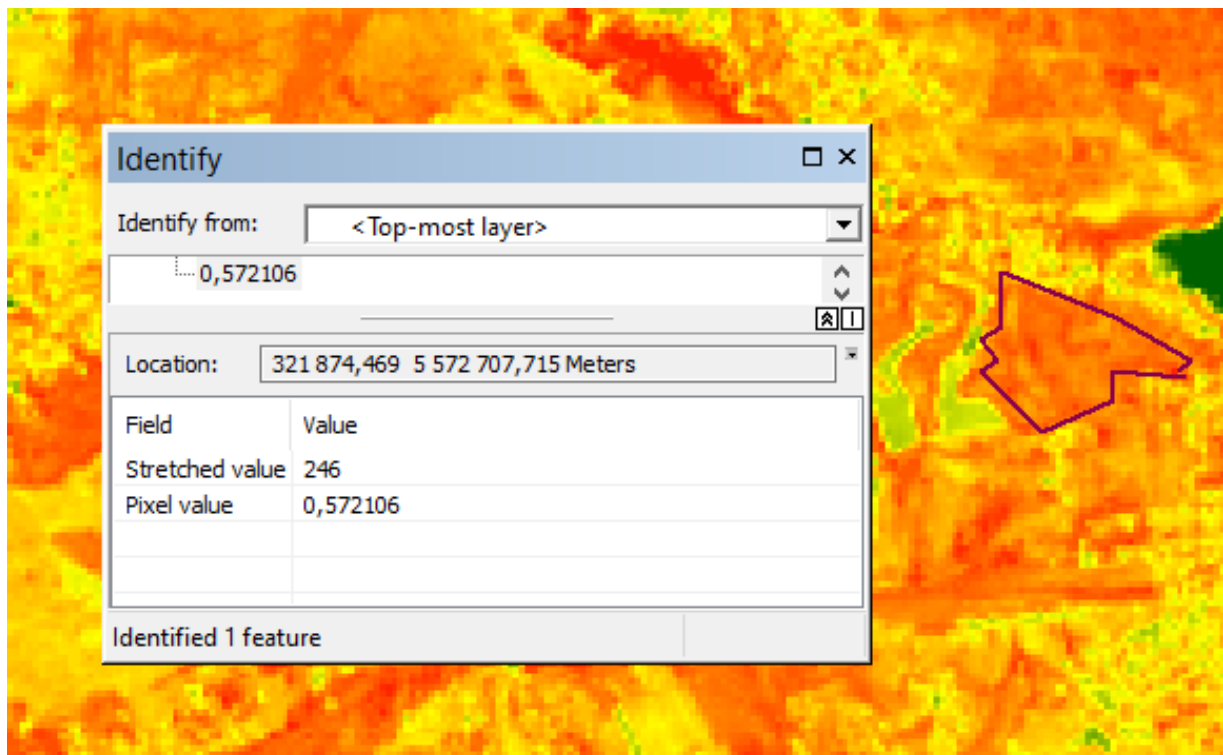
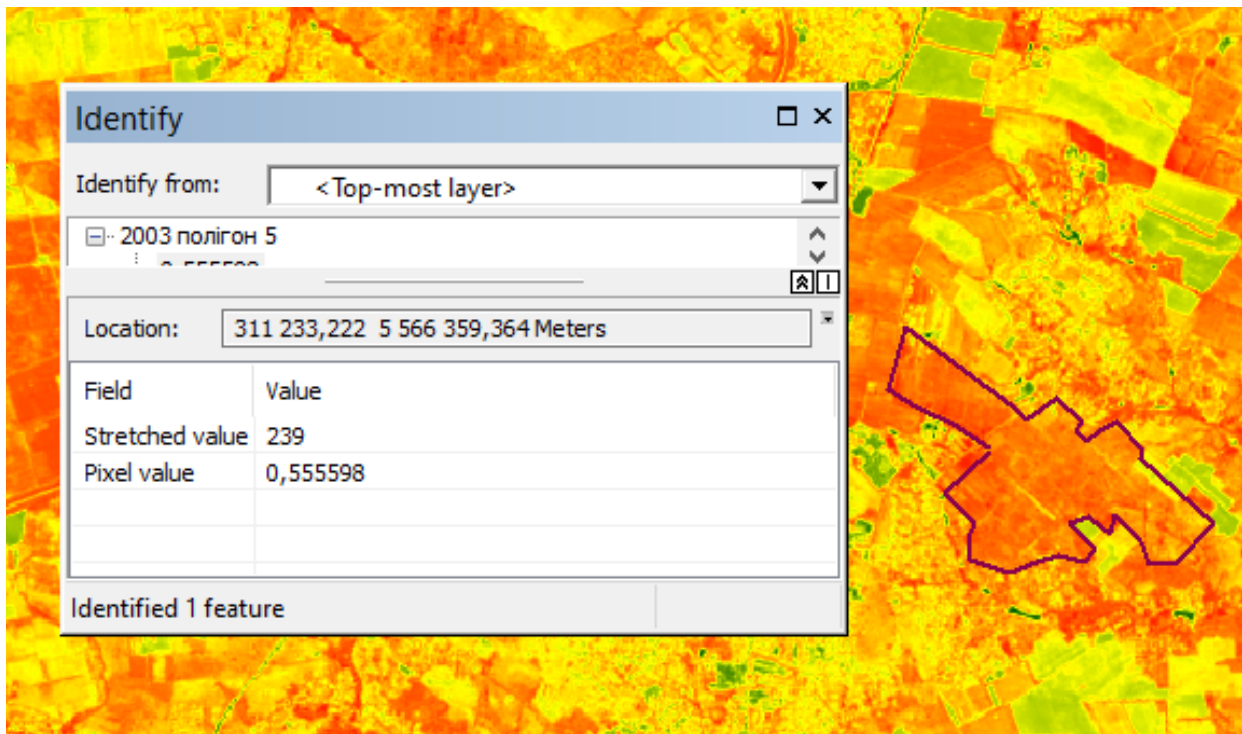


Рис. 3.18 — Індекс NDVI об'єкту 1 (2003)

Рис. 3.19 — Індекс NDVI об'єкту 2 (2003)

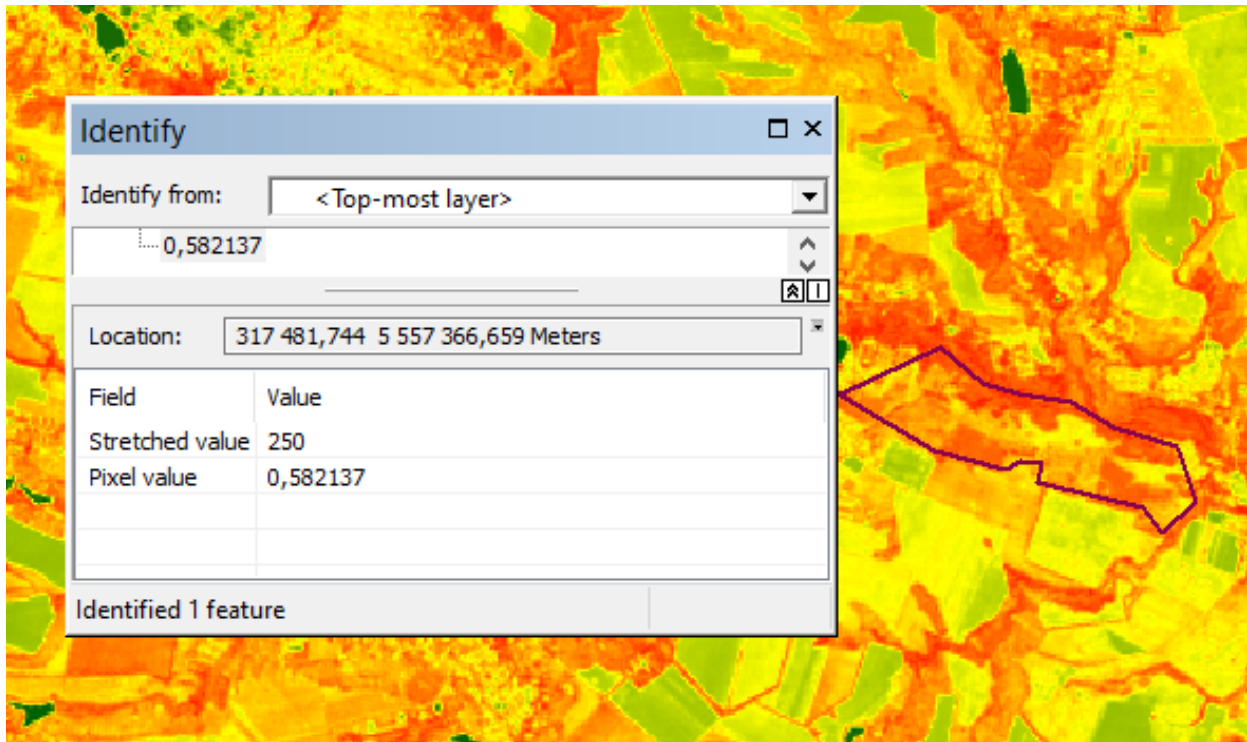


Рис. 3.20 — Індекс NDVI об'єкту 3 (2003)

Можна зазначити, що показники трьох об'єктів відповідають здоровому лісовому покриву.

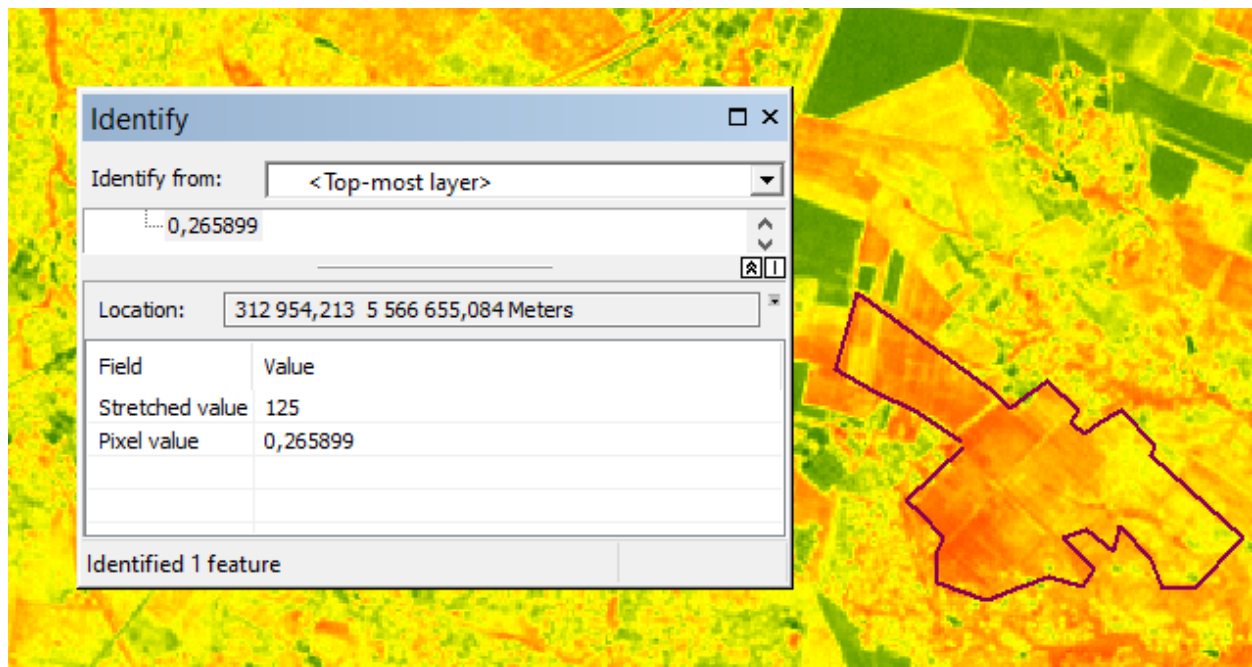


Рис. 3.21 — Індекс NDVI об'єкту 1 (2018)

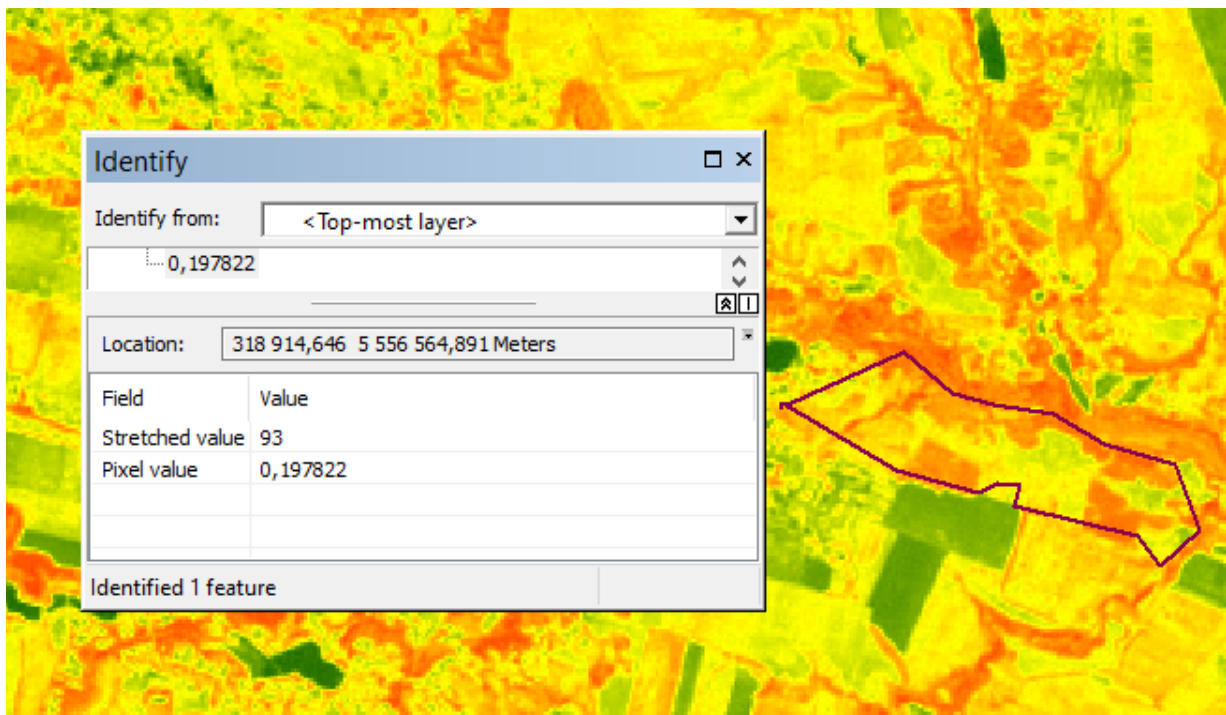
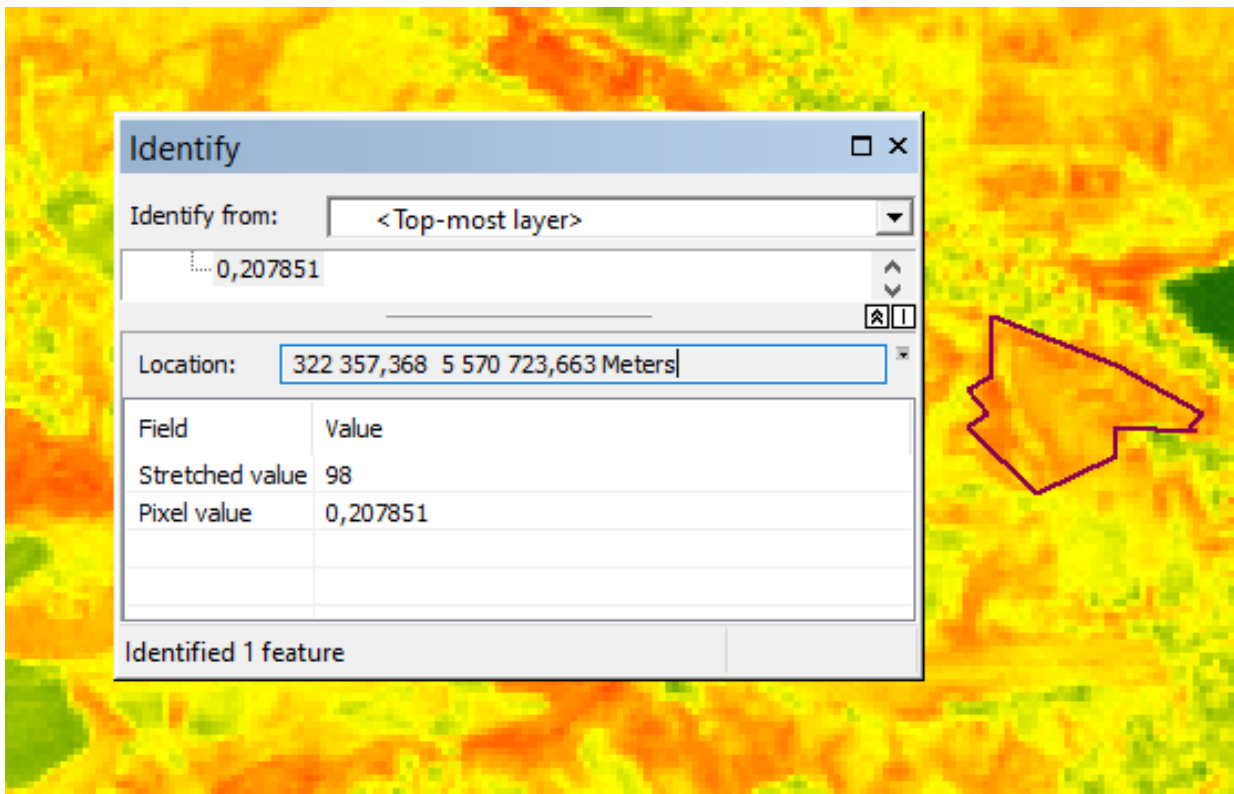


Рис. 3.22 — Індекс NDVI об'єкту 2 (2018)

Рис. 3.23 — Індекс NDVI об'єкту 3 (2018)

Аналізуючи отримані дані можна зробити висновки:

- середній показник NDVI Об'єкта 1 на 2003 рік становить 0,55, що відповідає показникам здорової рослинності; показник на 2018 рік — 0,26, дерева є ослабленими.

- Середній показник NDVI Об'єкта 2 на 2003 рік — 0,57 (здорова рослинність); показник на 2018 рік — 0,21 (ослаблена рослинність).

- Середній показник NDVI Об'єкта 3 на 2003 рік — 0,58 (здорова рослинність); на 2018 рік — 1,9 (уражена рослинність).

Отже, за допомогою даних, отриманих з використанням технологій дистанційного зондування Землі, було наглядно показані зміни якісної характеристики лісів. Як результат, доведений негативний вплив звалища побутових відходів на стан деревного покриву, за рахунок забруднення ґрунтових вод та атмосферного повітря.

3.4. Моніторинг пожеж та їх наслідків за допомогою технологій ДЗЗ

Проблема виникнення пожеж і мінімалізації їх наслідків є глобальною за своїми масштабами, бо щорічно на Землі виникає близько 7 мільйонів пожеж. В Україні в середньому на рік буває близько 3,5 тис. лісових пожеж, які знищують більше 5 тис. гектарів лісу. В найбільшій небезпеці знаходяться північний та східний регіони України, де щорічно буває в середньому відповідно 37 і 40% усіх лісових пожеж. Статистика пожеж та наслідків від них значною мірою є відбитком стану економіки держави, політичних, соціальних і демографічних процесів, що відбуваються у суспільстві, тому ситуація із забезпеченням пожежної безпеки залишається складною (електронний ресурс.— Режим доступу: <http://surl.li/gvtih>).

Для екосистем, де пожежа є частиною їх природної динаміки, наслідки, як правило, позитивні. Однак у більшості випадків лісові пожежі мають вкрай негативні наслідки для екосистеми та для людини. Основні серед них:

- Втрата біорізноманіття. Лісові пожежі спричиняють прямий вплив, зменшуючи біорізноманіття в екосистемі. Вогонь спричиняє загибель видів рослин і тварин, а також інших організмів, таких як гриби, мохи, лишайники та папороті. Не постраждали лише ті вогнетривкі види (пірофіли), як деякі пальми, дерева та трави. З іншого боку, при деградації середовища існування відбувається вторинне зникнення видів, або багато з них змушені мігрувати, щоб вижити.

- Втрата джерел води. Зникнення або деградація рослинного покриву та органічних речовин ґрунту збільшує стік дощової води, зменшуючи інфільтрацію. Тому запаси підземних вод зменшуються, а відкладення, що виводяться з ґрунту, що заповнює водойми, збільшуються. Крім того, із зменшенням площі лісу впливає на його здатність сприяти виробленню дощу та захопленню вологості навколишнього середовища.

- Погіршення стану ґрунту. Оскільки ґрунт піддається впливу втрати рослинності, втрати через ерозію зростають. Крім того, вогонь зменшує вміст органічної речовини в ґрунті та впливає на її біологічну активність, вміст вологи та здатність до іонообміну мінеральних речовин.

- Глобальне потепління. Лісові пожежі роблять важливий внесок у збільшення глобального потепління. Ліси, що захоплюють і утримують атмосферний вуглець, знищуються, а утримуваний вуглець виділяється у вигляді CO₂, що є парниковим газом.

- Проблеми охорони здоров'я. Дим та частинки, що утворюються внаслідок лісових пожеж, створюють серйозні проблеми з диханням для сусіднього

населення. Більш безпосередньо, люди можуть зазнати опіків і навіть смерті від попадання в лісові пожежі.

- Пошкодження інфраструктури та послуг. Лісові пожежі породжують полум'я, яке іноді досягає великих висот і може вплинути на інфраструктуру, наявну в районі, де вони розвиваються, або в прилеглих районах. Коли лісові пожежі охоплюють значні території, іноді вони зачіпають сусідні житлові райони. Отже, випадки лісових пожеж, які в результаті призводять до пожеж конструкцій, є поширеними.

- Пошкодження ліній електропередач. Коли полум'я стихійного вогню вражає високовольтні лінії електропередач, вони спричиняють сплески. Ці перевантаження викликають механізми безпеки системи, і електропостачання великих міських та промислових районів припиняється.

- Втрата ресурсів від екосистеми. Ліси та інші екосистеми є джерелом продовольчих, лікарських, генетичних та промислових ресурсів, які можна використовувати у сталий спосіб. Знищуючи види в екосистемі, лісові пожежі спричиняють втрату цих ресурсів.

- Зниження туристичної активності. Однією з цінностей екосистем є їх туристичний потенціал. Безперечно, на це негативно впливають лісові пожежі як через ризик для безпеки туристів під час їх виникнення, так і через погіршення навколишнього середовища, яке вони виробляють.

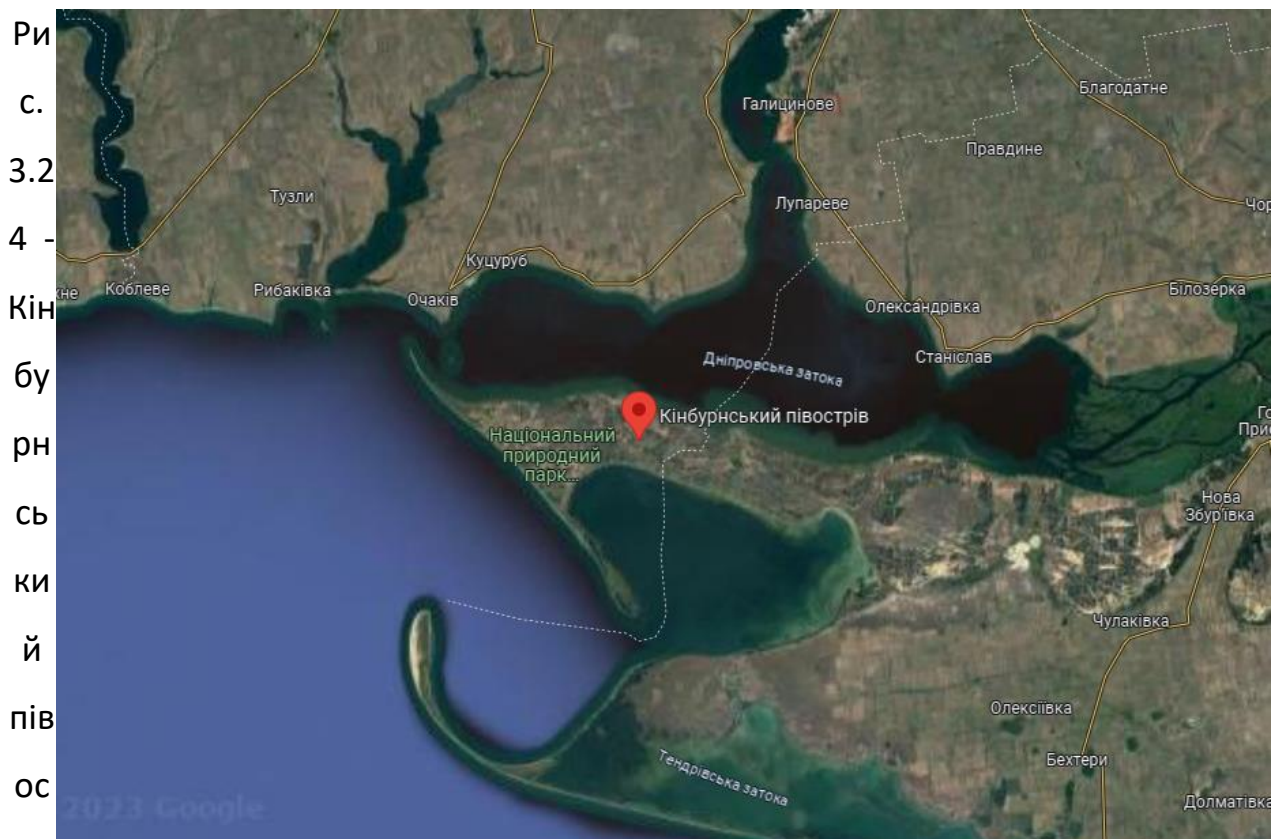
- Економічні втрати. Негативний вплив лісових пожеж проявляється також економічно через втрату лісових ресурсів та інфраструктури, витрати, пов'язані з проблемами здоров'я, переміщенням людей та подальшими заходами з відновлення (електронний ресурс.– Режим доступу: <http://surl.li/gvtof>).

Будь-які сучасні наукові дослідження важко уявити без використання технологій дистанційного зондування Землі. Існує багато ресурсів, призначених

для завантаження космічних знімків та їх обробки. До таких належить EO browser.

EO Browser - безкоштовний хмарний інструмент для візуалізації та завантаження доступних знімків середньої і низької роздільної здатності з супутників: Sentinel-1, Sentinel-2, Sentinel-3, Sentinel-5P, Landsat, Envisat Meris, MODIS, Proba-V, GIBS. EO Browser поєднує в собі безліч функцій: порівняння даних, різні автоматичні параметри візуалізації (природні та штучні кольори, NDVI і т. д.), синтез каналів, вимірювання площ, отримання статистичних даних у вигляді графіків і навіть деякі алгоритми обробки даних та скрипти. Цей переглядач надає можливість створити свою бібліотеку знімків (електронний ресурс.– Режим доступу: <http://surl.li/gvucsm>).

Згідно з даними Fire Information for Resource Management System, були зафіксовані масові лісові пожежі у травні 2022 року на території Кінбурнського півострову.



трів на карті Google

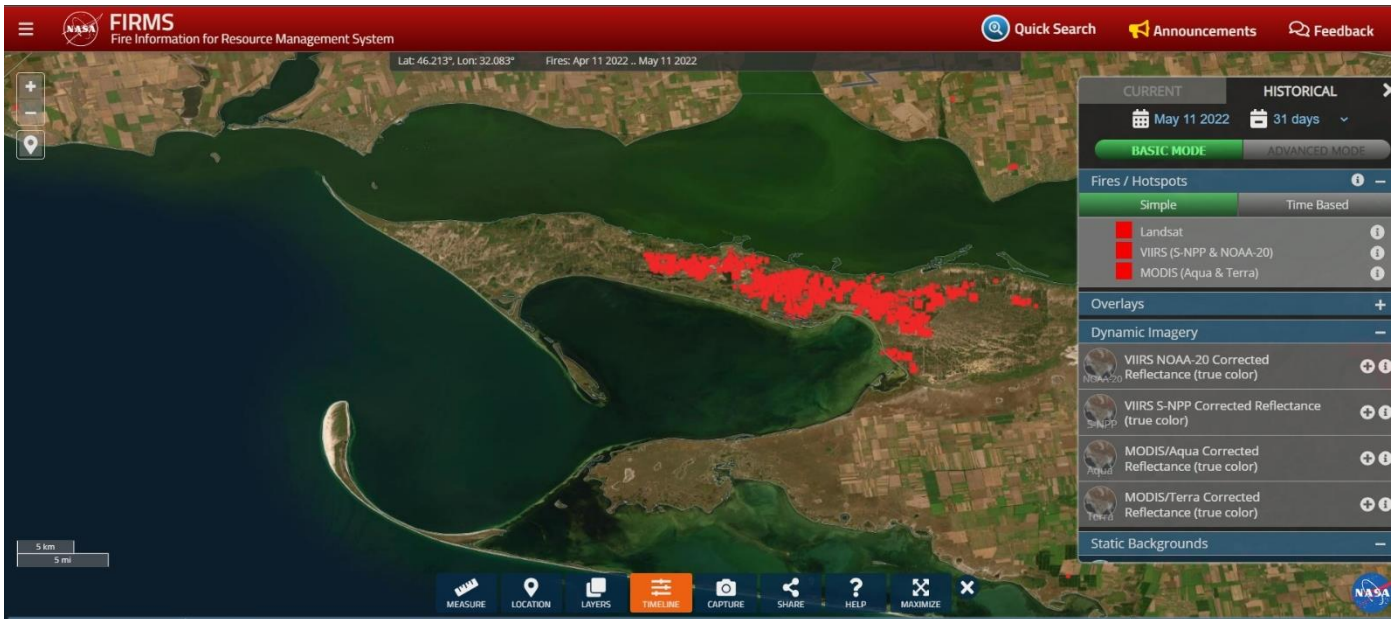


Рис. 3.25 - Кінбурнський півострів на знімку FIRMS

За допомогою платформи EO Browser були знайдені та завантажені знімки обраної території Sentinel - 2 L2A. Вони забезпечують зображення із задовільною роздільною здатністю у видимій та інфрачервоній довжинах хвиль для моніторингу рослинності.

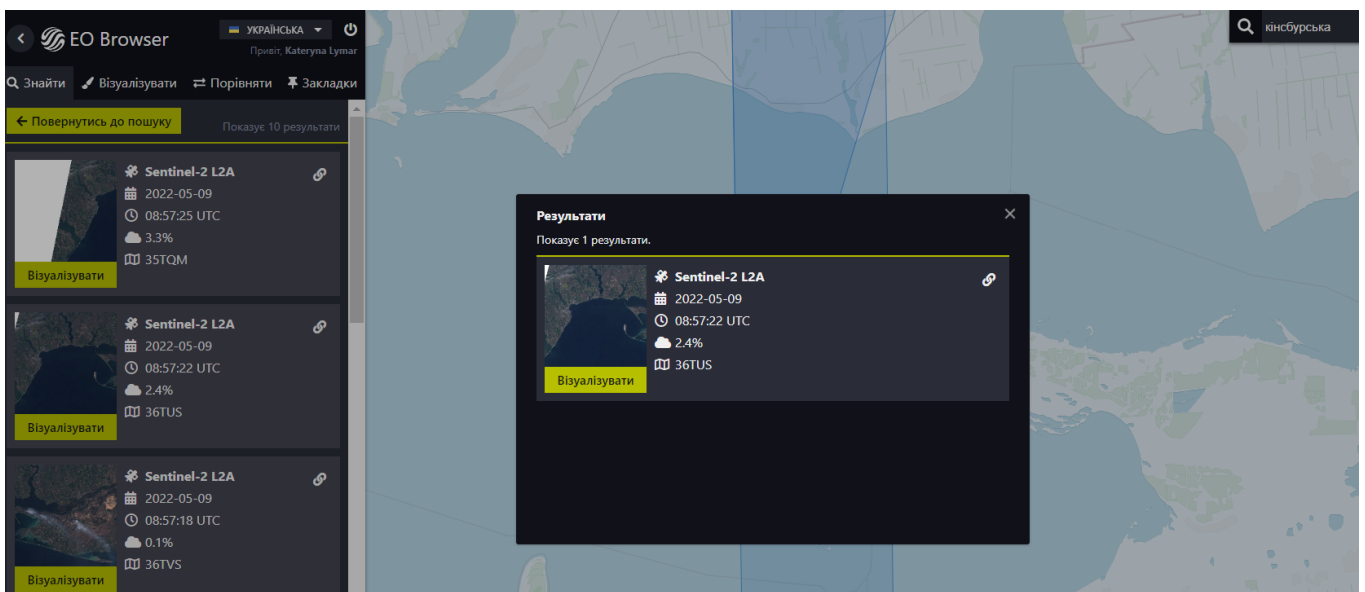


Рис. 3.26 - Результати за вхідними даними пошуку



Рис. 3.27 - Знімок Sentinel - 2 L2A за 09.05.2022

Дані, отримані в короткохвильовому інфрачервоному діапазоні (SWIR) можуть допомогти оцінити вміст води в рослинах та ґрунті, оскільки вода поглинає хвилі SWIR. Короткохвильові інфрачервоні канали також можуть використовуватися для розрізнення типів хмар (водяні хмари та крижані хмари), снігу та льоду, які у видимому діапазоні виглядають білими. У цьому композиті рослинність представлена у відтінках зеленого, ґрунт та забудовані території – у різних відтінках коричневого, а вода відображається чорною. Нещодавно згорілі землі відображаються у каналах SWIR, тому їх можна використовувати для картування руйнівних наслідків пожеж (електронний ресурс.– Режим доступу: <http://surl.li/gwder>).



Рис. 3.28 - Знімок Sentinel - 2 L2A у режимі SWIR



Рис. 3.29 - Вимір територій охоплених полум'ям станом на 09.05.2022

За допомогою інструменту виміру площ, можна визначити масштаби пожежі, а саме території безпосередньо охоплені полум'ям на зазначену дату. Станом на 09.05.2022 це 1,41 км².

Дані, отримані з використанням діапазону SWIR дає змогу оцінити руйнівні наслідки пожеж на території Кінбурнського півострова, які тривали більше тижня. Для цього був завантажений знімок Sentinel - 2 L2A за 19.05.2022. Приблизні площі ураженої рослинності становлять 66,51 км².



Рис. 3.30 - Вимір площ територій з ураженою рослинністю за 19.05.2022

Ураженість лісового покриву можна візуалізувати за допомогою функції NDVI, окресливши полігон області інтересу. Для порівняння показників індексу був обраний знімок Кінбурнського півострова за 24.04.2022 (за два тижні до перших пожеж) та за 19.05.2022 (після повного загасання).

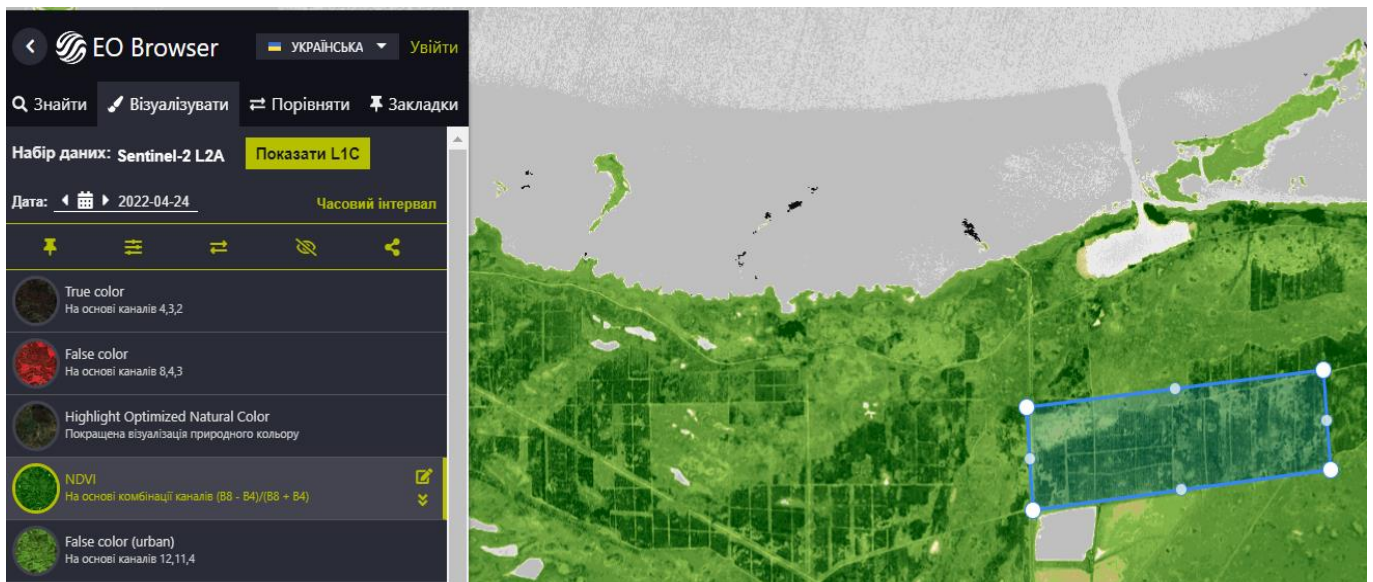


Рис. 3.31 - Знімок за 24.04.2022

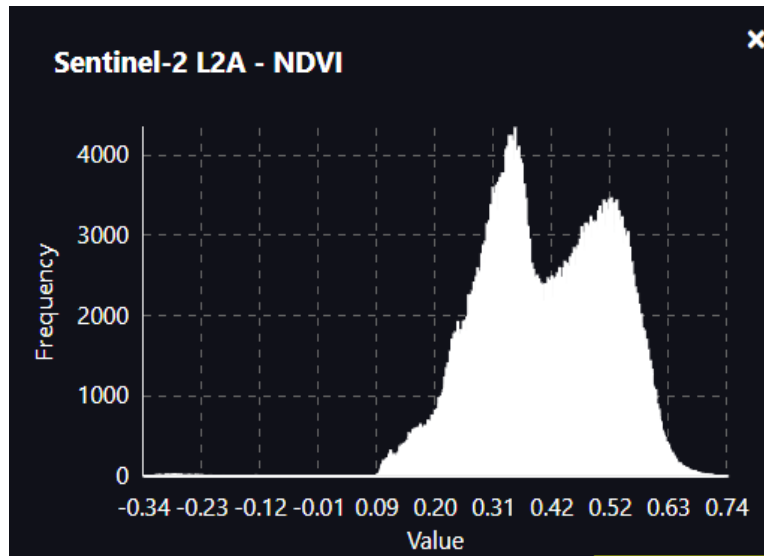


Рис. 3.32 - Графік NDVI для знімку за 24.04.2022

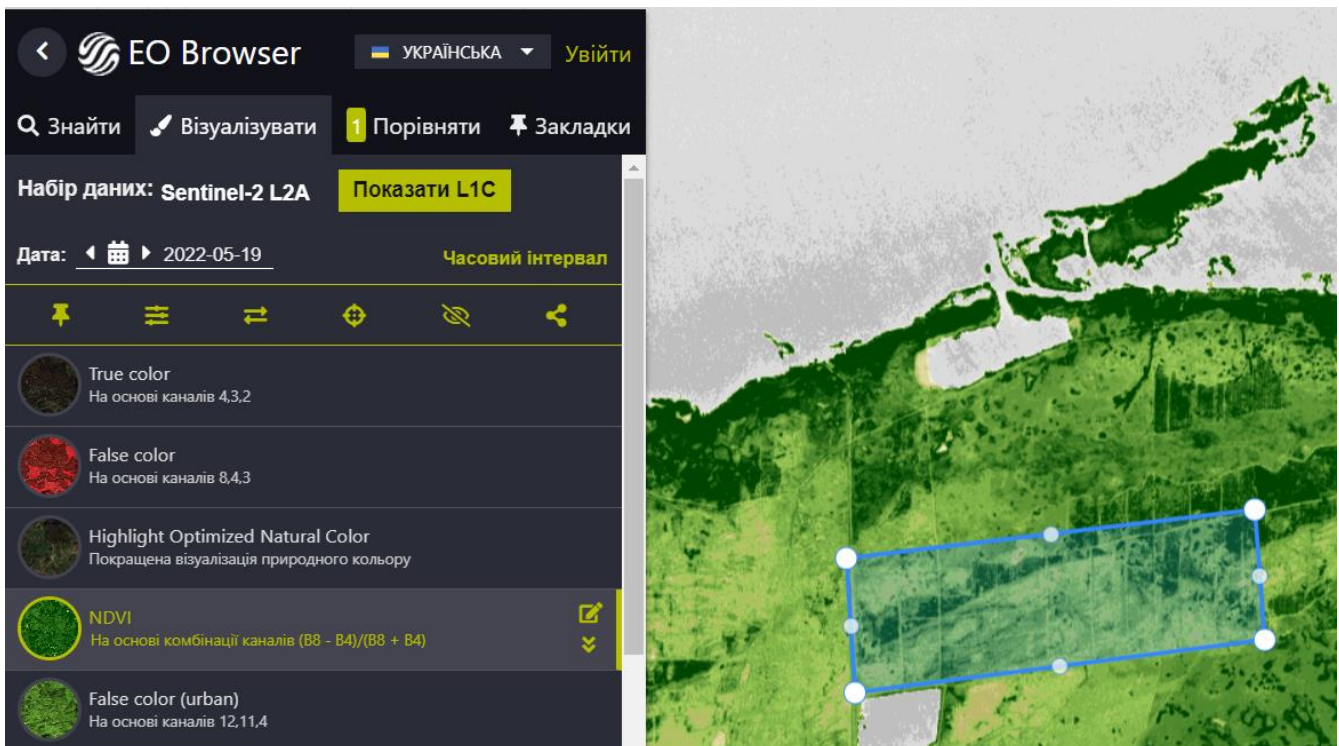


Рис. 3.33 - Знімок за 19.05.2022

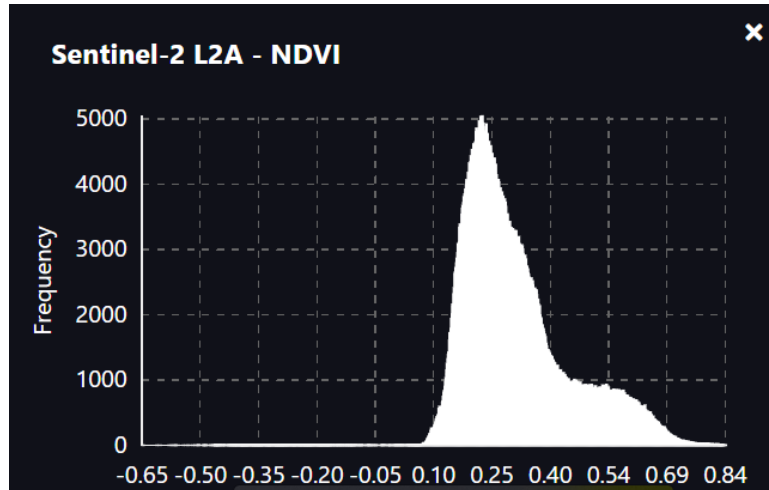


Рис. 3.34 - Графік NDVI для знімку за 19.05.2022

Підсумовуючи отримані дані, можна зазначити, що платформа EO Browser дає високі результати оцінки масштабів, тривалості та наслідків пожеж. За допомогою доступних інструментів виміру можна кількісно оцінити площі ураженості лісів. Використання індексів та наборів каналів, дає змогу зробити висновки щодо якісного стану лісового покриву.

ВИСНОВКИ

У даній роботі продемонстровано теоретичне і практичне узагальнення використання методів дистанційного зондування Землі в задачах моніторингу об'єктів лісового кадастру.

Проаналізовано наукову літературу, як вітчизняну, так й іноземну, з метою виявлення досягнень, недоліків, актуальності попередніх досліджень у галузі моніторингу лісів.

Розглянуто нормативно-правову базу. Виокремлено закони України, постанови Кабінету Міністрів України, стандарти на основі яких здійснюється моніторинг об'єктів лісового кадастру.

Надано загальну характеристику методів ДЗЗ, а також вказано особливості їх залучення для отримання інформації про об'єкти лісового кадастру.

Охарактеризовано переваги вжиття технологій дистанційного зондування Землі в задачах моніторингу лісового покриву, серед яких: об'єктивність, актуальність, екстериторіальність, масштабність, доступність.

Проведено практичне обґрунтування застосування методів ДЗЗ для кількісної характеристики лісового покриву, на прикладі Чоповицької територіальної громади Коростенського району Житомирської області. Саме контроль за незаконними рубкам, які є широко розповсюдженою проблемою на території ОТГ.

Практично доведена ефективність використання багатоспектральних супутникових знімків, для оцінки негативного впливу звалища побутових відходів на рослинний покрив за обраний період часу, через забруднення ґрунтових вод та атмосферного повітря на прикладі трьох обраних об'єктів дослідження за допомогою нормалізованого вегетаційного індексу (NDVI) розрахованого з використанням програмного забезпечення ArcGis.

За допомогою платформи EO Browser на основі використання індексів та наборів каналів (SWIR, NDVI), проведена оцінка масштабів лісових пожеж (за допомогою доступних інструментів платформи) у динаміці; проаналізований їх вплив на якісний стан лісових ресурсів.

Як результат, доведено ефективність застосування технологій дистанційного зондування Землі для отримання та опрацювання інформації про об'єкти лісового кадастру.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Congedo L. *A brief introduction to remote sensing*, (2017). [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://surl.li/dwhxr>
- Earthexplorer. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- EO Browser. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://surl.li/gwder>
- Gerard F., Plummer S., Wadsworth R., Ferreruela A., Lliffe L., Balzter H., Wyatt B. Forest Fire Scar Detection in the Boreal forest with multi-temporal SPOT-VEGETATION data. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://surl.li/eskac>
- Рома В.В., Степова О.В. (2016). *Навчальний посібник для вивчення дисципліни «Моніторинг довкілля»*. Полтава. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://surl.li/dghme>
- Giglio, L., Boschetti, L., Roy, D. P., Humber, M. L., Justice, C. O. (2018). *The Collection 6 MODIS burned area mapping algorithm and product*. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425718303705>
- GIS-Lab. Географічні інформаційні системи і дистанційне зондування. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://gis-lab.info/docs.html>
- LB.ua. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://surl.li/dwejo>
- Sentinel-2. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Sentinel-2>
- Sentinelhub. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.sentinelhub.com/explore/eobrowser/>
- Баб'як В.В. (2020). *Система відслідковування змін рослинності Чорнобильської зони*. Київ. [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

file:///C:/Users/Kate/Desktop/Babyak_bakalavr%D0%B4%D0%B8%D0%BF%D0%BB%D0%BE%D0%BC.pdf

Балабух В. О., Зівцев С. В. (2016). *Вплив зміни клімату на на кількість та площу лісових пожеж у північно-чорноморському регіоні України*. Київ. [Електронний ресурс].– Режим доступу: file:///C:/Users/Kate/Downloads/Uggj_2016_18_9.pdf

Бурштинська Х. В., Поліщук Б. В., Ковальчук О. Ю. (2013). *Дослідження методів класифікації лісів з використанням космічних знімків високого розрізнення*. Львів. [Електронний ресурс].– Режим доступу: <http://surl.li/evbau>

Бурштинська Х. В., Станкевич С.А. (2010). *Аерокосмічні знімальні системи*. Львів.

Вікіпедія. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Landsat_7

Вікіпедія. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Landsat_8

Дмитрів О. П., Дудко С. А. (2017). *Виявлення та моніторинг сміттєзвалищ за допомогою даних дистанційного зондування Землі та геоінформаційних технологій*. Рівне. [Електронний ресурс].– Режим доступу: <http://surl.li/evbda>

Earthexplorer. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://earthexplorer.usgs.gov/>

Жолобак Г. М. (2010). *Вітчизняний досвід супутникового моніторингу лісових масивів України*. Київ. [Електронний ресурс].– Режим доступу: <http://surl.li/evasx>

Застосування сервісу EO Browser в освітній діяльності: досвід лабораторії “ГІС та ДЗЗ” Малої академії наук України. Київ. [Електронний ресурс].– Режим доступу: <http://surl.li/gvucm>

Зацерковний В.І. Савков П. Пампуха І. (2020). *Застосування технологій ГІС та ДЗЗ в задачах моніторингу лісових пожеж*. Київ. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://surl.li/dwhey>

Зівцев С. В., Goldammer J. G. (2019). *Challenges in Managing Landscape Fires in Eastern Europe. Fire Management Today*. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://surl.li/evklw>

Зівцев С. В., Сошенський О. М., Гуменюк В. В., Корень В. А. (2019). *Багаторічна динаміка лісових пожеж в Україні*. Київ. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://surl.li/evkft>

Зівцев С. В., Сошенський О. М., Гуменюк В. В., Миронюк В. В. (2019). *Моніторинг ландшафтних пожеж транскордонної рамсарської території “Ольмани-Переброди” за даними дистанційного зондування Землі*. Київ. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: file:///C:/Users/Kate/Downloads/10_Zibtsev.pdf

Іванок П. С. (2014). *Аналіз використання даних ДЗЗ та геоінформаційних систем для моніторингу стихійних лих (на прикладі пожеж та повеней)*. Київ. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://maptimes.inf.ua/CH_11/10.pdf

Лісові пожежі: характеристика, причини, наслідки, види. (2023). [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://surl.li/gvtof>

Методика і перспективи створення автоматизованих технологій обробки матеріалів дистанційного зондування в цілях рішення задач природокористування [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://ukr-referats.blogspot.com/2013/04/blog-post_12.html

Миронюк В.В. Монографія. *Інвентаризація рівнинних лісів України за даними супутникової зйомки*, (2020). Харків. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://surl.li/eqdic>

Миронюк В.В., Свинчук В.А., Лялін О.І. (2017). *Конспект лекцій з навчальної дисципліни "Лісова таксація"*. Харків. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://core.ac.uk/download/pdf/95312659.pdf>

Мовчан Д. М. (2013). *Оцінка динаміки параметрів лісового покриву на території України (Західне Полісся) на основі даних дистанційного зондування Землі*. Київ <http://surl.li/evknz>

Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2017 році. [Електронний ресурс].– Режим доступу: <http://surl.li/gvtih>
Основи методів дистанційного зондування, Навчально-інформаційний портал НУБІП України. (2022). Київ. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://surl.li/dwhfe>

Особливості використання безкоштовної онлайн-платформи білоруської компанії OneSoil. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://surl.li/dwhbt>

Поліщук Б. В. (2008). *Сучасні досягнення і проблеми в дослідженні розвитку та стану лісів*. Львів. [Електронний ресурс].– Режим доступу: <http://surl.li/evazs>

Положення "Про затвердження Положення про державну систему моніторингу довкілля". Постанова КМ України від 30.03.1998 р., № 391 (зі змінами і доповненнями, внесеними постановою КМУ від 01.09.2021 р. № 922). [Електронний ресурс].– Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/391-98-%D0%BF#Text>

С.В. Солодянкіна. (2006). *Можливості використання даних дистанційного зондування Землі в крупномасштабному ландшафтному плануванні. Матеріали міжнародної наукової конференції Ландшафтне планування: висновки та перспективи*. Іркуцьк

Слободяник М. П. *Використання методів ДЗЗ та ГІС-технологій для моніторингу лісових ресурсів*. [Електронний ресурс].– Режим доступу: [file:///C:/Users/Kate/Downloads/vgtk_2014_1_8%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/Kate/Downloads/vgtk_2014_1_8%20(2).pdf)

Таксаційні показники. [Електронний ресурс].– Режим доступу:
<https://studfile.net/preview/7030096/page:2/>

ТОВ «МагнетікВан Муніципальні Технології», *Геоінформаційна система для управління лісовим господарством.* [Електронний ресурс].– Режим доступу:
<http://surl.li/eskah>

Топтун А. В. (2020). *Інформаційно-вимірювальна система моніторингу санітарного стану деревних насаджень.* Черкаси. [Електронний ресурс].–
Режим доступу:<http://surl.li/evwej>

Чоповицька селищна громада. [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
<http://surl.li/dkcea>