



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Чорноморський національний університет

імені Петра Могили

Кафедра управління земельними ресурсами

ЛЮ АНДРІЙ ОЛЕГОВИЧ

**СУПУТНИКОВИЙ МОНІТОРИНГ ЛІСОВИХ НАСАДЖЕНЬ, ЯКІ
ПОСТРАЖДАЛИ В РЕЗУЛЬТАТІ ВІЙСЬКОВИХ ДІЙ**

на здобуття степеня вищої освіти Магістр
галузь знань 19 «Архітектура та будівництво»
спеціальність 193 «Геодезія та землеустрій»
за освітньою програмою «Геодезія та землеустрій»

Науковий керівник

викладач Чорний. С.Г

Миколаїв 2025

Зміст

Вступ.....	3
РОЗДІЛ 1 СУЧАСНІ СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ЗЕМЕЛЬ.....	5
1.1 Законодавча база моніторингу в Україні.....	5
1.2 Роль сучасних супутникових методів у моніторингу	9
РОЗДІЛ 2 СУЧАСНА СИСТЕМА КОСМІЧНОГО МОНІТОРИНГ СТАНУ ЛІСОВИХ МАСИВІВ В УКРАЇНІ ТА В СВІТІ	19
2.1. Необхідність використання дистанційних методів при спостереженні за станом лісових масивів	19
2.2. Супутниковий контроль за станом лісів в Україні	25
2.3. Досягнення дистанційних методів моніторингу у Світі.	30
РОЗДІЛ 3 СУПУТНИКОВИЙ МОНІТОРИНГ ЛІСІВ ТА ЛІСОСМУГ В ЗОНІ БОЙОВИХ ДІЙ. ..	39
3.1 Деградація лісових насаджень в зоні бойових дій російсько-української війни.....	39
3.2 Моніторинг лісосмуг та лісів, які постраждали в результаті війни	53
3.3 Наслідки мілітарного знищення лісових насаджень для землекористування	61
Висновок	76
Список використаних джерел	77

Вступ

Актуальність дослідження - Супутниковий моніторинг лісових насаджень, які постраждали внаслідок військових дій, є надзвичайно актуальним і важливим заходом, оскільки він спрямований на забезпечення ефективного контролю за станом лісових екосистем та раціонального використання природних ресурсів. В умовах збройної агресії та масштабних руйнувань лісів зростає потреба у швидкій та об'єктивній оцінці ушкоджених територій, прогнозуванні наслідків для землекористування та плануванні відновлювальних заходів. Супутникові технології дозволяють отримувати достовірну інформацію про масштаби пошкоджень, ступінь деградації рослинного покриву, зміни водного режиму та ерозійні процеси, що безпосередньо впливають на продуктивність земель та екологічну стабільність регіонів.

У цьому контексті зростає потреба у високопрофесійному, науково обґрунтованому та системному підході до управління лісовими ресурсами на державному, регіональному та місцевому рівнях. Супутниковий моніторинг забезпечує інтеграцію даних про екологічний стан лісів з інформацією про землекористування, що дозволяє своєчасно приймати управлінські рішення, запобігати подальшій деградації територій та підтримувати екологічну рівновагу.

Незважаючи на активізацію дослідницьких зусиль у сфері дистанційного спостереження за лісовими екосистемами, залишаються актуальними теоретичні та практичні питання щодо інтеграції супутникових даних у процеси планування та відновлення лісів після бойових дій. Пріоритетність цих досліджень визначається необхідністю підвищення ефективності управління природними ресурсами, раціонального використання земель та стабілізації екосистем України в умовах післявоєнного відновлення.

Мета дипломної роботи: Метою даної дипломної роботи є розробка та обґрунтування комплексу методів супутникового моніторингу лісових насаджень, що постраждали внаслідок військових дій, з метою підвищення ефективності управління лісовими та земельними ресурсами. Це передбачає аналіз сучасних методів дистанційного спостереження, визначення оптимальних технологічних

рішень для оцінки стану лісів та розробку практичних рекомендацій щодо їх застосування для забезпечення раціонального використання і відновлення природних екосистем на державному, регіональному та місцевому рівнях.

У сучасних умовах, коли масштабні руйнування лісових масивів впливають на продуктивність земель, ерозійні процеси та стан екологічної рівноваги, супутниковий моніторинг стає важливою складовою контролю та планування відновлювальних заходів. Вивчення та впровадження методів дистанційного спостереження дозволяє отримувати актуальні та достовірні дані про ушкоджені ділянки, оцінювати ступінь деградації рослинного покриву та прогнозувати наслідки для землекористування.

У рамках дослідження буде розглянуто використання різних супутникових систем, методів обробки та аналізу даних, а також інтеграцію результатів моніторингу у практичні заходи з управління лісовими ресурсами. Такий підхід забезпечує науково обґрунтовану основу для планування відновлення лісів, підтримки екологічної рівноваги та стійкого розвитку територій, постраждалих від військових дій.

Основне завдання даного дослідження – Основним завданням дослідження є оцінка стану лісових насаджень, пошкоджених внаслідок військових дій, та визначення масштабів їх деградації. Дослідження передбачає аналіз сучасних методів супутникового моніторингу та вибір оптимальних технологічних рішень для дистанційного спостереження. Важливим завданням є прогнозування негативних наслідків пошкоджень для землекористування та екологічної рівноваги. Крім того, робота спрямована на розробку рекомендацій щодо використання супутникових даних для планування відновлювальних заходів і управління лісовими ресурсами.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел. Загальний обсяг роботи становить 79 сторінок комп'ютерного тексту, з них основного 76 сторінок, який має 9 рисунків. Список використаних джерел із 45 найменувань викладено на 2 сторінках

РОЗДІЛ 1 СУЧАСНІ СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ЗЕМЕЛЬ

1.1 Законодавча база моніторингу в Україні.

Раціональне управління земельними ресурсами неможливе без надійної та науково обґрунтованої системи спостереження, яка постійно відстежує стан земель, виявляє негативні зміни та дає змогу оперативно реагувати на них. Для раціонального управління землею важливо створити надійну та науково обґрунтовану систему, що буде відстежувати стан земельних ділянок а також виявляти стан ґрунтів та надавати змогу оперативно реагувати на них[1]

Моніторинг земель це лише інструмент для технічної та аналітичної діяльності, а повністю комплексна система яка залежить від тісної співпраці державних органів, наукових постанов і найголовніше суспільства. Її ефективність залежить від наявності актуальної, правильної, та дієвої нормативно-правової бази яка вже регламентує процеси спостереження, обробки, зберігання та використання інформації. Виходячи з цього ми можемо сказати наступне, що законодавство є найголовнішим інструментом для роботи системи моніторингу земельних ресурсів та лісових насаджень зокрема, також важливим моментом є визначення обов'язків між учасниками, визначає стандарти обробки даних та забезпечує інтеграцію національної системи в міжнародну екологічну практику.

Регулювання та розвиток моніторингу в Україні відбувалося не відразу а поступово, в один час з розвитком сучасної земельної політики в Україні. Основним стрибком розвитку був період після здобуття незалежності, оскільки ми зіткнулися з необхідністю створення єдиного механізму управління земельними ресурсами, який відповідав би міжнародним стандартам і гарантував екологічну стабільність. Одним із пріоритетів стало закріплення нормативно-правової основи, що визначає правові механізми моніторингу, розподіляє повноваження державних органів, порядок їх взаємодії та принципи доступу до екологічної інформації.

Законодавча база моніторингу земель в Україні є багаторівневою і включає різні нормативні акти. Це і загальні закони, що встановлюють принципи контролю та охорони територій, і підзаконні акти, які деталізують процедури їх виконання. Така система забезпечує правову основу для реалізації державної політики у сфері екологічного нагляду, сприяє гармонізації українського законодавства з європейськими стандартами та полегшує інтеграцію в міжнародну систему екологічного моніторингу.

Головні документи які регулюють цей моніторинг є Конституція та Земельний кодекс України[2].

Земельний кодекс України (ЗКУ) є основним нормативним актом, що регулює земельні відносини. Він визначає моніторинг земель як постійний процес збору даних про стан земельних ресурсів, зміну їхніх якісних та кількісних характеристик і прогнозування потенційних негативних явищ. ЗКУ створює правові основи для розробки більш детальних норм.

Ми можемо виділити ось такі закони які власне регулюють правові аспекти моніторингу [3]

- Закон України «Про охорону земель» – цей закон регламентує охорону земельних ресурсів та визнає моніторинг важливою складовою заходів щодо раціонального використання та збереження родючості ґрунтів[4].

- Закон України «Про державний контроль за використанням і охороною земель» – встановлює принципи державного нагляду. Моніторинг тут тісно пов'язаний із контролем, оскільки отримані дані служать основою для перевірок та прийняття управлінських рішень[5].

Підзаконні акти: визначають практичні процедури реалізації моніторингу.

- Постанова Кабінету Міністрів України № 848 від 23 липня 2024 року «Про затвердження порядку моніторингу земель і ґрунтів» – головний документ, що встановлює правила організації та проведення моніторингу на всіх рівнях (державному, регіональному, місцевому), визначає відповідальні

органи (Державна геокадастрова служба, Міністерство охорони навколишнього середовища, Державна екологічна інспекція) та їхні завдання[6].

- Інші відомчі документи та методичні рекомендації забезпечують узгодженість збору, обробки та аналізу даних.

Законодавчі норми дозволяють інтегрувати дані моніторингу земель у національну систему екологічного нагляду. Це забезпечує комплексний підхід до управління земельними ресурсами і також наукову оцінку ризиків (ерозія, забруднення, затоплення) та розробку ефективних заходів їх запобігання й мінімізації наслідків.

Тепер розглянемо ієрархічні аналізи та спостереження в законодавстві є для контролю за землями в Україні-

Система ґрунтується на спостереженнями за землями України на правовій основі що є складовою частиною загальної державної системи екологічного спостереження. Правове регулювання відбувається на деяких рівнях, які включають закони, рішення Кабінету Міністрів та галузеві нормативні документи.

Основні принципами та ключими законами моніторингу земель та лісових масивів є Кодекс України про землю, зокрема такі статті як 191 та 192 мають саме визначення моніторингу і визначають його основні задачі. В цих статтях основна думка є те, що моніторинг це не просто разовий збір даних а систематична діяльність яка має на меті отримання об'єктивної інформації про стан земельних ресурсів. Це охоплює розвиток змін якісних і кількісних параметрів ґрунтового покриття, а також прогнозування потенційних негативних явищ, таких як деградація земель, забруднення, ерозія, затоплення тощо.

Важливим рівнем в ієрархічній ланці є закони України, які конкретизують положення Земельного кодексу та встановлюють механізми його реалізації, серед таких є наступні пункти

Закон України «Про охорону земель»: цей закон відіграє важливу роль у деталізації правових механізмів охорони земельних ресурсів. Він чітко визначає моніторинг земель як невід'ємну частину системи заходів, спрямованих на забезпечення раціонального використання та відновлення родючості ґрунтів. Важливим положенням є стаття 54 цього Закону, яка делегує повноваження з визначення порядку проведення моніторингу Кабінету Міністрів України. Це означає, що саме уряд має розробляти конкретні правила та процедури для здійснення моніторингу.

Закон України «Про державний контроль за землекористуванням та охороною земель»: Цей закон встановлює правові та організаційні засади державного контролю за земельними ресурсами. Моніторинг земель дуже тісно пов'язаний з контролем зі сторони, оскільки результати моніторингу використовують для інформаційної бази і для здійснення контрольних функцій. Без надійної та систематично зібраної інформації про стан земель та лісових ділянок неможливий ефективний контроль за їх використанням та охороною. Також важливим фактором регулювання є підзаконні та нормативно-правові акти які деталізують різними процедурами та механізмами для порядку та моніторингу земель, основні документи серед таких є

Постанова Кабінету Міністрів України № 848 від 23 липня 2024 року «Про затвердження порядку моніторингу земель і ґрунтів»: Ця постанова має особливе значення, оскільки ця постанова встановлює та регулює єдиний підхід до організації та проведення моніторингу на всіх рівнях — державному, регіональному та місцевому. Вона чітко визначає суб'єктів, які здійснюють моніторинг (таких як Державний геокадастр, Міністерство охорони навколишнього середовища та Державна екологічна інспекція), а також їхні конкретні функції та повноваження. Цей документ забезпечує практичну реалізацію законодавчих вимог. Серед наступних правових документів та методичних рекомендацій є Центральні органи виконавчої влади відповідно до своїх повноважень та на підставі постанов Кабінету Міністрів розробляють

додаткові документи. Ці документи спрямовані на забезпечення уніфікації процесів збору, обробки, аналізу та зберігання даних моніторингу, а також впровадження сучасних науково-технічних методів.

Наукова значимість цієї законодавчої бази моніторингу земель полягає в тому що вона створює міцну правову основу для інтеграції даних моніторингу земель у національну систему екологічного моніторингу. Це надає можливість для системного підходу до управління земельними ресурсами, дозволяє науково пояснити та оцінювати ризики деградаційних процесів, таких як ерозія, забруднення, затоплення, засолення та виснаження ґрунтів, а також розробляти ефективні методи протидії мінімізації та їх запобігання. Законодавство створює основу для формування науково обґрунтованої земельної політики, спрямованої на сталий розвиток та збереження земельних ресурсів для майбутніх поколінь.

1.2 Роль сучасних супутникових методів у моніторингу

Сучасні системи та технології моніторингу навколишнього середовища є однією незмінною[7] і найголовнішою основою для забезпечення постійного і безперебійного управління природними ресурсами, такими як лісові та земельні системи в умовах постійних змінних обставин та зростаючим антропогенним тиском на економічну діяльність. У ХХІ столітті саме інтегровані засоби дистанційного зондування землі(ДЗЗ), географічні інформаційні системи (ГІС), безпілотні літальні апарати, глобальні навігаційні супутникові системи (ГНСС), системи сенсорного спостереження та технологіями штучного інтелекту утворюють багаторівневу систему для спостереження, яка забезпечує постійний, безперервний та масштабний моніторинг стану екосистеми.

Супутникові платформи Sentinel, Landsat, MODIS, WorldView та GeoEye, а також спеціалізовані місії, такі як Biomass, відіграють найголовнішу роль у цій системі, забезпечуючи збір мультиспектральних, гіперспектральних та радіолокаційних даних з різною просторовою та часовою роздільною здатністю. Це означає що ми можемо здійснювати моніторинг лісів і земель на

рівні, який ще кілька десятиліть тому був технічно неможливим. Лісові екосистеми є одним з найважливіших компонентів біосфери, оскільки їх стан необхідно постійно контролювати і моніторити. Завдяки супутниковим системам ми маємо можливість з високою точністю і швидкістю виявляти незаконну вирубку лісів, що особливо важливо для країн з великими площами лісових ресурсів. Знімки Sentinel-2 що робляться кожні п'ять днів дозволяють відстежувати найменші зміни лісового покриву майже в режимі реального часу. Порівняння знімків які були зроблені у різний час дозволяє нам фіксувати масштаби напрямку і характер вирубки, також можемо позрізнати санітарну або комерційну вирубку і також майже відразу виявляти незаконну діяльність у всіх районах, навіть у важкодоступних. Супутники такі як Sentinel-1 використовують радіолокаційний принцип і дозволяють здійснювати моніторинг незважаючи на погодні умови і різні фактори, чим значно підвищують ефективність контролю за територією.

Ще однією дуже важливою функцією супутникових систем є моніторинг лісових пожеж. Системи такі як MODIS, VIIRS, та інші і які базуються на інфрачервоному принципі дають можливість своєчасно виявити підвищення температури, що дає нам можливість своєчасно реагувати на пожежі, і також моделювати їх поширення та оцінювати площу яка постраждала від них та швидкість відновлення після пожежі. Завдяки таким системам ми покращуємо ефективність роботи рятувальних служб та охорону навколишнього середовища[8].

Мультиспектральні зображення дозволяють нам виявляти зміни в пігментації листків та дозволяє аналізувати рівень фотосинтетичної активності рослин та визначати ділянки висихання, зараження шкідниками або прояви теплової активності і водного підвищення або упадку. Використання таких показників як NDVI, EVI або NDMI дає нам можливість загально та точно аналізувати стан рослинності та своєчасно виявляти незадовільні показники в екологічних процесах. Супутникові системи мають дуже особливе значення в процесах моніторингу відновлення лісів. За допомогою

таких регулярних зображень визначаються темпи росту молодих насаджень, оцінюється їхня щільність, видовий склад, відсоток виживання рослинності та загальні характеристики нових лісових масивів. Це дає нам об'єктивну можливість перевіряти як проходять програми лісовідновлення та оцінювати безпосередньо їх ефективність. Спеціалізовані супутникові системи такі як ESA Biomass дозволяють нам провести оцінку біомаси лісів на основі радіохвиль діапазону Р, які проникають крізь крони дерев. Це має дуже велике значення для глобальних моделей вуглецевого балансу, оскільки ліси відіграють ключову роль у поглинанні CO₂. Такі дані ми використовуємо для формування міжнародної кліматичної оцінки та моніторингу обов'язків країн за різними екологічними угодами. Проте супутникові системи є лише однією частиною великої сучасної інфраструктури моніторингу природних ресурсів.

Комплексні системи моніторингу охоплюють набагато більший спектр різних завдань порівняно з лише лісовими екосистемами. Їх основне завдання заключається в систематичному спостереженні та прогнозуванні аналізу стану ґрунтів і їх покриття для якомога кращого і раціонального землекористування і береження родючості.

Моніторинг земель включає визначення рівня ерозії, засолення, , зменшення гумусу, ущільнення ґрунту та забруднення важкими металами або пестицидами. Зображення з високою роздільною здатністю дозволяють виявляти навіть незначні ознаки деградації, а постійні супутникові спостереження дають нам можливість визначати довгостоківі майбутні тенденції. Безпілотні літальні апарати мають велику роль для моніторингу, вони забезпечують дуже високу роздільну здатність що надає нам змогу проводити аналіз різних ділянок і розміром навіть до декількох метрів. Незмінне для кадастрових робіт явище як контроль землекористування і аналізу агротехнологічних процесів та фіксації меж ділянок. ГІС технології є найважливішою технічною частиною для всієї системи моніторингу загалом, оскільки вони забезпечують інтеграцію супутникових, наземних, польових і картографічних даних в єдине аналітичне середовище і ще однією функцією

ГІС є можливість моделювати природні процеси, та оцінювати тенденції землекористування, аналізувати ландшафтну структуру і прогнозувати наслідки негативних факторів на моніторинг. Наразі штучний інтелект значно розширив і автоматизував можливість аналізу даних моніторингу а саме класифікувати ґрунтові покриття на типи і виявляти аномалії, прогнозувати і попереджати про деградацію ґрунтів та лісових ділянок, аналізувати зміни в структурі лісових масивів і виявляти незаконну діяльність та визначати зони ризику.

При обробці великих даних ми можемо одночасно аналізувати тисячі зображень і створювати детальні карти по них і розробляти дуже точні прогнозисті моделі. При поєднанні польових датчиків та супутникових даних ми отримуємо багаторівневу модель, кожне джерело якого доповнює інше і підвищує точність всього аналізу.

Моніторинг земель регулює функціонування систем через Законом «Про охорону земель» а також може регулюватися різними нормативними актами, а до основної державної інфраструктури моніторингу залучені Державний геокадастр, Міністерство охорони навколишнього середовища, науково-дослідні установи та університети. Діяльність їх спрямована на прозору та повністю відкриту систему даних, яка забезпечує ефективний державний контроль за землекористуванням[9].

Сучасні супутникові методи спостереження за станом лісових територій та агроєкосистем мають не аби яке значення у забезпеченні наукового обґрунтування та масштабного і оперативного моніторингу природи та зокрема лісових ділянок. Завдяки цим методам ми маємо можливість отримувати інформацію про стан земель, рослинності та атмосферних умов навіть у віддалених і важкодоступних регіонах де звичайні методи спостереження є неймовірно складними або навіть неможливими. Супутникові системи спостереження дають нам повне просторове покриття певної території і доповнює данні в спостереженні за вологістю, температурою і та іншими даними які ми використовуємо для оцінок території на

екологічний стан, прогнозування посух і ряд небажаних моментів. Також супутниковий моніторинг часто використовує спеціальні індекси, такі як NDVI для допомоги у визначенні стану і розвитку рослинності. Ще такі показники ми застосовуємо для спостереження за яскравості поверхні і дає нам можливість провести оцінку впливу погоди й клімату на стресові ознаки у рослин.

Ще одним потужним інструментом супутникового моніторингу є індекс стану рослинності (VHI),. Такий індекс надає нам бачення про стан рослинності та температуру протягом певного вегетаційного періоду. Цей індекс розраховується на основі поєднання різних індексів, таких як VCI це стан рослинності, TCI це температурні умови, і де VCI визначає відхилення від мінімальних і максимальних значень для конкретної території, а TCI ми визначаємо через данні на основі температури поверхні планети які ми можемо отримати радіометром AVHRR.

Показники цих значень може бути від 0, де 0 власне означає максимальний стрес рослини і до 100, де 100 це дуже хороші і оптимальні умови для розвитку рослинності. Якщо говорити про практичне застосування таких супутникових методів у моніторингу лісових ділянок, то можна сказати однозначно що це є дуже важливим і ефективним. В приклад можна привести території Миколаївської та Херсонської областей. Під час дистанційного зондування цих територій у період з 2007 по 2012 ми змогли достовірно визначити рівень посухи ґрунтів та локацію максимального стресу у якій перебували рослини.

У березні та квітні 2012 року індекс NDVI був набагато нижчим порівняно за середні показники у минулі роки, це означає що було виявлено негативний вплив на стан рослинного покриву через недостатню кількість вологи. Такі результати дають нам впевненість що супутниковий моніторинг не тільки забезпечує нас правдивими та об'єктивними спостереженням, а й формують інформаційну базу для дальнішого прогнозування стану ділянок земель та лісових угідь.

Сучасні супутникові методи дистанційного зондування Землі(ДЗЗ) почалося з середини 1990-х років, як тільки розвиток персональних комп'ютерів і різних геоінформаційних систем дав нам можливість переводити дані з супутника в цифровий формат і обробляти результати.

Це, так можна сказати, стало початком нової епохи в аналізі лісових територій, яка дала можливість виявляти зміни в лісових покриттях і оцінювати стан рослинних ділянок.

Одні із перших кроків впровадження супутникових методів було задля оцінки стану лісів у зоні впливу ЧАЕС. Це можна побачити на прикладі знімків SPOT-4 від 1995 року було відокремлено чорновільхові ліси від дубово-грабових та осиково-березових, а також ідентифіковано площі, уражені шовкопрядом серед соснових насаджень. Завдяки цьому ми було підтверджено високу точність при застосуванні супутників та їх даних з наземними спостереженнями.

Протягом останніх років наукові заклади України, зокрема такі як Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі (ЦАКДЗ), УкрНДІЛГА, Національний лісотехнічний університет України (НЛТУУ) та Національний університет біоресурсів і природокористування (НУБіП), вони активно впроваджують дані для дослідження лісів з супутника і його знімків.

Використовуються як знімки низької та середньої роздільної здатності (NOAA/AVHRR, ENVISAT/MERIS, SPOT Vegetation, TERRA/MODIS, Landsat-7/ETM), так і високої роздільної здатності (SPOT-5, Landsat-5, ASTER) що дозволяє оцінювати зміни лісового покриття в часі і аналізувати співвідношення листяних і хвойних лісів та контролювати наслідки нелегальних рубок і природного лісовідновлення.

Супутниковий моніторинг поєднує різні типи даних: оптичні знімки для визначення виду і стану рослинності, радіолокаційні дані для оцінки таксаційних параметрів і структури крони, а також відеоспектрометричні знімки для деталізованої класифікації рослинного покриття. Наприклад, застосування радіолокаційних знімків дозволяє дистанційно оцінювати

щільність і вікову структуру лісів, а також обсяг ділової деревини, незалежно від погодних умов і часу доби.

Інтеграція супутникових даних із наземними обстеженнями, лісотаксаційними та статистичними матеріалами дозволяє створювати цифрові карти лісових масивів із точним виділенням видового складу, вікових категорій та локалізації вирубок. У Карпатах, наприклад, на основі Landsat-7 і ASTER були розроблені карти лісових насаджень, що дозволили виявити зміни лісового покриву в період з 1979 по 2007 рр., оцінити процеси нелегального використання лісів і природного відновлення.

Крім наукових установ, супутникові методи активно впроваджуються в практичну діяльність державних організацій, таких як Національне космічне агентство України та підвідомчі йому центри, що займаються створенням архівів аерокосмічної інформації, цифрових карт і актуалізацією ГІС-даних для лісового господарства. Це забезпечує комплексний контроль за станом лісових ресурсів, оптимізацію управлінських рішень та сприяє впровадженню сталого ведення лісового господарства.

Розвиток технічних засобів дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), висока періодичність отримання даних, оперативність і доступність супутникових матеріалів дозволяють сьогодні реалізовувати завдання, які раніше виконували лише на дорогих апаратно-програмних комплексах. Це зумовило активне застосування методів ДЗЗ для моніторингу лісових екосистем, включаючи оцінку стану лісів, визначення їхнього видового складу, віку насаджень та зміни площ лісових масивів.

В Україні систематичні дослідження лісових територій із залученням супутникових даних ведуться з середини 1990-х років. Для цього використовуються багатозональні знімки з космічних апаратів SPOT, Landsat, NOAA/AVHRR, ENVISAT/MERIS, TERRA/MODIS, ASTER, QuickBird, Ikonos, а також радіолокаційні дані з КА «Алмаз». Обробка цих даних здійснюється різними методами: візуально, за кольором, текстурою та

щільністю фототону (наприклад, у ДНВЦ «Природа»), або шляхом контрольованої (керованої) класифікації в ЦАКДЗ, НЛТУУ та НУБіП.

Набутий досвід дозволяє ефективно використовувати супутникові дані для розрахунку змін лісових масивів, визначення типів лісів, їхнього породного складу та вікових категорій, переважно на регіональному рівні. Спостерігається тенденція до впровадження високоточних знімків QuickBird та Ikonos у масштабну лісову інвентаризацію, що робить їх гідною альтернативою традиційним аерофотознімкам та забезпечує можливість дешевшого і швидшого отримання детальної інформації.

Важливим чинником успішного застосування ДЗЗ у практичному лісовому господарстві є тісна співпраця спеціалістів технічного профілю з лісогосподарниками або ж оволодіння лісознавцями сучасними методами обробки супутникових даних. Це забезпечує інтеграцію наукових методів із практичними завданнями управління лісовими ресурсами та підвищує ефективність моніторингу лісових екосистем.

Однією з ключових функцій ДЗЗ є **виявлення та оцінка стану лісів щодо шкідників і хвороб**. Супутникові знімки дозволяють своєчасно фіксувати зміни забарвлення крон, появу коричневих плям або втрату листя, що може свідчити про поширення шкідників чи інфекцій. Роль космічних зображень у цьому процесі полягає у ранньому попередженні загроз та мінімізації економічних і екологічних втрат. Такі можливості особливо важливі для лісів, які розташовані у віддалених або важкодоступних районах, де регулярні наземні обстеження складні або дорогі.

У сфері контролю та моніторингу лісових пожеж супутникові технології виконують вирішальну роль. Термальні сенсори та інфрачервоні канали дозволяють виявляти осередки загорянь у режимі реального часу, відстежувати хід поширення вогню та оцінювати площу пошкоджень. Ця інформація є критичною для оперативного реагування, планування гасіння пожеж та мінімізації шкоди екосистемам. Завдяки регулярному оновленню

даних можливо прогнозувати розвиток пожежної ситуації та координувати дії рятувальних служб.

При плануванні лісових рубок та відновлення насаджень роль супутникових даних полягає у забезпеченні точного картографічного та аналітичного обґрунтування лісогосподарських робіт. Використання знімків високої роздільної здатності дозволяє визначати вікову структуру лісів, типи дерев, густоту насаджень, а також оцінювати природну відновлюваність територій. Це підвищує ефективність лісозаготівель, оптимізує відновлювальні заходи та сприяє сталому управлінню лісовими ресурсами.

Оцінка біорізноманіття та екологічного стану лісів є ще однією важливою сферою застосування ДЗЗ. Супутникові дані дозволяють класифікувати різні типи лісових екосистем, виділяти природні заповідники та охоронювані території, а також відстежувати зміни у видо-структурному складі лісів. Роль ДЗЗ у цьому випадку полягає у наданні об'єктивної інформації для збереження екологічної рівноваги, планування природоохоронних заходів та оцінки стану біорізноманіття.

Супутникові технології також виконують роль у виявленні наслідків природних катастроф, таких як повені, урагани, зсуви чи ерозія ґрунтів. Використання космічних знімків після стихійних подій дозволяє оцінити масштаби пошкоджень, відновити інформацію про лісові масиви та планувати роботи з відновлення екосистем. Це сприяє не лише швидкому реагуванню на катастрофи, а й стратегічному плануванню адаптаційних заходів у лісовому господарстві.

Ще однією критичною роллю ДЗЗ є контроль законності лісокористування. Супутникові знімки дозволяють виявляти незаконні рубки, зміни лісового покриву та інтегруватися в системи моніторингу для своєчасного реагування. Це забезпечує ефективний захист ресурсів та зменшення економічних і екологічних втрат, пов'язаних із порушеннями лісового законодавства.

Виходячи з вищесказаного сучасні супутникові технології дистанційного зондування Землі є незамінним інструментом у комплексному моніторингу лісових територій та земельних ресурсів. Вони дозволяють об'єднувати дані про стан рослинності, клімат та погодні умови, оцінювати вплив природних та антропогенних факторів, прогнозувати розвиток стресових явищ, таких як посуха, та формувати науково обґрунтовану політику управління природними ресурсами. Систематичне використання таких методів підвищує точність і своєчасність оцінок екосистем, дозволяє своєчасно виявляти загрози та планувати адаптаційні заходи, що є ключовим для сталого управління лісовими територіями та збереження екологічного балансу в умовах зміни клімату

РОЗДІЛ 2 СУЧАСНА СИСТЕМА КОСМІЧНОГО МОНІТОРИНГУ СТАНУ ЛІСОВИХ МАСИВІВ В УКРАЇНІ ТА В СВІТІ

2.1. Необхідність використання дистанційних методів при спостереженні за станом лісових масивів

Моніторинг стану лісових екосистем є критично важливим для збереження природних ресурсів, оцінки їх біорізноманіття, контролю за змінами в ландшафті та планування лісогосподарських заходів. У сучасних умовах, коли традиційні польові обстеження часто обмежені через віддаленість територій, складний рельєф, природні катастрофи або навіть військові конфлікти, дистанційне зондування Землі (ДЗЗ) стає незамінним інструментом. Його використання обумовлено низкою факторів[10]

Супутникові системи дозволяють одночасно спостерігати сотні та тисячі гектарів лісу, що дає змогу оцінювати стан великих регіонів або важкодоступних масивів, недоступних для польових обстежень. Це особливо актуально для гірських районів та віддалених територій, де фізичний доступ є обмеженим. Одним із фундаментальних аспектів ефективності супутникового моніторингу лісових екосистем є його здатність охоплювати великі території та забезпечувати комплексну оцінку стану лісів у масштабі регіонів, областей або навіть цілих держав. Дистанційне зондування Землі (ДЗЗ) дозволяє одержувати дані про сотні та тисячі гектарів за один прохід супутника, що значно перевищує можливості традиційних методів польового обстеження. Таке широке охоплення є критично важливим для лісових масивів з великими площами, віддалених або важкодоступних територій, де проведення наземних досліджень ускладнене або неможливе/

Масштабність супутникового моніторингу забезпечує створення цілісних тематичних карт лісового покриття без прогалин, які неминучі при авіаційному або наземному обстеженні. Це дозволяє не лише визначати загальні площі та межі лісів, а й проводити детальну оцінку їхнього стану:

визначати типи деревостанів, вікову структуру, щільність насаджень, а також виявляти порушення природного покриву, такі як вирубки, деградація або наслідки стихійних явищ показано на Рисунку 1

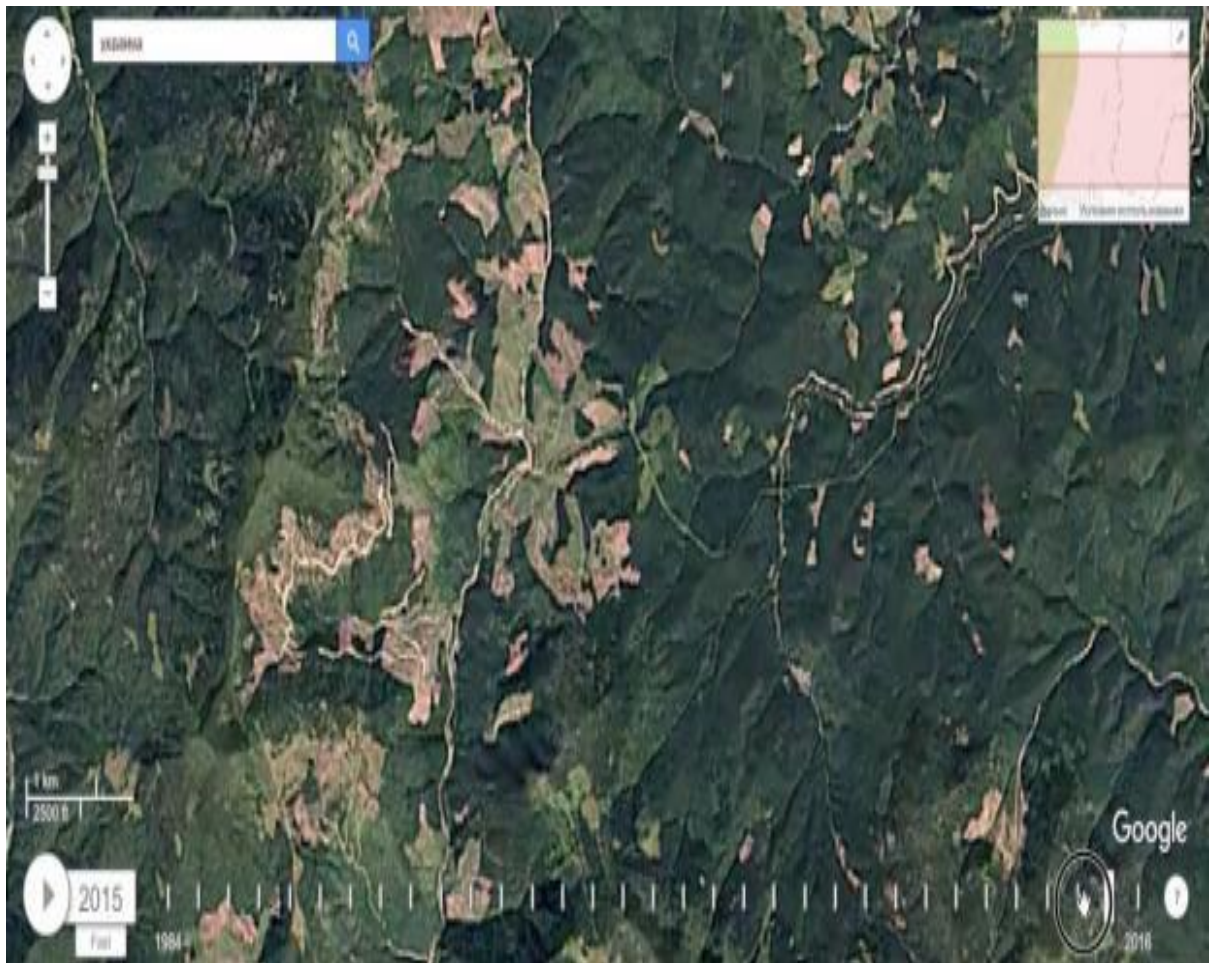


Рисунок 1 Супутникові знімки лісів Карпат

Важливо, що супутникові дані дають змогу відстежувати динаміку цих змін у часі, що є необхідним для комплексного управління лісовими ресурсами, планування рубок, заходів з лісовідновлення та охорони природних екосистем.

Масштабність дистанційного зондування також є незамінною при оцінці глобальних та транскордонних процесів, таких як поширення шкідників, пошкодження лісів стихійними явищами, масштабні лісові пожежі або наслідки кліматичних змін. Для країн із великими лісовими масивами, складними кліматичними умовами та обмеженим доступом до віддалених

районів можливість систематичного і масштабного спостереження стає стратегічною необхідністю.

Виходячи з цього охоплення великих територій за допомогою супутникових систем є однією з ключових переваг дистанційного зондування. Воно забезпечує безпечне, ефективне та економічно обґрунтоване спостереження лісових масивів, дає змогу проводити аналіз змін у покриві, оцінювати екологічний стан та планувати заходи з охорони і відновлення лісів на всіх рівнях, від локального до національного. Особливо критичним цей аспект стає в умовах військових конфліктів, коли доступ до територій обмежений і потреба в безпечних, оперативних та масштабних методах моніторингу є надзвичайно високою[11].

Однією з ключових характеристик сучасного моніторингу лісових екосистем є оперативність отримання даних, яку забезпечують супутникові технології дистанційного зондування Землі (ДЗЗ). Ця властивість визначає здатність науковців та фахівців лісового господарства своєчасно відстежувати зміни у лісовому покриві, реагувати на негативні процеси та приймати управлінські рішення на основі актуальної інформації. Оперативність супутникового моніторингу обумовлена високою періодичністю зйомок — сучасні космічні апарати здатні фіксувати дані щотижня, а деякі системи забезпечують оновлення інформації щодня або навіть кілька разів на день, що істотно перевищує можливості традиційних методів.

Традиційні підходи до оцінки стану лісів включають польові обстеження, аерофотозйомку та наземні інвентаризації. Для великого лісового масиву площею 1 000–5 000 гектарів польові обстеження можуть займати від кількох тижнів до місяця, вимагаючи залучення значного числа фахівців та технічних засобів. Аерофотозйомка, незважаючи на високу роздільну здатність, потребує підготовки літального апарата, сприятливих погодних умов і значного часу для обробки отриманих матеріалів. У порівнянні з цим, супутникові знімки дозволяють отримати аналогічну інформацію за декілька

годин або днів, що забезпечує значне прискорення процесу моніторингу і зменшення трудових та фінансових витрат.

Необхідність використання дистанційних методів виникає не лише через економічну та часову ефективність. У сучасних умовах, коли значна частина лісових масивів може перебувати у віддалених, важкодоступних або небезпечних районах, традиційні методи стають практично непридатними. Це особливо актуально для зон військових конфліктів, таких як сучасна ситуація в Україні, де фізичний доступ до лісів може бути обмежений через бойові дії, мінні поля, обстріли та інші ризики для персоналу. У таких умовах супутникові знімки є єдиним безпечним і надійним джерелом інформації про стан лісових екосистем, дозволяючи відстежувати пошкодження, незаконні вирубки, пожежі або зміни у структурі лісів без прямого контакту з територією[12].

Оперативність ДЗЗ також є критичною для управління надзвичайними ситуаціями, що швидко розвиваються, такими як лісові пожежі, шкідницька активність, повені чи урагани. Наприклад, супутники з інфрачервоними або термальними сенсорами можуть виявляти осередки загорянь у реальному часі, що дає змогу оперативно оцінити площу пошкодження та координувати заходи щодо ліквідації наслідків. Традиційні методи, які базуються на польових спостереженнях або звітах спостерігачів, в таких випадках не забезпечують необхідної швидкості та масштабності реагування.

Важливо також зазначити, що дистанційні методи дозволяють формувати часові ряди супутникових знімків, що дає змогу простежувати динаміку змін лісового покриття в реальному часі або протягом декількох місяців. Це відкриває можливості для раннього виявлення процесів деградації лісів, природного відновлення, антропогенного впливу або впливу кліматичних факторів показано на Рисунку 2



(Рисунок 2- Річка Ірпінь та лісові насадження в 2 різні проміжки часу)

Таким чином, ДЗЗ забезпечує постійний контроль за станом лісів на великих територіях, що неможливо забезпечити традиційними методами через їхню обмежену масштабність і тривалість проведення спостережень[13].

Необхідність використання супутникових технологій посилюється також у контексті інтеграції даних у сучасні геоінформаційні системи (ГІС). Оперативне надходження знімків дозволяє оновлювати цифрові карти стану лісів, планувати рубки, лісовідновлення, заходи щодо боротьби зі шкідниками та пожежами, а також оцінювати наслідки природних катастроф чи військових дій. Без такого оперативного доступу до даних точне управління лісовими ресурсами на регіональному та державному рівнях було б неможливим.

Тому можна сказати, що необхідність застосування дистанційних методів обумовлена поєднанням кількох факторів: високою швидкістю отримання даних, можливістю регулярного моніторингу великих територій, безпечним доступом до важкодоступних або небезпечних зон, а також інтеграцією інформації у сучасні системи управління. Ці переваги роблять супутниковий моніторинг незамінним інструментом у сучасних умовах ведення лісового господарства, особливо в умовах військових конфліктів, кліматичних змін та активного антропогенного впливу[14].

своєчасне виявлення біологічних загроз.

Його значення полягає в тому, що супутникові системи здатні охоплювати великі площі лісових масивів, на яких важко організувати регулярні польові обстеження. Саме ця масштабність забезпечує повноту інформації про стан лісів, включно з локальними осередками ураження шкідниками чи хворобами.

За допомогою багатоспектральних і гіперспектральних знімків можна виявляти зміни в фізіологічному стані рослинності, які раніше були непомітні для наземного спостереження. Наприклад, зміни кольору листя, зниження інтенсивності фотосинтезу або поява плямистості на кронах дерев сигналізують про початкові стадії ураження шкідниками або хворобами. Це дозволяє проводити раннє втручання, що мінімізує масштаб втрат і забезпечує ефективне управління лісовими екосистемами[15].

Дистанційне зондування також виконує функцію моніторингу динаміки процесів. Багаторічні серії знімків дозволяють простежувати поширення

шкідників у часі, оцінювати швидкість і напрямки ураження лісових масивів та прогнозувати потенційні ризики. Такий підхід формує науково обґрунтовану базу для прийняття рішень щодо санітарних рубок, застосування біологічних або хімічних методів контролю та планування профілактичних заходів.

У сучасних умовах, особливо в Україні, де певні території стали недоступними через воєнні дії, дистанційне зондування набуває особливої критичної ролі. Воно дозволяє продовжувати спостереження за лісовими масивами без фізичної присутності людей у зоні ризику, зберігаючи безпеку персоналу і водночас отримуючи точні дані для оцінки екологічного стану[16].

Таким чином, роль ДЗЗ у виявленні шкідників і хвороб можна розділити на кілька ключових аспектів: масштабне охоплення територій, раннє виявлення змін у стані рослинності, моніторинг і прогнозування динаміки поширення загроз, підвищення оперативності управлінських рішень та забезпечення безпеки обстежень у небезпечних або важкодоступних зонах. Цей комплекс функцій робить дистанційне зондування незамінним засобом для підтримки здоров'я лісових екосистем і збереження біорізноманіття.

2.2. Супутниковий контроль за станом лісів в Україні

Супутниковий контроль — це комплексний науково-технічний метод дистанційного спостереження, який ґрунтується на отриманні, обробці та інтерпретації даних, зафіксованих орбітальними апаратами у різних діапазонах електромагнітного спектра. На практиці він передбачає систематичний збір багато спектральних, радіолокаційних та теплових зображень, що дозволяють оцінювати стан природних об'єктів без фізичної присутності дослідника в конкретному районі. Основою супутникового контролю є здатність сенсорів реєструвати зміни у відбивній здатності рослинності, структурі лісових насаджень, рівні вологості, температурних аномаліях і просторовій конфігурації лісових масивів у динаміці. Це означає, що будь-які процеси, які впливають на фізико-біологічні властивості деревостанів (висихання, ураження хворобами, атаки шкідників, вирубки,

пожежі, зміни типу вкритої поверхні тощо), відображаються на супутникових знімках у вигляді змін спектральних характеристик, що можуть бути точно виміряні та проаналізовані за допомогою математичних алгоритмів, індексів стану рослинності (NDVI, EVI, SAVI), моделей машинного навчання та систем геоінформаційної аналітики. Сутність супутникового контролю полягає також у його здатності забезпечувати довгостроковість і безперервність моніторингового процесу: супутники здійснюють регулярні повторні знімки певної території, що створює унікальні умови для формування багаторічних баз даних і побудови часових рядів, які дозволяють відстежувати тенденції деградації або відновлення лісів з науковою точністю. Такий контроль виконує функцію не лише фіксації фактичного стану лісів, але й прогнозування можливих ризиків шляхом аналізу динамічних змін, що робить його ключовим елементом сучасних природоохоронних і воєнно-екологічних стратегій[17]. Його наукова цінність визначається також стандартизованістю, об'єктивністю та незалежністю від людського фактору, адже супутникові дані відтворюють реальний стан територій, незважаючи на сезонні, політичні або інфраструктурні обмеження. Таким чином, супутниковий контроль — це високотехнологічна, багатоаспектна система спостереження, що інтегрує космічні технології, геоінформаційні системи, методи спектрального аналізу та сучасні алгоритмічні підходи для забезпечення комплексного, масштабного й достовірного моніторингу стану лісових екосистем[18].

Супутниковий контроль за станом лісів в Україні є невід'ємною складовою сучасної системи екологічного моніторингу, що забезпечує отримання безперервної, структурованої та достовірної інформації про природні екосистеми в умовах постійних змін зовнішніх і внутрішніх факторів. На сучасному етапі розвитку лісового господарства роль супутникових технологій зростає у зв'язку зі збільшенням масштабів антропогенних навантажень, кліматичних трансформацій, підвищенням ризиків деградації лісових масивів, а також необхідністю впровадження

концепції сталого лісокористування, орієнтованої на довгострокове збереження біорізноманіття та екологічної рівноваги.

У другій половині XX століття супутникові технології дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) пройшли шлях від експериментальних спостережень до формування інтегрованих глобальних систем моніторингу. Для України особливе значення має те, що із середини 1990-х років країна отримала реальну можливість регулярно працювати з космічними даними різних рівнів деталізації. Це стало можливим завдяки розвитку супутників NOAA/AVHRR, ENVISAT/MERIS, SPOT Vegetation, TERRA/MODIS, а пізніше — завдяки доступу до знімків середньої роздільності «Landsat-4/5/7», високої — «Aster», «SPOT-5», та надвисокої — «QuickBird», «Ikonos». Згодом ці можливості були доповнені радіолокаційними матеріалами з апарату «Алмаз», що дозволило проводити моніторинг незалежно від погодних умов[19].

Саме сукупність цих технологічних змін заклала основу для систематичного супутникового контролю лісів в Україні. Впровадження дистанційних технологій у лісове господарство дозволило перейти від епізодичних польових вимірювань, які переважно охоплювали окремі ділянки, до комплексного спостереження за станом лісів у масштабах всієї країни. Цей перехід став революційним за своїм змістом, оскільки дав змогу не лише зберігати та оновлювати інвентаризаційні дані, але й оперативно реагувати на зміни, що відбуваються в лісових масивах: від суховіїв, буреломів, пожеж та заболочення до патологічних процесів, спричинених шкідниками або грибковими ураженнями.

Важливо підкреслити, що роль супутникового моніторингу значною мірою визначається здатністю цих технологій забезпечувати інформацію різного рівня: глобального, регіонального, локального та сублокального. Наприклад, дані MODIS та NOAA дозволяють виділяти великі регіональні тренди та динаміку рослинності, визначати сезонні коливання NDVI, аналізувати швидкі зміни внаслідок екстремальних природних подій. З іншого боку, знімки із серії Landsat забезпечують деталізацію до 30 метрів, що

дозволяє відстежувати конкретні ділянки лісових масивів, визначати зміни у їх площі, виявляти незаконні вирубки або локальні осередки хвороб. Найбільш високоточні дані QuickBird та Ikonos дозволяють не лише виокремлювати дрібні об'єкти, але й аналізувати мікроструктуру лісового покриву, оцінювати густоту деревостану та навіть проводити підрахунок окремих дерев у молодняках[20].

У контексті України, де лісові масиви нерівномірно розподілені й охоплюють як рівнинні, так і гірські території, можливість застосування різних рівнів деталізації є ключовою. Гірські ліси Карпат, які характеризуються складною структурою та високою чутливістю до антропогенних навантажень, потребують регулярного і точного контролю. Тут супутникові знімки дозволяють відстежувати зсуви, лавинні процеси, всихання ялицево-смерекових насаджень, а також нелегальні суцільні та вибіркові рубки, які часто відбуваються у важкодоступних районах. У Поліссі супутниковий моніторинг допомагає оцінювати масштаби ураження соснових лісів шкідниками та хворобами, а також наслідки пожеж, які є характерними для цього регіону. У степовій зоні, де ліси мають штучний характер, супутникові дані дозволяють оцінювати ефективність лісорозведення та стан захисних лісосмуг[21].

Розвиток технічних засобів, збільшення періодичності зйомок та поява відкритих архівів даних стали додатковими чинниками, що підвищили доступність супутникового моніторингу. Матеріали, які раніше могли бути оброблені лише у спеціалізованих центрах, тепер доступні майже будь-якому науковцю або організації, що працює у сфері лісознавства. Це призвело до активізації наукових досліджень та розширення спектра аналітичних методів: від простих візуальних оцінок до складних алгоритмів машинного навчання, які застосовуються для автоматичного розпізнавання типів лісів та оцінювання їхнього стану.

Фахівці ДНВЦ «Природа» активно застосовують візуальні методи дешифрування, аналізуючи кольорові та інфрачервоні комбінації каналів для

виявлення відмінностей між породами. У ЦАКДЗ, НЛТУУ та НУБіП України поширені методи контрольованої й неконтрольованої класифікації, спектральні індексні підходи та багаторівневий аналіз текстурних особливостей. Завдяки сукупності цих методів стало можливим створення точних карт лісового покриття, що відображають не лише площі, але й структуру, вік, інтенсивність росту та здоров'я насаджень[22].

Значної уваги заслуговує також процес інтеграції радіолокаційних даних у систему моніторингу. Радари дозволяють отримувати інформацію незалежно від хмарності та освітлення, що є критично важливим у періоди, коли оптичні знімки недоступні — наприклад, ранньою весною або восени. Радіолокаційні знімки з космічного апарата «Алмаз» допомагають визначати структуру лісових масивів, оцінювати вологість, аналізувати зміни у підстилці та навіть ідентифікувати незначні механічні порушення, які можуть залишатися невидимими на звичайних оптичних матеріалах.

Одним із найважливіших аспектів супутникового моніторингу лісів в Україні є можливість довготривалого порівняння даних. Архів знімків Landsat охоплює період понад 40 років, що дозволяє простежувати багаторічні тенденції у стані лісових масивів. Це особливо важливо у контексті глобальних змін клімату та динаміки природних екосистем. Довготривалі дані дозволяють виявляти не лише локальні порушення, але й глобальні процеси — такі як поступове зміщення меж рослинних зон, збільшення частоти лісових пожеж, зміна водного балансу територій або поширення інвазійних видів.

Не менш важливим є людський фактор: ефективне використання супутникових даних потребує фахової підготовки. Співпраця лісівників, геоінформатиків, екологів та спеціалістів з дистанційного зондування є запорукою коректної інтерпретації результатів. Лише комплексний підхід дозволяє перетворити необроблені супутникові зображення на корисну інформацію, що може застосовуватися в управлінні лісовими ресурсами.

В умовах сучасної України, яка переживає збройну агресію, супутниковий моніторинг набуває ще більшого значення. Військові дії

обмежують можливість польових обстежень, роблять низку територій недоступними або небезпечними. У таких умовах супутникові дані стають фактично єдиним джерелом оперативної інформації про стан лісів у прифронтових та тимчасово окупованих районах. Це дозволяє оцінювати масштаби пожеж, спричинених бойовими діями, фіксувати вирубки, визначати рівень деградації природних екосистем та планувати подальшу рекультивацію[23].

Підсумовуючи, супутниковий контроль за станом лісів в Україні перетворився на багаторівневу, технічно складну, але надзвичайно ефективну систему, яка дозволяє проводити комплексний аналіз стану лісових ресурсів. Він поєднує в собі оперативність, високу точність, доступність даних, архівність та масштабність охоплення території. Супутникові технології не лише підвищують ефективність лісового господарства, але й забезпечують фундамент для прийняття стратегічних рішень у сфері екологічної безпеки, сталого природокористування та охорони навколишнього середовища.

2.3. Досягнення дистанційних методів моніторингу у Світі.

Дистанційне зондування Землі у глобальному масштабі є фундаментальною технологією, яка дозволяє здійснювати системний контроль за станом лісових масивів на всіх континентах. З моменту свого зародження у середині XX століття, коли аерофотознімки з літаків вперше дали змогу оцінювати структуру рослинного покриву на локальних ділянках, розвиток супутникових технологій радикально змінив підходи до спостереження за лісовими екосистемами. Початково польові методи були єдиним способом збору даних про ліси, однак вони характеризувалися надзвичайною трудомісткістю, обмеженою масштабністю та значними витратами ресурсів. Крім того, людський фактор та обмежений доступ до важкодоступних територій накладали суттєві обмеження на точність та оперативність отриманих даних.

Револьюційним кроком у розвитку супутникового контролю стало створення серії американських супутників Landsat у 1970-х роках. Вони забезпечили регулярне і систематичне отримання зображень земної поверхні з багатозональними сенсорами, що дозволило проводити кількісний аналіз стану лісових масивів на масштабі не лише окремих районів, а й цілих континентів[24]. Наприклад, у Канаді та США супутникові дані Landsat використовуються для моніторингу тайгових та помірних лісів, оцінки вуглецевого балансу, прогнозування ризику лісових пожеж та шкідників, а також для наукового оцінювання довгострокових тенденцій змін лісового покриття. У цих країнах впроваджені інтегровані системи, які поєднують дані супутників з польовими обстеженнями, моделями прогнозування та геоінформаційними системами, що дозволяє отримувати максимально точну та актуальну інформацію для прийняття рішень щодо управління лісами.

В **Європі** розвиток супутникового моніторингу також мав значні масштаби, особливо з появою супутників SPOT у середині 1980-х років, що дозволило отримувати зображення з високою просторовою роздільністю. Завдяки цьому стало можливим відокремлювати різні типи лісів, оцінювати щільність насаджень, визначати вікову структуру деревостанів та виявляти дрібні осередки вирубок, що раніше було практично неможливо зробити за допомогою польових методів. Країни Північної Європи — Швеція, Фінляндія, Норвегія — активно застосовують супутниковий контроль для планування рубок, оцінки санітарного стану лісів та боротьби зі шкідниками, що забезпечує ефективне управління ресурсами і запобігання екологічним втратам. Особливо важливою є здатність супутникового спостереження надавати дані у режимі майже реального часу, що дає змогу своєчасно реагувати на пожежі, масові нашествия шкідників або інші надзвичайні ситуації.

У **Південній Америці** супутниковий контроль набув критичного значення через масштабні антропогенні та природні зміни тропічних лісів Амазонії. Нелегальна вирубка, розвиток сільського господарства та лісові пожежі створюють загрозу глобальному біорізноманіттю. Тут застосовують не

лише класичні знімки Landsat та SPOT, а й сучасні високороздільні супутники, такі як WorldView та RapidEye, що дозволяють детально оцінювати щільність рослинного покриву, ступінь деградації та зміни у видовому складі дерев. Віддаленість та важкодоступність територій робить традиційні польові дослідження практично неможливими, тому супутниковий моніторинг став незамінним для контролю та управління лісами.

В Африці та Південно-Східній Азії супутникові дані застосовуються для моніторингу вирубок, прогнозування наслідків пожеж, оцінки деградації тропічних лісів та виявлення змін, спричинених антропогенним впливом. У Індонезії, наприклад, супутникові знімки Landsat, Sentinel та MODIS активно використовуються для контролю за вирубкою пальмових плантацій, що є причиною втрати величезних площ тропічних лісів. Аналіз цих знімків дозволяє визначити площі деградації, виявляти зміни щільності покриву та прогнозувати динаміку відновлення лісів, що є важливим для збереження біорізноманіття та екологічної стабільності регіону.

Варто окремо підкреслити, що сучасний супутниковий контроль поєднує різні типи даних: оптичні багатозональні знімки, інфрачервоні та теплові канали, радіолокаційні знімки з синтезованою апертурою. Це дозволяє виявляти не лише явні зміни у лісовому покриві, але й ранні ознаки деградації, заселення шкідниками, захворювання дерев, а також оцінювати вологість та температурний режим лісів. За допомогою складних алгоритмів класифікації, машинного навчання та інтеграції з GIS-системами можна автоматично виділяти типи лісів, визначати вікову структуру насаджень, прогнозувати вплив кліматичних змін та антропогенних факторів, оцінювати вуглецевий баланс і потенціал екосистем для участі у міжнародних програмах з охорони клімату.

На сьогодні у світі спостерігається тенденція до поєднання глобального охоплення з високою локальною деталізацією. Використовуються супутники високої просторової роздільності (QuickBird, WorldView, PlanetScope, Sentinel-2), які дозволяють здійснювати масштабні інвентаризації лісів,

контролювати окремі осередки вирубок та прогнозувати динаміку відновлення. Це особливо важливо для великих територій із важкодоступним рельєфом, де польові методи є неприйнятними через часові, фінансові та безпекові обмеження.

Супутниковий контроль за лісами у світі демонструє унікальну здатність поєднувати кілька ключових властивостей: оперативність отримання даних, високий рівень деталізації, масштабність охоплення територій та можливість інтеграції різних типів інформації. Ці властивості дозволяють країнам, що мають великі лісові масиви, не лише ефективно управляти ними, а й передбачати екологічні ризики, планувати відновлювальні заходи та проводити науково обґрунтоване прогнозування стану екосистем.

В Італії Досягнення дистанційних методів заключається в наступному

Італія — країна надзвичайно різноманітних ландшафтів і кліматичних зон, що робить її лісові масиви об'єктом високого інтересу для моніторингу. Від Альп на півночі до Апеннін на півдні, а також островні території Сицилії та Сардинії, лісові екосистеми Італії демонструють величезну варіативність у складі дерев, структурі лісу, щільності насаджень та біологічній продуктивності. Північні регіони, зокрема Альпи, характеризуються хвойними і змішаними лісами з високою щільністю дерев та багатим підліском. Тут переважають ялини, сосни, буки, а також модрина, яка адаптована до високогірного клімату. Центральна частина країни, Апеннінські гори, більшою мірою представлена листяними лісами — дубовими, буковими та грабовими масивами, тоді як південні та середземноморські райони мають типові для цього клімату вічнозелені ліси з ксерофітними видами, такими як сосна кримська, фісташка і макіята[25].

У контексті дистанційного моніторингу в Італії активно застосовуються супутники Sentinel-2 та Landsat 8/9. Висока просторово-часова роздільна здатність цих супутників дозволяє відстежувати як сезонні, так і довгострокові зміни стану лісів. NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)

використовується для оцінки загальної вегетаційної активності, виявлення зон із низьким рівнем фотосинтезуючої маси, тоді як NDMI (Normalized Difference Moisture Index) дозволяє оцінити вологісний стан дерев, що особливо важливо для передбачення ризику ураження шкідниками або пошкоджень від посухи. Індекс TCG (Tree Canopy Greeness) дає змогу виявляти ділянки із деградацією зеленого покриву, а TCW (Tree Canopy Water) дозволяє визначати локальні відхилення в вологості дерев.

Північні Альпи часто страждають від аномально високих температур та шквалистих вітрів, що провокує вітровали та масові падіння дерев, а також сприяє поширенню короїдів і інших шкідників хвойних порід. Середземноморські ліси Півдня Італії, де клімат більш сухий і теплий, особливо вразливі до сезонних посух і лісових пожеж. Використання дистанційних методів дозволяє відстежувати ранні ознаки стресу у деревостані, визначати швидкість відновлення після ушкоджень та планувати управлінські заходи.

Інтеграція даних Sentinel-2 із Landsat 8 забезпечує багаторівневий аналіз змін лісових масивів, який дозволяє проводити порівняння між короткостроковими сезонними змінами та довгостроковими тенденціями, включаючи зміни структури лісу, щільності дерев і біорізноманіття. Наприклад, у Північних Альпах спостерігалось масове ураження ялинових лісів короїдом після теплих та сухих літніх періодів, що підтверджено польовими дослідженнями та супутниковим моніторингом.

Дослідження, проведені на території Італії, дозволили оцінити ефективність використання дистанційного зондування для моніторингу лісових екосистем, особливо в умовах постраждалих від пожеж територій. Аналіз часових рядів індексу NDVI на основі знімків Sentinel-2 показав, що можна точно виявляти навіть незначні зміни в стані рослинності, які виникають після лісових пожеж, а також відстежувати процеси поступового відновлення лісів. Використання таких параметрів, як нахил та зміщення

часових рядів, дозволяє трансформувати спектральну інформацію в практично корисні дані для оцінки стану рослинності.

Розгляд окремих сигналів, отриманих для вибраних пікселів за допомогою ROI, показав високу узгодженість результатів та дозволив класифікувати поведінку рослинності навіть у випадках мінімальних змін. Встановлено три основні типи тенденцій у змінах значень пікселів, що дає можливість чітко розрізняти зони з різними ступенями впливу пожеж та процесами відновлення. Особливу роль відіграє точність аналізу на рівні пікселя (10 м), що робить отримані дані достатньо деталізованими для практичного використання[26].

Завдяки використанню потужних хмарних платформ, таких як Google Earth Engine, стало можливим ефективно обробляти сотні мультиспектральних знімків Sentinel-2, без надмірних витрат на апаратне забезпечення. Поєднання методів машинного навчання та лінійної регресії дозволило отримати точність класифікації понад 86% при визначенні змін у землекористуванні, а застосування методу випадкового лісу (RF) підтвердило надійність результатів, навіть для площ різного масштабу.

Отже, дослідження підтвердило значний потенціал дистанційного зондування для швидкого, точного та масштабованого моніторингу лісів, особливо в умовах стихійних лих. Використані методи дозволяють оперативно отримувати карти змін стану рослинності, що можуть стати цінним інструментом для лісівників та органів управління лісовим господарством. Ці досягнення демонструють, що сучасні технології дистанційного зондування здатні підвищити ефективність прийняття рішень та сприяти збереженню природних ресурсів Італії.

Словаччина

Словаччина — країна, де ліси займають близько 41% території, і саме вони є не лише природним ресурсом, а й ключовим елементом екологічної стабільності. У країні переважають хвойні та змішані ліси, серед яких особливе значення мають ялинові масиви у Високих та Низьких Татрах. За

останні десятиліття зміни клімату та вплив шкідників, зокрема короїдів, призвели до значного зниження площ здорових насаджень, що змусило уряд і науковців активно впроваджувати нові методи моніторингу та управління лісами.

В останні роки в Словаччині активно застосовують супутникові дані Sentinel-2 для аналізу стану лісів, використовуючи вегетаційні індекси NDVI, NDMI та TCW. Аналіз часових рядів (TS) на основі цих індексів дозволив не лише розрізняти ділянки, що зазнали порушень, та здорові ділянки, а й відстежувати окремі фази режиму відновлення після стресових подій, таких як спалахи короїдів чи сіра плямистість. NDMI виявився особливо корисним для виявлення пошкоджених ділянок і оцінки процесу відновлення, тоді як TCG продемонстрував обмежені можливості: він дозволяв визначати фазу порушення, але був менш ефективним у відстеженні різних стадій відновлення та відокремленні їх від здорових лісів.

Дані оброблялися у хмарному середовищі **Sentinel Hub**, що забезпечило високу гнучкість аналізу та дозволило обробляти великі обсяги супутникових знімків за короткий час. Поєднання відкритих даних Sentinel-2 з високою просторовою, часовою та спектральною роздільною здатністю і хмарної обробки дало можливість швидко визначати проблемні ділянки, прогнозувати розвиток подій та планувати заходи з відновлення лісів.

Завдяки цим методам Словаччина змогла досягти конкретних результатів: було виявлено та обстежено сотні гектарів лісів, що постраждали від короїдів, оптимізовано проведення санітарних рубок і профілактичних заходів, а також здійснено підсівання нових дерев на пошкоджених ділянках. Крім того, супутниковий моніторинг дозволив контролювати ефективність цих заходів, порівнюючи часові ряди NDVI і NDMI до та після відновлення.

Особливу увагу приділяють національним паркам Словаччини, таким як Татри та Словенські Карпати, де лісове господарство поєднується з охороною біорізноманіття. Використання дистанційного зондування дозволяє виявляти не лише зміни в структурах насаджень, а й передбачати ризики нових

пошкоджень. Це створює науково обґрунтовану базу для управління лісами у довгостроковій перспективі, що особливо важливо у періоди кліматичних аномалій.

Досягнення Словаччини демонструють, що сучасні супутникові технології та індекси рослинності є ефективним інструментом для моніторингу лісів, управління ризиками та планування відновлення пошкоджених насаджень. Цей підхід дозволяє лісівникам приймати обґрунтовані рішення, економити ресурси та зменшувати негативний вплив стихійних лих.

Чехія

Чехія — країна з багатою лісовою спадщиною, де ліси займають близько 34% території. Тут переважають хвойні та змішані насадження, серед яких ключову роль відіграють ялинові та соснові масиви, особливо у гірських регіонах Шумави та Крконоші. У другій половині XX століття багато лісів постраждали від кислотних дощів та шкідників, що стимулювало розвиток сучасних технологій моніторингу та відновлення лісових екосистем.

В Чехії широко застосовують супутникові дані Sentinel-2 та Landsat 8 для моніторингу стану лісів. Аналіз часових рядів із використанням індексів NDVI, NDMI та TCW дозволяє оцінювати стан рослинності, виявляти пошкоджені ділянки, прогнозувати процеси відновлення та визначати ефективність заходів з управління лісами. NDMI демонструє високу точність у виявленні пошкоджень від короїдів і дозволяє відстежувати окремі фази відновлення, тоді як TCG добре розрізняє фазу порушення, але обмежено відображає процеси регенерації.

Особливе значення має обробка даних у хмарному інструменті **Sentinel Hub**, що забезпечує швидкий доступ до супутникових знімків і дозволяє інтегрувати їх із даними наземного моніторингу та кліматичними показниками. Це створює потужний аналітичний інструмент, який допомагає визначати проблемні ділянки, оцінювати динаміку відновлення та планувати ефективні заходи щодо санітарного та профілактичного обслуговування лісів.

В результаті впровадження цих технологій Чехія досягла значних успіхів: проведено детальний аналіз сотень гектарів лісових масивів, що постраждали від шкідників і хвороб; оптимізовано проведення санітарних рубок; здійснено підсівання нових дерев та контрольоване відновлення пошкоджених ділянок. Використання супутникових даних дозволило оцінити ефективність заходів, порівнюючи часові ряди NDVI та NDMI до та після втручання, що сприяє підвищенню ефективності управління лісами[27].

Національні парки Шумава та Крконоші стали прикладом успішного поєднання наукового моніторингу та практичного управління лісами. Завдяки супутниковому аналізу можна виявляти не тільки пошкодження деревостанів, а й прогнозувати ризики майбутніх ушкоджень, що дозволяє ефективно планувати профілактичні заходи та оптимізувати використання ресурсів.

Завдяки впровадженим методам Чехія показала, що сучасні технології дистанційного зондування, в поєднанні з індексами рослинності, є потужним інструментом управління лісовим господарством, відновлення та контролю стану лісів. Ці результати надихають на використання передових методів моніторингу не лише у Чеській Республіці, а й у всій Центральній Європі, демонструючи ефективність та практичну користь від інвестицій у сучасні технології.

РОЗДІЛ 3 СУПУТНИКОВИЙ МОНІТОРИНГ ЛІСІВ ТА ЛІСОСМУГ В ЗОНІ БОЙОВИХ ДІЙ.

3.1 Деградація лісових насаджень в зоні бойових дій російсько-української війни.

Деградація лісів у зоні бойових дій — це фактично поступове або різке псування та руйнування всього, що входить до складу лісової екосистеми. Тобто це не тільки про дерева, які були знищені обстрілами, а про загальне погіршення стану лісу, його природних функцій і здатності відновлюватися. Через війну багато лісових масивів опинились під прямим впливом вибухів, пожеж і переміщення важкої техніки, що створило умови, у яких ліс втрачає свою стійкість і буквально “розсипається”.

У районах, де бої тривали довго або були особливо інтенсивними, ліс зазнає найсильніших ушкоджень. Вибухи снарядів та мін утворюють численні вирви, ламають стовбури, виривають дерева з корінням і руйнують верхній шар ґрунту. Пожежі, спричинені влучаннями снарядів, часто знищують великі площі лісу за дуже короткий час. Після таких подій деревостан часто висихає, втрачається листяна маса, погіршується вологість ґрунту, а відновлення відбувається набагато повільніше, ніж у природних умовах.

Крім прямого руйнування, війна запускає довготривалі процеси, які впливають на ліс навіть після припинення активних бойових дій. Через те, що території залишаються замінованими, там довго не можна проводити жодних робіт — не чистити завали, не доглядати за молодими насадженнями, не запобігати новим пожежам. У результаті ліс продовжує втрачати свої властивості: ґрунт швидше руйнується, з’являються бур’яни або небажані види рослин, а природне відновлення сильно затягується[28].

Також важливо те, що багато лісових масивів стали фрагментованими — тобто розділеними на дрібні шматки через вирубання під техніку, окопи, бліндажі або проходження колон. Такий “розрізаний” ліс гірше виконує свої природні функції, стає вразливішим до ерозії та вітровалів, а тварини втрачають свої природні маршрути.

Війна в Україні спричинила серйозні екологічні втрати, і за даними Державної екологічної інспекції станом на початок лютого 2023 року їхню вартість оцінюють майже у 1,9 млн грн. За час активних бойових дій було знищено й випалено понад 59 тис. гектарів лісів та інших природних насаджень. Відновлення цих територій очікувано триватиме десятиліттями. Крім того, близько 2,9 млн гектарів лісів мають різні ступені пошкодження, ще близько 1 млн гектарів знаходиться на окупованих територіях, а понад 690 тис. га потребують першочергового розмінування, що значно ускладнює проведення будь-яких робіт[29].

Оскільки бойові дії на сході України тривають фактично з 2014 року, їхній вплив на лісові екосистеми вже був предметом досліджень у низці наукових робіт. Проте після повномасштабного вторгнення масштаби руйнувань суттєво збільшилися. Значні ушкодження тепер спостерігаються не тільки в східних регіонах, а й у північних і південних областях, де відбувалися або продовжують вестися запеклі бої. Також страждають території, що зазнали ракетних та авіаційних ударів навіть далеко від лінії фронту. Таким чином, проблема впливу війни на лісові насадження стала значно ширшою та складнішою, а її подолання вимагатиме багато часу, ресурсів і фінансів.

У світі вже існує досвід відновлення лісів після великих військових конфліктів: зокрема у Великій Британії після Першої світової війни, в країнах Західної та Центральної Європи, а також у В'єтнамі, Лаосі, Камбоджі та Таїланді після воєнних подій XX століття. В Україні, своєю чергою, також проводились масштабні лісовідновлювальні роботи після Другої світової війни. До початку бойових дій на Сході наші ліси мали певну вікову структуру, сформовану саме завдяки післявоєнному лісорозведенню та масовому створенню нових лісових насаджень у 1950–1970-х роках.

Лісові масиви у районах бойових дій часто використовуються військовими як природне укриття для розміщення особового складу, техніки чи пересування, а також для облаштування вогневих точок. Через це такі території регулярно потрапляють під обстріли різних типів озброєння.

Найбільше шкоди завдають саме вибухи ракет і боєприпасів: ударна хвиля, уламки та інші частини вибухових зарядів здатні серйозно пошкоджувати деревну рослинність — відламувати стовбури та великі гілки, рвати кореневу систему, провокувати загоряння. Сильні вибухи часто залишають після себе вирви, що спричиняє масове падіння дерев, руйнування верхнього шару ґрунту та його забруднення різними хімічними речовинами. Крім того, подібні процеси можуть локально змінювати водний режим ділянки. Під час детонації утворюється значна кількість шкідливих неорганічних сполук — чадний газ, бурий газ, оксиди азоту, формальдегід та інші органічні продукти розпаду[30].

Деревні породи та чагарникова рослинність отримують ушкодження не тільки від уламків боєприпасів після вибухів, а й від куль стрілецької зброї. Кулі часто застрягають усередині стовбурів чи гілок, або ж пробивають їх наскрізь, спричиняючи переломи та інші механічні травми. Ослаблені чи мертві рослини швидко втрачають природний імунітет, стають більш уразливими до різних інфекцій, комах-шкідників та значно підвищують ризик виникнення пожеж. Поламани частини дерев і кущів опиняються на землі, поповнюючи шар легкозаймистих матеріалів.

Негативний вплив охоплює й тваринний світ. Обстріли призводять до загибелі або важких травм у дикої фауни, а постійний шум та вибухи змушують тварин покидати звичні місця проживання і виходити на відкриті території, де вони також наражаються на загрозу. Через стрес та руйнування середовища знижується їхня здатність до розмноження. Крім фізичних втрат, у лісових екосистемах руйнуються трофічні взаємозв'язки, що призводить до довготривалих екологічних порушень.

Пошкодження лісових екосистем часто виникають через падіння збитих літаків, гелікоптерів, ракет чи ударних дронів. Коли такі апарати падають у ліс, вони ламають дерева, викорчовують їх і залишають по собі глибокі вирви в ґрунті. Оскільки більшість літальних засобів містять боєприпаси, паливо та інші вибухові речовини, їх падіння майже завжди супроводжується потужними вибухами й займаннями, що швидко переростає у лісові пожежі.

Окремою проблемою є влучання снарядів і ракет у техніку або склади боєприпасів, які можуть бути розміщені у лісових масивах. У таких випадках вибухи навіть сильніші й створюють масштабні осередки горіння, що знищують великі площі лісу[31].

Пожежі в природних умовах найчастіше виникають у період високої пожежної небезпеки, коли температура підвищена, а рослинність пересушена. Їх масштаб та швидкість поширення багато в чому залежать від складу деревостанів та типів лісорослинних умов — одні породи горять значно активніше та швидше, ніж інші. Частину причин воєнних пожеж уже неодноразово фіксували: підпали сухостою для створення димових завіс, навмисні займання для тактичних потреб, а також застосування запалювальних боєприпасів[32].

Лісові пожежі надзвичайно небезпечні для екосистем. Вони вимивають із лісу все живе — рослини, тварин, комах, мікроорганізми, а продукти горіння розлітаються у повітрі на великі відстані. У зоні активних бойових дій пожежі практично неможливо гасити, тому вони охоплюють величезні площі. На згарищах швидко розмножуються шкідники та патогенні гриби, а ліси втрачають свої ключові функції — захист ґрунтів, регулювання водного балансу, очищення повітря та стабілізацію місцевого клімату.

Найбільше страждають ліси саме там, де бойові дії тривають постійно. Ця зона простягається приблизно на 20 кілометрів по обидва боки від лінії фронту та охоплює близько 19,5% території України — саме тут пожежі мають найбільший масштаб і завдають найсерйозніших екологічних втрат (Рис3)



Рисунок 3- Лінії фронту, зона активних бойових дій (жовтий колір) та тимчасово окуповані території (червоний колір) на 2023 рік

Лісові пожежі під час війни не лише знищують рослинність, а й стають джерелом серйозного забруднення довкілля. Вони викидають у повітря великі обсяги парникових газів, що погіршує якість атмосфери та підсилює кліматичні зміни. За перші 214 днів повномасштабної війни на територіях, де велися бойові дії або які перебували під окупацією, пожежами було охоплено близько 49,6 тис. га лісів. У результаті в атмосферу потрапило приблизно 14 336 тис. тонн CO_2 — це колосальна кількість, яка матиме довготривалі наслідки як для регіону, так і для країни загалом.

Пересування військової техніки та використання озброєння в лісових масивах часто завдає значної шкоди деревам, чагарникам та іншій рослинності. Для маскуванню та захисту техніки облаштовують різні позиції та укріплення, що передбачає зрубання дерев, риття заглиблень для бронетехніки і створення траншей. Це призводить до пошкодження рослин, руйнування кореневої системи, порушення ґрунтового шару та зміни рельєфу.

У лісі також облаштовують бліндажі, окопи та житлові укриття для військових, що додатково порушує структуру ґрунту та знижує його родючість. Значна частина деревини використовується для військових потреб поза лісом: для будівництва укриттів, зміцнення стін траншей і окопів,

ремонту або спорудження тимчасових мостів і переправ. На прифронтових територіях, де відсутні інші джерела енергії, деревина часто стає основним паливом для приготування їжі та обігріву. Усе це спричиняє неконтрольовані рубки, які серйозно шкодять лісовій екосистемі та порушують природний баланс на постраждалих територіях[33].

До того ж, Україна будує оборонні лінії загальною протяжністю близько 2000 кілометрів, що включають три ешелони захисту. Лише бліндажів у цих лініях споруджено на сотні кілометрів, і вони разом із окопами, протитанковими ровами та іншими укріпленнями створюють додаткове навантаження на лісові масиви. Внаслідок будівництва таких оборонних споруд знищуються дерева, порушується ґрунт і змінюється рельєф, що ще більше погіршує стан лісових екосистем і це продемонстровано на Рисунку 4



Рисунок 4- Зображення польових укріплень в лісовій зоні

Мінування лісових територій створює серйозну загрозу не лише для людей і тварин, а й для самих лісових екосистем. Вибухи мін і боєприпасів ушкоджують деревостани та чагарники, ламають стовбури, руйнують кореневу систему та підстилку, порушують структуру ґрунту й змінюють рельєф. Такі пошкодження призводять до загибелі частини рослинності та зменшення біомаси, а уражені ділянки стають менш придатними для природного відновлення[34].

Крім того, повторні вибухи та мінування створюють довготривалий стрес для лісових екосистем. Постійні пошкодження ґрунту і кореневої системи уповільнюють процеси природного відновлення, сприяють ерозії та порушують водний баланс. У результаті навіть після завершення бойових дій ділянки лісу залишаються деградованими, зниженою екологічною цінністю та ослабленою здатністю підтримувати біорізноманіття.

Лісові масиви історично відігравали важливу роль у веденні воєн, слугуючи природними укриттями для розташування військ, що дозволяло використовувати ефект несподіванки. Крім того, ресурси лісу — деревина, дичина та дикорослі плоди — забезпечували можливість виживання населення і військових, а також сприяли швидшому відновленню місцевої економіки після завершення бойових дій.

Повномасштабне вторгнення Росії в Україну підтвердило стратегічне значення лісових територій. Найбільші ушкодження зазнали ліси поблизу великих міст, таких як Київ і Харків, а також уздовж долин річок Сіверський Донець і Оскіл у Харківській, Луганській та Донецькій областях, які стали ключовими лініями оборони для Збройних Сил України. Значних втрат зазнали також ліси на підступах до Херсону вздовж долини Дніпра. Дефакто ці території виконували аналогічну функцію оборони, як колись так звані “засічні ліси” у захисті південних рубежів України та Російської імперії від нападів кочівників[35].

До початку активних бойових дій ці ліси характеризувалися щільним деревостаном різних вікових груп, розвиненим підліском та стабільним

грунтовим шаром, що забезпечував природний водний баланс і підтримував біорізноманіття. Під час військових дій значна частина деревостанів була ушкоджена обстрілами, вибухами боєприпасів і пересуванням техніки. Стовбури та гілки ламалися, коренева система зазнавала руйнувань, у ґрунті утворювалися вирви, що спричиняло ерозію та локальні зміни гідрологічного режиму.

Додатково, облаштування окопів, бліндажів, траншей і позицій для військової техніки призводило до фрагментації деревостанів, порушення структури ґрунту та зменшення родючості. Пожежі, які виникали внаслідок обстрілів або підпалів для тактичних цілей, знищували підлісок і верхній шар ґрунту, що значно ускладнювало природне відновлення лісу. Мінування територій ускладнює проведення лісовідновлювальних робіт і робить планове відновлення можливим лише після завершення бойових дій.

Ліси під час війни відіграють важливу стратегічну роль, оскільки противник використовує їх для максимально наближеного підходу до позицій українських захисників. Внаслідок цього саме лісові масиви стають ареною особливо тривалих та інтенсивних бойових дій, що призводить до значного знищення природних і умовно природних лісів уздовж усієї лінії зіткнення.

За даними Державного агентства лісових ресурсів України, оприлюдненими UWEC Work Group, станом на червень 2024 року безпосередньому впливу війни піддано 708,9 тис. гектарів лісів. Повністю знищеними вважаються 893,9 гектарів, а загальна сума збитків лісовим масивам оцінюється у 2,457 млн грн. В Держлісагентстві зазначають, що ці дані можуть змінюватися, оскільки точні підрахунки наразі неможливі через щільне замінування багатьох постраждалих ділянок.

Майже 900 гектарів лісів було знищено до стадії припинення росту — це наслідок безпосередніх бойових зіткнень. Хоча ця площа здається порівняно невеликою у порівнянні з рубками лісу у мирний час, вона має критичне значення з точки зору екологічної шкоди та деградації екосистем. Військові дії спричинили механічне руйнування деревостану, пошкодження

грунту, підліску та кореневих систем, а також створили умови для подальшого зниження природної здатності лісів до відновлення.

Повномасштабне вторгнення Росії призвело до масового руйнування лісових екосистем України. За даними Державного агентства лісових ресурсів, бойові дії охопили понад 2,9 млн гектарів лісових масивів, значна частина яких зазнала істотних пошкоджень. Внаслідок безпосереднього впливу війни близько двох мільйонів гектарів лісу зазнали знищення різного ступеня.

Після повернення під контроль України приблизно 800 тис. гектарів лісових територій залишаються частково або повністю непридатними для господарського використання через значні руйнування деревостанів, порушення ґрунтового шару та деградацію екологічних структур. Для безпечного ведення лісогосподарської діяльності та проведення планових лісовідновлювальних робіт близько 700 тис. гектарів лісів потребують розмінування. На даний час оброблено лише невелику частину цих територій, а повне очищення від мін і боєприпасів є тривалим і ресурсозатратним процесом, що може зайняти десятиліття.

Експерти громадської організації “ЛПіС” здійснюють систематичний супутниковий моніторинг змін лісового покриття з метою виявлення ознак незаконних рубок та забезпечення належного реагування на порушення лісового законодавства[36].

В ході моніторингових спостережень за літньо-осінній період 2025 року було зафіксовано 349 ділянок у Карпатському регіоні, на яких відбулися зміни лісового покриття. Зокрема, у Львівській області спостережено 176 таких ділянок, у Закарпатській області — 79 ділянок, а в Івано-Франківській області — 94 ділянки. Виявлені зміни вказують на різні типи лісопорушень, включно з незаконними рубками, що потребують подальшого аналізу та контролю.

Супутниковий моніторинг дозволяє оцінювати масштаб і характер змін лісових масивів та є ефективним інструментом для планування заходів з охорони лісу та підтримки законності у лісогосподарській діяльності, показано на прикладі Рисунку 5

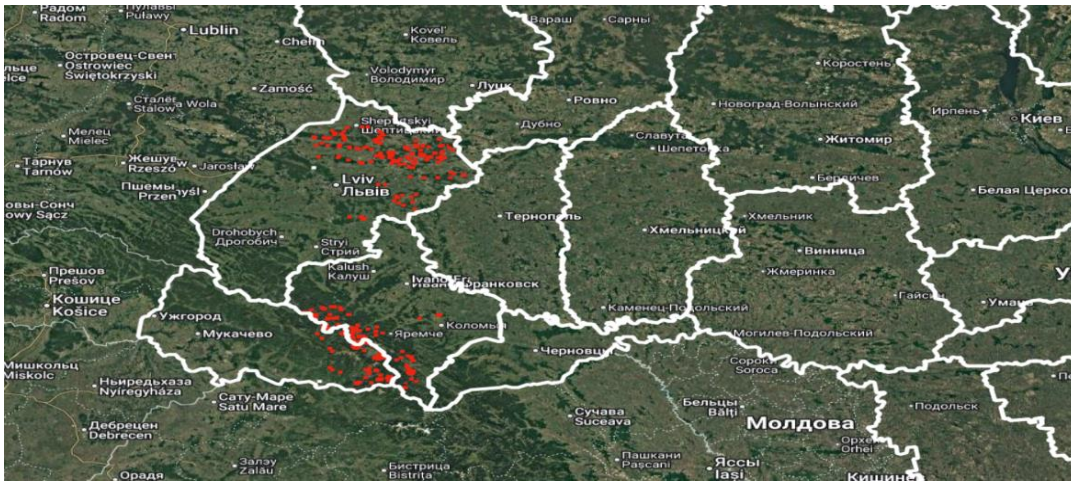


Рисунок 5-Територія Львівської, Закарпатської та Івано-Франківської областей з лісовим покривом. Червоним позначено ділянки, на яких зафіксовано зміни лісового покриву.

Для кращого розуміння масштабів та характеру деградації лісових насаджень у зоні бойових дій, надалі буде розглянуто конкретні приклади лісових масивів, які зазнали значних пошкоджень внаслідок війни. Ці приклади ілюструють різні механізми руйнування лісу, включно з обстрілами, вибухами, пожежами, мінуванням та облаштуванням військових позицій. Вони також демонструють, як супутниковий моніторинг дозволяє кількісно оцінювати пошкоджені площі, визначати ступінь деградації та прогнозувати можливості природного і планового відновлення лісових екосистем[37].

Нижче наведено кілька конкретних випадків, які дають змогу зрозуміти масштаби та наслідки руйнувань у різних регіонах України.

Ізюмський ліс у Харківській області зазнав значних пошкоджень внаслідок бойових дій. Значна частина деревостанів вигоріла, що свідчить про високий рівень руйнування екосистеми, а процес відновлення лісу може тривати десятиліттями. Прохід важкої військової техніки спричинив порушення ґрунтового покриву, що ускладнює природне відновлення лісових насаджень та відновлення структурних і функціональних характеристик екосистеми. Крім того, лісові пожежі призводять до викидів парникових газів у вигляді CO₂-еквіваленту, що посилює глобальні кліматичні зміни та демонструє додатковий екологічний вплив військових дій на довкілля.



Рисунок 6- порівняння Ізюмського лісу до війни та на початку

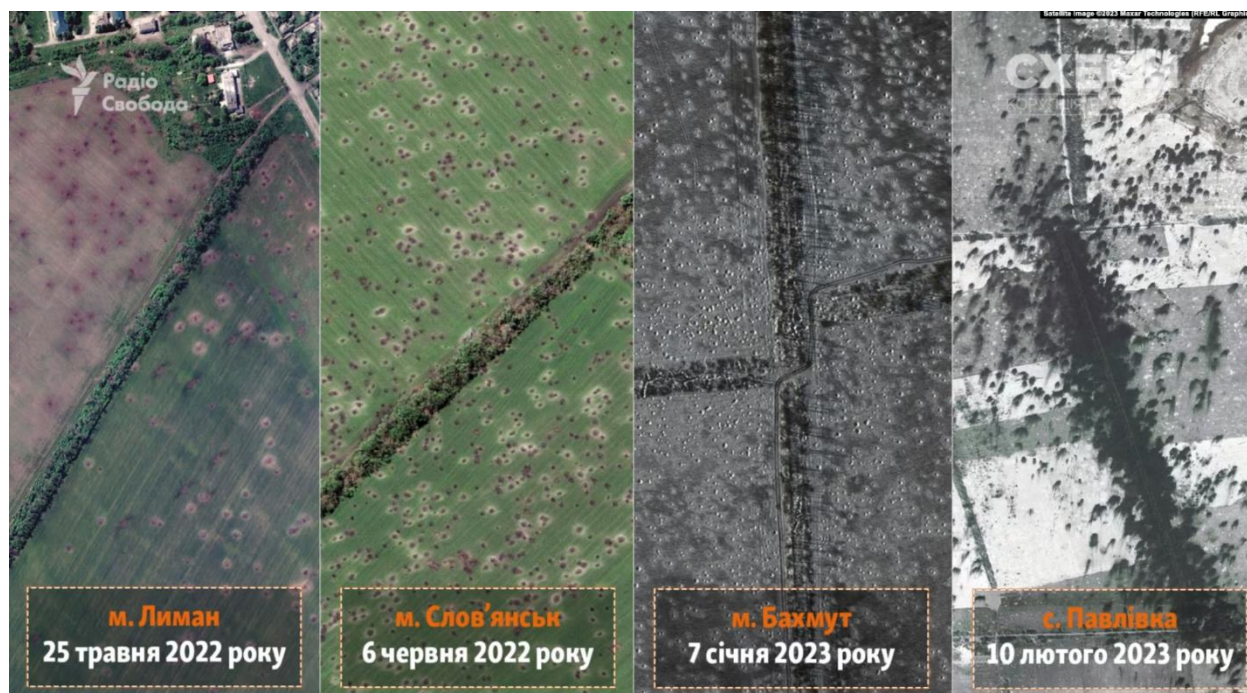


Рисунок7- Наслідки воєнних дій для лісових територіях

Важливо зазначити, що значна частина деградації лісових насаджень не відбулася безпосередньо через прямі обстріли чи ураження боєприпасами, а є наслідком вторинних ефектів бойових дій. Зокрема, формування численних вирв і кратерів у ґрунті внаслідок вибухів та руху важкої військової техніки порушує природну структуру ґрунтового покриву. Такі зміни призводять до механічного руйнування кореневої системи дерев та чагарників, погіршення водного режиму та підвищення ерозійної активності.

Ускладнене відновлення ґрунту та пошкоджений підлісок знижують здатність лісових насаджень до самовідновлення, навіть після припинення активних бойових дій. В результаті лісові масиви стають більш вразливими до пожеж, шкідників та хвороб, що поглиблює деградаційні процеси. Таким чином, вторинні механізми руйнування — утворення вирв, деформація ґрунту та порушення водного режиму — є довгостроковою загрозою для екологічної стабільності лісів і значно ускладнюють їх відновлення в післявоєнний період.

Використання дистанційних методів спостереження дозволило виявити суттєву деградацію лісових насаджень у зоні бойових дій. Аналіз супутникових знімків платформи **GeoInt** показав, що стан лісосмуг влітку 2023 року за низкою ділянок значно погіршився порівняно з 2021 роком, в окремих випадках спостерігалось повне знищення деревостанів.

Крім прямих спостережень у видимій частині спектра, ефективним інструментом оцінки стану лісів є використання багатоспектральних супутникових даних, які дозволяють проводити кількісний та якісний аналіз рослинності. Для цього широко застосовуються **індекси вегетації**, засновані на спектральних характеристиках рослин, такі як **NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)**, які дозволяють оцінити щільність крон, рівень біомаси та ступінь деградації лісових насаджень.

Застосування таких методів дозволяє не лише виявляти ділянки повного знищення лісу, але й кількісно оцінювати пошкодження, спричинене обстрілами, пожежами, рухом техніки та мінуванням. Це дає змогу **відстежувати динаміку деградації лісів у режимі реального часу**, оцінювати екологічні ризики та планувати відновлювальні заходи у післявоєнний період.

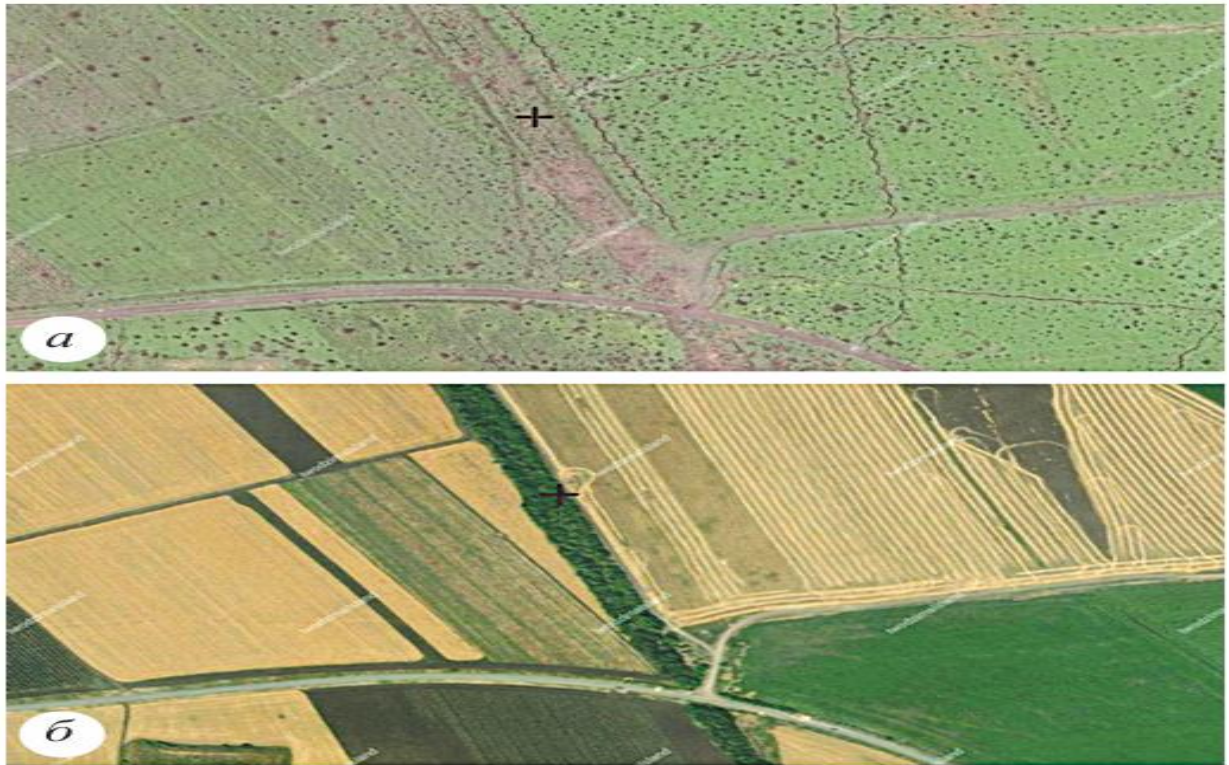


Рисунок 8 – Стан лісосмуг на околицях Бахмута в А(2023) та Б(2021) роках

Національний Парк Святі Гори в Світогірську, донецька область Лісові насадження на території національного природного парку «Святі Гори» за період бойових дій зазнали настільки сильного руйнування, що нині фактично перебувають у стані глибокої деградації[38]. Значна частина лісу вигоріла внаслідок обстрілів та масштабних пожеж, і це не просто знищення дерев — це повна втрата живої рослинності, ґрунтового покриву та здатності екосистеми відновлюватися природним шляхом. Під час бойових дій високі температури та вибухи знищили не тільки крону й підлісок, а й глибоко пошкодили ґрунт, випаливши гумусовий шар та кореневі системи. Земля на

багатьох ділянках перетворилася на щільну, ущільнену поверхню з вирвами та кратерами, а це означає, що молоді дерева на таких ділянках просто не зможуть нормально прижитися[39].

Через масові пожежі утворилися величезні площі мертвої деревини — обгорілі стовбури, повалені дерева, залишки підліску. Все це несе додаткову небезпеку повторних загорянь і водночас уповільнює навіть найменші природні процеси відновлення. До того ж згоріла рослинність виділила величезні обсяги CO₂ та токсичних речовин, що погіршило якість повітря і додатково вплинуло на локальний клімат регіону.

Особливо помітною є втрата біорізноманіття. Ліс, який раніше був місцем існування багатьох видів рослин і тварин, тепер у багатьох частинах фактично перестав бути життєздатним середовищем. Багато видів були витіснені, їхні природні оселища зруйновані, а окремі ділянки перетворилися на випалені пустки.

Загалом деградація лісу в «Святих Горах» — це не тільки зрубані чи випалені дерева. Це глибоке руйнування всієї екосистеми. Збитки від втрати деревостану та екологічних функцій оцінюються у сотні мільярдів гривень, проте ці цифри не можуть повністю відобразити масштаб змін. Те, що сталося з лісами на Донеччині, є одним із найгірших прикладів того, як війна руйнує природу: екосистема, яка формувалася століттями, була знищена за кілька місяців, і тепер для її відновлення знадобляться десятиліття.

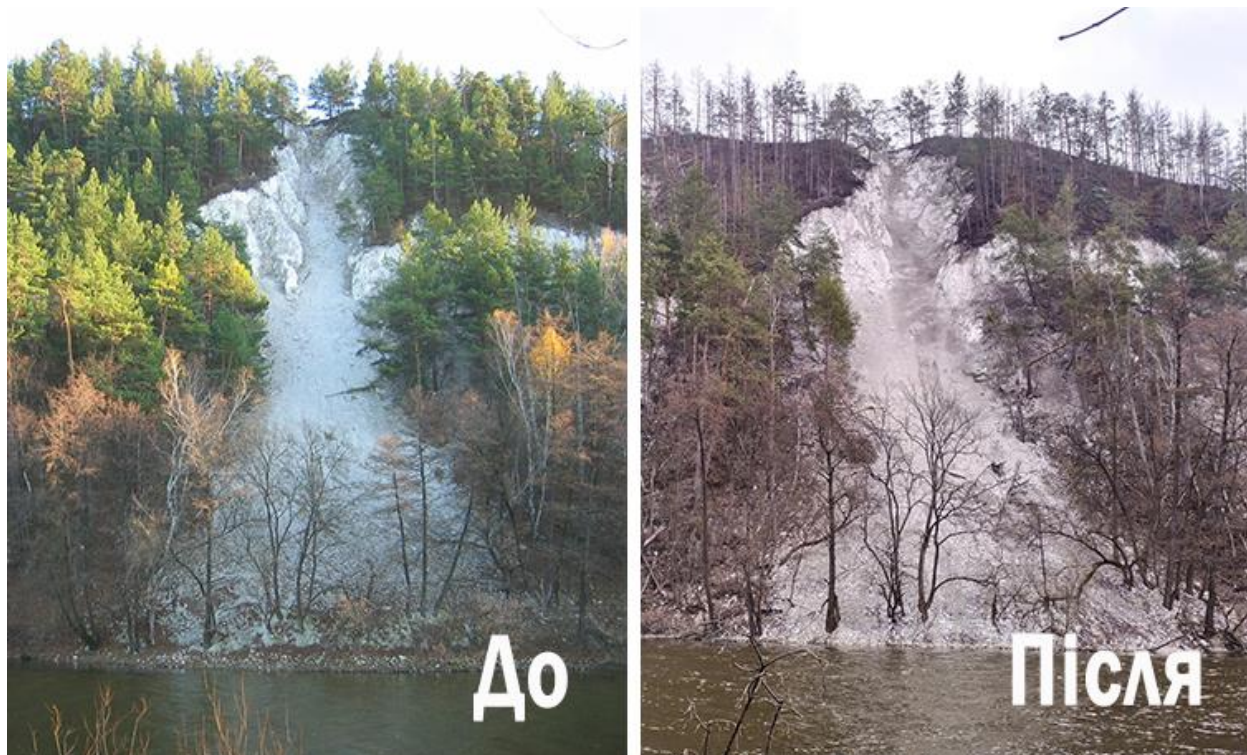


Рисунок 9- Лісова територія парку «Святі Гори» до та після воєнного втручання

3.2 Моніторинг лісосмуг та лісів, які постраждали в результаті війни

Моніторинг лісів — це систематичне спостереження за станом лісових екосистем із метою виявлення змін у структурі, площі та якісних характеристиках деревостанів. У науковій практиці він виступає ключовим інструментом оцінки стабільності природних комплексів, рівня антропогенного впливу, а також наслідків природних і техногенних чинників. Моніторинг може бути **наземним**, коли стан лісу фіксують безпосередніми польовими обстеженнями; **авіаційним**, що передбачає використання літальних платформ для зйомки великих площ; та **дистанційним**, який базується на аналізі супутникових даних різних спектральних діапазонів. Сучасні дослідження доводять, що саме дистанційні методи є найбільш інформативними у випадках, коли доступ до територій обмежений або небезпечний, як це відбувається у зонах бойових дій.

Ефективність моніторингу значною мірою залежить від можливості порівнювати дані, отримані у різні періоди. Без аналізу супутникових знімків

за кілька років неможливо об'єктивно оцінити масштаб деградації лісів, оскільки лише динамічний підхід дозволяє визначити, якою була вихідна структурна цілісність насаджень до впливу негативних чинників, які зміни відбулися в період їхнього активного руйнування та чи проявляються ознаки природного або керованого відновлення. Такий підхід є критично важливим для лісів, що зазнали військових пошкоджень, адже воєнні дії спричиняють швидкі та нерівномірні зміни рослинного покриву, які неможливо точно зафіксувати без ретельного порівняння супутникових зображень різної давності[40].

У контексті російсько-української війни дистанційний моніторинг став фактично єдиним способом відстеження стану лісових масивів, оскільки значна частина територій є замінованою або продовжує зазнавати регулярних обстрілів. Супутникові платформи, такі як Sentinel-1, Sentinel-2, Landsat, PlanetScope та інші, забезпечують можливість кількісного й якісного аналізу за допомогою спектральних індексів, радіолокаційних даних та високодетальних оптичних зображень. Завдяки цьому можна не лише встановити факт деградації, а й визначити її характер: вигорання, втрату крон, порушення ґрунтового покриву, появу вирв чи слідів важкої техніки

Регулярне оновлення супутникових і польових даних у поєднанні з порівнянням із попередніми роками дозволяє побачити не лише факт руйнування, а й те, як саме змінюється структура лісових масивів після бойових дій. Такий підхід показує, чи зберігають пошкоджені ділянки здатність до відновлення, які процеси деградації стають домінантними та які фактори продовжують негативно впливати на екосистему. Коли ці зміни стають помітними у динаміці, з'являється можливість об'єктивно оцінити реальний масштаб проблеми та зрозуміти, які території потребують першочергового втручання. Саме тому далі доцільно перейти до конкретних прикладів українських лісів, де ці процеси проявилися найвиразніше, і розглянути, які типи деградації можна зафіксувати завдяки сучасним методам моніторингу.

Виділяють три основні види моніторингу. Фоновий моніторинг передбачає систематичні заміри за єдиною програмою для оцінки стану атмосфери, ґрунту, природних вод та особливостей земної поверхні. Біологічний моніторинг спрямований на спостереження за станом рослинних і тваринних видів, включає реєстрацію змін чисельності, структури популяцій, характеру міграцій та процесів розмноження. Господарський моніторинг здійснюється для оцінки впливу діяльності сільськогосподарських або промислових підприємств на довкілля[41].

Залежно від масштабу території, яку охоплює моніторинг, виділяють три рівні. Глобальний моніторинг оцінює стан біосфери, параметри атмосфери, гідросфери та геосфери в цілому. Регіональний моніторинг дозволяє виявляти джерела забруднення та шляхи поширення забруднюючих речовин у межах великих регіонів. Локальний моніторинг передбачає аналіз стану окремого природного об'єкта.

Мета моніторингу лісових насаджень полягає у забезпеченні своєчасного отримання інформації про стан лісів і лісосмуг, що постраждали внаслідок військових дій. Такий моніторинг дає змогу оперативно приймати управлінські рішення, планувати відновлювальні заходи та оцінювати ефективність вже проведених робіт. Він також спрощує процес формування звітності для державних і наукових структур та готує основу для подальшого аналізу та досліджень отриманих даних. Завдяки систематичному спостереженню можна оцінити прогрес досягнення визначених цілей і завдань, перевірити виконання проектів з відновлення лісових екосистем та оцінити ефективність обраних стратегій управління постраждалими територіями. Супутниковий моніторинг у цьому контексті є особливо важливим, оскільки дозволяє контролювати великі площі та виявляти зміни, які важко помітити наземними методами, що забезпечує комплексну оцінку стану лісів у зоні бойових дій[42].

Методи оцінки пошкоджень- Основним методом оцінки стану лісових насаджень у зоні бойових дій є порівняння супутникових знімків до і після

ведення активних військових дій. Такий підхід дозволяє не лише виявити ділянки з повним або частковим знищенням деревостанів, а й оцінити зміну густоти крон, ступінь деградації підліску, пошкодження ґрунтового покриву та порушення гідрологічного режиму. Наприклад, супутникові спостереження за Ізюмським лісом у Харківській області показали, що велика частина лісу була вигоріла, а на території утворилися десятки вибухових кратерів, що ускладнює природне відновлення деревостанів. Аналогічні зміни зафіксовано в національному природному парку «Святі Гори» на Донеччині, де через обстріли та пожежі значна площа лісу була знищена.

Крім того, супутниковий моніторинг дозволяє виявляти сліди антропогенної та воєнної діяльності: наслідки лісових пожеж, утворені вибухові вирви, зруйновані дерева, сліди пересування важкої техніки, окопи та траншеї, а також ерозійні зміни ґрунту. Виявлені пошкодження класифікують за їх природоохоронним та відновлювальним значенням. Так, у деяких ділянках поблизу лінії фронту виявлено зруйновані дубові та соснові масиви, де пошкодження стовбурів і кореневої системи настільки значні, що природне відновлення в найближчі десятиліття буде практично неможливим.

На далі ми розглянемо приклади моніторингу лісів та лісосмуг що постраждали під час війни на основі раніше зазначених місць .

Ізюмський ліс у Харківській області зазнав значної деградації внаслідок бойових дій. До війни це були густі змішані насадження, представлені дубом, сосною та березою, із розвиненим підліском і стабільним ґрунтовым покривом. Під час активних бойових дій територія лісу використовувалася для маскування військової техніки та організації позицій, що призвело до значних механічних ушкоджень дерев, знищення корневих систем та порушення верхнього шару ґрунту. Водночас обстріли, вибухи боєприпасів і проходження важкої техніки створили численні кратери та вирви, що ускладнює відновлення природних насаджень і формування нового деревостану.

Супутниковий моніторинг дозволив систематично оцінити масштаби пошкоджень. Оптичні та багатоспектральні знімки показали, що понад 60–

70% крон дерев були частково або повністю зруйновані. Використання вегетаційних індексів, таких як NDVI та EVI, дало змогу кількісно визначити зниження живої рослинності на 45–55%, що свідчить про масове всихання дерев і втрату підліску. Дані супутникових знімків також дозволили виявити локальні пожежі, сліди пересування важкої техніки та ерозійні зміни ґрунту, які не завжди можна зафіксувати наземними методами через небезпеку зони бойових дій[43].

Крім прямих пошкоджень, Ізюмський ліс зазнав непрямих наслідків війни. Вибухові кратери та вирви порушили структуру ґрунтового покриву, що спричинило локальні зміни водного режиму та ускладнило регенерацію рослинності. Пожежі, що виникали через бойові дії, сприяли масовому виділенню CO₂ та інших шкідливих газів, що додатково погіршує екологічний стан регіону. Ці фактори роблять природне відновлення лісу малоефективним без активного втручання людини та планових рекультиваційних заходів.

На основі супутникових даних створюються детальні карти деградації лісового масиву, які дозволяють виділити критичні ділянки для першочергової рекультивації, планування висадки нових дерев та контролю за темпами відновлення. Прогнозування відновлення лісу показує, що за наявних умов повне відновлення Ізюмського лісу може тривати десятиліттями, особливо на ділянках із мінуванням та значними вибуховими ушкодженнями.

Ізюмський ліс наочно демонструє комплексну деградацію лісових насаджень у зоні бойових дій, де одночасно проявляються прямі механічні ушкодження та непрямі наслідки війни, включно з порушенням ґрунту, ерозією та деградацією екосистеми. Використання дистанційних методів спостереження, зокрема супутникового моніторингу, є ключовим інструментом для оцінки масштабів ушкоджень, планування ефективних відновлювальних заходів та контролю за їх реалізацією у режимі реального часу.

Тепер розглянемо приклад національного природного парку «Святі Гори» у Донецькій області, який наочно демонструє масштаби деградації

лісових насаджень у зоні бойових дій та роль супутникового моніторингу у їх оцінці. Парк включає великі масиви дубово-соснових і листяних лісів, багаті на старовікові деревостани, з розвиненим підліском і значним біорізноманіттям. Ліси «Святих Гор» виконують ключові екологічні функції – регулюють водний баланс, запобігають ерозії ґрунтів, слугують середовищем проживання численних видів тварин і рослин, а також формують ландшафтні та рекреаційні ресурси регіону.

Під час активних бойових дій парк зазнав інтенсивного обстрілу артилерією, реактивними системами залпового вогню та стрілецькою зброєю. Виникали локальні пожежі, які охоплювали підлісок і верхні яруси дерев, а важка військова техніка руйнувала ґрунтовий покрив і порушувала рельєф. Такі чинники призвели до комплексної деградації лісових насаджень, включно з механічними ушкодженнями дерев, знищенням підліску, ерозією ґрунтів і зменшенням загальної біомаси.

Супутниковий моніторинг дозволив оцінити як кількісні, так і якісні зміни лісової екосистеми. Оптичні знімки високої роздільної здатності показали масштаби знищення дерев, виявили відкриті ділянки ґрунту та пошкоджені крони дерев. Використання багатоспектральних даних і вегетаційних індексів NDVI та EVI дало змогу оцінити ступінь вегетаційного покриву, визначити площі з високим та середнім рівнем деградації і простежити динаміку відновлення рослинності. За даними аналізу, площа сильно ушкоджених або знищених деревостанів становить приблизно 40–50% загальної площі парку, що підтверджує серйозний вплив бойових дій на екосистему.

Крім прямих ушкоджень, супутникові дані дозволили виявити непрямі наслідки війни: формування вибухових вирв, порушення ґрунтового покриву, потенційне забруднення території і зміни гідрологічного режиму. Аналіз часових рядів знімків до і після бойових дій дав змогу не лише оцінити поточний стан лісу, а й прогнозувати перспективи його природного відновлення. Такий підхід дозволяє виділяти критичні ділянки, де необхідне

першочергове втручання, планувати відновлювальні заходи та контролювати їх ефективність у режимі реального часу.

Супутниковий моніторинг у цьому контексті стає незамінним інструментом: він дозволяє виявляти деградацію на великих площах, що неможливо зробити лише за допомогою польових обстежень, а також формує наукову базу для розробки державних програм рекультивації лісів, міжнародних екологічних позовів та фіксації наслідків військових злочинів проти природи. Таким чином, на прикладі «Святих Гор» чітко видно, що дистанційне спостереження за лісами є ключовим для оцінки масштабів деградації та стратегічного планування їх відновлення.

Кінбурнський півострів — унікальна природна територія, що включає дубово-соснові та соснові ліси, заболочені ділянки й прибережну рослинність. Під час військових дій ці лісові масиви зазнали значних руйнувань та деградації, причини якої можна поділити на кілька взаємопов'язаних механізмів.

Одним із головних факторів стали пожежі. За даними місцевих екологічних служб, на півострові виникло щонайменше 131 лісова пожежа, а площа вигорілих лісів у період активних бойових дій перевищила 3 700 га. Пожежі знищили не лише молоді деревостани, а й дорослі насадження, що критично вплинуло на запас біомаси, вуглецеві функції екосистеми та стабільність ґрунту. Загальна кількість знищених дерев за оцінками національного парку «Білобережжя Святослава» становила близько 4 млн одиниць, включаючи сосни, дуби та клени. Це спричинило втрату значного об'єму органічної маси та обмежило природне утворення лісового підліску, який є важливим елементом біорізноманіття[44].

Ще одним важливим фактором деградації стали вибухи боєприпасів і рух важкої техніки. Вибухи утворили сотні вирв діаметром від 1 до 5 м, а глибина деяких кратерів сягала 2–3 м. Важка військова техніка ущільнила ґрунт на десятках гектарів, що призвело до руйнування родючого шару й порушення структури ґрунту. Як наслідок, на півострові спостерігається

активізація ерозійних процесів: з'явилися потоки ґрунту, схили піддаються вимиванню, а ділянки вздовж водних артерій втратили природну здатність до самовідновлення.

Пошкодження лісових екосистем на Кінбурнському півострові також вплинули на біорізноманіття. За оцінками екологів, військові дії та пожежі поставили під загрозу 465 видів рослин і тварин, серед яких близько 30 видів занесені до Червоної книги України. Руйнування деревостанів, знищення підліску та порушення рельєфу обмежили природні місця гніздування та життєдіяльності для птахів, дрібних ссавців і комах, що призвело до зміни трофічних ланцюгів і локального скорочення популяцій.

Супутниковий моніторинг є ключовим інструментом для оцінки цих пошкоджень. Використання даних Sentinel-2 дозволяє отримувати високоякісні багатоспектральні знімки, за допомогою яких визначають: площі пошкоджень, зміни щільності лісового покриву, наявність вирв, ерозійних ділянок і зон, де втрата деревостану перевищує 50 %. Вегетаційні індекси, такі як NDVI, дають змогу кількісно оцінити ступінь деградації: на Кінбурнському півострові середнє зниження NDVI у постраждалих ділянках склало 0,35–0,45, що свідчить про значну втрату листяного покриву та знищення дерев.

Аналіз часових серій супутникових знімків (до початку війни, під час активних бойових дій і після пожеж) дозволяє створювати детальні карти деградації. На цих картах виділяють: «гарячі» осередки пожеж, вирви та ущільнені ділянки ґрунту, що не підлягають природному відновленню. Також карти показують потенційні зони ерозії, де потреба у стабілізації ґрунту та рекультивації найбільш критична.

Моніторинг надає можливість оцінити кількісні та якісні показники деградації, визначити пріоритетні території для рекультивації та посадки нових лісових насаджень, а також контролювати ефективність відновлювальних заходів. Довгострокове спостереження дозволяє відстежувати динаміку відновлення, прогнозувати темпи росту лісів та своєчасно виявляти нові осередки деградації.

Отримані дані супутникового моніторингу можуть бути використані як доказова база для державних програм відновлення, а також для міжнародних позовів щодо відшкодування збитків довкіллю. Незалежні супутникові знімки документально фіксують масштаби руйнувань і надають науково обґрунтовану оцінку втрат деревостану, біомаси та ґрунтового покриття, що є критично важливим для стратегічного планування екологічного відновлення Кінбурнського півострова.

3.3 Наслідки мілітарного знищення лісових насаджень для землекористування

Більше трьох років минуло від початку повномасштабної збройної агресії РФ проти України, і цей тривалий період став одним із найважчих як для населення, так і для природних ресурсів держави. Військові дії, що розгортаються з 2022 року, спричинили масштабні втрати, охопивши не лише інфраструктуру, промислові об'єкти та населені пункти, а й природні системи, які формують екологічну стабільність країни. Особливо суттєво постраждав ґрунтовий покрив, адже він є базовим компонентом продовольчої безпеки та фундаментом для функціонування аграрного сектору. Інтенсивні вибухи, пожежі, механічне пошкодження важкою технікою, забруднення токсичними залишками боєприпасів і хімічними сполуками призвели до деградації ґрунтів, порушення їх структури, втрати родючих горизонтів і накопичення небезпечних речовин. Такі зміни мають довгостроковий характер, ускладнюють подальше землекористування, знижують екологічну стійкість територій та створюють нові ризики для відновлення постраждалих регіонів.

Перший рік повномасштабної війни став відправною точкою для системного дослідження впливу бойових дій на природні ресурси України, зокрема на ґрунтовий покрив та лісові насадження. У цей період було здійснено масштабну роботу з відбору і аналізу ґрунтових зразків, що дозволило сформулювати значний емпіричний матеріал щодо змін, спричинених військовою діяльністю. Фахівцями були розроблені та адаптовані методичні підходи до організації польових досліджень: від оптимізації процедур відбору

проб до визначення індикаторів, які найбільш точно відображають наслідки збройного впливу на ґрунти.

Паралельно проводилися дослідження стану лісових насаджень, що зазнали масових ушкоджень через пожежі, вибухи, механічні руйнування та техногенне навантаження. Для таких територій були сформовані окремі критерії оцінювання: ступінь пошкодження деревостану, площа вигорілих та вирубаних ділянок, зміна рослинного покриву, втрати біорізноманіття та структурні деформації лісових екосистем. Значну роль відіграло дистанційне зондування Землі, завдяки якому вдалося визначити маркери деградації як ґрунтів, так і лісових масивів, простежити динаміку змін та уточнити просторові масштаби руйнувань.

У процесі роботи було переглянуто та скорочено перелік нормативних показників до тих, що найбільш інформативно фіксують воєнні зміни природного покриву. Проведені польові виїзди дозволили встановити головні негативні фактори: техногенне забруднення, механічні пошкодження, ерозійні процеси, втрату лісорослинного шару, підвищення пожежної небезпеки та різке зниження стійкості екосистем. Це створило наукове підґрунтя для формування проміжних висновків щодо масштабів деградації природних ландшафтів та для подальшого розвитку комплексних досліджень стану ґрунтів і лісових насаджень у контексті збройної агресії.

Зараз в Україні, та й у всьому цивілізованому світі, домінує думка про колосальні втрати, яких зазнала держава внаслідок безповоротного впливу війни на ґрунти та лісові насадження. Справді, інформація, яку отримує необізнаний користувач зі ЗМІ, формує враження про надзвичайно потужний і руйнівний тиск на природні ресурси України. За час повномасштабної війни відбулося суттєве переосмислення реального характеру впливу збройної агресії: акценти змінилися, а дані польових досліджень продемонстрували, що хоча негативний вплив на ґрунтовий покрив і лісові екосистеми безумовно існує, він проявляється дещо інакше, ніж це часто подається у відкритих джерелах. Ґрунти зазнають точкових, але глибоких ушкоджень, пов'язаних із

вибухами, забрудненням та зміною структури, водночас лісові масиви виявилися особливо вразливими до пожеж, суцільних вирубок, потрапляння боєприпасів та утворення значних площ мертвого деревостану. Дослідження довели, що вплив на природні ресурси комплексний: ґрунтовий покрив втрачає родючість і структуру на сотнях тисяч гектарів, а лісові екосистеми потерпають від деградації, порушення відновних процесів, зміни мікроклімату та втрати біорізноманіття. Таке розуміння дозволило сформуванати більш реалістичну картину збитків і визначити головні чинники, що впливають на стан як ґрунтів, так і лісових насаджень у період війни. Ущільнення ґрунту призводить до тривалого зниження врожайності протягом кількох наступних років. Такі явища є досить поширеними на рллі України, особливо в тих регіонах, де відбувалися позиційні бої і військові формування перебували на території понад місяць. Спостереження за постраждалими ділянками показують, що ущільнений ґрунт уповільнює ріст і розвиток рослин у порівнянні з неушкодженими ділянками. Нині тривають систематичні дослідження, спрямовані на оцінку наслідків переущільнення ґрунтів для росту культур, їх розвитку та врожайності, що дозволяє визначити довгостроковий вплив бойових дій на продуктивність сільськогосподарських земель.

Згідно із Законом України «Про охорону земель» (2003), деградація ґрунтів визначається як погіршення їхніх корисних властивостей та родючості під впливом природних або антропогенних факторів. Це означає зниження здатності ґрунтів виконувати свої біосферно-екологічні та/або продуктивні функції внаслідок прискорення, уповільнення або порушення природних і усталених ґрунтових процесів. Важливу роль у підтриманні стану ґрунтів відіграють лісові насадження: вони стабілізують поверхневий шар ґрунту, зменшують ерозію, регулюють водний баланс і мікроклімат, а також сприяють накопиченню органічної речовини та збереженню родючості. Руйнування лісів, зокрема під час військових дій, призводить до посилення деградаційних

процесів у ґрунтовому покриві та значного зниження ефективності землекористування.

Протягом трьох років війни, станом на 2025 рік, фахівці зафіксували значні ушкодження лісових земель України, зокрема близько 240 000 гектарів у південних та східних регіонах країни постраждали внаслідок артилерійських обстрілів, вибухів, пожеж та інших руйнівних факторів. Важливо зазначити, що загалом близько 30 % усіх лісів країни зазнали пошкоджень через прямий вплив бойових дій, включно з вирубкою деревостанів, підривом ґрунту, забрудненням територій хімічними та механічними відходами. Активна військова діяльність призводить до серйозних змін у структурі ґрунтів: спостерігається порушення гранулометричного складу, руйнування верхнього родючого шару, зменшення частки дрібних глинистих і суглинкових фракцій, що безпосередньо впливає на родючість та продуктивність земель. Водночас руйнування лісових масивів позбавляє території природного захисту: зменшується здатність ґрунтів затримувати опади та накопичувати вологу, підвищується поверхневий стік дощової та талої води, що спричиняє посилення ерозійних процесів, формування розмивів та ярів, а також підвищує ризик підтоплень та зсувів. Ці зміни значною мірою ускладнюють подальше землекористування, знижують продуктивність сільськогосподарських угідь і потребують значних заходів щодо рекультивації та відновлення як ґрунтового покриву, так і лісових насаджень для збереження екологічної стабільності територій.

Мілітарне знищення лісових насаджень спричиняє значні зміни у стані земель та їхньому використанні. Вплив бойових дій на природні екосистеми є комплексним і багатогранним, що обумовлює появу різних форм пошкоджень та обмежень у землекористуванні і можна виділити такі основні наслідки-

Фізичні – руйнування ґрунтового профілю внаслідок будівництва фортифікаційних споруд і проведення бойових дій (утворення вирв та кратерів від снарядів і вибухів), ущільнення ґрунту через рух важкої воєнної техніки, траншейні роботи та розмінування території;

Хімічні – потрапляння у ґрунт від детонації снарядів різного типу та потужності численних забруднювальних речовин, таких як важкі метали, нітроароматичні вибухові сполуки, фосфорорганічні нервово-паралітичні речовини, діоксини, радіоактивні елементи, а також забруднення паливно-мастильними матеріалами та іншими нафтопродуктами; можливе застосування хімічної зброї.

Механічні пошкодження ґрунтів унаслідок ведення воєнних дій проявляються через переміщення важкої військової техніки під час бойових маневрів, будівництво укріплень, вибухи та спалювання боєприпасів, що призводить до порушення верхнього шару ґрунту, зниження його родючості та руйнування природного ландшафту. До механічного руйнування ґрунтів також спричиняють вибухи боєприпасів, риття окопів, бліндажів та облаштування бойових позицій, що характерно для стрільбищ, танкових полігонів та інших військових об'єктів. Крім того, ґрунти на полігонах часто забруднені металевими відходами у вигляді гільз, вибухових речовин та нерозірваних боєприпасів, які становлять значну небезпеку для життя людини та навколишнього природного середовища. У місцях польових таборів, привалів і казарм територія полігонів зазвичай засмічена промасленим сміттям і ганчір'ям, пакувальними матеріалами з-під боєприпасів, маскувальним матеріалом, комунально-побутовими відходами, детергентами, пестицидами та іншими забруднювальними речовинами.

Пошкоджені або знищені лісові масиви перестають виконувати природну роль «утримувача» ґрунтової вологи та стабілізатора рельєфу, що призводить до низки негативних наслідків для земель. Без деревного покриву та підстилки опади не затримуються, поверхневий стік значно зростає, вода швидко змиває родючий ґрунт, формуючи яри, борозни та ерозійні западини. На піщаних, супіщаних або легких ґрунтах посилюється дія вітрової ерозії, дрібні частинки разносяться, зменшується гумус і родючість ґрунту. Зникає природне регулювання рівня ґрунтових вод: затримка опадів і інфільтрація зменшуються, що призводить до падіння рівня підґрунтових вод, висихання

малих струмків та змін гідрології території, ускладнюючи аграрне землекористування, особливо в посушливі періоди. Крім того, на територіях із вирвами, кратерами та ґрунтовими деформаціями після вибухів або будівництва укріплень земля залишається нерівною, з нерівномірним рельєфом, що ускладнює оранку, сівбу, зрошення та дренаж, підвищуючи ризик підтоплень і заболочення. Руйнівні дії на лісові масиви нерідко супроводжуються прямим хімічним і фізичним забрудненням ґрунтів: детонації, залишки боєприпасів, паливно-мастильні матеріали та металеві уламки змінюють хімічний склад ґрунту і погіршують його біологічну активність. Відзначаються також зміни гранулометрії ґрунтів — збільшення частки грубозернистого піску та зменшення дрібних фракцій, що відповідають за утримування води та поживних речовин, через що ґрунт стає менш придатним для вирощування культур. Зникнення екологічних послуг лісів, таких як утримання вологи, захист від ерозії та внесення органічної маси, спричиняє прискорену деградацію земель, зниження їх продуктивності та родючості, а також потребу в масштабній рекультивації та довготривалому відновленні екосистеми.

Мілітарне знищення лісів в Україні призвело до серйозних змін у використанні земель і їхній екологічній та економічній цінності. Перш за все, знищення деревного покриву порушує природний баланс ґрунтово-гідрологічної системи. Лісові масиви виконують роль своєрідного «утримувача» ґрунту, запобігаючи ерозії, втраті родючого шару та зниженню продуктивності сільськогосподарських земель. Відповідно, їхнє знищення призводить до інтенсивного руйнування ґрунтів на схилах і вздовж водотоків, особливо в Чернігівській і Сумській областях, де бойові дії спричинили значне пошкодження лісів. Це унеможлиблює традиційне землекористування: поле чи пасовище стає менш продуктивним, збільшується ризик ерозійних зсувів і втрати верхнього родючого шару.

Другим важливим наслідком є порушення гідрологічного режиму території. Ліси затримують вологу, регулюють рівень ґрунтових вод і

зменшують ризик підтоплень. Після їхнього знищення, як це спостерігалось в Харківській області, виникає нерівномірний водний баланс: одні ділянки страждають від посухи, інші – від надмірного застою води після опадів. Це особливо критично для сільськогосподарських угідь та пасовищ, де вологозабезпечення прямо впливає на врожайність культур і здоров'я тварин.

Також значно страждає родючість ґрунтів. Втрата лісових насаджень означає зменшення надходження органічної речовини, порушення мікробіологічного балансу ґрунту та погіршення його структури. У Донецькій і Луганській областях після обстрілів і мінування лісів землі стали менш придатними для ведення сільського господарства, фермери змушені були або знижувати обсяги посівів, або переходити на більш стійкі культури. Відновлення цих земель потребує багаторічних робіт із закладання нових насаджень, покращення ґрунту та боротьби з ерозією.

Рекреаційне та комерційне використання земель також постраждало. Зони, які раніше використовувалися для туризму, мисливства чи збору лікарських рослин, після бойових дій стали небезпечними і тимчасово непридатними для господарської діяльності. У Херсонській та Запорізькій областях пошкоджені лісосмуги уздовж річок посилили ерозійні процеси та зменшили водоутримуючу здатність ґрунтів, що негативно вплинуло на фермерські угіддя та пасовища.

Крім того, існують проблеми з відновленням земель після бойових дій. Землі, пошкоджені артилерією чи мінуванням, потребують значних ресурсів для очищення від вибухонебезпечних предметів, відновлення ґрунтового покриву та висадження нових лісових масивів. Цей процес займає роки і робить землі тимчасово непридатними для сільськогосподарського використання, що суттєво впливає на економіку регіону та стратегію землекористування.

У зв'язку з запровадженням воєнного стану в Україні через військову агресію Російської Федерації, розпочату 24 лютого 2022 року (Указ Президента України від 14 березня 2022 року № 133 «Про продовження строку

дії воєнного стану в Україні»), Кабінет Міністрів України видав Постанову від 21 квітня 2022 року «Про деякі питання проведення рубок в лісах України та інвентаризації лісів в умовах воєнного стану». Цей нормативний акт регулює діяльність підприємств лісового господарства під час війни, спрямований на запобігання незворотним екологічним втратам, зміцнення обороноздатності держави та забезпечення Збройних Сил України й військово-цивільних адміністрацій дровами, паливом та лісоматеріалами[45].

Бойові дії значно погіршили ситуацію з лісовими пожежами та загоряннями у захисних лісових насадженнях. За перші 11 місяців війни зафіксовано 425 випадків загорянь на площі 754 га в окупованій Запорізькій області та 287 га у Херсонській області. Це майже втричі перевищує показники аналогічного періоду 2021 року, а середня площа однієї пожежі зросла у 16 разів. Пожежі у Лісостепу призводять до тимчасової стерилізації ґрунту через горіння сухостоїв, що спричиняє загибель дощових черв'яків, комах та мікроорганізмів на уражених ділянках.

Під час обстрілів та розривів фугасних снарядів відбувається забруднення захисних лісових насаджень високотоксичними речовинами, що негативно впливає практично на всі види деревних порід. Вибухові дії також порушують природний рівень ґрунтових вод, внаслідок чого в ґрунтових западинах накопичуються дощові та талі води, створюючи сприятливі умови для активного розмноження шкідливих комах і патогенів. На окремих ділянках відзначається ущільнення та затвердіння підґрунтя, що стає ключовим чинником відсутності рослинності та ускладнює або взагалі унеможливлює її подальше відновлення.

На територіях, де проходять бойові дії, також спостерігається руйнування рослинного покриву через пересування важкої військової техніки, включно з танками, бронетранспортерами та ракетними комплексами. Це призводить до порушення структурної цілісності ґрунту та активізації ерозійних процесів – як вітрової, так і водної ерозії. В результаті такі землі

тимчасово втрачають господарську цінність і стають непридатними для ведення агровиробництва та відновлення природного рослинного покриву.

У результаті бойових дій було зруйновано продуктивну структуру захисних лісових насаджень і порушено захисну висоту біоінженерних споруд. Основними причинами деградації або знищення таких насаджень є незаконне розорювання земель, масова вирубка дерев, підвищене рекреаційне навантаження та незадовільний санітарний стан територій. В Україні законодавчо передбачено відновлення та створення нових захисних лісових смуг як одного з ключових механізмів підтримки екологічної рівноваги Лісостепу, а також їх інтеграцію до місцевих та регіональних схем екологічної мережі. Захисні лісові насадження, розташовані на полях, у ярах, балках та на неугіддях, виконують важливу роль у захисті територій від катастрофічних природних явищ і сприяють стабілізації екологічних процесів у відповідних екосистемах. Знищення або пошкодження прируслових лісових смуг у Лісостепу України призводить до руйнування берегів річок, замулення русел та погіршення природного водного режиму. Внаслідок цього підвищується ризик ерозії ґрунтів і підтоплення прилеглих сільськогосподарських угідь, що зменшує їхню родючість та продуктивність. Крім того, деградація прируслових насаджень ускладнює ведення рибного господарства через зміну гідрологічних умов і погіршення санітарного стану вод, а також обмежує можливості мисливського і рекреаційного використання територій. Загалом це призводить до зниження економічної та екологічної цінності земель, що може тривало впливати на стратегію їх раціонального використання та потребує значних зусиль для відновлення природного покриву і стабілізації екосистеми.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ В ПРОФЕСІЙНІЙ ДІЯЛЬНОСТІ

Відповідно до Закону України «Про охорону праці», роботодавець при укладанні трудового договору зобов'язаний письмово повідомити працівника про умови праці, небезпечні чи шкідливі фактори на робочому місці, можливі наслідки для здоров'я та права на пільги й компенсації. Також роботодавець повинен забезпечити належні умови праці у всіх підрозділах підприємства та дотримання вимог законодавства щодо прав працівників у сфері охорони праці. Стаття 13 Закону зобов'язує роботодавця розробляти й затверджувати внутрішні положення та інструкції з охорони праці, встановлювати правила виконання робіт і поведінки працівників, а також безкоштовно забезпечувати їх необхідними нормативними документами.

Відповідно до статті 27 Закону, нормативно-правові акти з охорони праці охоплюють усі офіційні документи, що визначають вимоги безпеки: правила, норми, стандарти, інструкції, положення та інші обов'язкові регламенти. Ці документи встановлюють єдині підходи до організації безпечних умов праці й регулюють поведінку працівників та роботодавців у виробничому процесі. На державному рівні функціонує широка система наглядових органів, які контролюють виконання вимог охорони праці та мають право зупиняти чи забороняти роботу підприємства, якщо виявлено порушення або загрози для працівників. Тому дотримання встановлених норм є не лише юридичним обов'язком, а й необхідною умовою безпечної роботи.

Окрім цього, закон передбачає відповідальність за порушення вимог охорони праці чи невиконання приписів державних інспекторів. Роботодавці — як юридичні, так і фізичні особи — у разі недотримання встановлених норм можуть бути оштрафовані у визначеному законом порядку. Максимальний розмір такого штрафу становить до п'яти відсотків від місячного фонду заробітної плати підприємства або підприємця, який використовує найману працю. Таким чином, законодавство стимулює роботодавців забезпечувати

безпечні умови праці та відповідально ставитися до охорони праці на всіх рівнях діяльності.

Нормативно-правові документи з охорони праці зібрані у Державному реєстрі міжгалузевих і галузевих актів відповідно до державних нормативів з охорони праці. З моменту набуття чинності Законом України «Про охорону праці» у 1992 році міністерства та інші центральні органи влади втратили повноваження самостійно затверджувати такі акти. Усі внутрішні нормативні документи з охорони праці на підприємстві вводяться в дію наказом роботодавця, тоді як державні органи можуть лише надавати методичні рекомендації. Правові норми щодо охорони праці у Кодексі законів про працю містяться у розділі XI «Охорона праці», а також у розділах, що регулюють трудовий договір, робочий час, відпочинок, працю жінок і молоді.

Основні принципи охорони праці під час роботи в польових умовах передбачають виконання низки обов'язкових дій. Перед початком робіт необхідно підготувати організаційно-технічні заходи, що гарантують безпечні умови праці на всіх етапах польових робіт. Обов'язковим є суворе дотримання вимог правил охорони праці у сфері сільськогосподарського виробництва. Усі працівники, залучені до робіт, мають пройти відповідні інструктажі. Техніка, що використовується в полі, повинна бути перевірена комісією та відповідати вимогам безпеки. Працівників слід забезпечити спецодягом, спецвзуттям, засобами індивідуального захисту, а також справним інструментом. Механізатори, які працюють у польових умовах, мають бути забезпечені аптечками, питною водою та гарячим харчуванням. Потрібно заздалегідь визначити маршрути пересування між ділянками. Роботи зупиняються за будь-якої загрози життю чи здоров'ю працівників, а особи, які перебувають у стані алкогольного, наркотичного або токсичного сп'яніння, не допускаються до виконання завдань.

Безпека праці залежить не лише від роботодавця чи керівництва господарства, а й від самих працівників, які повинні дисципліновано виконувати встановлені правила й вимоги. Створення ефективної системи

охорони праці на підприємстві є обов'язком, визначеним Законом України «Про охорону праці». Загалом правове регулювання у цій сфері спирається на цей Закон, Кодекс законів про працю, Закон України про соціальне страхування від нещасних випадків, а також на інші нормативні акти, прийняті відповідно до них.

Право кожного працівника на безпечні та здорові умови праці гарантується Конституцією України. Детальні норми, зокрема щодо умов праці в офісних приміщеннях, містяться у Кодексі законів про працю, Законі «Про охорону праці» та підзаконних документах. Відповідно до статті 153 КЗпП та статті 6 Закону «Про охорону праці», на всіх підприємствах мають бути створені безпечні та нешкідливі умови праці, і ця відповідальність покладається на роботодавця або уповноважений ним орган. Робоче місце, виробниче обладнання, технологічні процеси, засоби індивідуального й колективного захисту, а також санітарно-побутові умови повинні повністю відповідати вимогам чинних нормативних актів з охорони праці.

Стаття 158 КЗпП України зобов'язує роботодавця створювати більш безпечні та здорові умови праці, впроваджуючи сучасні технології, засоби механізації й автоматизації, дотримуючись вимог ергономіки та використовуючи науково-технічні досягнення. Також роботодавець повинен піклуватися про зменшення запиленості й загазованості повітря, рівня шуму, вібрації та різних видів випромінювання у робочих приміщеннях.

Відповідно до частини 1 статті 13 Закону України «Про охорону праці», роботодавець повинен забезпечити належні та безпечні умови праці у кожному структурному підрозділі, а також гарантувати дотримання всіх вимог законодавства щодо прав працівників у сфері охорони праці.

Будівлі й приміщення, у яких розміщуються робочі місця, повинні відповідати нормам технічної експлуатації та вимогам виробника персональних комп'ютерів. Приміщення для операторів мають бути не нижче другого ступеня вогнестійкості, а їхня безпечність визначається відповідно до встановленого класу зони згідно з нормативами Держнаглядохоронпраці.

Розміщувати робочі місця у підвальних або цокольних поверхах заборонено. Мінімальна площа приміщення становить 6 м^2 на кожне робоче місце, а об'єм — не менше 20 м^3 .

Вікна в таких приміщеннях мають бути оснащені регульованими світлозахисними елементами — жалюзі, шторами або зовнішніми козирками. Для внутрішнього оздоблення використовуються матеріали з дифузним відбиттям світла: із коефіцієнтом відбиття $0,7\text{--}0,8$ для стелі та $0,5\text{--}0,6$ для стін. Підлога повинна мати матове покриття з коефіцієнтом відбиття в межах $0,3\text{--}0,5$.

Підлога в приміщеннях з персональними комп'ютерами повинна бути рівною, неслизькою та мати антистатичні властивості. Забороняється використовувати для оздоблення полімерні матеріали, які виділяють шкідливі хімічні речовини, зокрема деревинно-стружкові плити, миючі шпалери, рулонні синтетичні покриття та шаруватий паперовий пластик.

Приміщення можуть оснащуватися меблями для зберігання документів, магнітних дисків, полицями, стелажми та тумбами з урахуванням площі робочих зон. Заземлені конструкції — батареї опалення, водопровідні труби, кабелі з заземленим екраном — повинні бути надійно захищені діелектричними щитками або сітками, щоб запобігти ураженню працівників електричним струмом.

При розташуванні робочих столів з персональними комп'ютерами необхідно дотримуватися встановлених відстаней: між бічними поверхнями комп'ютерів — $1,2 \text{ м}$, а від тильної поверхні одного комп'ютера до екрана іншого — $2,5 \text{ м}$. Якщо робота вимагає високої концентрації уваги, суміжні робочі місця операторів слід відокремлювати перегородками висотою $1,5\text{--}2 \text{ м}$.

Конструкція робочого місця повинна забезпечувати оптимальну робочу позу працівника і відповідати ергономічним вимогам. Робочий стіл має дозволяти зручне розташування обладнання — дисплея, клавіатури, принтера — та документів. Висота робочої поверхні повинна регулюватися в межах 680--

800 мм, а ширина та глибина столу забезпечувати роботу у зоні досяжності рук (рекомендовані розміри: ширина 600–1400 мм, глибина 800–1000 мм).

Робочий стіл повинен мати достатній простір для ніг: висота — не менше 600 мм, ширина — не менше 500 мм, глибина на рівні колін — не менше 450 мм, на рівні простягнутої ноги — не менше 650 мм. Робочий стілець має бути підйомно-поворотним, з регулюванням висоти, кута нахилу сидіння та спинки, а також відстані від спинки до переднього краю сидіння. Поверхня сидіння повинна бути плоскою, передній край — заокругленим; висота спинки — 300 ± 20 мм, ширина — не менше 380 мм, радіус кривизни горизонтальної площини — 400 мм. Кут нахилу спинки регулюється в межах $1-30^\circ$ від вертикалі, а відстань від спинки до переднього краю сидіння — 260–400 мм.

Монітор слід розташовувати на відстані 600–700 мм від очей користувача, з урахуванням розміру літер і символів, під кутом $+30^\circ$ до нормальної лінії зору. Клавіатура розміщується на столі на відстані 100–300 мм від краю, що звернений до працівника, і має опорний пристрій, що перешкоджає її зміщенню та дозволяє регулювати кут нахилу поверхні $5-15^\circ$.

Приміщення для роботи з ПК повинні мати системи опалення, кондиціонування або припливно-витяжну вентиляцію. На робочих місцях слід забезпечити оптимальні параметри мікроклімату — температуру, відносну вологість і рухливість повітря — відповідно до ГОСТ 12.1.005-88 та СН 4088-86.

Освітленість на робочому столі в зоні документів повинна становити 300–500 лк. Якщо цього не забезпечує загальне освітлення, допускається використання місцевого, встановленого так, щоб уникнути відблисків на екрані. Для штучного освітлення переважно застосовують люмінесцентні лампи ЛБ, а при відбитому світлі — металогалогенні лампи потужністю 250 Вт.

Джерела шуму, такі як АЦП і принтери, слід розташовувати поза робочими приміщеннями. Для забезпечення допустимого рівня шуму застосовують звукопоглинальні матеріали, підбір яких обґрунтовується

інженерно-акустичними розрахунками. Вібрація на робочих місцях не повинна перевищувати норм, встановлених ГОСТ 12.1.012-90.

Комп'ютери, периферійні пристрої та електропроводка мають відповідати класу зони та бути обладнані захистом від короткого замикання й інших аварійних режимів. При монтажі та експлуатації ліній електромережі потрібно виключати ризик загоряння та перевантаження проводів, застосовувати негорючу ізоляцію, а у приміщеннях з більш ніж п'ятьма комп'ютерами встановлювати аварійний резервний вимикач для повного відключення живлення (крім освітлення). Підключення пристроїв дозволяється лише через справні штепсельні з'єднання та заводські розетки, а використання двопровідної мережі або перехідників забороняється.

Для збереження здоров'я працівників передбачаються внутрішньозмінні перерви для відпочинку та харчування. Тривалість і частота перерв визначаються характером роботи: для розробників програм — 15 хв кожную годину, для операторів ПК — 15 хв кожні 2 години, для операторів набору — 10 хв кожную годину. Безперервна робота не повинна перевищувати 4 години, а при 12-годинній зміні перерви встановлюються протягом перших 8 годин за правилами 8-годинного дня, а протягом останніх 4 годин — щогодини по 15 хв.

Відповідно до ст. 43 Закону України «Про охорону праці», порушення законодавства призводить до накладення штрафу на юридичних і фізичних осіб, що використовують найману працю. Сплата штрафу не звільняє від усунення порушень, а його розмір не може перевищувати 5% середньомісячного фонду заробітної плати за попередній рік.

Висновок

Супутниковий моніторинг лісових насаджень, які постраждали внаслідок військових дій, є надзвичайно ефективним та корисним інструментом для сучасного управління лісовими ресурсами. Завдяки дистанційним методам спостереження можливо швидко і точно оцінювати стан пошкоджених лісів, визначати площі ушкоджень, контролювати динаміку відновлення та прогнозувати негативні наслідки для землекористування. Такий підхід дозволяє своєчасно виявляти проблемні ділянки, планувати роботи з відновлення лісових масивів та запобігати ерозії, підтопленням і деградації ґрунтів, що робить його надзвичайно цінним для збереження продуктивності сільськогосподарських і рекреаційних земель.

Застосування супутникового моніторингу не лише підвищує ефективність управління лісовими ресурсами в умовах воєнного стану, а й дає науково обґрунтовану основу для прийняття рішень щодо екологічного відновлення територій. Це надзвичайно важливо для підтримки стійкості екосистем, збереження біорізноманіття та захисту природних ресурсів України. Таким чином, супутниковий моніторинг лісів є не лише високотехнологічним, а й надзвичайно корисним і практичним інструментом, який забезпечує комплексне бачення стану лісових насаджень і сприяє їх ефективному відновленню після руйнівних наслідків війни.

Список використаних джерел

1. Наумик А. М. *Реформування земельних відносин в умовах децентралізації: кваліфікаційна робота*. 11 с. URL: <http://repository.lnau.edu.ua:8080/jspui/bitstream/123456789/562/1/%D0%9D%D0%B0%D1%83%D0%BC%D0%B8%D0%BA%20%D0%90%202022%D1%80%D1%96%D0%BA.pdf>
2. Міністерство розвитку громад та територій України. *Моніторинг регіонального розвитку*. URL: <https://mindev.gov.ua/diialnist/polityka-rehionalnoho-rozvytku/monitorynh-rehionalnoho-rozvytku>
3. Конституція України: статті 13, 14.
4. Земельний кодекс України: глава 30, стаття 191.
5. Земельний кодекс України: Відомості Верховної Ради України від 25 жовтня 2001 р. № 2768-III. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/2768-14>
6. Кабінет Міністрів України. Постанова від 23 липня 2024 р. № 848.
7. *Сучасні системи екологічного моніторингу та ефективність їх функціонування* [Електронний ресурс]. URL: <https://nasplib.isoftware.kiev.ua/items/c8fa8a89-e889-4a4f-b38d-0b993369d028>
8. Смирнова М. І. *Наука і світогляд*. Науковий журнал.
9. Земельний кодекс України: ст. 22 від 25.10.2001 р. № 2768-III.
10. Земельний кодекс України: ст. 78 від 25.10.2001 р. № 2768-III.
11. Соломаха Н. Г., Короткова Т. М., Сидоренко С. В., Сидоренко С. Г., Юрченко В. А., Тупчий О. М. *Видовий склад і лісівничо-таксаційна характеристика пожежозахисних лісових смуг, створених Г. М. Висоцьким в умовах байрачного степу України*.
12. *Пожежозахисні лісові смуги України: оглядово-аналітична оцінка та план дій*.
13. Пилипенко О. І., Юхновський В. Ю., Дуратанець С. М., Малюга В. М. *Лісові меліорації: підручник*.
14. Феденко В. С. *Трансформація рослинності за умов впливу воєнних дій на природне середовище в Україні*.
15. Ласапонара Р., Абате Н., Фатторе К., Аромандо А., Кардеттіні Д., Ді Фонзо М. Використання часових рядів NDVI Sentinel-2 та механізму Google Earth для виявлення змін у землекористуванні/земному покриві в території, що постраждали від пожеж.
16. Марценюк О. П. *Стан захисних лісових насаджень у лісостеповій зоні України*. Інститут агроєкології і природокористування НААН, Київ, Україна. URL: <https://orcid.org/0009-0000-1468-6224>
17. Дубина Д. В., Устименко П. М., Вакаренко Л. П., Барановський Б. О., Кармизова Л. О., Іванько І. А. *Раритетний фітоценофонд Степу України в зоні бойових дій*.
18. *Лісівництво і агролісомеліорація – Forestry and Forest Melioration*. Вип. 132, 2018.

19. Журавльова І. *Моніторинг пожеж на природних територіях за допомогою сервісу FIRMS*.
20. Жолобак Г. М. *Вітчизняний досвід супутникового моніторингу лісових масивів України*. Науковий центр аерокосмічних досліджень землі, Інститут геологічних наук НАН України, Київ.
21. Емілія Д. *Використання ГІС та ДЗЗ при моніторингу лісових ресурсів Сокирянської територіальної громади: дипломна робота*.
22. Ліщенко Л. П. *Супутниковий моніторинг стану геосистеми локального рівня на прикладі Матвіївського лісу поблизу м. Миколаєва, Україна*.
23. Балюк С. А. та ін. *Концептуальні підходи до відновлення ґрунтів, що постраждали від збройної агресії*.
24. Wulder M., Franklin S. (ред.) *Розуміння порушень лісів та просторових закономірностей: підходи дистанційного зондування та ГІС*. CRC Press, 2007. URL: <https://www.routledge.com/Understanding-Forest-Disturbance-and-Spatial-Pattern-Remote-Sensing-and-GIS-Approaches/Wulder-Franklin/p/book/9780367577834>
25. Franklin S.E. *Дистанційне зондування для сталого управління лісами*. CRC Press, 2001. URL: <https://www.routledge.com/Remote-Sensing-for-Sustainable-Forest-Management/Franklin/p/book/9781566703949>
26. Hirschmugl M., Gallaun H., Dees M. та ін. *Методи картографування порушень і деградації лісів за оптичними даними дистанційного зондування: огляд*. 2017. URL: <https://arxiv.org/abs/1701.02470>
27. Mancilla-Wulff I., Carrasco J., Pais C., Miranda A., Weintraub A. *Два масштабовані підходи для картування обпаленої території з використанням U-Net і зображень Landsat*. 2023. URL: <https://arxiv.org/abs/2311.17368>
28. Urbanelli A., Barco L., Arnaudo E., Rossi C. *Багатомодальний підхід машинного навчання для виявлення пожеж за супутниковими даними в Європі*. 2023. URL: <https://arxiv.org/abs/2308.02508>
29. Nguyen A., Saha S. *Машинне навчання та мультиджерельні дані дистанційного зондування для оцінки запасів вуглецю в лісах: огляд*. 2024. URL: <https://arxiv.org/abs/2411.17624>
30. Ліщенко Л. *Супутниковий моніторинг стану локальної геосистеми на прикладі лісу Матвіївський біля Миколаєва (Україна)*. Український журнал дистанційного зондування, 2023. URL: <https://ujrs.org.ua/ujrs/article/view/228>
31. Андрієв А., Лисенко А., Голубов С. та ін. *Геоінформаційний інструмент для дистанційної оцінки пошкоджених лісосмуг внаслідок бойових дій*. Український журнал дистанційного зондування, 2025. URL: <https://ujrs.org.ua/ujrs/article/view/290>
32. Назар Б.Д. *Технологія моніторингу лісових пожеж за даними дистанційного зондування*. Львівська політехніка, 2024. URL: <https://ena.lpnu.ua/handle/ntb/76527>

33. Гнатушенко В., Гнатушенко В., Солдатенко Д., Хейпке К. *Підходи машинного навчання для оцінки наслідків лісових пожеж за супутниковими знімками Sentinel-2 по всій Україні*. ISAG2024, 2024. URL: <https://doi.org/10.37190/ISAG2024>
34. Ліщенко Л., Шевчук Р., Філіпович В. *Техніка супутникового моніторингу торфовищ для визначення пожежної небезпеки та ризиків горіння*. Український журнал дистанційного зондування, 2022, 9(1). URL: <https://ujrs.org.ua/ujrs/article/view/210>
35. Лялько В., Жолобак Г., Ходоровський А. та ін. *Просторовий моніторинг навколишнього середовища – ефективний механізм захисту лісів*. Український журнал дистанційного зондування, 2019. URL: <https://ujrs.org.ua/ujrs/article/view/145>
36. Чорний С.Г. *Оцінка стану лісосмуг Донецької області в зоні бойових дій за допомогою супутникових зображень Sentinel-2*. Науковий вісник Херсонського державного університету. Серія «Географічні науки», 2023. URL: <https://gj.journal.kspu.edu/index.php/gj/article/view/361>
37. *Nationwide remote sensing framework for forest resource assessment in war-affected Ukraine* — оцінка стану лісосмуг після воєнних дій на основі даних ДЗЗ. OUCI. URL: <https://ouci.dntb.gov.ua/en/works/4arAo3Ql/>
38. Гнатушенко В. В., Каштан В. Ю., Оленченко Г. М., Луцик Д. М. *Моніторинг наслідків лісових пожеж на основі аналізу супутникових зображень*, 2022. URL: <https://ir.nmu.org.ua/entities/publication/e1a6c12d-8e6d-4cfe-bca6-bd4df50662a8>
39. *War drives forest fire risks and highlights the need for more ecologically-sound forest management in post-war Ukraine*, 2024. URL: <https://www.nature.com/articles/s41598-024-54811-5>
40. *Monitoring tree mortality in Ukrainian Pinus sylvestris L. forests using remote sensing data from earth observing satellites*, 2022. URL: <https://www.afrjournal.org/index.php/afr/article/view/2328>
41. *Forest damage assessment of a part of Kupyansk forestry due to fires caused by military actions*, 2025. URL: <https://ujrs.org.ua/ujrs/article/view/272>
42. *War threatens 18 % of protective plantations in eastern agroforestry region of Ukraine*, 2025. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037811272400673X>
43. *The Use of Remote Sensing Data for Investigation of Environmental Consequences of Russia-Ukraine War*, 2022. URL: <https://sciendo.com/article/10.2478/jlecol-2022-0017>
44. *Remote sensing through the fog of war: Infrastructure damage and environmental change during the Russian-Ukrainian conflict revealed by open-access data*, 2024. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666592124000064>
45. *Separated by war: Deforestation and reforestation in the Ukrainian emerald network*, 2023. URL: <https://phys.org/news/2023-12-war-deforestation-reforestation-ukrainian-emerald.html>