

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

**ННІ лісового і садово-паркового господарства**

УДК 630\*18:355.422(477-81)

**ПОГОДЖЕНО**

Директор ННІ лісового  
і садово-паркового господарства  
Роман ВАСИЛИШИН

\_\_\_\_\_  
(підпис) \_\_\_\_\_ (ПІБ)  
” ” \_\_\_\_\_ 2024 р.

**ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ**

Т.в.о. завідувача кафедри таксації лісу  
та лісового менеджменту  
Віктор МИРОНЮК

\_\_\_\_\_  
(підпис) \_\_\_\_\_ (ПІБ)  
” ” \_\_\_\_\_ 2024 р.

**МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**на тему:** Динаміка втрат лісового покриву в результаті бойових дій на сході  
України

Спеціальність \_\_\_\_\_ 205 – Лісове господарство \_\_\_\_\_

(код і назва)

Освітня програма \_\_\_\_\_ Лісове господарство \_\_\_\_\_

(назва)

Орієнтація освітньої програми \_\_\_\_\_ освітньо-професійна \_\_\_\_\_

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

**Гарант освітньої програми**

Кандидат с.-г. наук, доцент

\_\_\_\_\_  
(науковий ступінь та вчене звання)

Олександр БАЛА

\_\_\_\_\_  
(підпис)

\_\_\_\_\_  
(ПІБ)

**Керівник магістерської кваліфікаційної роботи**

Доктор с.-г. наук, професор

\_\_\_\_\_  
(науковий ступінь та вчене звання)

Віктор МИРОНЮК

\_\_\_\_\_  
(підпис)

\_\_\_\_\_  
(ПІБ)

**Виконала**

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Ірина ЗІБЦЕВА

\_\_\_\_\_  
(ПІБ студента)

**КИЇВ – 2024**

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

**ННІ лісового і садово-паркового господарства**

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Т.в.о. завідувача кафедри таксації лісу та  
лісового менеджменту

д. с.-г. н., проф.

Віктор МИРОНЮК

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2023 року

**ЗАВДАННЯ**

**ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЙНОЇ РОБОТИ  
СТУДЕНТЦІ**

Зібцевій Ірині Сергіївні

(прізвище, ім'я, по-батькові)

Спеціальність 205 – Лісове господарство

(код і назва)

Освітня програма Лісове господарство

(назва)

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Тема магістерської кваліфікаційної роботи «Динаміка втрат лісового покриву в результаті бойових дій на сході України»

затверджена наказом ректора НУБіП України від 9 листопада 2023 р. № 2100 «С».

Термін подання завершеної роботи на кафедру 2024-11-15

(рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської роботи: мережа інвентаризаційних ділянок НІЛ України; знімки високого просторового розрізнення Google Earth Pro; карти лісів, розроблені за знімками Sentinel 2.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Методи картографування змін у лісах за допомогою даних ДЗЗ.
2. Просторовий розподіл пошкоджень лісів Харківської, Донецької та Луганської областей за 2022-2023 рр.
3. Часовий розподіл втрат лісів на сході України.

Дата видачі завдання “ 09 ” листопада 2023 р.

Керівник магістерської  
кваліфікаційної роботи

(підпис)

Віктор МИРОНЮК

(прізвище та ініціали)

Завдання прийняла до виконання

(підпис)

Ірина ЗІБЦЕВА

(прізвище та ініціали студента)

## РЕФЕРАТ

**Структура та обсяг роботи.** Магістерська кваліфікаційна робота складається із вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Виконана на 57 сторінках комп'ютерного тексту, містить 3 таблиці та 16 рисунків. Список використаних джерел містить 50 найменувань.

Матеріали магістерської роботи використано для підготовки наукової роботи на Всеукраїнський конкурс студентських наукових робіт зі спеціальності «Лісове господарство» (перший етап), за результатами якого робота одержала перше місце.

Метою магістерської кваліфікаційної роботи є оцінка динаміки втрат лісового покриву у Харківській, Донецькій та Луганській областях за 2022–2023 роки за допомогою даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) та геоінформаційних систем (ГІС).

Зміст роботи викладений у трьох розділах.

Перший розділ містить огляд літератури, що наявна по обраній темі дослідження, а також оцінку вже проведених досліджень щодо обрахунків втрат лісового покриву, як на сході України, так і в загальному на всій її території. Також в цьому розділі описані методи ДЗЗ, за допомогою яких є можливим аналіз статистики змін у лісових екосистемах, та які, в тому числі, використовувалися при виконанні даної роботи. Окрім вказаного, перший розділ включає в себе оцінку усіх можливих наслідків війни, які прямо чи опосередковано впливають на знищення лісів України.

Другий розділ містить детальний опис території дослідження та причини, які спонукали до цього вибору, а також опис методики, вхідних даних та кроків, що були виконані в процесі виконання роботи – використання даних НІЛ України, формування навчальної вибірки, безпосередньо процес інтерпретації наявних проб та методи обрахунків площ пошкодження та визначення їхнього просторового та часового розподілу.

Третій розділ містить результати проробленої роботи. У цьому розділі наведені точні дані щодо площ пошкоджень у трьох областях, обраних для дослідження, як загальні площі, так і з розподілом по районах, та визначених періодах дослідження. Також розглянуто динаміку змін та наведено можливі причини саме таких закономірностей у динаміці змін лісового покриву.

У висновках висвітлені основні результати, отримані під час проведення досліджень.

**Ключові слова:** вплив війни, знищення лісів, ДЗЗ, Sentinel 2.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	6
РОЗДІЛ 1. РОЛЬ МАТЕРІАЛІВ ДЗЗ ТА ГІС ДЛЯ КІЛЬКІСНОГО ОЦІНЮВАННЯ ВТРАТ ЛІСОВОГО ПОКРИВУ В РЕЗУЛЬТАТІ БОЙОВИХ ДІЙ НА СХОДІ УКРАЇНИ .....	12
1.1. Оцінки наслідків російського вторгнення на стан лісових екосистем в Україні .....	12
1.2. Методи виявлення змін природних ландшафтів за допомогою даних дистанційного зондування землі (ДЗЗ).....	15
1.3. Наслідки війни, які є основними чинниками пошкоджень лісових насаджень.....	23
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ ВИЯВЛЕННЯ ВТРАТ ЛІСОВОГО ПОКРИВУ .....	27
2.1. Територія досліджень.....	27
2.2. Карта земельного покриву.....	30
2.2.1. Формування навчальної вибірки .....	31
2.2.2. Розподіл площі території досліджень за типами ландшафтів .....	32
2.3. Ідентифікація пошкоджень за часовим періодом .....	35
2.4. Обчислення площі пошкоджень .....	36
РОЗДІЛ 3. ДИНАМІКА ПОШКОДЖЕНЬ ЛІСІВ.....	38
3.1. Пошкодження та втрати лісів за період 2022 – 2023 років .....	38
3.2. Площа пошкоджень лісових насаджень за адміністративно-територіальну одиноцю .....	42
ВИСНОВКИ.....	50
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	52

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АТО – антитерористична операція

ДЗЗ – дистанційне зондування землі

ГІС – геоінформаційна система

NDVI – Normalized difference vegetation index – вегетаційний індекс

NBR – Normalized burned index

dNBR – delta Normalized burned index

ООН – Організація Об'єднаних Націй

CORINE – Coordination of information on the environment – інвентаризація земельного покриву Європи та картування змін у земельному покриві та землекористуванні

НІЛ – Національна інвентаризація лісів

## ВСТУП

Східні області України (Луганська, Донецька та частина Харківської області) потерпають від наслідків воєнних дій, починаючи з 2014 року, коли росія розпочала невиправданий збройний конфлікт на цих територіях. У 2019 році були проведені оцінки екологічних ризиків для територій, що потрапили під вплив воєнних дій, із використанням програмного забезпечення на основі ГІС для збору, обробки та візуалізації інформації про навколишнє середовище та фактори, які можуть на нього впливати [1]. Також, за попередніми результатами спостережень за втратами лісового покриву на ділянках Смарагдової Мережі в межах колишньої зони АТО, території, що знаходились під російською окупацією, втратили до 25% лісового покриву, тоді як на підконтрольних Україні територіях продовжувалось залісення, та площа лісового покриву зросла на 9% [2]. Описана тенденція на тимчасово окупованих територіях, очевидно, не є позитивною, також враховуючи той факт, що лісистість східних областей становить всього лише 5-15% [3]. Площа лісів території дослідження становить ~12% від загальної площі областей (~10 144 км<sup>2</sup> та 84 600 км<sup>2</sup> відповідно). Збройна агресія зі сторони російської федерації із початком повномасштабного вторгнення на територію України 24 лютого 2022 року спричинила розширення лінії фронту, збільшення площі ведення активних бойових дій, використання більшої кількості боєприпасів тощо, що безпосередньо впливає на лісові масиви, пошкоджуючи та/або знищуючи їх; східні області стали осередком ще більш запеклих боїв, в ході яких спричиняються значні пошкодження природним екосистемам, в тому числі і лісовим.

За час повномасштабної війни із росією було завдано шкоди великим площам лісових насаджень по всій території України, зокрема і в східних областях. Згідно зі статистикою, наданою Міністерством захисту довкілля та природних ресурсів, за увесь час повномасштабної війни було зафіксовано майже 6,5 тисяч випадків знищення екосистем, що понесло за собою понад €65 млрд збитків [4]. На спричинення значної шкоди лісовим екосистемам в першу чергу впливає

збільшення довжини лінії фронту, зростання площі бойових зіткнень та їх значна активізація, використання російськими військами заборонених касетних боєприпасів, що катастрофічно забруднюють території та унеможливають користування ними, фосфорних бомб, а також інших засобів ураження, які призводять до серйозних пошкоджень лісових масивів та спричиняють лісові пожежі [5]. Також, на втрати лісового покриву впливає і постійне використання деревини для потреб війська обома сторонами. Значні території Харківської та Донецької областей після 24 лютого 2022 року опинились під окупацією, Луганська область була окупована повністю. Враховуючи наведені вище дані щодо стану лісів (ділянок Смарагдової Мережі) на тимчасово окупованих територіях, стає очевидним, що шкода, заподіяна лісам вже має досить значні масштаби і існує необхідність точної оцінки шкоди та планування майбутнього відновлення лісових екосистем.

Оцінка такої шкоди та втрат лісового покриву має бути проведена в обов'язковому порядку і наразі вже проводиться доступними методами. Беручи до уваги низку факторів, що перешкоджають проведенню досліджень безпосередньо на обраних територіях – пряма загроза життю та здоров'ю внаслідок бойових зіткнень, забруднення лісів нерозірваними боєприпасами, повна чи часткова окупація територій, витрати значної кількості часу на польові дослідження тощо – методи ДЗЗ є оптимальним варіантом для точного вивчення стану лісового покриву на обраній території дослідження, оскільки дають можливість оцінити земельний покрив обраної території дистанційно. Зазначені методи активно використовуються в розвинених країнах світу у національних інвентаризаціях, під час моніторингу лісових земель тощо [6, 7, 8]. Методи ДЗЗ та широкий спектр їх застосування дозволяють досить точно порахувати площі лісового покриву та його втрат, використовуючи такі індекси як NDVI та NBR/dNBR у поєднанні із супутниковими знімками Sentinel-2 (чи інших наявних супутникових знімків). Використовуючи часові ряди супутникових знімків, стає можливим відслідковувати динаміку змін у

лісовому покриві протягом обраного періоду часу, включаючи також і сезонні зміни, в певних випадках оцінювати причини втрат лісових масивів.

Очевидно, що важливість своєчасного отримання точних даних та статистики змін у лісовому покриві внаслідок бойових дій є незаперечною. Постійний моніторинг динаміки змін у лісовому покриві дозволяє накопичувати дані про випадки знищення лісових екосистем, площу втрачених лісів, за можливості – темп їх відновлення (або ж нездатність відновитись самостійно), прогнозувати зміни в найближчому майбутньому та розуміти, яка саме ситуація має місце на теперішній час. Варто зазначити, що детальні та точні статистичні дані дають основу для планування майбутнього післявоєнного лісового менеджменту та планування відновлення пошкоджених лісових масивів. Вказані дані є також важливими в розрізі викликів, що спричинені стрімкими змінами клімату, та розвитку стратегії їх подолання та забезпечення належного функціонування природних екосистем.

На сьогоднішній день певні дослідження задля планування відновлення в Україні вже ведуться [9], [10]. Окрім того, вони дозволяють також оцінювати злочини проти довкілля – пришвидшення та збільшення агресивності змін клімату, вираховувати важливі показники, такі як, наприклад, викиди депонованого вуглецю ( $\text{CO}_2$ ) в атмосферу [18], завдану екологічну шкоду [23], [24] тощо. Також оцінка втрат лісового покриву дозволяє вивчати й інші безпосередньо пов'язані із лісами фактори, такі як, наприклад, втрата біорізноманіття, зміни у рівні ґрунтових вод, наслідки знищення лісових екосистем для сільського господарства.

Таким чином, у післявоєнне відновлення України доцільно було б залучити ефективну систему використання даних дистанційного зондування та польових спостережень для задоволення потреб у різноманітних даних про зміни лісових масивів і втрати лісового покриву внаслідок пошкоджень, спричинених війною.

**Мета і задачі дослідження.** Метою магістерської кваліфікаційної роботи є оцінка динаміки втрат лісового покриву у Харківській, Донецькій та Луганській областях за 2022–2023 роки за допомогою даних дистанційного зондування Землі

(ДЗЗ) та геоінформаційних систем (ГІС). Для досягнення вказаної мети були поставлені наступні задачі:

- 1) статистична оцінка розподілу площі території досліджень за типами ландшафтів;
- 2) ідентифікація пошкоджень на обраній території впродовж 2022–2023 рр.;
- 3) обчислення площ пошкоджень на території досліджень та їх розподіл за адміністративно-територіальними одиницями.

**Об’єктом дослідження** є лісові насадження Харківської, Донецької та Луганської областей, які зазнали впливу бойових дій.

**Предметом дослідження** є динаміка пошкоджень лісових насаджень Харківської, Донецької та Луганської областей внаслідок активного ведення в них бойових дій.

**Методи дослідження.** Для визначення типів ландшафту та пошкоджень на території дослідження в роботі використано візуальні та автоматизовані методи обробки супутникових знімків. Збір даних щодо розподілу площ за типами ландшафтів проводився за допомогою плагіна Open Foris Collect Earth методами візуальної інтерпретації знімків високого просторового розрізнення Google Earth Pro. Площа пошкоджень лісових насаджень встановлена методами ідентифікації змін за різночасовими тематичними картами. Створення карт пошкоджень лісів, обрахунки площ втрат та визначення динаміки виконано в середовищі QGIS за допомогою ГІС-аналізу.

**Загальна характеристика роботи.** Під час проведення дослідження було проаналізовано динаміку втрат лісового покриву на сході України (Харківська, Донецька, Луганська області) внаслідок бойових дій. Для визначення розподілу типів ландшафту було використано сітку національної інвентаризації лісів, що включала в себе 2 716 вибіркових одиниць на території дослідження. Пошкодження були ідентифіковані, як за допомогою Open Foris Collect Earth, так і, використовуючи спектральний індекс NBR для ідентифікації згаріщ та індекс

dNBR для оцінки пошкоджень лісів вогнем за часовим періодом 2022–2023 рр. Для дослідження змін лісового покриву були використані карти земельного покриву та мультиспектральні супутникові знімки Sentinel-2, опрацьовані в міжнародному проєкті SFI [44].

Для розрахунку площ втрат лісового покриву за часовими періодами за областями та районами території дослідження карти пошкоджень були класифіковані за окремими періодами за допомогою пакету просторового аналізу даних R, спроєктовані із розрізненням 20 метрів та накладені на шари адміністративно-територіальних одиниць в середовищі QGIS, в якій були проведені подальші обчислення площі пошкоджень.

# РОЗДІЛ 1

## РОЛЬ МАТЕРІАЛІВ ДЗЗ ТА ГІС ДЛЯ КІЛЬКІСНОГО ОЦІНЮВАННЯ ВТРАТ ЛІСОВОГО ПОКРИВУ В РЕЗУЛЬТАТІ БОЙОВИХ ДІЙ НА СХОДІ УКРАЇНИ

### 1.1. Оцінки наслідків російського вторгнення на стан лісових екосистем в Україні

Активні бойові дії, зіткнення по всій лінії фронту, довжина якої наразі складає близько 720 км [11], використання боєприпасів, використання деревини для військових потреб, окупація значних площ (~107 2994 км<sup>2</sup> [11]) тощо мають серйозний негативний вплив на лісові екосистеми та їх здоров'я та можливість забезпечувати екосистемні сервіси. Незначні за площею лісові масиви на сході України відіграють ключову роль у забезпеченні добробуту місцевого населення, веденні сільського господарства, підтримці біорізноманіття, здоров'я та загального стану ландшафтів, захисті ґрунтів від водної та вітрової ерозій, врегулюванні водного балансу. Природні умови, рівень та застарілі методи довоєнного ведення лісового господарства знизили стійкість лісів до пов'язаних із війною чинників. Шкода, завдана лісовим масивам, є надзвичайно масштабною.

Наразі, отримати доскональні кінцеві дані щодо пошкоджень лісового покриву є неможливим, адже щодня відбуваються нові, частіше негативні, зміни в лісових екосистемах, виникають лісові пожежі, атаки з використанням боєприпасів із касетними бойовими частинами збільшують частку лісів, що стають непридатними до використання. Втім, попри те, що війна триває і надалі, а внаслідок бойових дій та інших перерахованих вище наслідків війни лісові масиви продовжують потерпати, розрахунки втрат лісового покриву за перші роки повномасштабної війни вже ведуться. Для отримання необхідних даних активно використовуються матеріали ДЗЗ та ГІС, оскільки доступ до обраних територій досліджень є або неможливим внаслідок окупації російськими військами, або ж

перебування на них є прямою загрозою для життя та здоров'я. В ході досліджень використовуються різноманітні супутникові знімки (Landsat, Sentinel-2), продукти MODIS/VIIRS для ідентифікації термальних аномалій, комбіноване використання різних джерел польових спостережень і дистанційного зондування лісової рослинності для створення часових рядів задля можливості характеризувати стан і зміни лісів в Україні [12], [13] тощо.

Так, згідно із розрахунками, наведеними у дослідженні Matsala et al. (2024), лише на сході України на території дослідження «East» (Харківська область (вісім громад, 5 121 км<sup>2</sup>), Донецька область (чотири громади, 2 110 км<sup>2</sup>), Луганська область (вісім громад, 4 844 км<sup>2</sup>)) площа пошкоджень лісового покриву за період квітень – вересень 2022 року склала  $24\,180 \pm 4\,715$  га ( $\sim 241.8$  км<sup>2</sup>), тобто  $9.3\% \pm 1.8\%$  від загальної площі у порівнянні із показниками до повномасштабного вторгнення [14].

За оцінками Irland et al. (2024), за 2022 рік постраждало більше, ніж 70 000 га лісу [15]. Основними причинами були обстріли, пожежі та незаконні рубки окупаційних військ.

Проблему надзвичайно великих втрат та пошкоджень лісового покриву також підтверджують і дані «Третьої швидкої оцінки завданої шкоди та потреб на відновлення» (за період лютий 2022 року – грудень 2023 року) ООН в Україні. Згідно наведених оцінок, загальна площа лісів, пошкоджених вогнем, у зоні бойових дій зросла з 183 181 га до 211 574 га у порівнянні із «Другою швидкою оцінкою завданої шкоди та потреб на відновлення» (за період лютий 2022 року – лютий 2023 року) [16].

Також, згідно нещодавніх досліджень Myroniuk et al. (2024), близько 1,7 мільйонів га лісів, що відповідає 15% загальної площі лісів України можуть бути так чи інакше постраждалими від наслідків війни, включаючи мінування, обстріли, окупацію, обмежене управління лісовими масивами та неможливий безпосередній доступ до них через близькість до лінії фронту чи російського кордону. Було

ідентифіковано як мінімум три найбільші зони, де втрати лісів виявились наймасштабнішими: у Чорнобильській зоні відчуження, у Луганській та Харківській областях та в Херсонській області (Рис. 1). Попри те, що площі лісів на територіях під впливом війни є найменшими, кількісні втрати лісового покриву на цих же територіях є найбільшими у порівнянні з іншими областями. Аналіз показника dNBR на пошкоджених територіях показав, що 67 000 га лісу постраждали від різноманітних факторів, що спричинили порушення лісового покриву різної інтенсивності [13].

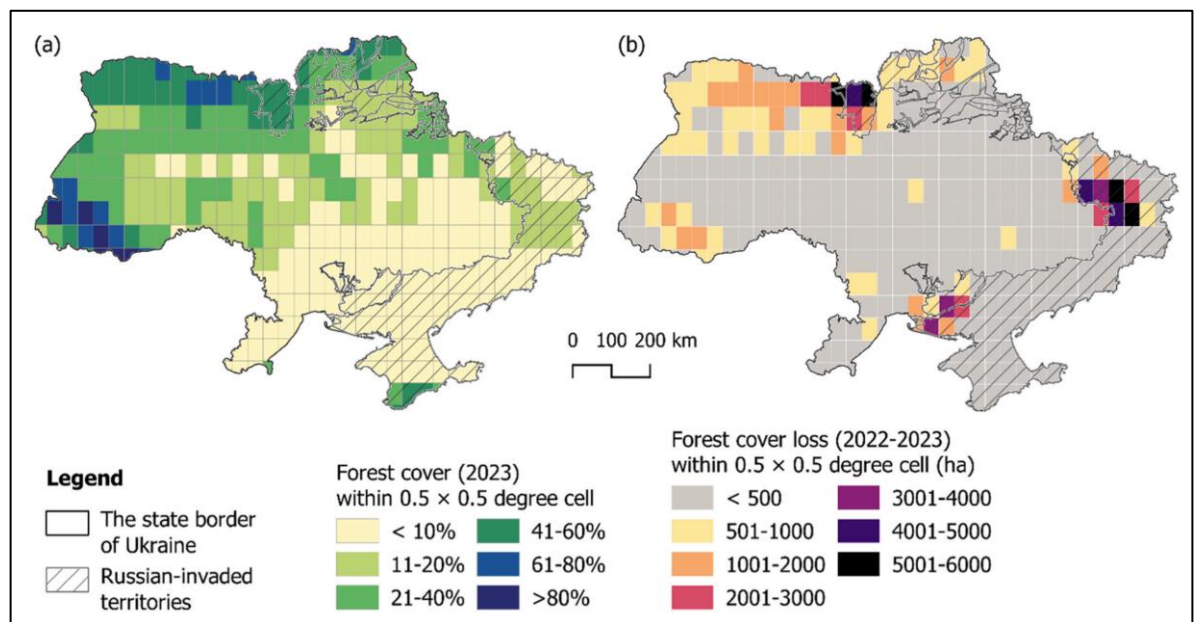


Рис. 1. Просторовий розподіл втрат лісового покриву за період 2022 – 2023 роки: (a) загальний (накопичений) лісовий покрив за 2023 рік; (b) загальні втрати лісового покриву за період 2022 – 2023 роки (Myroniuk et al. (2024))

У загальному, по всій Україні, включаючи ті території, які постраждали від військових дій дотично (без безпосереднього ведення активних бойових дій, зіткнень та окупації), площа пошкоджених лісових масивів є більшою. Орієнтовно, відповідно до даних, наданих Державним агентством лісових ресурсів України, ця площа складає до 3 мільйонів га, що відповідає майже 30% лісів України [17].

Після детального аналізу наведених вище даних із наявних досліджень по обраній темі, проблема масштабних пошкоджень та втрат лісового покриву стає

більш ніж очевидно. Згідно дослідження та розрахунків, проведених Lennard de Klerk et al. (2024) в рамках ініціативи з обліку викидів парникових газів внаслідок війни, було отримано наступні прогнози щодо стійкості лісів проти лісових пожеж. «Прогнозована загибель лісових насаджень від впливу пожеж високої інтенсивності становить: молоді та середньовікові насадження — 100%, стиглі та перестійні — 90%; пожеж середньої інтенсивності: молоді та середньовікові насадження — 80%, стиглі та перестійні — 50%; пожеж малої інтенсивності: молоді та середньовікові насадження — 30%, стиглі та перестійні — 15%» [18].

## **1.2. Методи виявлення змін природних ландшафтів за допомогою даних дистанційного зондування землі (ДЗЗ)**

Природні ландшафти перебувають у постійній динаміці різноманітних змін, що відбуваються під впливом багатьох факторів. Такі фактори можуть включати в себе природні (зміни клімату, вітровали, повені, посухи, пожежі, епідемії шкідників тощо), антропогенні (зміна людиною ландшафтів під свої потреби, зміни у типах землекористування, заліснення нелісових земель, вирубка лісів тощо). До антропогенних факторів також належить і війна, яка спричиняє інтенсивні масштабні зміни за короткий період часу, а впродовж тривалого часу може повністю знищити будь-яку екосистему. Воєнні дії також унеможливають проведення польових досліджень обраної території інтересу. Звісно, метод польових досліджень потребує, окрім всього, багато часу на переміщення, створення пробних площ, оцінку характеристик обраної ділянки та інших затрат, як матеріальних так і нематеріальних. Використовуючи дані та методи ДЗЗ та ГІС, можливо охопити значно більшу територію та отримати більш точні результати, відповідно до того чи іншого запиту, що є причиною активного розвитку в даній галузі та розробки сучасних методів аналізу земного покриву та, зокрема, лісів [19], [20], [21]. За допомогою методів ДЗЗ та супутникових знімків високого розрізнення

також визначається й ступінь пошкодження земель через використання важкої артилерії [22]. Супутникові зображення, що спираються на спектральні сигнатури лісистих районів, здатні забезпечити швидку та точну оцінку екологічної шкоди, завданої екосистемам.

Одним з найпростіших методів класифікації типів земельного покриття та ідентифікації змін є інвентаризація CORINE [25], яка була розроблена Європейською комісією на початку 1980-х років. Класифікація CORINE містить в собі 5 груп ландшафтів, що поділені на 44 тематичні класи, які є єдиними для усіх країн-учасниць та не змінювались із початку розробки програми, що дозволяє із значною точністю оцінювати зміни земельного покриття за увесь час існування даної системи інвентаризації. З 2000-го року база даних оновлюється кожні 6 років, надаючи не лише оновлені карти шарів землекористування (Рис. 2), що охоплюють усю Європу, Туреччину, а з 2023 року також Молдову, Грузію, Вірменію, Азербайджан та Карпатський регіон України, а також зміни у земельному покритті та землекористуванні, що відбулись за останні 6 (5) років (Рис. 3).

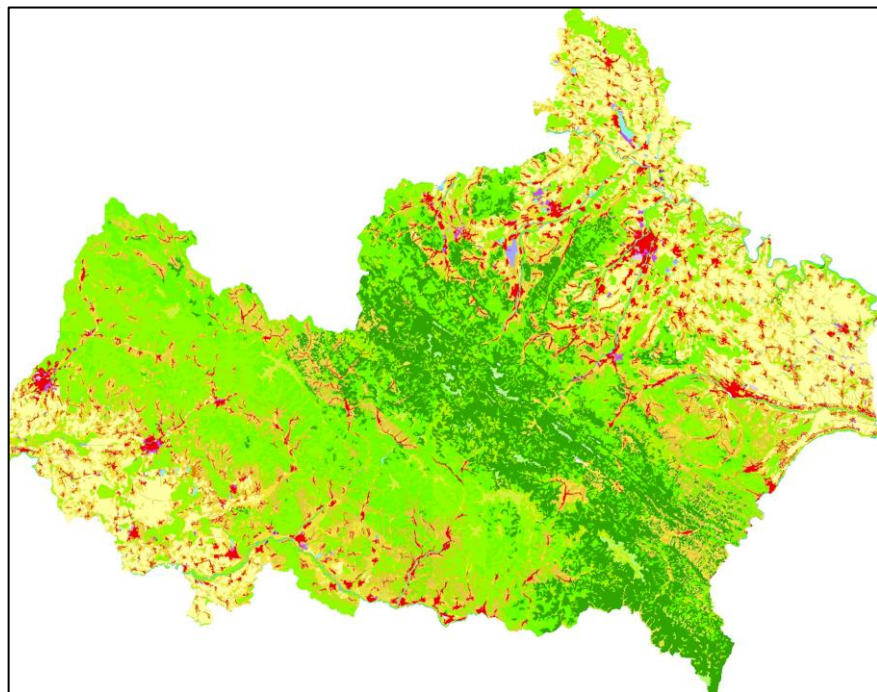


Рис. 2. Приклад статусного шару класифікації CORINE на території Івано-Франківської та Закарпатської областей, 2023 рік

На сьогоднішній день для інтерпретації (як і під час інвентаризації за 2018 рік), використовуються супутникові знімки Sentinel-2 та Landsat-8 за літній та осінній періоди. Інтерпретація виконується виключно візуально у середовищі InterChange, спеціально розробленому під потреби програми. Знімки трансформуються відповідно до псевдокольорової схеми з використанням наступних каналів (Sentinel-2): 4 канал Sentinel (RED, червоний), 8 канал Sentinel (NIR, ближній інфрачервоний) та 11 канал (SWIR, короткохвильовий інфрачервоний). Така кольорова схема дозволяє чітко відрізнити наявні на карті класи земельного покриття та типи землекористування, а також допомагає розрізнити тип лісу (хвойний/листяний) на знімках за весняний/осінній період.

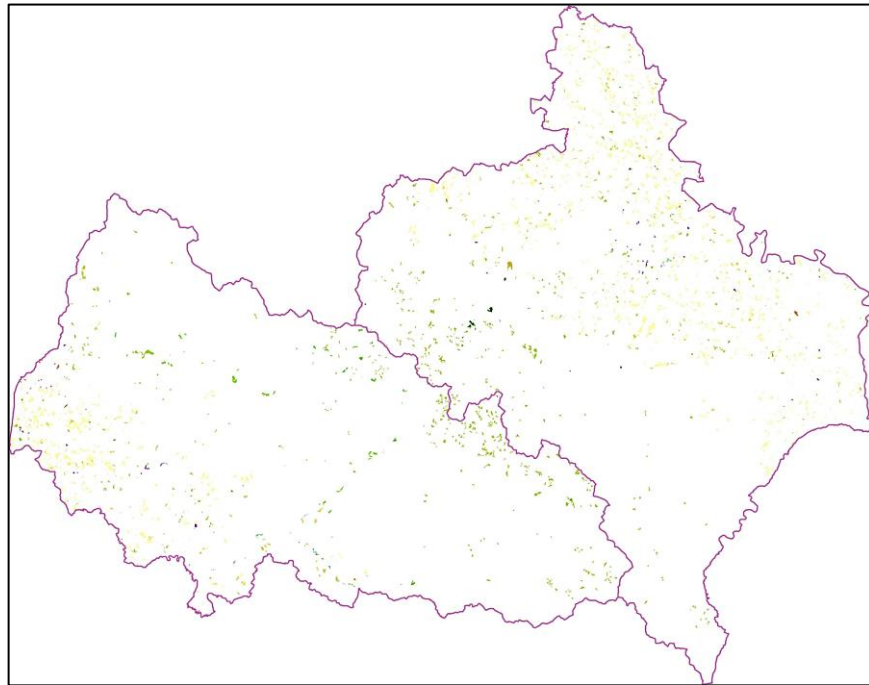


Рис. 3. Приклад шару змін класифікації CORINE на території Івано-Франківської та Закарпатської областей за 2018 – 2023 роки

Для підвищення точності картування, у середовище вбудовано функцію XML export, яка експортує нанесені полігони у середовище Google Earth, що дозволяє інтерпретатору уточнювати тип даних.

Створення шару землекористування за теперішній рік відбувається вручну, окремо виділяючи у полігон кожну одиницю ландшафту, причому полігон не може

бути меншим за 25 га. Картування змін відбувається шляхом порівняння відповідних супутникових знімків та виділення у полігони лише тих частин, де відбулися зміни, причому полігон змін не може бути меншим за 5 га. Створення шару землекористування за рік попередньої інвентаризації (за потреби) відбувається за принципами різниці та злиття векторних об'єктів:

$$CLC_{2018} = CLC_{2023} - CLC_{Change}, \quad (1.1)$$

де  $CLC_{2018}$  – шар землекористування за рік попередньої інвентаризації;  $CLC_{2023}$  – шар землекористування за теперішній рік;  $CLC_{Change}$  – шар змін у типах земельного покриття та землекористування за вказаний період часу.

За допомогою даного методу можливо доволі точно оцінити зміни у землекористуванні як за відносно короткий період часу (5 років) так і змодельовати загальну тенденцію змін за 10 чи 20 років, визначити місця, де мали місце порушення будь-якого виду у природних екосистемах, обрахувати кількісні зміни у площах. За умови використання такого підходу для картування земельного покриття у східних областях України, було би можливо візуально продемонструвати зміни в ландшафтах, які відбулися там внаслідок бойових дій за майже три роки повномасштабної війни.

Ще одним прикладом виявлення змін у природних ландшафтах є використання часових серій Landsat [26]. Такий спосіб базується на математичному підході для ідентифікації змін. Алгоритми ідентифікації змін за допомогою часових серій Landsat можна поділити на шість категорій.

1. Порогове значення – в даній категорії використовується попередньо визначений поріг для певної категорії земельного покриття у часовому ряді. Зміни ідентифікуються в тому випадку, якщо значення на певній точці значно відрізняються від порогового. Як правило, знімки Landsat трансформуються таким чином, щоб бути чутливими до змін в певних земельних покриттях (часто – лісів).

Такі трансформації базуються на індексах, як вегетативний індекс (NDVI), індекс порушення (DI) тощо.

2. Диференціація – при використанні даного методу, відбувається порівняння двох знімків за різний період. Зміни ідентифікуються по місцях, де виявлені найбільші розрізнення.

3. Сегментація – для роботи в цьому методі необхідно одразу мати усі знімки часового ряду. Сегментуючи часовий ряд на серію прямолінійних сегментів на основі критеріїв залишкової помилки та кута, можна виявити різкі та поступові зміни на основі отриманих прямолінійних сегментів на рівні пікселів. Часто цей метод використовується для виявлення змін саме у лісових масивах.

4. Класифікація траєкторії – спершу для використання методу створюється навчальна вибірка, шляхом отримання даних з тих місць на знімках Landsat, де відбулися певні зміни. Надалі ці дані використовуються для класифікації кожного часового ряду Landsat на зображенні.

5. Статистична межа – цей метод передбачає, що часовий ряд слідуватиме статистичній межі, і будь-яке значне відхилення від межі класифікується як зміна. Для досліджень цієї категорії використовуються часові ряди Landsat з високою частотою.

6. Регресія – передбачає наявність лінійного зв'язку між змінними предиктора та відповіді та використовує регресію для отримання відповіді. Змінними-предикторами зазвичай є час спостережень, а змінними-відповідями зазвичай є спостережувані значення (спектральні канали або індекси). Основною метою регресійного методу є оцінка довгострокових змін або тенденцій у часових рядах, які здебільшого є поступовими змінами.

Водночас, кожна категорія має шість характеристик:

1. Частота – кількість знімків Landsat, що були використані для однієї зони інтересу. Частота є низькою (один знімок за декілька років), середньою (1 знімок за рік) та високою (більш, ніж 1 знімок за рік).

2. Індекс зміни (change index) – можуть використовуватись спектральні канали, вегетаційні індекси, типи, фракції земельного покриву тощо.

3. Однофакторність/багатофакторність – більшість алгоритмів виявлення змін використовують одну змінну в кожному пункті часу (однофакторність), але є деякі алгоритми, що використовують багатовимірний вектор в кожній точці часу (багатоваріантні).

4. Онлайн/оффлайн – при ідентифікації змін в режимі «онлайн» знімки надходять за кожен певний проміжок часу і зміни фіксуються майже в режимі реального часу. В той час, як при ідентифікації змін в режимі «оффлайн», часовий ряд знімків є в наявності в повному обсязі і метою є виявити, коли відбулися зміни характеристик.

5. Різка/поступова зміна – до різких змін відносяться ті, що мають значний масштаб та відбуваються за короткий проміжок часу (пожежі, повені, вирубка тощо). Поступові зміни відбуваються з часом та мають менший масштаб по відношенню до різких (поступова зміна землекористування, зміна сезонів тощо).

6. Суб-піксель/піксель/група пікселів – як правило, в якості найменшої одиниці використовується піксель, деякі алгоритми зменшують цю одиницю, використовуючи суб-піксель для ідентифікації змін, деякі алгоритми, окрім, власне, пікселя, використовують також інформацію із сусідніх до нього пікселів.

Для класифікації ландшафтів може, також, використовуватися алгоритм, що починається безпосередньо від окреслення території інтересу та, як результат, показує площу лісових насаджень. Для окреслення території інтересу використовується середовище QGIS. За допомогою функції Random Points in Polygons на окреслену територію дослідження у випадковому порядку наноситься обрана користувачем кількість точок (проб) (Рис. 4). Створений shape-файл слугуватиме основою для схеми інтерпретації, що буде створений за допомогою сервісу Open Foris Collect [27]. Окремо, у файлі .xlsx прописуються категорії, згідно яких в майбутньому буде виконуватись інтерпретація (Рис. 5). Після створення

схеми інтерпретації, вона вивантажується у форматі .ser, який використовується при імпортуванні схеми до середовище Open Foris Collect Earth [27], в якому безпосередньо виконуватиметься інтерпретація типів земельного покриву та землекористування.

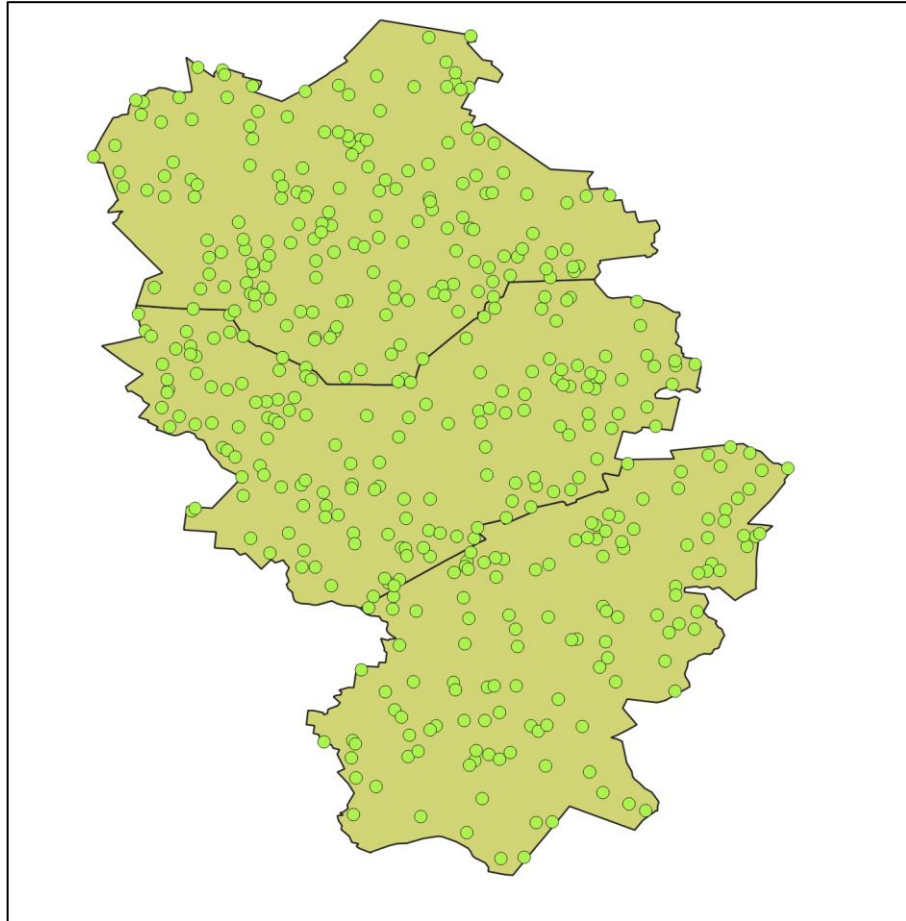


Рис. 4. Випадково нанесені на обрану територію інтересу контрольні точки для майбутньої інтерпретації земельного покриву

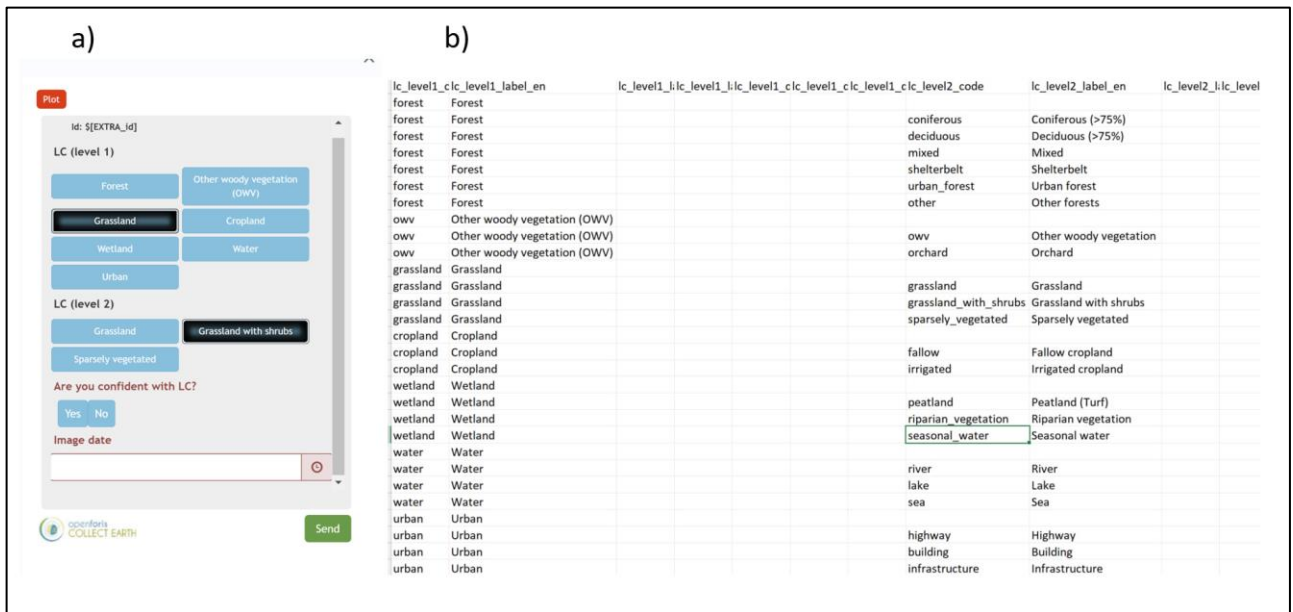


Рис. 5. Категорії інтерпретації а) у середовищі Open foris collect earth; б) у підготовчому файлі .xlsx

Інтерпретація виконується візуально, дані зберігаються в базу даних безпосередньо під час роботи у середовищі Open Foris Collect Earth. Після закінчення інтерпретації, дані вивантажуються у форматі .xlsx. Таким чином створена навчальна вибірка. Для подальшого опрацювання отриманих даних інтерпретації у середовищі QGIS створюється безхмарна мозаїка на територію інтересу із використанням супутникових знімків Sentinel-2 за допомогою плагіну STAC API browser. В подальшому, отримана мозаїка, разом із навчальною вибіркою стануть основою для класифікації всього супутникового знімку, а не лише обраних точок. Класифікація виконується за допомогою плагіну dzetsaka: Classification tool та його вбудованого класифікатора Random Forest. На основі спектральних властивостей наявних точок навчальної вибірки, плагін класифікує увесь ландшафт. Точність інтерпретації та отриманої карти розраховується завдяки матриці помилок. Площа лісів розраховується у середовищі QGIS з використанням функції Raster layer unique value report.

Активно використовуються й інші методи, такі, як попільський аналіз часових серій супутникових знімків [28]. Варто зазначити, що при застосуванні

даного методу можна зіткнутися із такими перешкодами, як висока хмарність, що унеможлиблює відповідний аналіз інформації, що міститься у пікселі. Для покращення умов аналізу використовується метод створення безхмарних мозаїк, шляхом поєднання безхмарних знімків, отриманих в один часовий період.

### **1.3. Наслідки війни, які є основними чинниками пошкоджень лісових насаджень**

Із викладеного у попередніх підрозділах очевидно, що війна та її наслідки є руйнівними для природних ландшафтів України, особливо лісів, які є вразливими до подібних чинників, внаслідок існуючої системи господарювання, негативного впливу змін клімату тощо. На сьогоднішній день важко судити про масштаби руйнації в повному обсязі, адже війна триває. Втім, беручи до уваги дані за обраний період, лютий 2022 – вересень (грудень) 2023, що наведені у попередніх підрозділах, стає зрозумілим, що площі пошкоджень лісових насаджень вже на даний момент є достатньо великими. Пошкодження, основною причиною яких є, в загальному, війна, можна поділити на декілька категорій в залежності від чинників.

В першу чергу – це лісові пожежі, причому пожежа може розпочатися як безпосередньо в середині самого лісового масиву, так і перекинутись на ліс з інших типів ландшафту (поля, пасовища, населені пункти тощо). Основною причиною загорань на лінії фронту чи вздовж неї (60 кілометрова буферна зона) є постійне використання боєприпасів (ракет, артилерії, ударних дронів, бомб, в тому числі фосфорних, керованих тощо, систем залпового вогню типу «ТОС – 1А Солнцепек» тощо). В умовах ведення активних бойових дій, під постійними обстрілами – боротися із вогнем стає важкою, часом другорядною задачею, а отже вогонь має час на поширення і знищення лісового покриву. «У 2022 році майже 70% від загальної площі всіх пожеж було зареєстровано у 25-кілометровій буферній зоні, у 2023 році – 45%. Кількість і площа ландшафтних пожеж збільшуються відносно відстані

до лінії фронту. Так, у 2023 році щільність пожеж у 5-кілометровій буферній зоні була в 49 разів вищою порівняно із значенням щільності пожеж на решті території України, у 10-кілометровій зоні – у 10,5 разів, а у 20-кілометровій зоні – майже вдвічі. Також у 2023 році у порівнянні з 2022 роком збільшилася щільність пожеж і горимість ландшафтів, що свідчить про підвищення інтенсивності бойових дій (у 2–5 разів залежно від відстані до лінії фронту)» [29].

Ще однією причиною пошкоджень лісових масивів, яка безпосередньо пов'язана із використанням боєприпасів – є забруднення лісів нерозірваними боєприпасами або їх частинами, які продовжують становити загрозу життю людини, мінами, розтяжками з гранатами, які в значній кількості залишали росіяни при відступі, а також за допомогою яких українська армія зупиняла прохід ворога [30]. Ліси в зоні проведення АТО в Луганській та Донецькій областях були забруднені нерозірваними боєприпасами до 24 лютого, але на законодавчому рівні їх не віднесено до певних категорій земель, управління якими та використання яких регулювалося б на законодавчому рівні [31]. Сьогодні, за даними програми розвитку ООН, Україна є однією з найбільш замінованих країн світу, 23% територій є потенційно забруднені нерозірваними боєприпасами [32]. За попередніми оцінками, понад 80 тисяч квадратних кілометрів території України мають бути очищені від мін і вибухонебезпечних предметів. Забруднення такими предметами відбувається внаслідок постійних ворожих обстрілів з використанням різноманітної зброї, частини якої самі по собі теж можуть становити неабияку загрозу, а також касетними боєприпасами, які можуть вражати територію в радіусі приблизно 300 метрів, а в залежності від висоти скидання – і більше. В цю категорію чинників пошкоджень також можна включити масове мінування територій арміями обох сторін. Такі дії унеможливають проведення у лісах будь-яких робіт, чи то воєнних операцій, наступу та оборони, чи то заходів догляду за лісом, попередження та гасіння пожеж. Це також призводить і до відсутності будь-яких лісогосподарських заходів у штучних соснових лісах, які є найбільш нестійкими до лісових пожеж [33].

Війна вимагає використання великої кількості ресурсів, тож чинником пошкоджень лісових насаджень також є використанням лісів для транспортування важкої військової техніки та вирубування лісу на потреби армії. Такі потреби можуть включати в себе будівництво бліндажів, фортифікаційних споруд, обігрів в холодну пору року. Окрім обґрунтованих потреб в деревних ресурсах, були зафіксовані випадки масового вирубування лісових масивів росіянами в Харківській, Херсонській, Запорізькій областях з метою заготівлі деревини [50].

Варто додати, що негативний вплив на ліси можуть мати і такі неочевидні на перший погляд антропогенні чинники, як отруєння ґрунту та дерев продуктами гниття та розпаду тіл, які у величезній кількості лишаються на місцях зіткнень та боїв, а також хімічними елементами, що потрапляють в ґрунт внаслідок використання боеприпасів та їх поступового розкладання. Такими елементами можуть бути залишки вибухівки, нафтопродукти, важкі метали, свинець, уран, сполуки азоту та сірки, інші токсичні речовини тощо. Також відбувається процес «знищення верхнього родючого шару ґрунту, що формувався протягом століть» [34].

Окрім вище зазначених факторів, що мають згубні наслідки для лісових масивів, також можна виокремити і ті, що мають досить опосередкований вплив. Серед них такі фактори, як руйнування дамб, що призводить до підтоплень, потопів, вимивання ґрунту, зміни водного режиму – а як наслідок можливе масове всихання лісових масивів та посилення пожежної небезпеки; пошкодження існуючої системи пожезахисних лісосмуг; погіршення загального стану лісу, що значно послаблює його імунітет проти різноманітних хвороб та впливу шкідників; поширення інвазійних видів тощо [29].

### **Висновки до розділу 1:**

1. Пошкодження значних площ лісових масивів України внаслідок розпочатої росією збройної агресії у 2014 році та після початку повномасштабного

вторгнення у 2022 році є проблемою загальнодержавного масштабу, що потребує постійного дослідження та висвітлення.

2. Використання різноманітних методів ДЗЗ є надзвичайно важливим та ефективним у тих умовах, що склалися, враховуючи недоступність багатьох ділянок на території інтересу (чи всієї площі) для фізичного вивчення внаслідок забруднення нерозірваними боєприпасами, ведення активних бойових дій чи окупації.
3. Забруднення лісів нерозірваними боєприпасами потребує чітких стратегій ідентифікації забруднених масивів задля можливості розробки плану розмінування.
4. Питання стратегії повоєнного відновлення лісів напряду залежить від якості досліджень щодо площ та типів пошкоджень лісів внаслідок дії різних чинників війни.

## РОЗДІЛ 2

### МЕТОДИ ВИЯВЛЕННЯ ВТРАТ ЛІСОВОГО ПОКРИВУ

#### 2.1. Територія досліджень

Для виконання магістерської кваліфікаційної роботи та проведення досліджень було обрано територію Харківської, Донецької та Луганської областей. Площа території інтересу складає 84 600 км<sup>2</sup> (14% від усієї площі України), де проживає приблизно 8,7 мільйонів осіб (дані станом на початок 2022 року узяті на основі статистики Державної служби статистики України [35]), що складає ~23% від загальної кількості населення України [36]. Такий вибір був обумовлений довготривалим впливом чинників війни на ці території, в першу чергу – на Луганську та Донецьку області, активними бойовими діями саме в цих регіонах, що демонструє приклад найгіршого сценарію для лісових масивів на даний момент та дає можливість вивчити вплив війни на наявні лісові насадження, відслідкувати динаміку змін у лісовому покриві. Відштовхуючись від розвитку найгіршого сценарію та наявних результатів оцінки втрат лісового покриву, стає можливим планувати повоєнне відновлення в зоні інтересу (Харківська, Донецька, Луганська області), де лісові масиви знищуються майже повністю, а також в інших областях, де безпосередньо відсутні бойові дії та вплив війни є опосередкованим. Важливим чинником, що сприяв вибору вказаних областей також були попередні дослідження втрат лісів України [13], [14], [15], [37], результати яких вказували, що саме на цих територіях вплив війни та втрати є наймасштабнішими, і в той же час найбільш критичними, адже лісистість східних областей є майже найменшою серед усіх областей України, після південних. Така ситуація є вкрай критичною та небезпечною, адже стан лісів східних областей відіграє ключову екологічну роль у збереженні ґрунтів, біорізноманіття, захисту сільсько-господарських угідь, від нього залежить також і благополуччя місцевого населення.

Загальна площа території дослідження складає 84 600 км<sup>2</sup>, з яких частка лісів становить в середньому лише 12%. Територія дослідження майже повністю знаходиться у степовій зоні (Луганська та Донецька області), лише північна частина Харківської області захоплює лісостепову зону.

Степова зона лежить на півдні України та охоплює приблизно 39% загальної площі країни. Великі ділянки займають піщані степи, рідше – кам'янисті. Ґрунтовий покрив досить слабо розвинений у кам'янистих степах, тому рівень ерозії є достатньо високим. Відкрита місцевість, нерегулярні опади та дефіцит атмосферної вологи степової зони сприяє наявності сильних, гарячих вітрів, що, в свою чергу, впливає на особливості зростання деревних рослин та ведення сільського господарства в степу, на появу ерозії ґрунтів. Наслідком посушливого клімату Степової зони є «опускання рівня ґрунтових вод з подальшим відривом коренів від капілярної облямівки. При цьому, нестача води призводить до втрати стійкості деревостанів і їх повного або часткового усихання від різноманітних причин, найчастіше шкідників. Пожежа, суцільна рубка деревостану, або його проріджування призводить до накопичення води в ґрунті і підйому рівня ґрунтових вод, аж до заболочування» [38]. Середня лісистість степу складає 5.9%. Доволі широко розповсюджені густі формації чагарників, особливо навколо лісових масивів [39]. Згідно з даними, наведеними Державним агентством лісових ресурсів України, степова зона є найменш залісненою зоною України [40], тож знищення і без того нечисленних лісових масивів є вкрай актуальною проблемою сьогодення. Лісистість Харківської, Донецької та Луганської областей складає 12.0%, 11.0% та 6.9% відповідно (Рис. 6), при площі зазначених областей – 31 418 км<sup>2</sup>, 26 517 км<sup>2</sup> та 26 683 км<sup>2</sup> відповідно.

Лісоутворювальними породами степової зони є дуб звичайний (*Quercus Robur*), сосна звичайна (*Pinus Sylvestris*). У степовій зоні зустрічаються дубові ліси на вододілах, насадження берези звичайної (*Betula Pendula*), насадження осики європейської (*Populus Tremula*) на піщаних ґрунтах та в западинах, незімкнуті

насадження сосни звичайної на гранітних скелях. За площею ліси, як правило, невеликі та найчастіше ростуть вздовж річок, таких як Сіверський Донець, Оскіл тощо. У прибережних лісах зустрічаються такі породи, як вільха чорна (*Alnus Glutinosa*) та тополя (*Populus spp.*). У ландшафті степу також мають місце так звані байрачні ліси, що доволі густо покриті деревними насадженнями, де головними породами виступають дуб та береста, а також зустрічаються липа (*Tilia*), клен (*Acer*), ясен (*Fraxinus*), в'яз (*Ulmus*) [39].

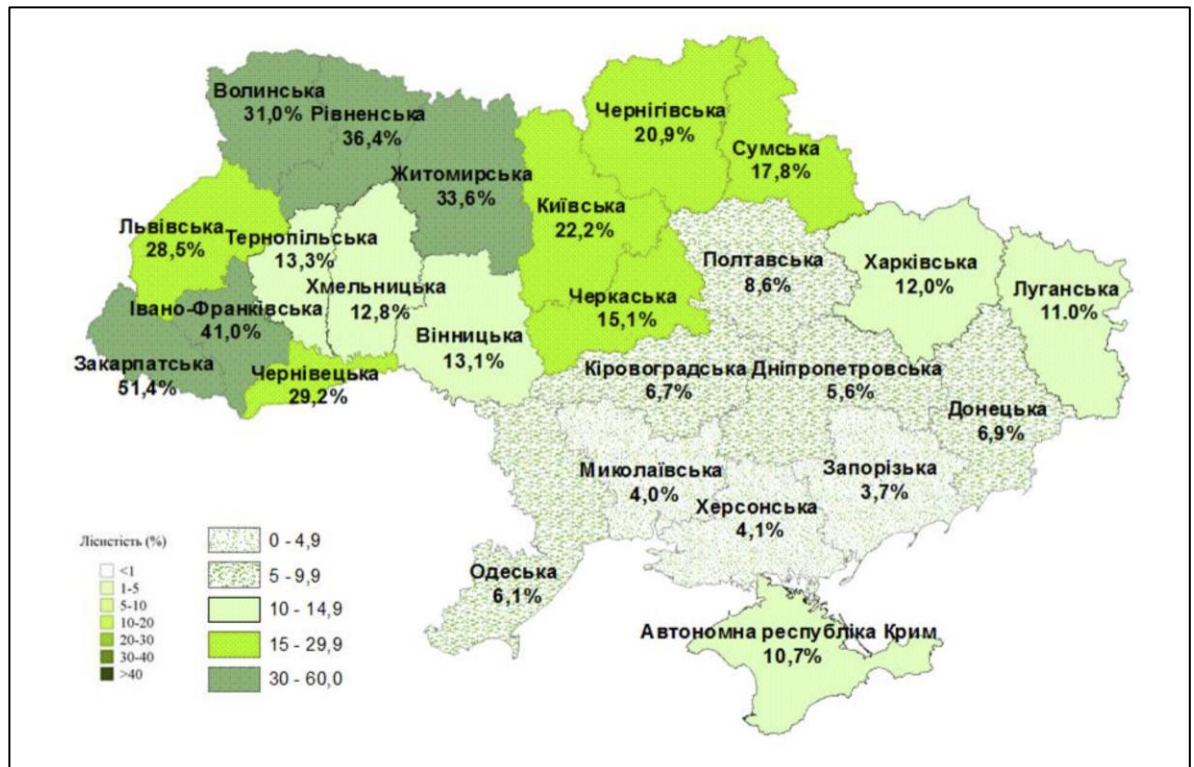


Рис. 6. Лісистість областей України (джерело: Державне агентство лісових ресурсів України)

Окрім низької лісистості, територія дослідження також характеризується низькою кількістю опадів (300 – 500 мм на рік) та високим рівнем випаровуваності (450 – 1100 мм на рік), що значно перевищує річну кількість опадів [41]. Це впливає не лише на річки та внутрішні води, але й на зволоження лісових горючих матеріалів. Посушливий клімат Степової зони, нарівні із багаторічною практикою створення штучних одновікових монокультур сосни звичайної [38], [42], яка є

найменш стійкою до вогню, в рази підвищує ризик виникнення та поширення на великі території лісових пожеж. Степова зона страждала від масштабних пожеж ще до 2022 року, до посилення бойових дій та посиленого використання різноманітних боєприпасів. Це, наприклад, підтверджується катастрофічними пожежами у липні та вересні – жовтні у 2020 році в Луганській області, які призвели до того, що «із загальної площі соснових лісів у Луганській області, яка становить біля 73 183 тис га, двома пожежами було пошкоджено або знищено 39570 га лісів, в тому числі, 34 553 га лісів (87%) загинули повністю або сильно пошкоджені та загинуть протягом найближчих років» [38]. Дещо слабші пожежі спостерігалися й у Харківській області, пошкодивши 8 000 га лісів [43]. Враховуючи нинішню ситуацію, коли має місце постійне ведення активних бойових дій, використання величезної кількості боєприпасів та неможливість доглядових засобів за лісовими масивами, такими як прорідження, прочищення, вилучення рослинних залишків, ураження лісів вогнем, на превеликий жаль, є неминучим.

## **2.2. Карта земельного покриву**

Для роботи над поставленими задачами кваліфікаційної роботи, виявленням типів ландшафтів на території інтересу і подальшої роботи з ними було використано карту земельного покриву, яка була розроблена в межах проєкту «Технічна підтримка розвитку лісової політики та впровадження національної інвентаризації лісів» (SFI) [44]. Внаслідок початку повномасштабної війни росії проти України, недоступність багатьох заліснених ділянок через окупацію, зменшення державного фінансування на проведення збору польових даних, проєкт не був виконаний у тому вигляді, який було заплановано спочатку – тобто, «протягом 5-річного циклу на близько 22 000 інвентаризаційних ділянок з регулярною мережею  $5 \times 5$  км» [45]. Задля продовження інвентаризації у важких умовах, що склалися після лютого 2022 року, у 2023 року було запроваджено інвентаризацію лісів із використанням

доступних методів ДЗЗ. У представленій роботі також використовується навчальна вибірка, на основі якої в проєкті розроблялася зазначена карта. За допомогою цієї вибірки та візуальної інтерпретації виконано розподіл площі території досліджень за визначеними типами ландшафтів.

### 2.2.1. Формування навчальної вибірки

В межах схеми інтерпретації та створення навчальної вибірки було виокремлено 8 найпоширеніших типів ландшафту: ліс, інша деревна рослинність, луки (природна трав'яна рослинність), сільськогосподарські угіддя, водно-болотні угіддя, водойми, урбаністичні території, інше. В процесі інтерпретації відбувався збір референтних даних для створення карти лісового покриву, що була використана в рамках проєкту SFI для класифікації земельного покриву території дослідження. Інтерпретація виконувалась візуально за обраною сіткою вибірових одиниць національної інвентаризації лісів України (2 716 точок), що були згруповані у кластери по 4 проби (Рис. 7), за допомогою сервісу Open Foris Collect Earth. На Донецьку, Харківську та Луганську область припало 836, 1 021 та 859 точок відповідно.

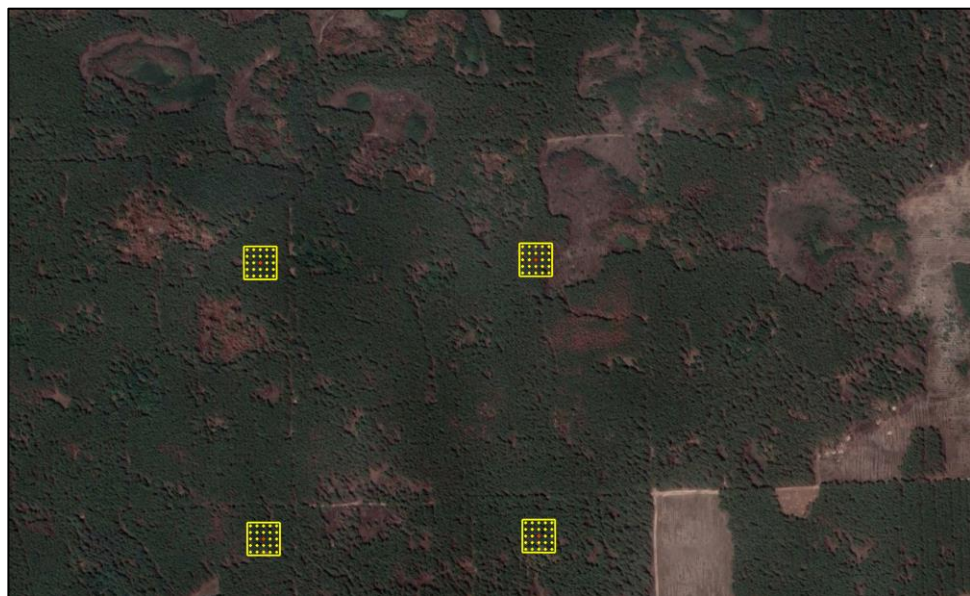


Рис. 7. Кластер із чотирьох проб у пошкодженому лісі Луганської області

### 2.2.2. Розподіл площі території досліджень за типами ландшафтів

Всього було виокремлено 8 основних типів ландшафту, згідно яких проводилась класифікація земель території дослідження та розподіл її площі. В загальному, на території дослідження найчисельнішими очікувано є сільськогосподарські угіддя, оскільки це є характерною рисою східних та південних областей України. Відносно розповсюдженими є луки (природна трав'яна рослинність) та ліси. Інші типи ландшафтів складають не більше 10%. Загальний розподіл площі території досліджень за типами ландшафтів, отриманий в результаті проведеної інтерпретації, наведений у Таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

#### Загальний розподіл площі території досліджень за типами ландшафтів

Тип ландшафту	Донецька область	Харківська область	Луганська область
Ліси	6,9%	16,4%	12,1%
Інша деревна рослинність	8,6%	6,4%	9,0%
Луки	23,1%	10,8%	26,4%
Сільськогосподарські угіддя	54,5%	59,3%	48,5%
Водно-болотяні угіддя	1,4%	3,5%	1,7%
Водойми	0,8%	1,6%	0,1%
Урбаністичні території	2,2%	2,2%	1,5%
Інші непродуктивні землі	2,4%	–	0,6%

У процесі аналізу кожної області з обраної території дослідження окремо, було отримано результати, що відображені на Рис. 8 – Рис. 10. Як видно із наведених на рисунках діаграм, відчутно домінують сільськогосподарські угіддя, їх середня частка складає 54,1%, причому, найбільше їх у Харківській області – 59,3%. Значною кількістю лук (природною трав'янистою рослинністю) вирізняються Донецька та Луганська області – 23,1% та 26,4% відповідно, тоді як у Харківській області цей показник становить лише 10,8%, середня частка даної категорії складає

20,1%. Найбільша площа лісів ідентифікована у Харківській та Луганській областях – 16,4% та 12,1%, тоді як у Донецькій області відсоток лісів становить лише 6,9%, що пояснюється її найбільш південним географічним розташуванням серед трьох областей території інтересу.

В середньому частка лісів по території інтересу склала 11,8%. Одержані дані підтверджують наведені раніше доволі низькі показники лісистості на території дослідження та ключове значення лісу з точки зору екології та надання екосистемних сервісів у східних областях. На значну важливість лісів безпосередньо у східних областях також впливає і той факт, що частка сільськогосподарських земель на території інтересу є високою, а ліси виконують, окрім усього, позахисні функції, захищаючи поля та ґрунти від вітрів, ерозії тощо. Більш детальна характеристика інших типів земельного покриття та землекористування, що присутні у пробах інвентаризації, таких як інша деревна рослинність, водно-болотяні угіддя, урбаністичні території, водні об'єкти тощо, не визначалась, оскільки вказані типи земельного покриття складають відносно невелику частку серед наявних пробних площ, яка не перевищує 10% для кожної окремої категорії.



Рис. 8. Розподіл площі Харківської області за типами ландшафту

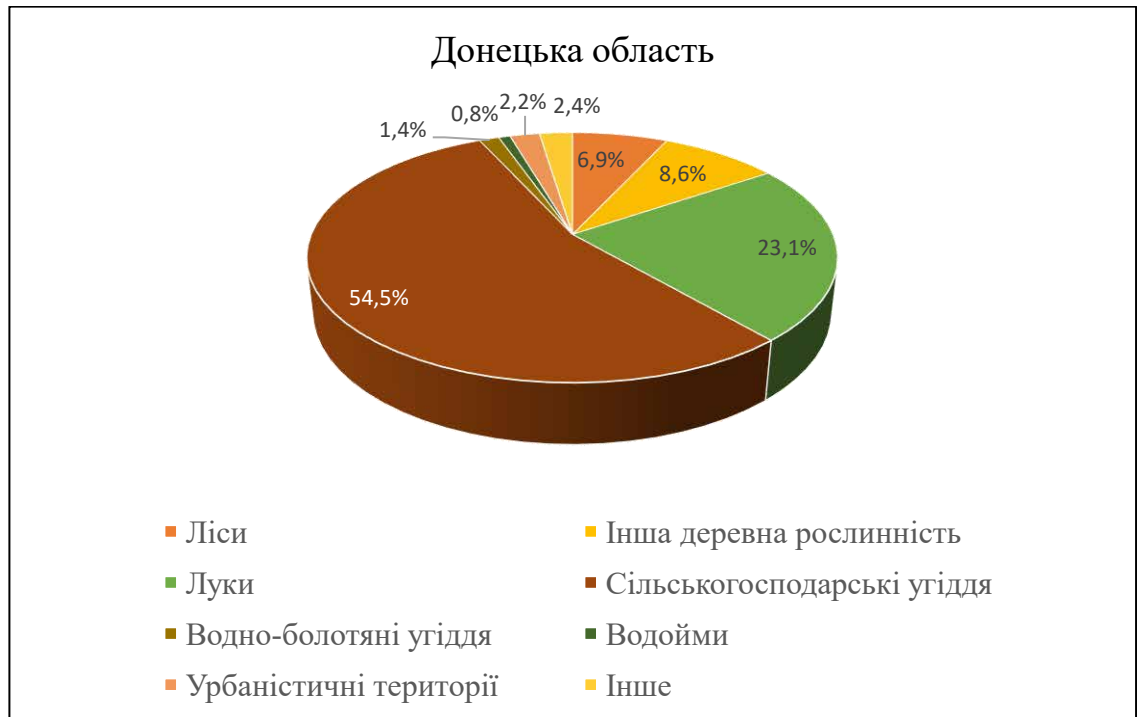


Рис. 9. Розподіл площі Донецької області за типами ландшафту



Рис. 10. Розподіл площі Луганської області за типами ландшафту

### 2.3. Ідентифікація пошкоджень за часовим періодом

Ідентифікація пошкоджень лісового покриву (згарищ) за часовим періодом виконувалась із використанням спектрального індексу NBR (Normalized Burn Ratio) та часових рядів Sentinel.

Індекс NBR обчислюється для кожного пікселя знімка за даними ближнього (NIR) та короткохвильового (SWIR 2) інфрачервоного каналів [46]:

$$NBR = 1000 \cdot (NIR - SWIR 2) / (NIR + SWIR 2), \quad (2.1)$$

де NIR – 8 канал супутникового знімку Sentinel, центральна довжина хвилі якого складає 0.842 мкм; SWIR – 12 канал супутникового знімку Sentinel, центральна довжина хвилі якого складає 2.190 мкм.

«Оскільки для даних Sentinel-2 канал 8 та канал 12 мають різне спектральне розрізнення (10 і 20 м відповідно), карти пошкоджень готуються за нижчого просторового розрізнення – 20 м» [47].

Як було зазначено вище, в зазначених каналах зміни спектральних характеристик рослинного покриву є найбільш відчутними та помітними, а їхня комбінація забезпечує контраст між тими територіями, що покриті рослинністю, та тими, на яких вона відсутня або в значній мірі пошкоджена. Це дає змогу якомога точніше ідентифікувати території, пройдені пожежами. В основу розрахунку цього показника за матеріалами супутникової зйомки покладено аналіз взаємозв'язку ступеня пошкодження рослинності, який можна встановити в натурі (за дефоліацією крон, всиханням дерев тощо), та її характеристиками у відповідних спектральних каналах. Із метою кількісної оцінки ступеня пошкодження вогнем територій використовуються часові ряди індексу NBR, на основі яких обчислюється індекс dNBR [46, 49]:

$$dNBR = NBR_{prefire} - NBR_{postfire}, \quad (2.2)$$

де  $NBR_{prefire}$  та  $NBR_{postfire}$  – це значення індексу NBR, розраховані за даними космічних знімків відповідно до та після пожежі.

#### 2.4. Обчислення площі пошкоджень

Обчислення площ пошкоджень лісових насаджень на обраній території дослідження було проведене в середовищі QGIS. Оскільки кожна одиниця пошкодження була представлена у вигляді одного пікселя, то отримані пікселі були спроектовані із розрізненням 20 м для зручності подальшого розрахунку площ пошкоджень.

В процесі розрахунків були використані функції Raster layer unique value report та Zonal statistics. За допомогою функції Raster layer unique value report було визначено загальну кількість пікселів (одиниць пошкоджень) на території дослідження та пораховано їхню загальну площу. За допомогою функції Zonal statistics було проведено аналіз растрового шару з пошкодженнями та векторного шару, що відображав райони обраних для дослідження областей. В результаті використання даної функції був отриманий розподіл пікселів по районах областей. Площа була вирахована за принципом додавання одиниць пошкоджень у кожній адміністративно-територіальній одиниці та множення їх на розмір пікселя. Агрегувавши отримані дані площ пошкоджень по районах, було отримано дані площ пошкоджень по областях. Детальні результати щодо отриманих площ представлені в наступному розділі.

#### Висновки до розділу 2:

1. Територія інтересу (Харківська, Луганська і Донецька області) була обрана, враховуючи низку факторів, таких як доволі низька площа лісів у поєднанні

з найбільшими втратами лісових масивів внаслідок впливу чинників війни та найактивнішим веденням бойових дій.

2. На обраній території інтересу спостерігається значний вплив кліматичних умов на лісові масиви. Клімат степу є посушливим, з низькою кількістю опадів та високим рівнем випаровуваності, що створює сприятливе підґрунтя для загорянь та поширення лісових пожеж. Ґрунти території інтересу схильні до ерозій.
3. Поширенню пожеж на території інтересу сприяють також розповсюджені монокультурні насадження сосни звичайної.
4. У результаті проведення інтерпретації типів земельного покриття із використанням карт земельного покриття, створених у проєкті SFI, було отримано наступний розподіл: найпоширенішими є сільськогосподарські угіддя, частка яких склала 54,1%, луки – 20,1% та ліси – 11,8%.
5. Задля ідентифікації пошкоджень лісового покриття (згарищ) активно використовуються такі спектральні індекси, як NBR, dNBR.
6. Площа пошкоджень за часовим розподілом та за адміністративно-територіальними одиницями була розрахована у середовищі QGIS за допомогою функцій Raster layer unique report та Zonal statistics.

## РОЗДІЛ 3

### ДИНАМІКА ПОШКОДЖЕНЬ ЛІСІВ

#### 3.1. Пошкодження та втрати лісів за період 2022 – 2023 років

У процесі дослідження було використано чотири часові періоди (з контрольними часовими точками на початку червня та вересня 2022 та 2023 років), для яких було ідентифіковано пошкодження лісового покриву та визначалася їхня динаміка. Ці періоди відповідають фазам початку та завершення вегетації рослинного покриву. Аналіз був проведений у середовищі QGIS.

Задля того, щоб отримати можливість працювати із пошкодженнями кожного обраного періоду окремо, файл із сукупними даними щодо пошкоджень був розкладений на окремі канали, кожен з яких відповідав одному з обраних періодів. Розкладання на канали було проведено у середовищі R, за допомогою коду, який наведений у Додатку А. Подальша обробка файлів – розрахунки площ пошкоджень, порівняння загальних площ пошкоджень за різні періоди, розбиття та розрахунок площ пошкоджень за адміністративними одиницями (області та райони), оцінка динаміки втрат лісового покриву, створення карт пошкоджень та динаміки втрат лісового покриву – виконувалась у середовищі QGIS.

На Рис. 11. зображено отримані карти пошкоджень лісових насаджень за період 2022 – 2023 років. Червоні області відповідають періодичним пошкодженням лісового покриву.

Пошкодження та їх динаміка ідентифікувалися за обраними періодами (2022-06-01 р., 2022-09-01 р., 2023-06-01 р. та 2023-09-01 р.) шляхом порівняння часових серій знімків Sentinel-2 для відповідних періодів 2021 року (до пошкодження). Отримані карти з візуалізацією пошкоджень наведені на Рис. 11. Візуально видно, що із кожним періодом кількість пошкоджень зростала, що є цілком закономірним, враховуючи темпи ведення війни та природний процес відмирання пошкоджених лісових масивів.

В результаті проведення необхідних обчислень у середовищі QGIS, були отримані наступні результати щодо втрат лісів за період 2022–2023 рр. Отримані результати наведені у Таблиці 3.1. Загальна площа втрат лісового покриву по областях була розрахована як сума площ втрат по районах кожної з областей відповідно. Площі втрат по районах були розраховані у середовищі QGIS із використанням функції Zonal Statistics.

Таблиця 3.1

### Загальні площі втрат лісів за 2022 – 2023 рр.

Адміністративна область	Період				Всього
	2022-06-01	2022-09-01	2023-06-01	2023-09-01	
Харківська область	1 817 га	1 357 га	11 078 га	14 021 га	28 273 га
Донецька область	875 га	1 784 га	6 782 га	9 451 га	18 892 га
Луганська область	2 198 га	19 073 га	15 459 га	20 284 га	57 014 га
Всього	4 890 га	22 214 га	33 319 га	43 756 га	104 179 га

З наведеної вище Таблиці 3.1. видно, що найбільше пошкоджень лісових масивів поміж трьох обраних областей території інтересу має Луганська область – пошкодження лісових насаджень склали 57 014 га, не зважаючи на те, що лінія фронту в цій області не проходить. Дані пошкодження є вдвічі більшими за показники Харківської області. Варто зазначити, з липня 2022 року Луганська область є окупованою на 95%, що однозначно впливає на отримані результати. Активні бої точилися в області з лютого 2022 року по липень 2022 року лише на відносно невеликій території області: на плацдармі Северодонецьк – Лисичанськ – Рубіжне. В основному ж, бойові дії проходили лише короткий час у 2014 – 2015 роках із приходом російських силовиків. Враховуючи, наведені факти, вплив війни безпосередньо на знищення настільки значних площ лісів виглядає недоречним. Втім, з огляду на отриману карту пошкоджень Луганської області видно, що основна кількість пошкоджень якраз зосереджена у Северодонецькому (особливо довкола районного центру, де жорстокі бої за місто точилися до 24 червня 2022 року [48]) та

Щастинському районах, що свідчить про абсолютно руйнівний вплив війни на лісові екосистеми цих територій.

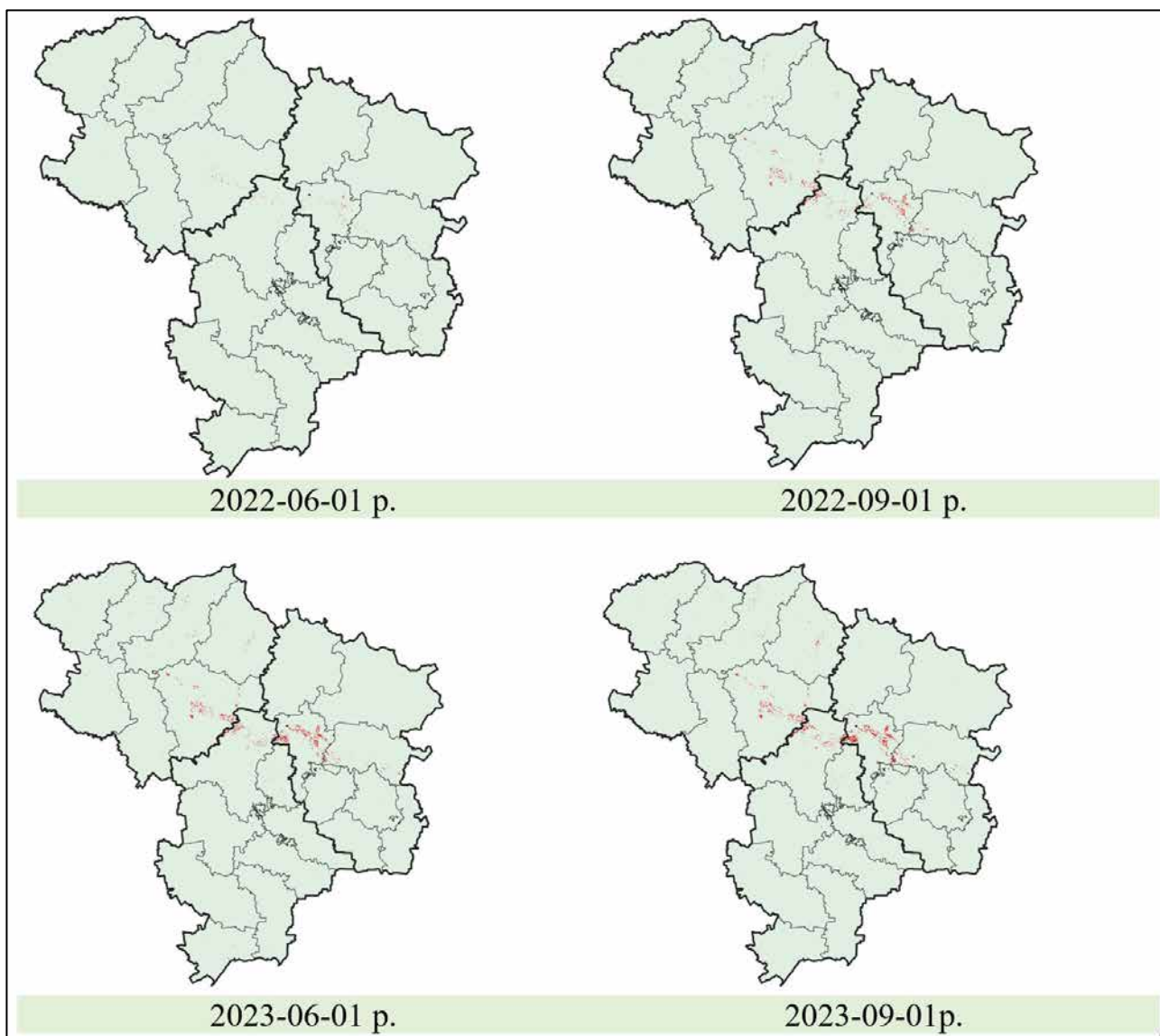


Рис. 11. Карти пошкоджень лісів за період 2022 – 2023 років

Отримані дані також можуть бути доказом викладеної у попередньому розділі інформації про активне вирубування українських окупованих лісів росіянами із метою використання для потреб своєї армії та безпосередньо отримання прибутку за продаж деревини [50]. Харківська та Донецька області мають меншу кількість пошкоджень, втім незначними отримані дані вважати не можна – площі пошкоджень Харківської та Донецької областей становлять 28 273 га та 18 892 га відповідно, що

становить 8% і 10% пошкоджень від середнього значення площі лісових масивів по областях. Враховуючи, той факт, що лісистість вказаних областей є досить невисокою – 12% та 6,9% відповідно, наведені площі пошкоджень є значними та втрати таких територій є екологічною катастрофою, подолання якої має бути пріоритетом, адже наслідки таких подій є руйнівними, як для природи та клімату, так і для суспільства та країни в цілому.

Також, на Рис. 12. наведено діаграму, що демонструє розподіл площ пошкоджень лісових насаджень за період 2022 – 2023 рр. для Харківської, Донецької та Луганської областей. На рисунку чітко прослідковується негативна тенденція зростання площ пошкоджень за кожний новий період дослідження для кожної з областей території інтересу. Невеликим зменшенням площ пошкоджень характеризується лише Харківська область у період між 2022-06-01 та 2022-09-01 та незначний спад спостерігається в Луганській області за період між 2022-09-01 – 2023-06-01. Важливо зазначити, що за період 2022-06-01 показники є відносно незначними для усіх областей – максимальна площа пошкоджень на початку червня 2022 року складає 2198 га. у Луганській області. Втім, на кінець періоду вегетації 2022 року у тій самій Луганській області площа пошкоджень зросла у майже 9 разі, тоді як в інших областях лишилось відносно без змін. Причиною різкого зростання пошкоджених лісових масивів стали бої за східні райони, в т.ч. місто Сєвєродонецьк, на кінець яких припав вказаний період дослідження. Варто зазначити, що незначні на початку, значення площ пошкоджень зростають у 8–10 разів наприкінці останнього часового проміжку дослідження (2023-09-01), і максимальні цифри вже становлять 20 284 га у Луганській області, а загальна сума площ пошкоджень складає 43 756 га. Такі результати досліджень наочно демонструють катастрофічні масштаби пошкодження/знищення лісових екосистем на сході України внаслідок активних бойових дій та впливу війни в цілому, а також нагальну необхідність поширювати інформацію щодо цієї проблеми, продовжувати дослідження та шукати можливі варіанти відновлення втрачених екосистем.

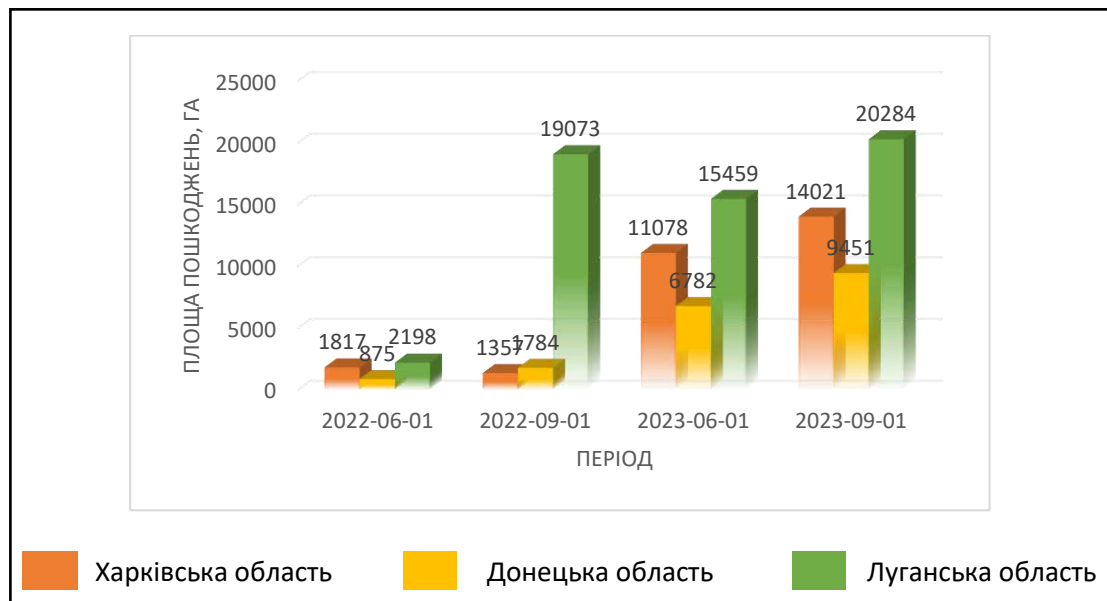


Рис. 12. Розподіл площі пошкоджень лісових насаджень за період 2022–2023 рр. для Харківської, Донецької та Луганської областей

### 3.2. Площа пошкоджень лісових насаджень за адміністративно-територіальну одиницю

Задля отримання більш точних результатів щодо розрахунків площ пошкоджень лісових насаджень та їх динаміки, було окремо прораховано площі пошкоджень за адміністративно-територіальними одиницями. Результати розрахунків площ наведені у Таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

#### Площа пошкоджень лісових насаджень за адміністративно-територіальну одиницю

Період: 2022-06-01					
Харківська область		Донецька область		Луганська область	
Райони	Площа (га)	Райони	Площа (га)	Райони	Площа (га)
Ізюмський р-н	1208	Покровський р-н	21	Старобільський р-н	11
Лозівський р-н	27	Горлівський р-н	3	Сватівський р-н	7
Богодухівський р-н	57	Бахмутський р-н	29	Ровеньківський р-н	1
Харківський р-н	117	Кальміуський р-н	2	Сєверодонецький р-н	1671
Красноградський р-н	38	Волноваський р-н	14	Алчевський р-н	8
Чугуївський р-н	276	Краматорський р-н	785	Луганський р-н	8
Куп'янський р-н	94	Маріупольський р-н	13	Щастинський р-н	492
		Донецький р-н	8	Довжанський р-н	0

## Продовження табл. 3.2.

Період: 2022-09-01					
Харківська область		Донецька область		Луганська область	
Райони	Площа (га)	Райони	Площа (га)	Райони	Площа (га)
Ізюмський р-н	28	Покровський р-н	15	Старобільський р-н	15
Лозівський р-н	14	Горлівський р-н	86	Сватівський р-н	6923
Богодухівський р-н	75	Бахмутський р-н	17	Ровеньківський р-н	328
Харківський р-н	153	Кальміуський р-н	29	Сєверодонецький р-н	40
Красноградський р-н	298	Волноваський р-н	32	Алчевський р-н	7015
Чугуївський р-н	58	Краматорський р-н	120	Луганський р-н	114
Куп'янський р-н	731	Маріупольський р-н	1424	Щастинський р-н	4412
		Донецький р-н	61	Довжанський р-н	226

Період: 2023-06-01					
Харківська область		Донецька область		Луганська область	
Райони	Площа (га)	Райони	Площа (га)	Райони	Площа (га)
Ізюмський р-н	8332	Покровський р-н	135	Старобільський р-н	89
Лозівський р-н	63	Горлівський р-н	67	Сватівський р-н	80
Богодухівський р-н	264	Бахмутський р-н	508	Ровеньківський р-н	23
Харківський р-н	446	Кальміуський р-н	41	Сєверодонецький р-н	12532
Красноградський р-н	87	Волноваський р-н	143	Алчевський р-н	41
Чугуївський р-н	1092	Краматорський р-н	5651	Луганський р-н	156
Куп'янський р-н	794	Маріупольський р-н	106	Щастинський р-н	2514
		Донецький р-н	131	Довжанський р-н	24

Період: 2023-09-01					
Харківська область		Донецька область		Луганська область	
Райони	Площа (га)	Райони	Площа (га)	Райони	Площа (га)
Ізюмський р-н	9889	Покровський р-н	192	Старобільський р-н	154
Лозівський р-н	92	Горлівський р-н	128	Сватівський р-н	345
Богодухівський р-н	413	Бахмутський р-н	835	Ровеньківський р-н	37
Харківський р-н	502	Кальміуський р-н	57	Сєверодонецький р-н	15900
Красноградський р-н	113	Волноваський р-н	211	Алчевський р-н	88
Чугуївський р-н	1442	Краматорський р-н	7674	Луганський р-н	202
Куп'янський р-н	1570	Маріупольський р-н	159	Щастинський р-н	3497
		Донецький р-н	195	Довжанський р-н	61

Для можливості візуальної оцінки пошкоджень лісових насаджень, на Рис. 13 (Рис. 13.1, Рис. 13.2, Рис. 13.3) представлено діаграми розподілу площ по районах Харківської, Донецької та Луганської областей.

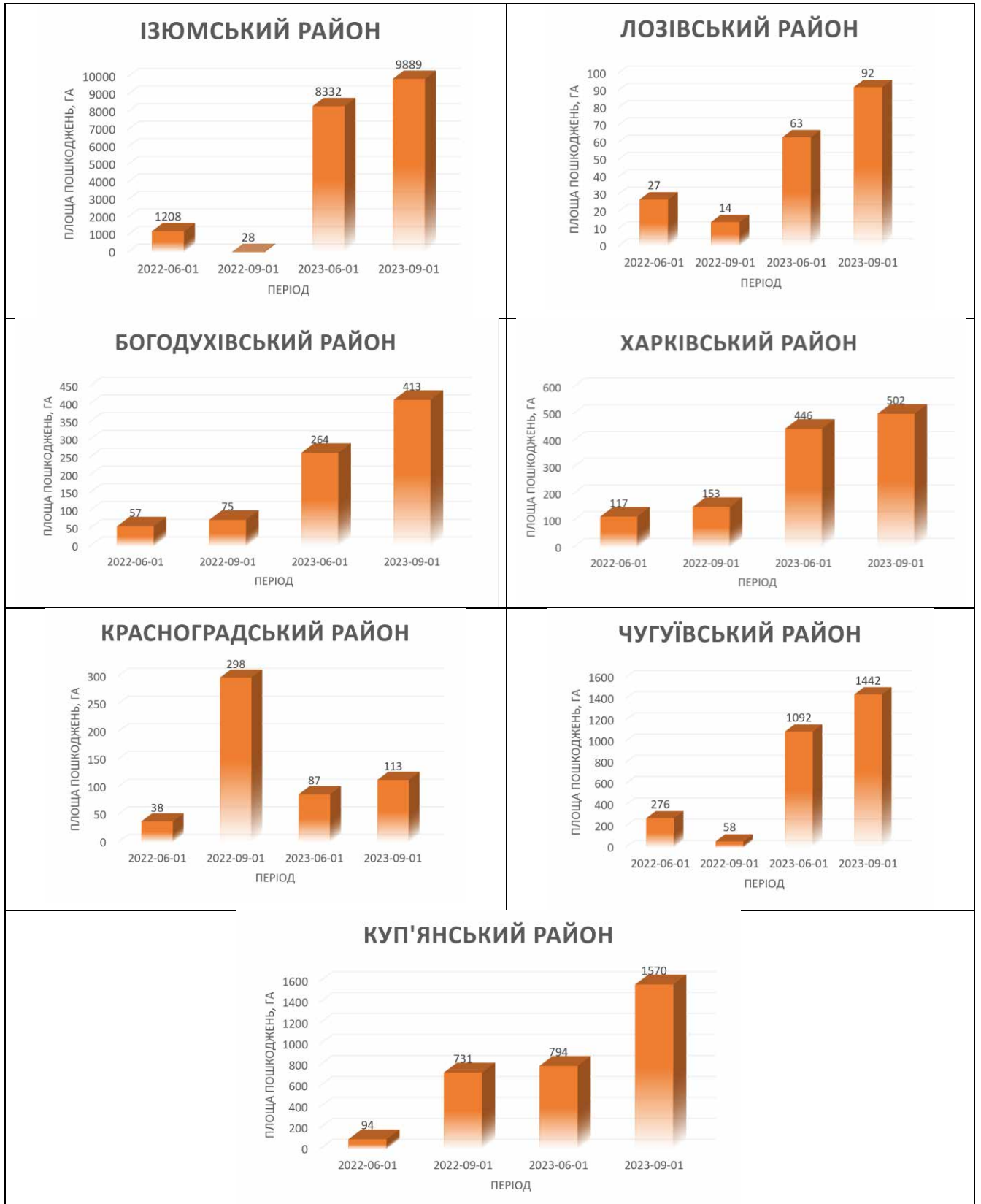


Рис. 13.1. Розподіл площі пошкоджень лісових насаджень за період 2022 – 2023 рр. для Харківської області

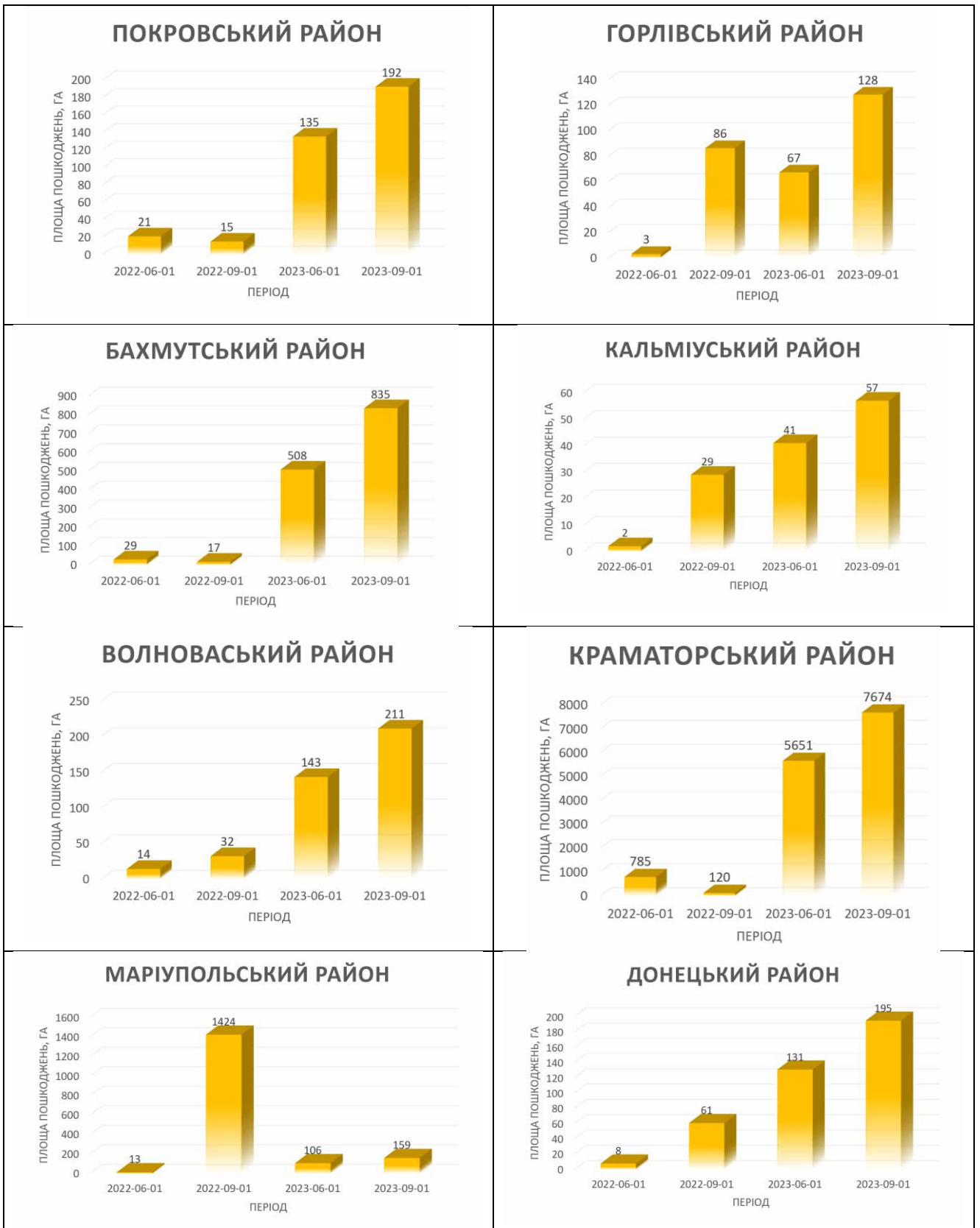


Рис. 13.2. Розподіл площі пошкоджень лісових насаджень за період 2022 – 2023 рр. для Донецької області

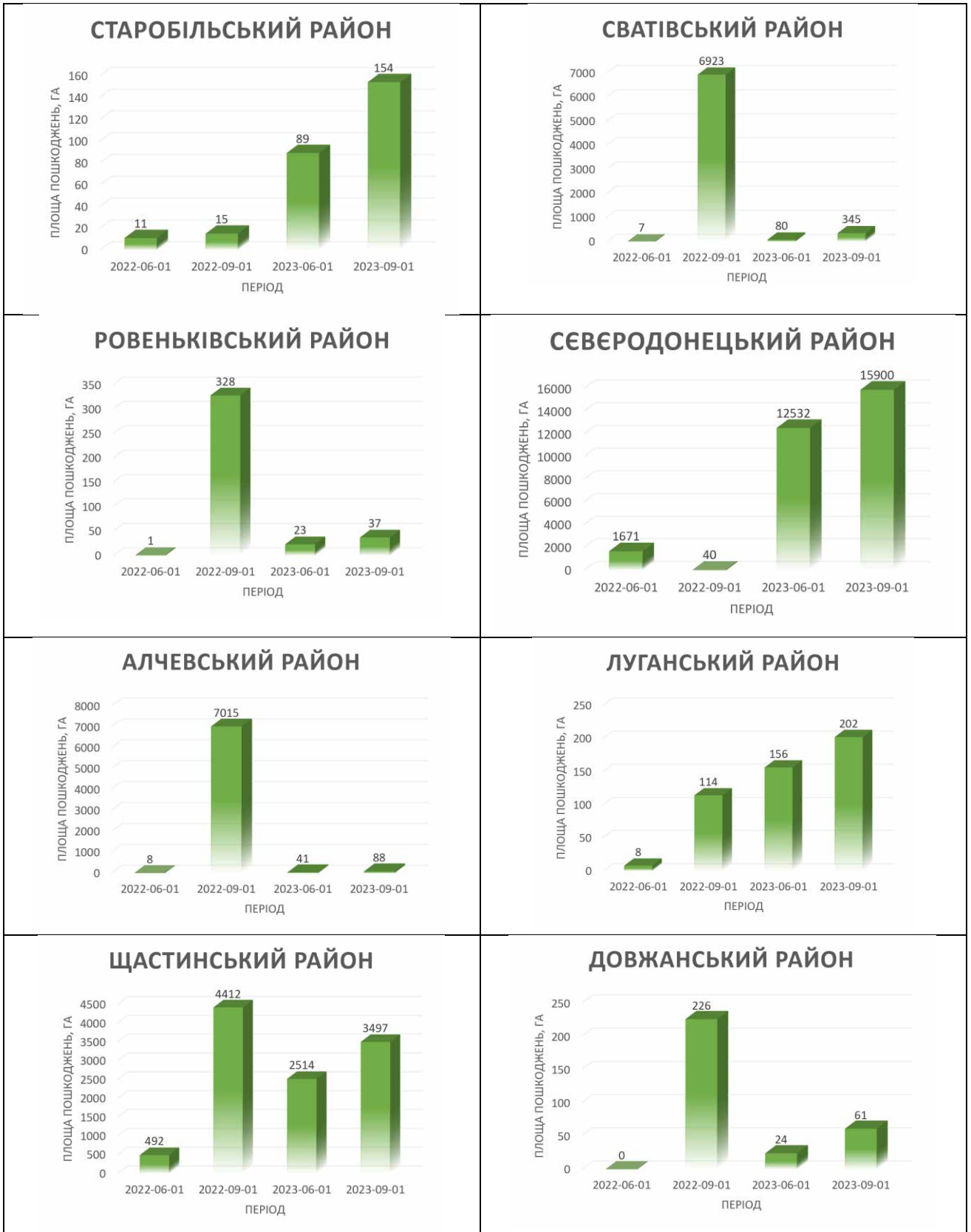


Рис. 13.3. Розподіл площі пошкоджень лісових насаджень за період 2022 – 2023 рр. для Луганської області

З діаграм на Рис. 13.1. – 13.3. видно, що, як правило, тенденція збільшення площі пошкоджень від початкового періоду до кінцевого зберігається для більшості з районів обраних областей. Втім, на деяких діаграмах видно різке збільшення площі пошкодження на проміжних періодах, а після – зменшення площі пошкоджень, як, наприклад у Красноградському районі Харківської області, Маріупольському районі Донецької області, в Щастинському, Довжанському та Ровеньківському районах Луганської області тощо.

Причин таких аномально швидких «відновлень» лісової рослинності може бути декілька. В наведених винятках показники значно зменшуються на початок літнього періоду, що може вказувати на наявність більшої кількості рослинності, ніж її було під час активних боїв на тій чи іншій місцевості. Втім, відновлення рослинності не завжди є показником відновлення безпосередньо лісу, оскільки наявність густого листяного або трав'янистого покриву та чагарників може слугувати перешкодою для супутникового сигналу і в майбутньому давати похибку, оскільки за показниками вегетаційних індексів чи індексу NBR ділянка вважатиметься неушкодженою та покритою здоровою рослинністю. Якщо ж пошкодження були незначними, лісова екосистема дійсно могла відновитись за певний проміжок часу самостійно.

Щоб проаналізувати динаміку пошкоджень лісового покриву, було створено градуїровані карти пошкоджень, що наведені на Рис. 14. З рисунку видно, що одним з найбільш постраждалих за весь час спостережень районів є Ізюмський район, в якому не фіксується періодів відновлення, така сама тенденція спостерігається в Щастинському районі, схожа – у Северодонецькому та інших районах, які були в зоні активних бойових дій.

Це пояснюється постійними активними боями за міста в цих районах. Фактично атаки та пізніше бої за Ізюм відбувались з кінця лютого до середини вересня 2022 року. Враховуючи подальші збільшення площі пошкоджень, можна зробити висновки, що лісові масиви були пошкоджені настільки сильно, що їхне

самостійне відновлення є неможливим. Подібна логіка застосовна також і до інших областей із такою динамікою.

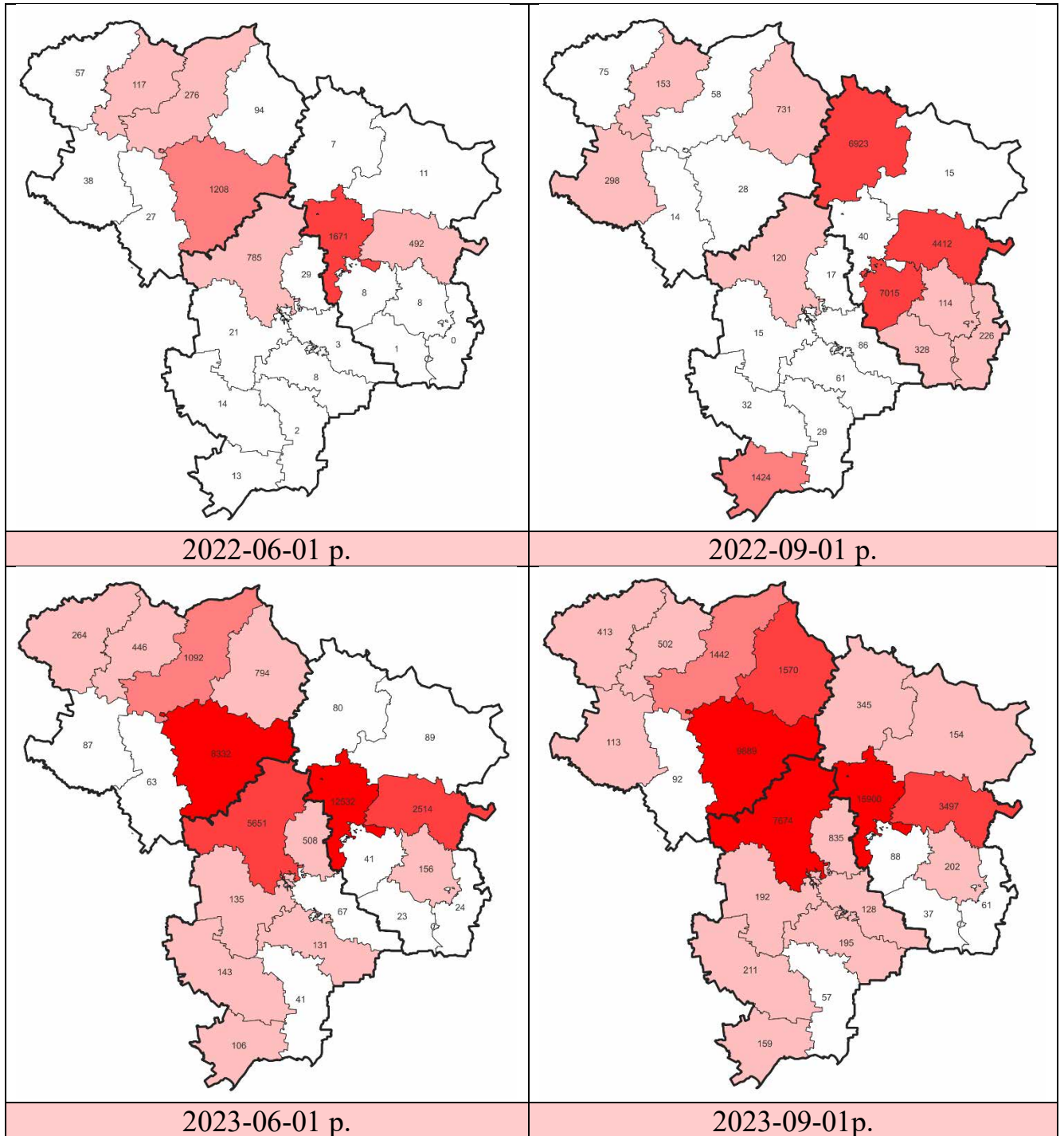


Рис. 14. Динаміка пошкоджень лісового покриву на території дослідження

У результаті проведених досліджень, розрахунків та порівнянь найбільш постраждалими районами згідно з розподілом площ пошкоджень виділено Северодонецький район Луганської області(15 900 га пошкоджених територій), Краматорський район Донецької області (7 674 га пошкоджених територій) та Ізюмський район Харківської області (9 889 га пошкоджених територій).

### **Висновки до розділу 3:**

1. Загальна (накопичена) площа пошкоджень лісових насаджень за період 2022–2023 років склала 104 тис. га (Харківська – 28 тис. га, Донецька – 19 тис. га, Луганська – 57 тис. га).
2. Оцінка пошкоджень проводилась за чотири періоди з контрольними датами 2022-06-01, 2022-09-01, 2023-06-01, 2023-09-01. Накопичені площі пошкоджень відповідно до цих дат склали: 5 тис. га, 22 тис. га, 33 тис. га та 44 тис. га.
3. Найбільш постраждалими районами визначено Северодонецький район Луганської області(15 900 га пошкоджених територій), Краматорський район Донецької області (7 674 га пошкоджених територій) та Ізюмський район Харківської області (9 889 га пошкоджених територій).

## ВИСНОВКИ

Проблема масового знищення та забруднення лісових насаджень війною є вкрай актуальною проблемою сьогодення, коли воєнні дії постійно та протягом тривалого часу впливають на ліси України та з кожним проміжком часу цифри площ пошкоджень збільшуються. Очевидно, що значна кількість пошкоджених лісових масивів не зможе відновитись самостійно по закінченню війни. Також, значні площі, де лісові масиви знищені повністю, потребуватимуть серйозних заходів, таких як технічна розробка лісосіки, підготовка ґрунту, створення лісових культур або проведення заходів сприяння природному поновленню. Важливо додати, що усі ліси, лісові землі, що постраждали від впливу війни, в обов'язковому порядку мають бути розміновані та очищені. Необхідно розуміти обсяги та серйозність пошкоджень задля ефективного планування післявоєнного відновлення.

Результати, отримані в ході написання магістерської кваліфікаційної роботи, підтверджують значні втрати лісового покриву вже за період 2022–2023 років. Використання методів ДЗЗ дозволило отримати досить точні дані з територій, які неможливо опрацювати фізично, та оцінити рівень пошкоджень лісового покриву. Отримана інформація може бути використана в майбутньому для обрахування завданої російською агресією екологічної шкоди, вивільнення депонованого вуглецю тощо. Також ці дані можуть стати основою для загальних розрахунків втрат лісового покриву після закінчення війни та для планування лісовідновлення та подальшого лісового менеджменту.

Після виконання усіх необхідних розрахунків було отримано наступні результати. Загальна площа пошкоджень лісових насаджень за період 2022–2023 років на території Харківської, Донецької та Луганської областей склала 104 179 га, з розподілом по областях 28 273 га, 18 892 га та 57 014 га відповідно. Оцінка пошкоджень проводилась за чотири періоди із контрольними датами на 2022-06-01, 2022-09-01, 2023-06-01, 2023-09-01. Площі пошкоджень відповідно до

періодів склали: 4 890 га, 22 214 га, 33 319 га та 43 756 га відповідно. Найбільш постраждалими районами визначено Сєверодонецький, Краматорський та Ізюмський.

Результати досліджень доводять, що вплив війни на лісові екосистеми є досить значним та масштабним, а відновлення лісових масивів потребуватиме ретельного планування та подальших оцінок пошкоджень лісового покриву.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Yermakov, V., Lunova, O., Averin, D. Potential territorial risk in eastern Ukraine. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. 2019. Vol. 28, 3. P. 600 – 609.
2. Shumilo, L., Skakun, S., Gore, M.L. *et al.* Conservation policies and management in the Ukrainian Emerald Network have maintained reforestation rate despite the war. *Commun Earth Environ*. 2023. Vol. 4, 443.
3. Загальна характеристика лісів України *Товариство лісівників України* : веб-сайт. URL: <https://tlu.kiev.ua/nasha-dijalnist/profesiino-pro-lis/objektivna-informacija-shchodo-lisiv.html> (дата звернення: 30.03.2024).
4. Понад €65 млрд збитків та майже 6,5 тисяч випадків знищення екосистем *Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України* : веб-сайт. URL: <https://mepr.gov.ua/ponad-e65-mlrd-zbytkiv-ta-majzhe-6-5-tysyach-vypadkiv-znyshhennya-ekosystem/> (дата звернення: 25.10.2024)
5. Filho, W. L., Fedoruk, M., Eustachio, J. H. P. P. *et al.* The environment as the first victim: The impacts of the war on the preservation areas in Ukraine. *Journal of Environmental Management*. 2024. Vol. 364.
6. Breidenbach, J., Waser, L. T., Debella-Gilo, M. *et al.* National mapping and estimation of forest area by dominant tree species using Sentinel-2 data. *Canadian Journal of Forest Research*. 2020. Vol. 51, 3.
7. Lister, A. J., Andersen, H., Frescino, T. *et al.* Use of Remote Sensing Data to Improve the Efficiency of National Forest Inventories: A Case Study from the United States National Forest Inventory. *Forests*. 2020. Vol. 11 (12), 1364.
8. Coops, N. C., *et al.* Framework for near real-time forest inventory using multi source remote sensing data. *Forestry: An International Journal of Forest Research*. 2023. Vol. 96, 1. P. 1 – 19.

9. Лесюк, Г. М., Соловій, І. П. Роль лісового сектору України в національному плані повоєнного відновлення і європейському зеленому курсі: попередній аналіз *Економіка України*. 2024. Вип. 67.08. С. 88 – 104.

10. Кузик, А. Д., Товарянський, В. І. Вплив воєнних дій на лісові екосистеми України та їх післявоєнне відновлення *Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності*. 2023. Вип. 27. С. 16 – 22.

11. Deepstate : веб-сайт. URL: <https://deepstatemap.live/en#6/49.3609115/36.0351563> (дата звернення: 07.11.2024)

12. Rodriguez-Jimenez, F., Novo, A., Hall, J. V. Influence of wildfires on the conflict (2006–2022) in eastern Ukraine using remote sensing techniques (MODIS and Sentinel-2 images). *Remote Sensing Applications: Society and Environment*. 2024. Vol. 35.

13. Myroniuk, V., Weinreich, A. *et al.* Nationwide remote sensing framework for forest resource assessment in war-affected Ukraine. *Forest Ecology and Management*. 2024. Vol. 569.

14. Matsala, M., Odruzenko, A., Hinchuk, T. *et al.* War drives forest fire risks and highlights the need for more ecologically-sound forest management in post-war Ukraine. *Sci Rep*. 2024. Vol. 14, 4131.

15. Irland, L. C., Iavorivska, L. *at al.* Russian Invasion: Rapid Assessment of Impact on Ukraine’s Forests. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*. 2023. Vol. 25. P. 146 – 155.

16. Third Rapid Damage and Needs Assessment (RDNA3) February 2022 – December 2023 / the World Bank, the Government of Ukraine, the European Union, the United Nations. URL: <https://ukraine.un.org/sites/default/files/2024-02/UA%20RDNA3%20report%20EN.pdf> (дата звернення: 31.03.2024).

17. За оцінками ООН, Україна - найбільш замінована країна у світі *Державне агентство лісових ресурсів України* : веб-сайт. URL: <https://forest.gov.ua/news/za->

[otsinkamy-oon-ukraina-naibilsh-zaminovana-kraina-u-sviti](#) (дата звернення: 07.11.2024)

18. Climate damage caused by russia's war in Ukraine 24 February 2022 – 23 February 2024 / Lennard de Klerk, Mykola Shlapak. URL: <https://en.ecoaction.org.ua/wp-content/uploads/2024/06/Climate-Damage-Caused-by-War-24-months-EN.pdf> (дата звернення: 19.10.2024)

19. Hermosilla, T., Wulder, M. A., White, J. C. *et al.* Land cover classification in an era of big and open data: Optimizing localized implementation and training data selection to improve mapping outcomes. *Remote Sensing of Environment*. 2022. Vol. 268.

20. Hislop, S., Haywood, A., Alaibakhsh, M. *et al.* A reference data framework for the application of satellite time series to monitor forest disturbance. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2021. Vol. 105.

21. Senf, C. & Seidl, R. Mapping the forest disturbance regimes of Europe. *Nature Sustainability*. 2021. Vol. 4. P. 63 – 70.

22. Duncan, E. C., Skakun, S., Kariryaa, A. *et al.* Detection and mapping of artillery craters with very high spatial resolution satellite imagery and deep learning. *Science of Remote Sensing*. 2023. Vol. 7.

23. Assessing the environmental impacts of the war in Ukraine *WWF* : веб-сайт. URL: <https://wwfcee.org/our-offices/ukraine/assessing-the-environmental-impacts-of-the-war-in-ukraine> (дата звернення: 19.10.2024)

24. Russia-Ukraine War: Environmental Impact / Nibulon, DTEK, Adama, Biodata. URL: [https://drive.google.com/file/d/16hgTjhBKU1-d\\_PtGsj9KNWhcjLoRyhMm/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/16hgTjhBKU1-d_PtGsj9KNWhcjLoRyhMm/view?usp=sharing) (дата звернення: 19.10.2024)

25. CORINE Land Cover *Copernicus* : веб-сайт. URL: <https://land.copernicus.eu/en/products/corine-land-cover> (дата звернення: 07.11.2024)

26. Zhu, Z. Change detection using Landsat time series: A review of frequencies, preprocessing, algorithms, and applications. *ISPRS Journal of Photogrammetry and*

*Remote Sensing*. 2017. Vol. 130. P. 370-384.

27. Open Foris. Free open-source solutions for forest and land monitoring *Open Foris* : веб-сайт. URL: <https://openforis.org/> (дата звернення: 06.09.2024)

28. Миронюк В.В. Інвентаризація рівнинних лісів України за даними супутникової зйомки : монографія. Харків : АТ «Харківська книжкова фабрика «ГЛОБУС»», 2020. 270 с.

29. Пожежі під час війни в Україні *УкрНДІЛГА* : веб-сайт. URL: <https://uriffm.org.ua/uk/news/521> (дата звернення: 03.11.2024)

30. Інтерактивна мапа територій, які потенційно можуть бути забруднені вибухонебезпечними предметами *Сервіс протимінної діяльності ДСНС* : веб-сайт. URL: <https://mine.dsns.gov.ua/> (дата звернення: 08.11.2024)

31. Forests contaminated by unexploded ordnance (UXO). What could be done with it? WWF : веб-сайт. URL: <https://wwf.ua/en/?6479466/forests-unexploded-ordnance> (дата звернення: 03.11.2024)

32. In Ukraine, tackling mine action from all sides to make land safe again *United Nations Development Program* : веб-сайт. URL: <https://www.undp.org/eurasia/stories/ukraine-tackling-mine-action-all-sides-make-land-safe-again> (дата звернення: 03.11.2024)

33. Трансформація лісоуправління та ведення лісового господарства на територіях, забруднених вибухонебезпечними предметами / Зібцев С. В. та ін. – WWF-Україна, 2022. – 169 с.

34. Вплив воєнних дій на ґрунт *Національний університет біоресурсів і природокористування України* : веб-сайт. URL: <https://nubip.edu.ua/node/121607> (дата звернення: 09.11.2024)

35. Чисельність населення та середня чисельність за періоди року *Державна служба статистики України* : веб-сайт. URL: <https://www.ukrstat.gov.ua/> (дата звернення: 09.11.2024)

36. Population, total – Ukraine *World Bank* : веб-сайт. URL: <https://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.TOTL?locations=UA> (дата звернення: 09.11.2024)

37. Лісоуправління на територіях, забруднених вибухонебезпечними предметами / Global Fire Monitoring Center (GFMC), Regional Eastern Europe Fire Monitoring Center (REEFMC), WWF. URL: <https://gfmc.online/wp-content/uploads/WWF-REEFMC-GFMC-Report-Forest-Management-UXO-Contaminated-Terrain-Ukraine-2022.pdf>

38. Зібцев, С.В., Савущик, В. М. та ін. Відновлення лісів Луганщини на згарищах в умовах змін клімату : монографія. Київ : «Comprint», 2022. 156 с.

39. Shahgedanova, M., Chibilyov A. Steppe and Forest-steppe. The Physical Geography of Northern Eurasia : textbook. Oxford University Press, Oxford, 2003. 570 с.

40. Загальна характеристика лісів України *Державне агентство лісових ресурсів України* : веб-сайт. URL: <https://forest.gov.ua/napryamki-diyalnosti/lisi-ukrayini/zagalna-harakteristika-lisiv-ukrayini> (дата звернення: 24.04.2024)

41. Степова зона *Земля* : веб-сайт. URL: <https://zemliaua.org/stepova-zona/> (дата звернення: 30.03.2024).

42. Ловинська, В. М. Продуктивність соснових насаджень Лівобережного Придніпровського Степу. *Український журнал лісівництва та деревознавства*. 2014. Вип. 198. С. 90 – 98.

43. Soshenskyi, O., Zibtsev, S., Gumeniuk, V. et al. The current landscape fire management in Ukraine and strategy for its improvement. *Environmental & Socio-economic Studies*. 2021. Vol. 9. P. 39 – 61.

44. Технічна підтримка розвитку лісової політики та впровадження національної інвентаризації лісів *SFI* : веб-сайт. URL: <https://www.sfi-ukraine.org.ua/project-output/> (дата звернення: 01.03.2024).

45. Сучасні інструменти моніторингу лісів – джерело достовірної інформації

про ліси та лісові ресурси *УкрДержЛісПроект* : веб-сайт. URL: <https://nfi.lisproekt.gov.ua/> (дата звернення: 17.03.2024)

46. Key, C.H., Benson N. Landscape Assessment: Ground measure of severity, the Composite Burn Index; and Remote sensing of severity, the Normalized Burn Ratio. *FIREMON: Fire Effects Monitoring and Inventory System* / Edition: RMRS-GTR-164. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Ogden, UT, 2006. P. 1 – 51.

47. Методологія створення мапи інтенсивності пожеж та рівнів пошкодження ґрунту / Миронюк, В. В., Зібцев С.В., Сошенський О. М., Гуменюк В. В. Київ : НУБіП України, 2021. 28 с.

48. Битва за Сєверодонецьк. Як Україна захищає місто та чи зможе його втримати *Українська Правда* : веб-сайт. URL: <https://www.pravda.com.ua/articles/2022/06/15/7352535/> (дата звернення: 08.11.2024)

49. Рекомендації з моніторингу лісових пожеж : затв. рішенням проблемної вченої ради НДІ лісівництва та декоративного садівництва НУБіП України, протокол № 10 від 7.11.2012 р.

50. Russia Stole Land and Grain. Now It's Taking Timber, Ukraine Says *The Wall Street Journal* : веб-сайт. URL: <https://www.wsj.com/articles/russia-stole-land-and-grain-now-its-taking-timber-ukraine-says-80de779c> (дата звернення: 17.03.2024).