

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ БУДІВНИЦТВА, ЗЕМЛЕУСТРОЮ
ТА ЦИВІЛЬНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ

Кафедра земельного адміністрування та геоінформаційних систем


Пояснювальна записка

до дипломної роботи бакалавра

на тему: «ГЕОІНФОРМАЦІЙНИЙ АНАЛІЗ ЕКОЛОГІЧНОЇ
ШКОДИ, ЗАВДАНОЇ ПРИРОДООХОРОННИМ ТЕРИТОРІЯМ УКРАЇНИ
ВНАСЛІДОК ВІЙСЬКОВИХ ДІЙ»

Виконав: студент 4 курсу, групи ГКЗ 2022-1
спеціальності 193 Геодезія та землеустрій
ОП Геодезія, картографія та землеустрій

 Вареник Альона Володимирівна

Керівник  Пілічева Марина Олегівна

Рецензент  Євдокімов Андрій Анатолійович

2026 року

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

Навчально-науковий інститут будівництва, землеустрою та цивільної інженерії
Кафедра земельного адміністрування та геоінформаційних систем
Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр
Спеціальність 193 Геодезія та землеустрій
Освітня програма Геодезія, картографія та землеустрій

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ЗА та ГІС
проф. Мамонов К.А.

 Восстановимая подпись

X 

Подписано: f054cc53-ba06-45d3-8422-a8d59cd399bb

«25» травня 2026 р.

ЗАВДАННЯ

НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТУ

Вареник Альоні Володимирівні

1. Тема роботи: Геоінформаційний аналіз екологічної шкоди, завданої природоохоронним територіям України внаслідок військових дій
керівник роботи: Пілічева Марина Олегівна, к.т.н., доцент
затверджені наказом вищого навчального закладу від 22.05.2026 року № 441-03
2. Строк подання студентом роботи 18 червня 2026 року.
3. Вихідні дані до роботи: відкриті дані NASA FIRMS (VIIRS), база даних WDPA, адміністративні межі GADM, дані OpenStreetMap.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): теоретичні засади дослідження екологічних наслідків військових конфліктів; методика і етапи геоінформаційного моделювання; результати дослідження та їх аналіз.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): карта екологічної шкоди; карта індексу шкоди для об'єктів.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Теоретичні засади дослідження екологічних наслідків військових конфліктів	Пілічева М.О., к.т.н., доц., доцент кафедри ЗА та ГІС	25.05.2026 <i>МЗ-</i>	30.05.2026 <i>МЗ-</i>
Методика і етапи геоінформаційного моделювання	Пілічева М.О., к.т.н., доц., доцент кафедри ЗА та ГІС	30.05.2026 <i>МЗ-</i>	04.06.2026 <i>МЗ-</i>
Результати дослідження та їх аналіз	Пілічева М.О., к.т.н., доц., доцент кафедри ЗА та ГІС	04.06.2026 <i>МЗ-</i>	09.06.2026 <i>МЗ-</i>
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Абракітов В.Е., к.т.н., доц., доцент кафедри ОП та БЖД	09.06.2025 <i>В.А.А.</i>	16.06.2025 <i>В.А.А.</i>

7. Дата видачі завдання: 25 травня 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Формування інформаційної бази щодо дослідження екологічної шкоди	27.05.2026	
2.	Теоретичні засади дослідження екологічних наслідків військових конфліктів	30.05.2026	
3.	Методика і етапи геоінформаційного моделювання	04.06.2026	
4.	Результати дослідження та їх аналіз	09.06.2026	
5.	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	16.06.2026	
6.	Оформлення роботи та нормоконтроль	18.06.2026	
7.	Попередній захист роботи	22.06.2026	
8.	Захист дипломного проекту (роботи) у ДЕК	24.06.2026	

Студент

А. Вареник

Вареник А.В.

Керівник проекту (роботи)

МЗ-

Пілічева М.О.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 64 с., 25 рис., 2 табл., 9 дод., 29 джерел, 12 слайдів презентації.

ПРИРОДООХОРОННІ ТЕРИТОРІЇ, ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ, ДИСТАНЦІЙНЕ ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ, ЕКОЛОГІЧНА ШКОДА, ВІЙСЬКОВІ ДІЇ, QGIS, ІНДЕКС ШКОДИ, ЗОНАЛЬНА СТАТИСТИКА.

Об'єкт дослідження – природоохоронні території України (об'єкти природно-заповідного фонду), що постраждали від військових дій.

Мета дипломної роботи – розробка та апробація методики геоінформаційного аналізу й картографування екологічної шкоди, завданої природоохоронним територіям України внаслідок військових дій з 24 лютого 2022 року, на основі відкритих даних дистанційного зондування Землі та ГІС-моделювання.

Методи дослідження – геоінформаційний аналіз, методи дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), оцінка щільності за ядром (KDE), зональна статистика, просторовий аналіз, порівняльний метод, метод індексного ранжування.

Розроблено методику геоінформаційного аналізу на основі даних NASA FIRMS (VIIRS) як проксі-індикатора кінетичної активності та бази даних WDPA. Ключовим елементом методики є синтетичний «Індекс шкоди» (Damage Index), що нормалізує теплове навантаження відносно площі об'єкта. Вся аналітична процедура автоматизована у Графічному моделювальнику QGIS.

Практичне значення отриманих результатів полягає у розробці науково обґрунтованого інструментарію для пріоритезації заходів з відновлення природоохоронних територій, документування екологічних злочинів та формування доказової бази для міжнародних позовів щодо відшкодування екологічних збитків.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ НАСЛІДКІВ ВІЙСЬКОВИХ КОНФЛІКТІВ	9
1.1 Екологічний вимір сучасних збройних конфліктів: світовий досвід та український контекст	9
1.2 Роль ГІС та ДЗЗ у дослідженні наслідків конфліктів.....	12
1.3 Характеристика джерел відкритих даних для дослідження	17
2 МЕТОДИКА ТА ЕТАПИ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОГО АНАЛІЗУ	20
2.1 Підготовка та попередня обробка вихідних даних.....	20
2.2 Просторовий аналіз та створення похідних шарів	26
2.3 Розробка та розрахунок інтегрального «Індексу шкоди».....	28
3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ АНАЛІЗ.....	33
3.1 Національний рівень: загальна візуалізація та просторовий аналіз	33
3.2 Макрорівневий аналіз: регіональний розподіл екологічної шкоди	35
3.3 Мікрорівневий аналіз: детальний розгляд ключових постраждалих об'єктів (кейси).....	38
3.4 Практичні рекомендації та напрямки подальших досліджень	43
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	45
4.1 Загальні положення охорони праці при роботі з геоінформаційними системами.....	45
4.2 Вимоги безпеки при роботі з комп'ютерною технікою.....	46
4.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях воєнного характеру	47
4.4 Розрахунок заходів з охорони праці.....	48
4.4.1 Розрахунок коефіцієнта природного освітлення	49
4.4.2 Оцінка рівня шуму	49
ВИСНОВКИ.....	51
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	53

ДОДАТОК А. Карта екологічної шкоди, завданої об'єктам природно-заповідного фонду України внаслідок військових дій (24.02.2022 – листопад 2025 р.).....	56
ДОДАТОК Б. Атрибутивна таблиця шару ПЗФ після розрахунку зональної статистики та інтегрального «Індексу шкоди»	57
ДОДАТОК В. Приклад візуалізації результатів аналізу за допомогою градуйованої символіки на основі «Індексу шкоди».....	58
ДОДАТОК Г. Схема автоматизованої моделі геопросторового аналізу.....	59
ДОДАТОК Д. Обробка супутникових знімків НПП «Кремінські ліси»: до та після повномасштабного вторгнення.....	60
ДОДАТОК Ж. Індекс шкоди для об'єктів ПЗФ Херсонської та Миколаївської областей.....	61
ДОДАТОК К. Аналіз шкоди для екосистем річкових долин (Сіверський Донець та Оскіл)	62
ДОДАТОК Л. Аналіз шкоди степових екосистем (РЛП «Донецький кряж» та «Єланецький Степ»).....	63
ДОДАТОК М. Демонстрація важливості нормалізації: порівняння абсолютних та нормалізованих показників шкоди	64

ВСТУП

Повномасштабне вторгнення Російської Федерації в Україну, що розпочалося 24 лютого 2022 року, призвело не лише до гуманітарної катастрофи, але й до безпрецедентної екологічної шкоди. Збройний конфлікт, що охопив значну частину території держави, завдає руйнівного удару по унікальних природних екосистемах, значна частина яких перебуває під офіційним захистом держави як об'єкти природно-заповідного фонду (ПЗФ).

Особливу гостроту проблемі надає поєднання кількох чинників: надзвичайно висока інтенсивність бойових дій, що включає масштабне застосування артилерії та авіації; розташування багатьох природоохоронних об'єктів безпосередньо в зоні активних бойових зіткнень або на окупованих територіях; унікальність і незамінність природних комплексів сходу та півдня України, які є осередками біорізноманіття та ключовими вузлами міграційних шляхів птахів.

Проведення повноцінних польових досліджень в умовах активних бойових дій є практично неможливим через пряму загрозу для дослідників та відсутність доступу на окуповані або мінонебезпечні території. Це створює критичну «інформаційну прогалину», яка унеможливорює оперативну оцінку масштабів шкоди та підриває формування доказової бази для документування екологічних злочинів і обґрунтування репараційних вимог.

Саме тому актуальність дипломної роботи зумовлена нагальною потребою у розробці та верифікації дистанційних методів оцінки екологічної шкоди – методів, які забезпечать об'єктивну та відтворювану інформацію про стан природоохоронних територій в умовах фізичної недоступності.

Мета дипломної роботи – розробити та апробувати методіку геоінформаційного аналізу й картографування екологічної шкоди, завданої природоохоронним територіям України внаслідок військових дій.

Для досягнення мети поставлено такі завдання:

- проаналізувати теоретичну базу досліджень екологічних наслідків збройних конфліктів та обґрунтувати ефективність ГІС-підходу;
- підібрати та критично оцінити відкриті джерела геопросторових даних для дослідження;
- розробити та реалізувати поетапну методику геоінформаційного аналізу з використанням даних NASA FIRMS та WDPA;
- розробити синтетичний «Індекс шкоди» для об'єктивного порівняння природоохоронних об'єктів різної площі;
- провести просторовий аналіз на національному, регіональному та локальному рівнях;
- автоматизувати аналітичний процес для забезпечення відтворюваності та масштабованості;
- сформулювати практичні рекомендації щодо використання результатів.

Об'єктом дослідження є природоохоронні території України (об'єкти природно-заповідного фонду), що постраждали внаслідок військових дій.

Предмет дослідження – методи геоінформаційного аналізу та картографування просторово-розподіленої екологічної шкоди на основі відкритих даних ДЗЗ.

Методи дослідження: геоінформаційний аналіз, методи дистанційного зондування Землі, оцінка щільності за ядром (KDE), зональна статистика, метод індексного ранжування та порівняльний аналіз.

Практичне значення отриманих результатів – розроблена методика та аналітичний продукт (карти, індекси, ранжування) можуть бути безпосередньо використані державними органами, міжнародними організаціями та судовими інституціями для пріорітезації відновлення ПЗФ та документування екологічних злочинів.

1 ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ НАСЛІДКІВ ВІЙСЬКОВИХ КОНФЛІКТІВ

1.1 Екологічний вимір сучасних збройних конфліктів: світовий досвід та український контекст

Традиційно оцінка збитків від збройних конфліктів фокусувалася на людських, економічних та культурних втратах. Однак, починаючи з другої половини ХХ століття, дедалі більше уваги приділяється екологічному виміру, оскільки військові дії завдають довіллю прямої та опосередкованої шкоди. Наслідки такого впливу можуть тривати десятиліттями, перетворюючи цілі регіони на зони екологічного лиха (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 – Прямий вплив військових дій на природні ландшафти [1]

Історичні прецеденти демонструють, що військові дії нерідко набувають форми «екоциду» – цілеспрямованого руйнування природних систем. Яскравим прикладом є війна у В'єтнамі, де застосування армією США дефоліанту «Агент Оранж» призвело до знищення мільйонів гектарів тропічних лісів, хімічного забруднення ґрунтів діоксинами та довготривалих наслідків для здоров'я людей (рис. 1.2).



Рисунок 1.2 – Застосування дефоліанту «Агент Оранж» армією США у В'єтнамі [1]

Іншим прикладом є війна в Перській затоці (1990–1991), під час якої підпал іракськими військами понад 600 нафтових свердловин у Кувейті спричинив катастрофічне забруднення атмосфери, кислотні дощі та розлив нафти у води затоки (рис. 1.3).



Рисунок 1.3 – Катастрофічне забруднення атмосфери внаслідок підпалу нафтових свердловин у Кувейті, 1991 р. [3]

Типологія екологічних збитків від військових дій охоплює декілька ключових напрямів: хімічне забруднення ґрунтів і вод (внаслідок детонації боєприпасів, руйнування техніки та ударів по промислових об'єктах у довілля потрапляють важкі метали, залишки вибухових речовин та нафтопродукти) (рис. 1.4).



Рисунок 1.4 – Забруднення ґрунтів важкими металами та залишками вибухових речовин [4]

Виникнення масштабних пожеж (артилерійські та ракетні обстріли провокують лісові й степові пожежі, які знищують екосистеми); фізична деградація ландшафтів (рух важкої бронетехніки та зведення фортифікаційних споруд безпосередньо руйнують земельні ресурси); втрата біорізноманіття (знищення природних середовищ існування та пряма загибель тварин) (рис. 1.5).

В умовах повномасштабного вторгнення РФ в Україну, що розпочалося у 2022 році, усі перелічені загрози набули безпрецедентних масштабів. Поєднання високої інтенсивності бойових дій, значної концентрації промислових підприємств у зоні конфлікту та унікальності природних комплексів на сході й півдні країни створює передумови для глибокої екологічної кризи.

Окрему загрозу становить забруднення водних ресурсів, спричинене руйнуванням гідротехнічних споруд, промислових об'єктів та систем

водопостачання. Потрапляння небезпечних хімічних речовин у річки, водосховища та підземні горизонти може мати довготривалі наслідки для екологічної безпеки та здоров'я населення. Крім того, масштабні руйнування інфраструктури потребуватимуть значних ресурсів для екологічного відновлення територій після завершення воєнних дій.



Рисунок 1.5 – Фізична деградація ландшафту внаслідок зведення фортифікаційних споруд [5]

Особливе занепокоєння викликає ситуація з об'єктами природно-заповідного фонду (ПЗФ), що опинилися в зоні окупації чи на лінії фронту, оскільки їх руйнування означає безповоротну втрату національного природного капіталу.

1.2 Роль ГІС та ДЗЗ у дослідженні наслідків конфліктів

Проведення повноцінних польових екологічних досліджень в умовах активних бойових дій є неможливим через пряму загрозу для дослідників. Це створює так звану «інформаційну сліпоту», що унеможлиблює оперативну

оцінку масштабів екологічної шкоди та створює ризик втрати доказової бази воєнних злочинів проти довкілля. За таких умов ключовим інструментом для об'єктивного моніторингу стають геоінформаційні системи (ГІС) та дані дистанційного зондування Землі (ДЗЗ).

Дані ДЗЗ є основним джерелом об'єктивної та неупередженої інформації про стан земної поверхні. Для моніторингу наслідків військових конфліктів найбільшу цінність мають:

- мультиспектральні оптичні знімки – супутники, такі як Sentinel-2 (ESA) та Landsat (NASA) [2], надають знімки з просторовою роздільною здатністю 10-30 метрів, що дозволяє візуально ідентифікувати сліди пожеж, вирубки лісів, руйнування інфраструктури та будувати аналітичні продукти. На основі цих даних розраховуються спектральні індекси (наприклад, NDVI – нормалізований вегетаційний індекс), які кількісно характеризують стан рослинності та її пошкодження (рис. 1.6);

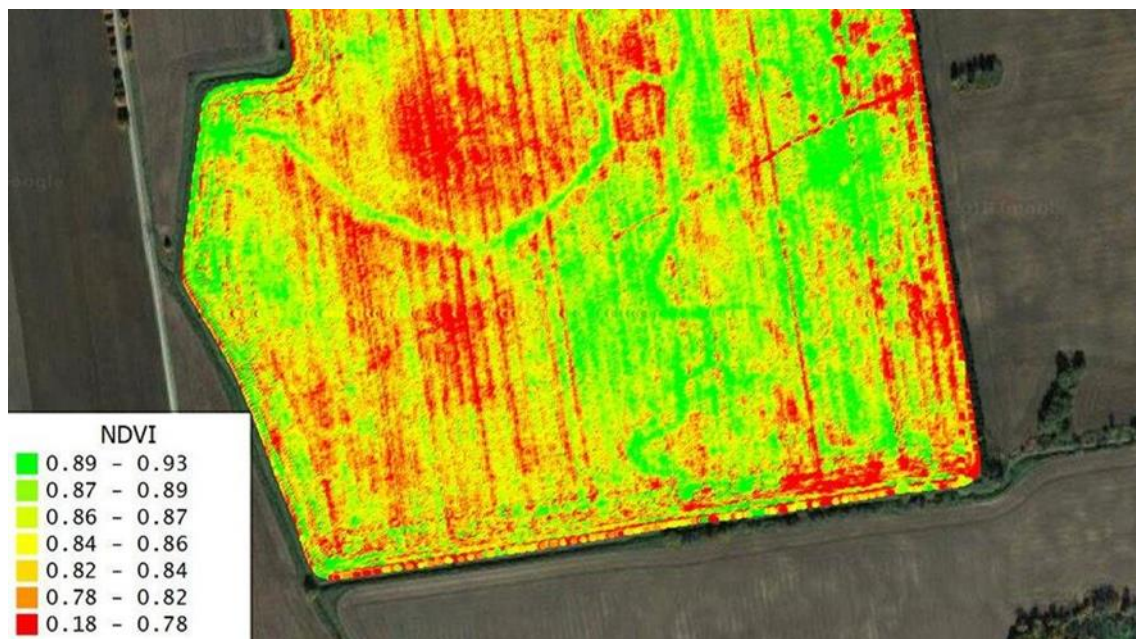


Рисунок 1.6 — Приклад використання індексу NDVI для оцінки стану рослинності [6]

- термальні дані – сенсори VIIRS (супутник Suomi NPP) та MODIS (супутники Terra/Aqua) реєструють теплові аномалії. Вони є надзвичайно

ефективними для оперативного, майже в реальному часі, виявлення пожеж. Глобальні системи, як-от NASA FIRMS (Fire Information for Resource Management System), базуються саме на цих даних;

– радіолокаційні дані (радарні) – супутники, як Sentinel-1, використовують технологію радара із синтезованою апертурою (SAR), що дозволяє отримувати зображення незалежно від хмарності та часу доби. Радарні дані чутливі до змін структури та рельєфу поверхні, що робить їх ефективними для виявлення вирв від снарядів, фортифікаційних споруд та руху важкої техніки (рис. 1.7);

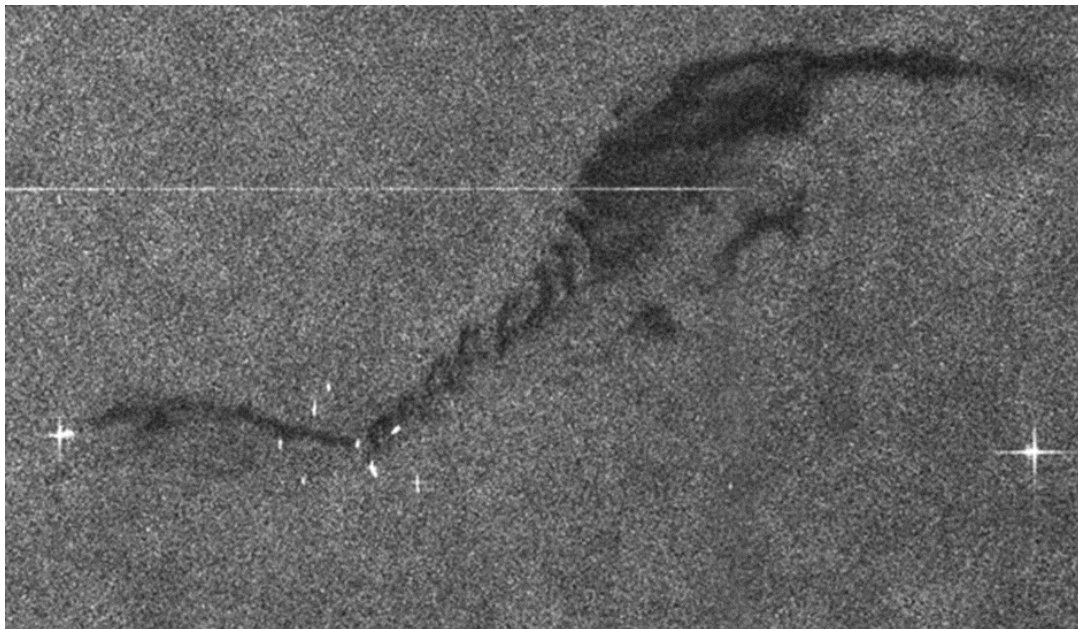


Рисунок 1.7 – Радіолокаційний знімок Sentinel-1, що дозволяє виявляти зміни рельєфу [7]

Геоінформаційні системи виступають як потужна аналітична платформа для інтеграції, аналізу та візуалізації цих різномірних просторових даних. ГІС дозволяють поєднувати супутникові знімки з векторними шарами (наприклад, межами об'єктів ПЗФ, даними про інфраструктуру) в єдиному середовищі. Це дає змогу не просто констатувати факт пошкодження, а й проводити кількісну оцінку за допомогою інструментів просторового аналізу, таких як зональна

статистика (розрахунок площі пожеж у межах заповідника) чи аналіз щільності (виявлення кластерів вирв) (рис. 1.8).

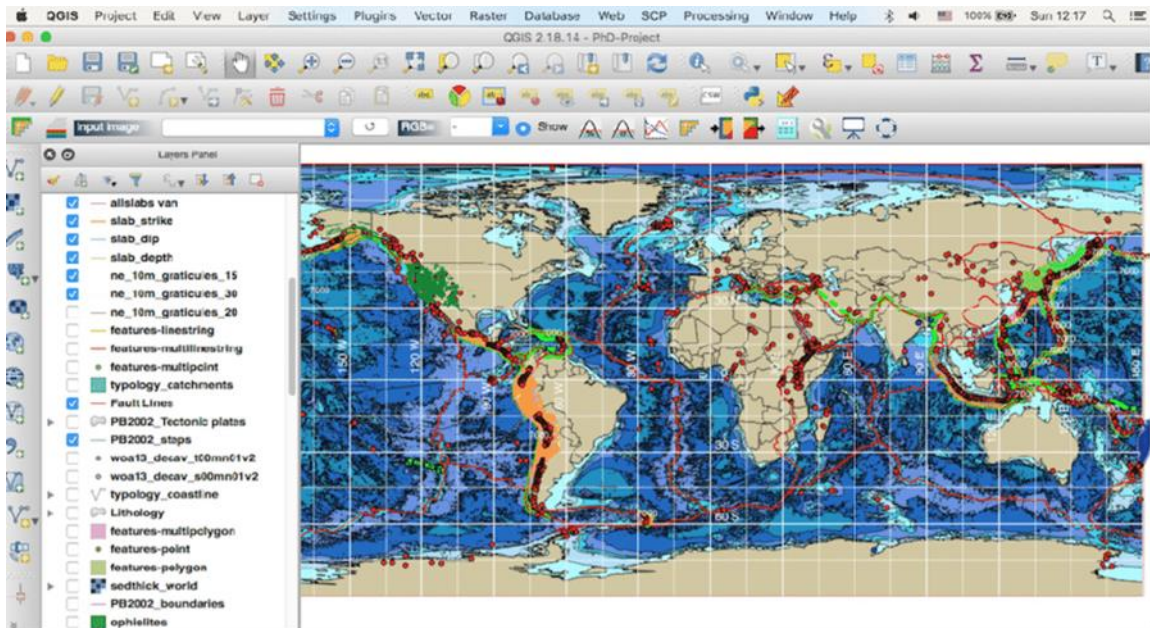


Рисунок 1.8 – Приклад поєднання різномірних просторових даних у ГІС [8]

Оскільки прямі дані з зони конфлікту часто відсутні, дослідники застосовують підхід на основі «проксі-індикаторів» – непрямих ознак, що з високою ймовірністю свідчать про певне явище. Наприклад, різке збільшення кількості теплових аномалій уздовж лінії фронту є надійним індикатором інтенсивності бойових дій. Цей принцип лежить в основі розвідки на основі відкритих джерел (OSINT), яку активно використовують авторитетні міжнародні організації, зокрема UNOSAT (Супутниковий центр ООН) та незалежні розслідувачі (напр., Bellingcat), для документування подій у зонах конфліктів.

Таким чином, синергія ГІС-технологій та даних ДЗЗ дозволяє подолати обмеження, пов'язані з фізичною недоступністю територій, та сформувати верифіковану доказову базу екологічних наслідків воєнних дій.

Далі наведемо аналіз існуючих систем та міжнародного досвіду.

Світова практика свідчить про високу ефективність використання ГІС-технологій для документування екоциду. Провідні організації, такі як Conflict

and Environment Observatory (CEOBS) та PAX, використовують комбіновані методи аналізу супутникових знімків для оцінки впливу конфліктів на довкілля.

Організація CEOBS спеціалізується на створенні детальних звітів щодо хімічного забруднення та деградації екосистем. Наприклад, їхні розслідування щодо наслідків бойових дій в Україні включають аналіз затоплення шахт на Донбасі та руйнування греблі Каховської ГЕС за допомогою радарних даних (SAR) (рис. 1.9) [9].



Рисунок 1.9 – Швидка оцінка стану затоплених промислових та інфраструктурних об’єктів вздовж річок Дніпро та Інгулець після руйнування Новокаховської дамби 6 червня 2025 року [10]

Супутниковий центр ООН UNOSAT забезпечує швидкий аналіз пошкоджень об’єктів критичної інфраструктури та природних ресурсів. Їхні звіти базуються на порівнянні архівних знімків та знімків у реальному часі для виявлення кластерів вирв та зон випаленої землі [11].

Програма ООН з навколишнього середовища (UNEP): У 2022 році UNEP опублікувала звіт «The Environmental Impact of the Conflict in Ukraine», де на

основі даних ДЗЗ було ідентифіковано сотні промислових об'єктів, пошкодження яких призвело до витоку токсичних речовин [12].

Синергія цих систем дозволяє сформувану верифіковану доказову базу екологічних наслідків воєнних дій, навіть за відсутності фізичного доступу до територій.

1.3 Характеристика джерел відкритих даних для дослідження

Для реалізації проєкту було використано комплекс відкритих геопросторових даних, підібраних для виконання конкретних аналітичних завдань.

Основне джерело даних – NASA FIRMS. Ключовим джерелом для ідентифікації кінетичної активності, пов'язаної з воєнними діями, є система NASA FIRMS – Fire Information for Resource Management System [13]. Це глобальна платформа, що агрегує дані про теплові аномалії. У даному дослідженні використовуються дані, отримані з сенсора VIIRS – Visible Infrared Imaging Radiometer Suite [14], встановленого на супутнику Suomi NPP.

Принцип роботи – сенсор VIIRS фіксує аномально високі температури на земній поверхні, які можуть бути індикаторами пожеж, вибухів боєприпасів чи горіння техніки.

Аналітичні переваги – дані мають високу частоту оновлення (кілька разів на добу) та глобальне покриття. Важливою перевагою є наявність атрибуту confidence (рівень впевненості), який дозволяє відфільтровувати сигнали з низькою ймовірністю та підвищувати надійність аналізу.

Обмеження та їх нівелювання – сенсор реєструє теплову аномалію, а не її причину, що може призводити до хибних спрацювань (наприклад, теплові викиди промислових об'єктів). Однак, застосування просторово-часового аналізу та фільтрації за рівнем впевненості дозволяє з високою точністю виокремити аномалії, безпосередньо пов'язані з бойовими діями. Таким чином,

дані FIRMS виступають головним проксі-індикатором інтенсивності конфлікту (рис. 1.10).

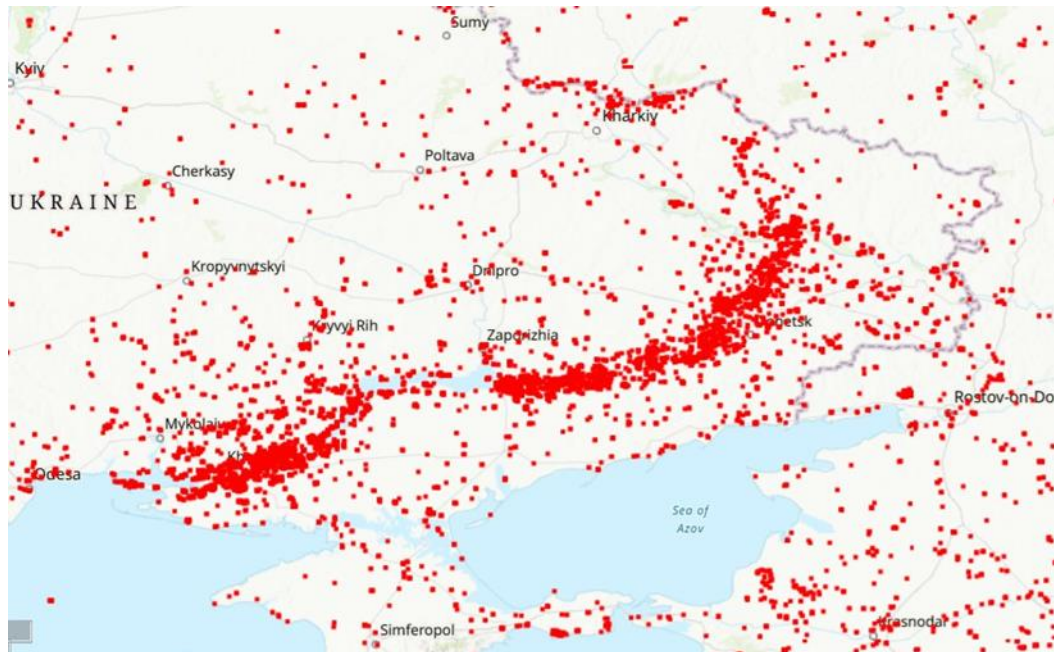


Рисунок 1.10 – Теплові аномалії, зафіксовані системою NASA FIRMS, як проксі-індикатор бойових дій [15]

Для ідентифікації та аналізу територій природно-заповідного фонду, що є основним об'єктом даного дослідження, було залучено World Database on Protected Areas (WDPA). Ця глобальна база даних, що підтримується Програмою ООН з навколишнього середовища, дозволяє точно локалізувати межі об'єктів для подальшої оцінки шкоди.

Основним об'єктом, на який спрямований аналіз, є території природно-заповідного фонду. Для їх ідентифікації використано World Database on Protected Areas (WDPA) [16] – найповнішу глобальну базу даних про охоронювані природні території, що підтримується Програмою ООН з навколишнього середовища (UNEP-WCMC). Ця база містить векторні полігони об'єктів ПЗФ (національні парки, заповідники, заказники), що дозволяє точно локалізувати їхні межі для подальшої кількісної оцінки шкоди.

Допоміжні та контекстуальні дані: адміністративні межі (GADM) – векторні шари державного кордону та областей України використовуються для

просторового обмеження області дослідження (обрізки глобальних наборів даних) та для агрегування результатів за регіональним принципом; дані OpenStreetMap (OSM) – шари гідрографії, дорожньої мережі та населених пунктів виконують функцію картографічної основи. Вони не залучені до розрахунків, але є необхідними для візуалізації, оформлення карт та кращої інтерпретації просторових закономірностей.

Деталізація ключових джерел: NASA FIRMS (сенсори VIIRS та MODIS) – ключове джерело для ідентифікації кінетичної активності; точність – сенсор VIIRS забезпечує роздільну здатність 375 м, що дозволяє локалізувати епіцентри пожеж на рівні лісових кварталів; обмеження – система реєструє будь-які джерела тепла. Для нівелювання хибних спрацювань використовується атрибут confidence (рівень впевненості); у дослідженні відфільтровуються значення нижче 70% для підвищення надійності аналізу.

Спектральні індекси (NDVI) – на основі мультиспектральних даних Sentinel-2 розраховується нормалізований вегетаційний індекс. Це дозволяє кількісно оцінити деградацію рослинного покриву. Обмеження: індекс може демонструвати сезонні коливання, що потребує порівняння з аналогічними періодами минулих років для підтвердження впливу саме воєнних дій.

World Database on Protected Areas (WDPA) – використовується як еталонний шар для локалізації меж об'єктів ПЗФ. Переваги: офіційний статус даних ООН. Обмеження: можливі неточності в межах окремих заповідників місцевого значення, що потребує верифікації через OpenStreetMap.

Таким чином, використана комбінація даних забезпечує комплексний та об'єктивний підхід до оцінки екологічної шкоди від військових дій, а відкритість усіх джерел гарантує відтворюваність дослідження.

2 МЕТОДИКА ТА ЕТАПИ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОГО АНАЛІЗУ

2.1 Підготовка та попередня обробка вихідних даних

Початковим етапом дослідження є попередня обробка вихідних геопросторових даних з метою їх стандартизації та підготовки до аналізу. Усі операції виконувались у програмному середовищі QGIS (v. 3.40.10).

Вибір QGIS (Quantum GIS) як основного інструментального середовища для виконання дослідження ґрунтується на комплексі його технічних та філософських переваг, що роблять його оптимальним рішенням для наукових та аналітичних проєктів:

- відкритий код та вільний доступ (FOSS) – QGIS є вільним програмним забезпеченням з відкритим вихідним кодом (Free and Open Source Software). Це означає повну відсутність ліцензійних платежів, що робить його доступним для науковців, державних установ та громадських організацій незалежно від бюджетних обмежень. Що важливіше, це забезпечує відтворюваність дослідження — будь-який інший дослідник може безкоштовно встановити ту ж версію ПЗ та крок за кроком повторити методологію для перевірки або подальшого розвитку результатів;

- потужний функціонал – незважаючи на безкоштовність, QGIS за своїми аналітичними можливостями не поступається, а в деяких аспектах і перевершує дорогі комерційні аналоги (наприклад, ArcGIS). Програма містить величезний набір вбудованих інструментів для роботи з векторними та растровими даними, включаючи геопроектинг, просторову статистику, інтерполяцію та аналіз зображень;

- розширюваність через плагіни – однією з ключових переваг QGIS є його модульна архітектура. Існує величезна бібліотека плагінів, що розробляються світовою спільнотою, які дозволяють розширити стандартний функціонал для вирішення вузькоспеціалізованих завдань – від обробки даних з дронів до складного гідрологічного моделювання;

– інтуїтивно зрозумілий інтерфейс та активна спільнота – QGIS має логічно структурований та гнучкий інтерфейс, що полегшує його освоєння. Величезна та активна міжнародна спільнота користувачів та розробників забезпечує наявність вичерпної документації, навчальних матеріалів, форумів для вирішення проблем та швидке виправлення помилок (рис. 2.1).

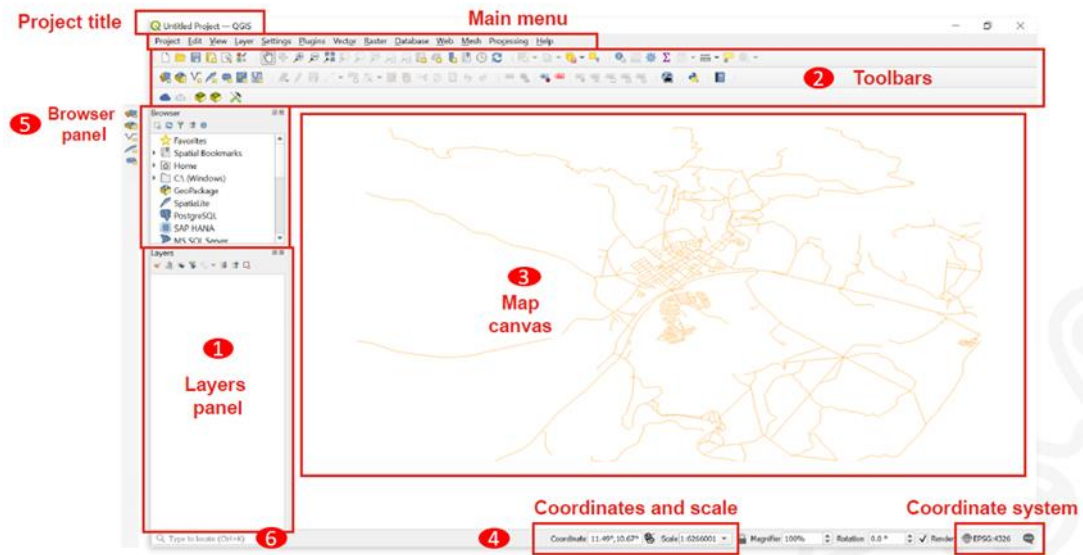


Рисунок 2.1 – Робочий інтерфейс геоінформаційної системи QGIS, що використовувалася для аналізу

Ключовим кроком було налаштування системи координат (CRS) проєкту. Для забезпечення коректності метричних розрахунків (площ, відстаней) було обрано проєкційну систему WGS 84 / UTM Zone 36N (EPSG:32636). Усі вихідні векторні шари були трансформовані в зазначену CRS, що гарантує аналітичну цілісність подальших операцій.

Вибір системи координат є фундаментальним кроком, що визначає точність усіх подальших просторових вимірювань. Важливо розрізняти два основні типи систем координат:

– географічні системи координат (GCS) – вони визначають положення на тривимірній, сферичній поверхні Землі. Координати в GCS виражаються в кутових одиницях – градусах широти та довготи (наприклад, стандартна

WGS 84). Такі системи ідеальні для визначення місцезнаходження в глобальному масштабі, але абсолютно непридатні для точних вимірювань відстаней чи площ на плоскій карті, оскільки довжина одного градуса довготи суттєво змінюється залежно від широти (рис. 2.2);



Рисунок 2.2 – Принципова відмінність між географічною (GCS) та проєкційною (PCS) системами координат [17]

– проєкційні системи координат (PCS) – вони є результатом математичного перетворення (проєкції) тривимірної поверхні Землі на двовимірну площину. Це перетворення дозволяє створити плоску карту з прямокутною сіткою, де координати виражаються в лінійних одиницях (зазвичай, у метрах). Саме це робить їх єдиним коректним вибором для аналізу, що потребує вимірювань.

Система WGS 84 / UTM Zone 36N (EPSG:32636) була обрана з таких причин:

– це проєкційна система (PCS): Вона використовує метри як одиниці виміру, що є критично важливим для коректного розрахунку площ об'єктів ПЗФ (в метрах або кілометрах квадратних) та щільності теплових аномалій. Без цього

розрахунок "Індексу шкоди", який є відношенням інтенсивності до площі, був би математично некоректним;

– проєкція UTM (Universal Transverse Mercator): Це одна з найпоширеніших та найточніших систем картографічних проєкцій. Вона ділить світ на 60 вертикальних зон шириною 6 градусів кожна. Використання вузьких зон дозволяє мінімізувати спотворення, неминучі при "розгортанні" сфери на площину;

– зона 36N: Територія України географічно розташована переважно в межах 35-ї, 36-ї та частково 37-ї зон UTM. Зона 36N охоплює центральну та значну частину східної України, де сконцентрована переважна більшість бойових дій та, відповідно, об'єктів дослідження. Вибір зони, що найкраще покриває ключову територію аналізу, забезпечує найменші спотворення та найвищу точність вимірювань саме для цієї області (рис. 2.3).

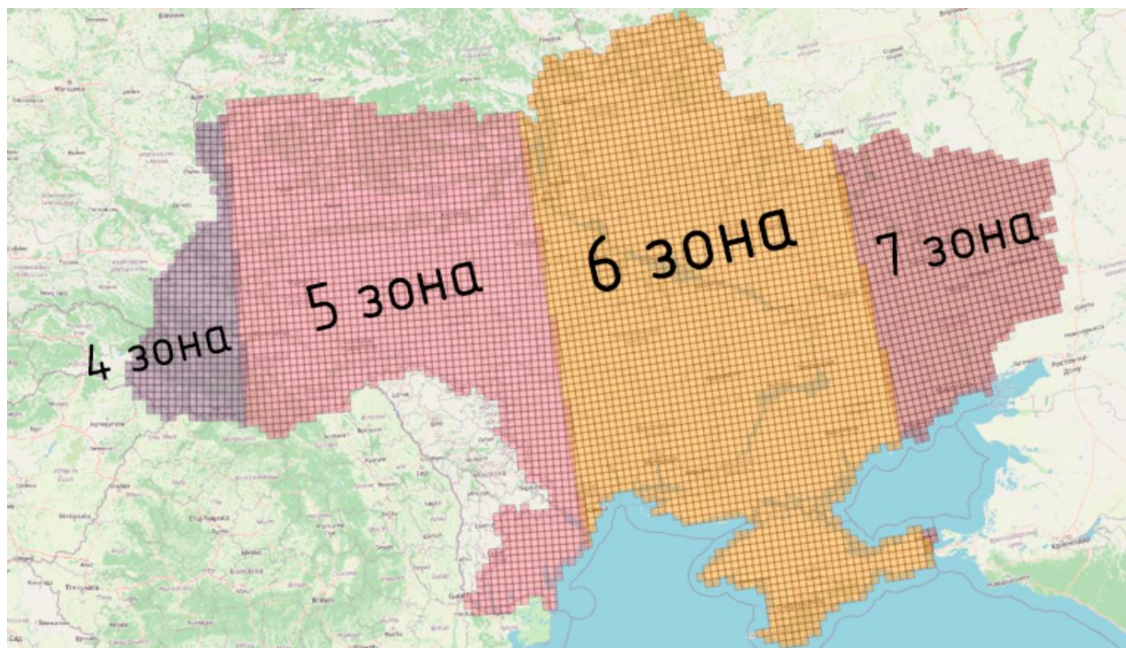


Рисунок 2.3 – Розташування території України в межах зон універсальної проєкції Меркатора [18]

Для забезпечення достовірності аналізу було використано дані з офіційних міжнародних репозиторіїв. Усі вихідні набори даних було завантажено у

форматах, придатних для геопросторової обробки (Shapefile, GeoJSON, CSV), станом на листопад 2025 року. Це дозволило сформувати цілісну базу даних для подальшого аналізу.

Основні характеристики вхідних масивів наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Характеристики вхідних масивів

Тип даних	Джерело отримання	Характеристики
Теплові аномалії	NASA FIRMS (LANCE) (https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/)	Дані сенсорів MODIS (Terra/Aqua) та VIIRS (SNPP/NOAA-20). Містять координати, інтенсивність (FRP) та рівень достовірності.
Природоохоронні зони	Protected Planet (WDPA) (https://www.arcgis.com/home/item.html?id=ae78aeb913a343d69e950b53e29076f7)	Векторні полігони Світової бази даних заповідних територій (UNEP-WCMC).
Адміністративні кордони	GADM (https://gadm.org/maps.html#google_vignette)	Високоточні вектори державного кордону України для просторового відсікання.

Процес попередньої обробки включав просторову та атрибутивну фільтрацію вихідних даних NASA FIRMS. Оскільки глобальний набір містить надмірний обсяг інформації, фільтрація здійснювалась алгоритмічно за трьома критеріями: часовим (вибірка записів строго з 24 лютого 2022 року по листопад 2025 року), атрибутивним (відбір точок з параметром *confidence* = 'high' для мінімізації похибок) та просторовим (використання інструменту перетину *Select by Location* для відсікання точок за межами державного кордону України).

Фільтрація даних NASA FIRMS – вихідний глобальний набір даних про теплові аномалії був надлишковим, тому до нього було застосовано послідовну фільтрацію за трьома критеріями:

- часовий – відібрано записи, зафіксовані в період з 24 лютого 2022 року;

- атрибутивний – для підвищення достовірності залишено лише точки з високим рівнем впевненості (*confidence = 'high'*);
- просторовий – за допомогою інструменту просторової вибірки відібрано аномалії, що локалізовані в межах державного кордону України. Отриманий відфільтрований набір точок було збережено в окремий shape-файл (рис. 2.4).

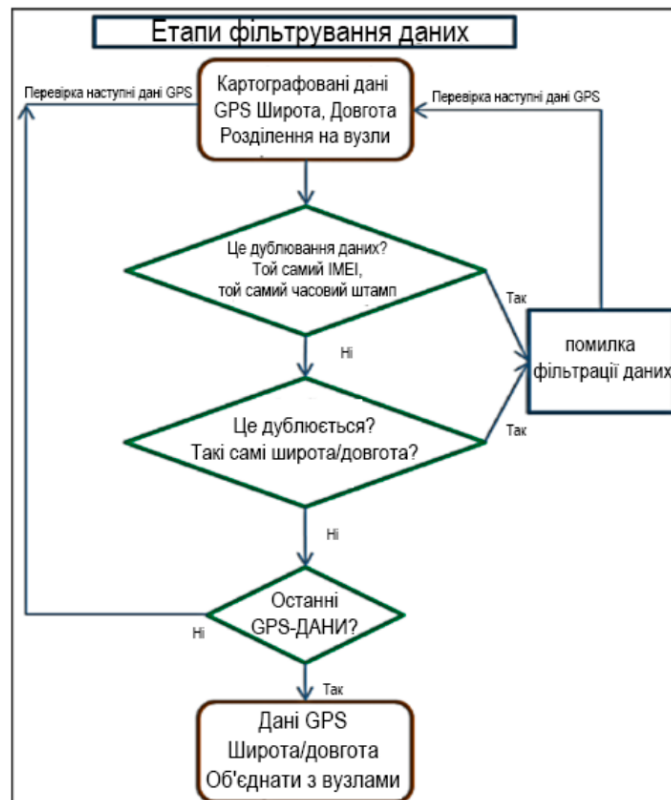


Рисунок 2.4 – Схема послідовної фільтрації вихідних даних NASA FIRMS для виокремлення релевантних записів

2. Обрізка (Clipping) векторних шарів. Для уніфікації просторового охоплення шар даних WDPA (об'єкти ПЗФ) був обрізаний за полігоном державного кордону України.

2.2 Просторовий аналіз та створення похідних шарів

Після підготовки даних виконано їх просторовий аналіз для переходу від дискретних точкових об'єктів до виявлення закономірностей та кількісної оцінки впливу.

Далі виконувалось моделювання щільності методом KDE. Візуалізація тисяч окремих точок теплових аномалій є малоінформативною для виявлення загальних тенденцій. Тому для ідентифікації просторових кластерів («гарячих точок») було застосовано алгоритм оцінки щільності за ядром (Kernel Density Estimation, KDE).

Математично цей алгоритм формує неперервну растрову поверхню шляхом накладання просторової функції (ядра) на кожну вихідну точку. Значення щільності зменшується від епіцентру до заданого радіусу, а підсумкова щільність у будь-якому пікселі карти обчислюється як сума значень усіх ядер, що перетинають цей піксель.

Для оптимізації моделі було обрано радіус пошуку 10 км — цей параметр емпірично обґрунтований середніми площами поширення масштабних пожеж, розльотом уламків та зонами теплового ураження від епіцентрів уражень. Розмір пікселя встановлено на рівні 100 метрів, що забезпечує достатню просторову роздільну здатність растра без надмірного перевантаження обчислювальних потужностей (рис. 2.5).

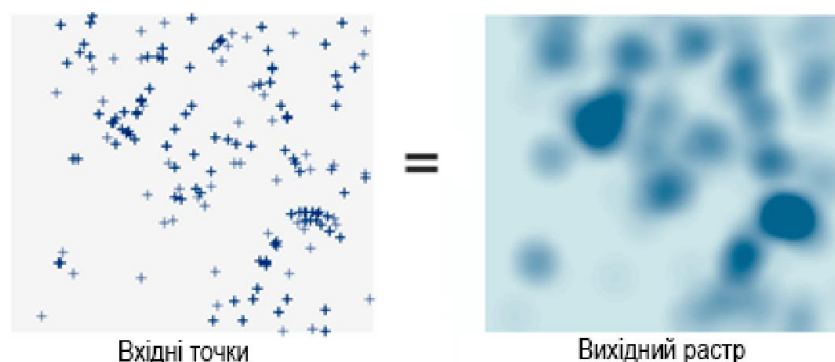


Рисунок 2.5 – Принцип роботи методу оцінки щільності за ядром (KDE): перетворення дискретних точок на неперервну поверхню [19]

Для переходу від візуального аналізу до кількісної метрики застосовано алгоритм інструменту «Зональна статистика». Алгоритмічно цей процес накладає векторні полігони (об'єкти ПЗФ) на створену растрову сітку (карту щільності KDE) та агрегує значення лише тих пікселів, геометричні центри яких потрапляють у межі конкретного полігону. Для кожного об'єкта були обчислені такі показники:

- сума (Sum) – сумарне значення всіх пікселів карти щільності, що відображає загальне «теплове навантаження» на територію;
- середнє (Mean) – середня щільність теплових аномалій на території;
- максимум (Max) – пікове значення щільності, що вказує на наявність осередку з найвищою концентрацією інцидентів (рис. 2.6).

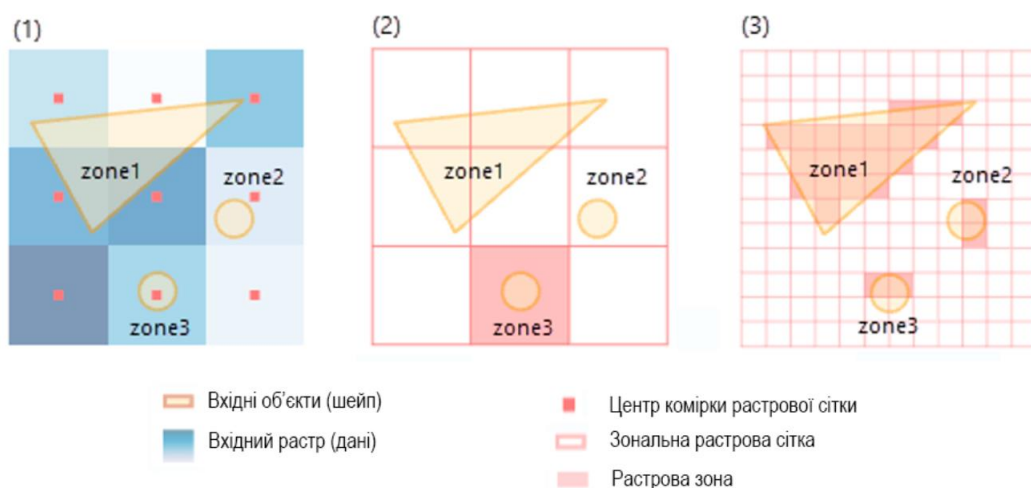


Рисунок 2.6 – Схема розрахунку зональної статистики для кількісної оцінки впливу на природоохоронні території [20]

В результаті виконання комплексу геопросторових операцій (алгоритмів обрізки Clip, оцінки щільності KDE та розрахунку Zonal Statistics) сирі набори розрізаних даних було перетворено на єдину аналітичну базу.

Основним результатом дослідження на цьому етапі стало створення нового похідного векторного шару об'єктів ПЗФ України. Його атрибутивна таблиця містить не лише базові геометричні характеристики територій, а й математично

розраховані показники теплового навантаження (сумарне, середнє та максимальне).

Для забезпечення відтворюваності цього багатокрокового процесу, всі застосовані алгоритми були об'єднані в Графічному моделювальнику (Graphical Modeler) QGIS. Це дозволило автоматизувати ланцюжок геообробки: від завантаження нових координат FIRMS до автоматичного перерахунку «Індексу шкоди» (Damage Index). Відповідно, отриманий результат є не просто разовою картою, а масштабованою аналітичною моделлю, готовою до інтеграції нових вхідних даних для регулярного моніторингу (додаток А).

2.3 Розробка та розрахунок інтегрального «Індексу шкоди»

Порівняння об'єктів ПЗФ за абсолютними значеннями зональної статистики (зокрема, за сумою) є методологічно некоректним через їхню різну площу. Велика за розміром територія може мати високий сумарний показник навіть за низької щільності інцидентів, тоді як невеликий заповідник може зазнати критичного впливу, маючи нижче абсолютне значення.

Для проведення об'єктивного порівняння територій різного розміру було розроблено та розраховано синтетичний «Індекс шкоди» (Damage Index). Необхідність його введення продиктована потребою в нормалізації даних відносно площі. Індекс розраховувався для кожного об'єкта ПЗФ за формулою:

$$\text{Damage_Index} = \frac{\text{ZS_sum}}{\text{Area_km}^2},$$

де ZS_sum – сумарна інтенсивність теплових аномалій (результат зональної статистики);

Area_km2 – площа об'єкта ПЗФ у квадратних кілометрах.

З екологічної точки зору, індекс інтерпретується як концентрація теплового навантаження на одиницю площі. Він дозволяє об'єктивно порівнювати між собою різні за розміром території та ранжувати їх за рівнем

відносного впливу. Введення цього показника є ключовим методологічним кроком, що перетворює вихідні дані на аналітичний інструмент для пріоритезації найбільш постраждалих природоохоронних територій (рис. 2.7).

ORIG_NAME	ZS_sum	ZS_mean	ZS_max	Area_km2	Damage_Ind
Kreminski Lisy	604550,596184...	33,1970016025...	56,2601432800...	181,75213	3326,23
Novosanzharskyi	285410,158570...	25,1617877608...	43,9134407043...	117,35145	2432,09
Siverskyi Donets river valley in Luhansk oblast	2916490,47377...	22,1368861293...	55,5781173706...	1312,10353	2222,75
Oleshkivski Pisky	997628,864806...	21,5904270956...	41,7784957885...	462,57737	2156,67
Donetskyi Kriazh Regional Landscape Park	159226,480267...	21,3985324912...	26,4175510406...	74,18065	2146,46
Elba Zakaznyk	15083,0155706...	19,7421669772...	23,0793819427...	7,56869	1992,81
Luhanskyi Nature Reserve	104869,009710...	19,2667664359...	44,9043121337...	54,08646	1938,91
Oskol	154568,775132...	18,7994131758...	29,6732978820...	82,04032	1884,05
Biloberezhzia Sviatoslava National Nature Park	91597,8185055...	17,6048084769...	29,0745697021...	52,37317	1748,94
Kinburnska Kosa	790861,278217...	17,0030158927...	39,3479919433...	465,32419	1699,59
Lisne Zakaznyk	4101,37692260...	14,9685289146...	15,7945213317...	2,70249	1517,62
Dobrianski Hory Zakaznyk	1647,99598503...	14,2068619399...	16,5206890106...	1,16291	1417,13
Stanychno-Luhanskyi	165490,376685...	13,9914082419...	48,7486076354...	117,75376	1405,39
Lower Dnipro	714690,583029...	13,7176695399...	26,2457733154...	521,16371	1371,33
Sviati Hory	587487,843215...	13,5365862492...	32,4840621948...	433,10928	1356,44
Black Sea Biosphere Reserve	317191,243173...	14,1755114038...	39,2293968200...	249,80089	1269,77
Dvorichanskyi National Nature Park	42626,3786182...	12,4311398711...	18,5015506744...	34,22821	1245,35
Steps of the Donets ridge	1435928,12435...	11,7013252198...	41,1976966857...	1222,71457	1174,37
Green depression	18256,5819253...	11,5841255871...	12,6423053741...	15,81117	1154,66
Chervonooskilske Reservoir	104999,430001...	10,4145437414...	14,1793661117...	100,53845	1044,37
Petrivski creeks	21334,0140004...	10,2027804880...	17,2223510742...	21,01352	1015,25
Loess outcrops of the Dnipro estuary	5915,25317811...	10,0428746657...	15,0983800888...	5,88623	1004,93
Sydorivskyi storks land	15264,8123030...	9,70426719838...	12,1463918685...	15,71028	971,64

Рисунок 2.7 – Атрибутивна таблиця шару ПЗФ після розрахунку зональної статистики та інтегрального «Індексу шкоди»

Отримання «Індексу шкоди» в атрибутивній таблиці (додаток Б) є ключовим аналітичним, але не фінальним візуальним етапом. Для того, щоб перетворити ці кількісні показники на переконливий картографічний продукт, який «розповідає історію», необхідно було візуалізувати цей індекс безпосередньо на карті.

Для цього в QGIS було застосовано метод градуйованої символіки (Graduated Symbology) до шару ПЗФ. Суть методу полягає у прив'язці числового поля Damage_Index до колірної шкали (Color Ramp). Території з низькими значеннями індексу автоматично отримують світлі відтінки, тоді як об'єкти з

високим, критичним рівнем відносного впливу, забарвлюються в насичені, «гарячі» кольори (наприклад, від жовтого до темно-червоного).

Такий підхід миттєво створює візуальну ієрархію, дозволяючи глядачеві одразу, без вивчення таблиць, ідентифікувати найбільш постраждалі природоохоронні території (рис. 2.8).

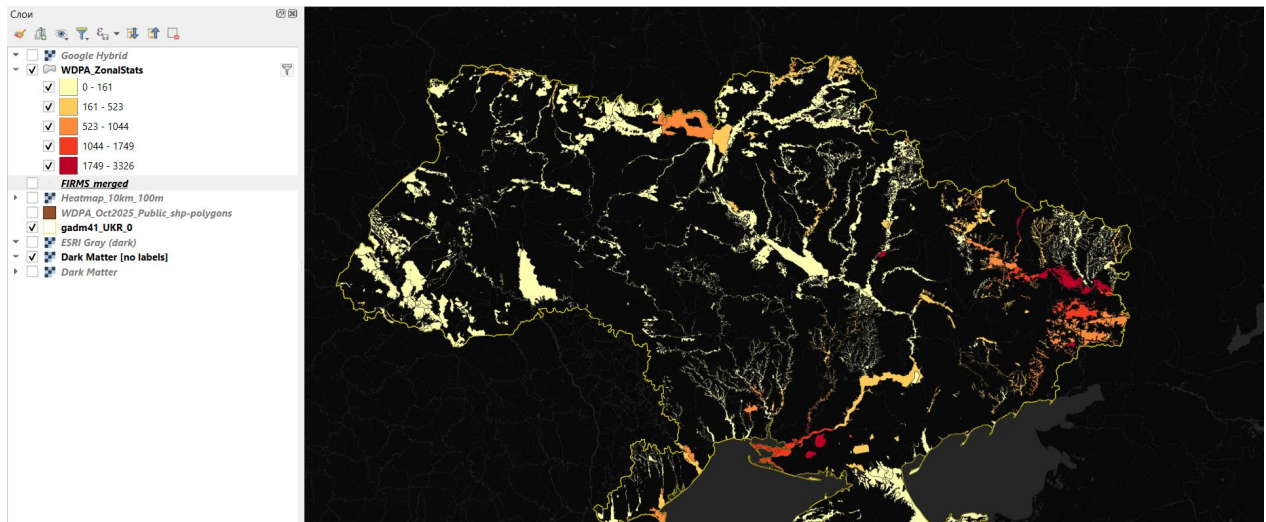


Рисунок 2.8 – Приклад візуалізації результатів аналізу за допомогою градуйованої символіки на основі «Індексу шкоди»

Весь процес, що призвів до створення фінальної карти (додаток В), складався з багатьох послідовних кроків: фільтрація вихідних даних, обрізка шарів, розрахунок KDE, зональна статистика та обчислення в калькуляторі полів. Виконання такої кількості операцій вручну не тільки забирає час, але й створює ризик людської помилки. Більше того, це робить дослідження важко відтворюваним та негнучким до оновлення даних.

Для вирішення цієї проблеми та переходу від разового проєкту до потенційної системи моніторингу, QGIS пропонує потужний інструмент – Графічний моделювальник (Graphical Modeler). Він дозволяє візуально об'єднати весь ланцюжок інструментів обробки в єдину, цілісну модель.

Створивши таку модель, аналітик може запустити весь багатоступеневий аналіз одним натисканням кнопки, просто вказавши нові вхідні дані (наприклад, свіжі дані FIRMS за наступний місяць). Це забезпечує 100% відтворюваність

результатів, економить час та перетворює проект на масштабовану та надійну систему (рис. 2.9).

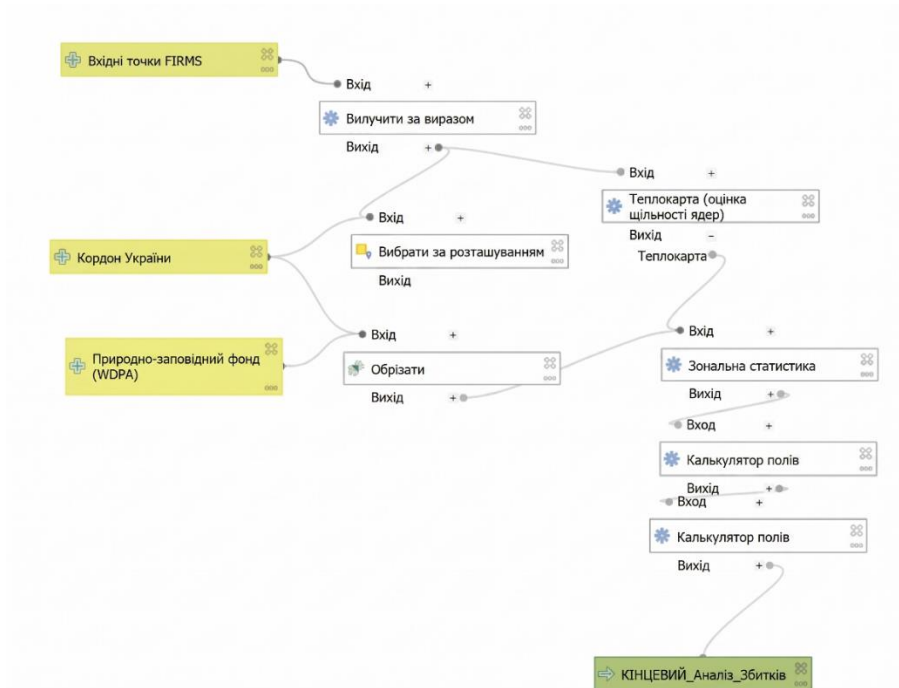


Рисунок 2.9 – Логіка автоматизованої моделі геопросторового аналізу

Вхідними даними є точки фіксації воєнних інцидентів FIRMS, межа території України та просторові дані природно-заповідного фонду, отримані з бази World Database on Protected Areas (WDPA).

На першому етапі здійснюється відбір точок FIRMS за заданими критеріями та їх просторове обмеження територією України. Далі на основі відібраних точок формується теплова карта методом оцінки щільності ядер (Kernel Density), яка відображає просторову інтенсивність прояву воєнних подій. Одночасно дані природно-заповідного фонду обрізаються за межами України для забезпечення коректності подальших розрахунків.

Наступним етапом є проведення зональної статистики, за допомогою якої визначаються показники впливу теплової карти в межах кожного об'єкта природно-заповідного фонду. Отримані статистичні характеристики використовуються для розрахунку площ територій та подальшого оцінювання потенційних екологічних збитків за допомогою інструментів калькулятора полів.

Результатом виконання моделі є підсумковий набір даних «КІНЦЕВИЙ_Аналіз_Збитків», який містить просторову та атрибутивну інформацію щодо рівня потенційного впливу воєнних дій на природоохоронні території України.

Запропонована модель (додаток Г) забезпечує автоматизацію процесу аналізу, підвищує точність обробки просторових даних та дозволяє оперативно оцінювати масштаби екологічних втрат у межах природно-заповідного фонду.

3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ АНАЛІЗ

Застосування розробленої в розділі 2 методики дозволило отримати комплексний, багаторівневий набір геопросторових даних, що характеризують масштаби та специфіку екологічної шкоди, завданої природоохоронному фонду України. Аналіз отриманих результатів проводився на трьох ієрархічних рівнях:

- Національний рівень (загальний огляд) – аналіз загальних просторових закономірностей та візуалізація сукупного впливу.
- Макрорівневий (регіональний) аналіз – кількісна оцінка та ранжування шкоди в розрізі адміністративних областей України.
- Мікрорівневий (локальний) аналіз – детальний розгляд (кейс-стадій) окремих, найбільш показових природоохоронних об'єктів для виявлення характеру пошкоджень.

3.1 Національний рівень: загальна візуалізація та просторовий аналіз

Завершальним етапом роботи стало створення серії тематичних карт для візуалізації отриманих результатів. Ключовий картографічний продукт – «Екологічна шкода, завдана природоохоронним територіям України внаслідок військових дій у період з 24.02.2022» (Додаток А) – був створений у Менеджері макетів QGIS з дотриманням картографічних принципів.

Для відображення рівня пошкодження об'єктів ПЗФ було застосовано градуйовану символію, засновану на розрахованому «Індексі шкоди». Використана колірна шкала від світло-жовтого (мінімальний вплив) до темно-червоного (максимальний вплив) забезпечує чітку візуальну ідентифікацію найбільш постраждалих територій. Теплова карта (KDE) щільності інцидентів, що слугувала основою для розрахунків, інтегрована як фоновий шар для демонстрації загальної географії конфлікту.

Аналіз просторового розподілу шкоди дозволяє зробити такі висновки:

– спостерігається чітка просторова кореляція між географією лінії бойових зіткнень та територіями із завданою шкодою, з вираженою концентрацією на сході та півдні України;

– найбільші кластери теплових аномалій та, відповідно, найбільш постраждали об'єкти ПЗФ, локалізовані в межах Херсонської, Донецької, Луганської, Харківської та Запорізької областей;

– простежується чітка лінійна залежність, де коридори пошкоджень збігаються з великими річковими долинами, що виступали як природні оборонні рубежі. Найбільш виражено це проявляється вздовж долини річки Сіверський Донець та в басейні річки Оскіл. Аналогічно, значні пошкодження на півдні сконцентровані у дельтових та плавневих екосистемах НПП «Нижньодніпровський»;

– аналіз показує, що найінтенсивніший удар припав на специфічні та вразливі типи ландшафтів. До них належать великі лісові масиви (наприклад, НПП «Кремінські ліси»), унікальні піщані арени (НПП «Олешківські піски»), осередки степових екосистем (РЛП «Донецький кряж») та прибережні водно-болотні угіддя (Кінбурнська коса);

– хоча транспортні шляхи не є окремим шаром у дослідженні, просторове розташування "гарячих точок" (наприклад, навколо Кремінної та вздовж Сіверського Дінця) опосередковано вказує на їхню прив'язку до ключових транспортних коридорів, які є центрами логістики та інтенсивних бойових дій (рис. 3.1).

Таким чином, фінальний картографічний продукт наочно демонструє, що екологічна шкода не є хаотичною, а чітко детермінована військово-стратегічною логікою та географічними особливостями театру бойових дій, причому удар припадає на найбільш вразливі та унікальні екосистеми.

Аналіз результатів свідчить, що екологічна шкода не є випадковою чи хаотичною, а значною мірою обумовлена військово-стратегічною логікою ведення бойових дій, розташуванням ключових об'єктів інфраструктури та географічними особливостями території. Найвищий рівень негативного впливу

спостерігається в регіонах активних бойових дій, де зосереджені цінні природні комплекси, об'єкти природно-заповідного фонду та оселища рідкісних видів флори і фауни. Отримані результати підтверджують, що основний екологічний тиск припадає на найбільш вразливі та унікальні екосистеми, відновлення яких потребуватиме значних часових і фінансових ресурсів, а також комплексних природоохоронних заходів у післявоєнний період.



Рисунок 3.1 – Карта екологічної шкоди, завданої об'єктам ПЗФ України

3.2 Макрорівневий аналіз: регіональний розподіл екологічної шкоди

Візуальний аналіз виявляє загальні тенденції, однак для цілей стратегічного планування, оцінки збитків та пріоритезації заходів з відновлення, необхідна кількісна оцінка шкоди на рівні адміністративно-територіальних одиниць.

Для проведення такого аналізу було виконано додаткову обробку даних. По-перше, шар об'єктів ПЗФ, що вже містив розраховані індекси, був збагачений

даними про приналежність до областей шляхом просторового об'єднання (Приєднати атрибути за розташуванням) із шаром областей України (gadm41_UKR_1). По-друге, за допомогою інструменту «Статистика за категоріями» було проведено агрегування даних для кожної області за двома ключовими показниками: сумарною площею ПЗФ, що зазнали впливу (Area_km2), та сумарним тепловим навантаженням (ZS_sum) (додаток Б). Це дозволило отримати підсумкову таблицю регіонального розподілу шкоди.

Для об'єктивного порівняння регіонів між собою, за аналогією з індивідуальним індексом, було розраховано «Регіональний індекс шкоди» (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – ТОП-10 найбільш постраждалих об'єктів ПЗФ за показником «Індекс шкоди»

Область	Сумарна шкода (умовні од.)	Площа уражених ПЗФ, км ²
Харківська	313,95	2666,63
Донецька	169,23	759,83
Луганська	164,20	1190,20
Херсонська	90,78	1105,80
Дніпропетровська	90,70	1456,36
Миколаївська	84,46	1110,34
Полтавська	65,97	1228,79
Сумська	50,62	2047,20
Запорізька	34,35	372,66
Чернігівська	24,56	1524,89
Кіровоградська	21,87	451,08
Одеська	21,63	607,57
Рівненська	20,52	1199,27
Черкаська	14,84	1130,88
Закарпатська	13,39	618,87
Львівська	12,58	1186,04
Крим	11,81	1372,89
Житомирська	10,76	2128,09
Івано-Франківська	8,57	359,42
Київська	8,15	259,70
Вінницька	4,71	318,31
Волинська	4,46	446,53
Чернівецька	4,15	345,78
Хмельницька	2,40	330,96
Тернопільська	1,59	220,22

Аналіз таблиці 3.1 дозволяє зробити декілька глибоких аналітичних висновків, що виходять за межі простої констатації "школа на Сході":

– значення категорії Водні ПЗФ – наявність рядка NULL з аномально високим показником сумарної шкоди (1850.92 умовн. од.) є важливим результатом. Це значення акумулює всі об'єкти ПЗФ, що не потрапили в жоден полігон адміністративної області. В переважній більшості це морські природоохоронні території (наприклад, заказники в акваторії Чорного моря). Цей показник є прямим доказом високої інтенсивності бойових дій в акваторії Чорного моря (бої за о. Зміїний, блокада портів, ракетні пуски з кораблів), що також фіксується системою FIRMS і завдає шкоди морським екосистемам;

– абсолютні лідери (екстенсивний вплив) – за абсолютним показником сумарної шкоди беззаперечними лідерами є Харківська (313.95), Донецька (169.23) та Луганська (164.20) області. Це пояснюється тим, що саме ці регіони стали ареною найбільш тривалих та масштабних бойових дій. Високий показник Харківської області також обумовлений найбільшою сумарною площею ПЗФ (2666.63 км²), що потрапили в зону аналізу. Це свідчить про екстенсивний характер шкоди — вона розповсюджена на величезні території;

– відносні лідери (інтенсивний вплив) – аналіз «Регіонального індексу шкоди» є найбільш показовим. Абсолютним лідером за інтенсивністю (концентрацією) шкоди є Донецька область (222.72), яка випереджає Луганську (137.96) та Харківську (117.73) в 1.6-1.9 рази. Це означає, що на кожен квадратний кілометр природоохоронних територій Донеччини прийшлося значно більше "теплого навантаження". Це пояснюється високою щільністю бойових дій, що тривають з 2014 року, та концентрацією цих дій у відносно менших за площею, але критично важливих об'єктах ПЗФ;

– південний фронт – високі показники індексу також демонструють Запорізька (92.17), Херсонська (82.09) та Миколаївська (76.07) області. Це чітко окреслює другий ключовий театр бойових дій, пов'язаний з битвою за південь України, лінією зіткнення по Дніпру та окупацією Кінбурнської коси;

– північний фронт – області, що зазнали окупації та швидкої деокупації на початку вторгнення (Чернігівська – 16.11, Сумська – 24.73, Київська – 31.39), мають значно нижчі, але ненульові індекси. Це демонструє чутливість методики: вона коректно фіксує відносно короткотривалий, але інтенсивний вплив.

3.3 Мікрорівневий аналіз: детальний розгляд ключових постраждалих об'єктів (кейси)

Для глибшого розуміння характеру руйнувань було проведено аналіз кількох репрезентативних кейсів.

Кейс 1: Національний природний парк «Кремінські ліси» (Луганська область).

Парк, створений у 2019 році, охоплює унікальний для степової зони масив соснових лісів на терасі Сіверського Дінця. Територія парку стала ареною інтенсивних бойових дій. Аналіз даних FIRMS фіксує надзвичайно високу щільність теплових аномалій, що покриває практично всю площу парку (додаток Д).

Згідно з результатами аналізу, НПП «Кремінські ліси» очолює рейтинг найбільш постраждалих природоохоронних територій, посівши 1-ше місце з інтегральним «Індексом шкоди» 3326,23. Це найвищий показник серед усіх об'єктів ПЗФ, що свідчить про безпрецедентну концентрацію теплового навантаження на одиницю площі (рис. 3.2).

Візуальний аналіз супутникових знімків «до і після» підтверджує отримані результати, наочно демонструючи справжні «шрами на землі» та суттєве погіршення стану рослинного покриву, де темніші відтінки відповідають нижчим показникам життєздатності рослинності. Якщо до початку повномасштабного вторгнення території характеризувалися суцільним і здоровим лісовим покривом, то після початку інтенсивних бойових дій значні площі перетворилися на деградовані та випалені ділянки. Масштабні пожежі, спричинені артилерійськими обстрілами, вибухами боєприпасів та військовою

діяльністю, призвели до знищення великих масивів лісу, втрати біорізноманіття та руйнування природних середовищ існування багатьох видів флори і фауни.

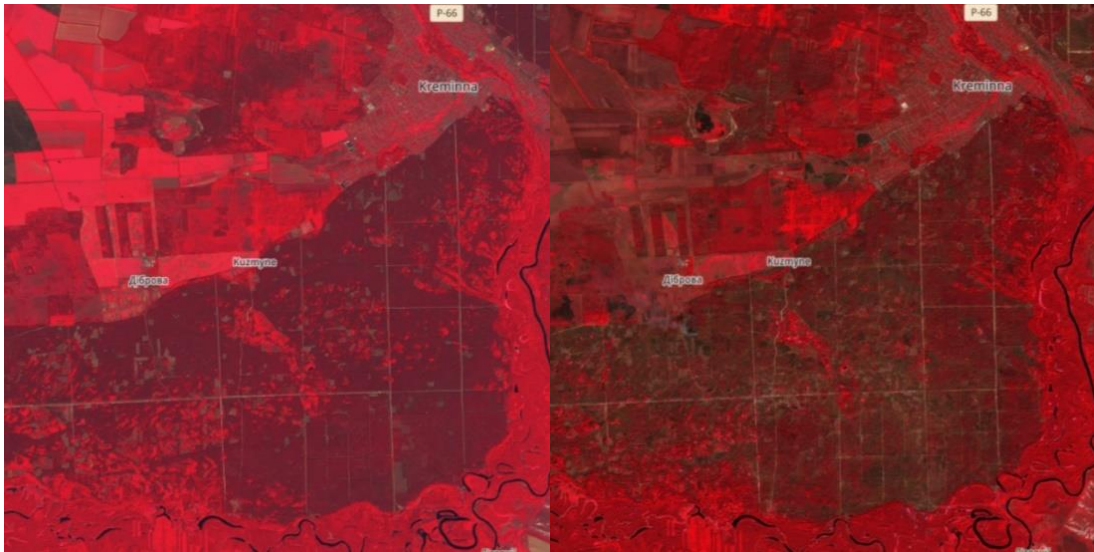


Рисунок 3.2 – Супутникові знімки НПП «Кремінські ліси»: до та після повномасштабного вторгнення

Кейс 2: Чорноморський біосферний заповідник, НПП «Олешківські піски» та Кінбурнська коса (Херсонська та Миколаївська області).

Ці об'єкти на лівобережжі Херсонщини та в Миколаївській області утворюють єдиний природний комплекс, що включає унікальні піщані арени та водно-болотні угіддя міжнародного значення. Вони перебували під окупацією з початку повномасштабного вторгнення. Аналіз показує, що значна частина теплових аномалій сконцентрована вздовж узбережжя та на Кінбурнській косі, що, ймовірно, пов'язано з розміщенням військових позицій та обстрілами (додаток Ж).

Ранжування за «Індексом шкоди» показує критичний рівень впливу на весь цей регіон (рис. 3.3):

- НПП «Олешківські піски» посідає 4-те місце з індексом 2156,67;
- НПП «Білобережжя Святослава» (який включає значну частину Кінбурнської коси) посідає 9-те місце з індексом 1748,94;

– Кінбурнська коса як окремий об’єкт посідає 10-те місце з індексом 1699,59.

Екологічна унікальність цих територій полягає в тому, що «Олешківські піски» є найбільшим піщаним масивом у Європі, а Кінбурнська коса – ключовим пунктом на міграційних шляхах птахів та осередком рідкісних видів флори і фауни. Масштабні пожежі, зафіксовані системою FIRMS, призвели до знищення крихких екосистем, що утримують піски, та реліктових лісів. Потенційні наслідки руйнувань є катастрофічними: посилення вітрової ерозії пісків, загроза процесам опустелювання, руйнування місць гніздування та відпочинку мільйонів перелітних птахів, а також втрата унікального біорізноманіття регіону.

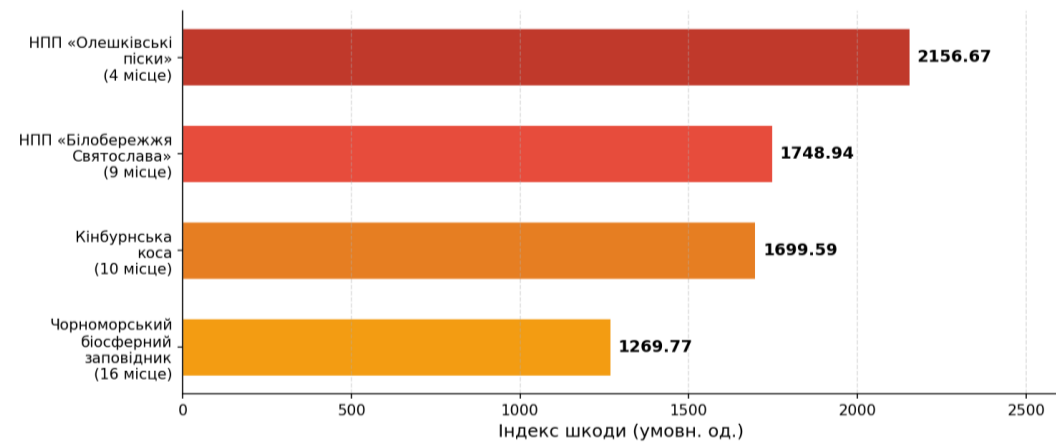


Рисунок 3.3 – Індекс шкоди для об’єктів ПЗФ Херсонської та Миколаївської областей

Кейс 3: Екосистеми річкових долин (Сіверський Донець та Оскіл)

Аналіз чітко показує, що річкові долини, які виступали як природні оборонні рубежі, зазнали системного та концентрованого удару. Це яскраво ілюструють два об’єкти з топ-10 (рис. 3.4):

– «Сіверський Донець (долина річки у Луганській області)» посідає 3-тє місце з індексом 2222,75.

– «Оскіл» (заплава річки Оскіл) посідає 8-ме місце з індексом 1884,05.

Території вздовж Сіверського Дінця, який є ключовою водною артерією сходу, стали зоною одних із найзапекліших боїв. Постійні обстріли спричинили

не лише масштабні пожежі у заплавах лісах (як у «Кремінських лісах»), але й хімічне забруднення води та ґрунтів через детонацію боєприпасів та руйнування інфраструктури (додаток К).

Долина річки Оскіл та зруйноване Оскільське водосховище також є зоною екологічного лиха. Осушення водосховища внаслідок руйнування греблі та висока щільність теплових аномалій вказують на подвійний удар: руйнування усталеної водної екосистеми та одночасне випалювання прибережних захисних смуг і залишків заплавної ландшафтів.

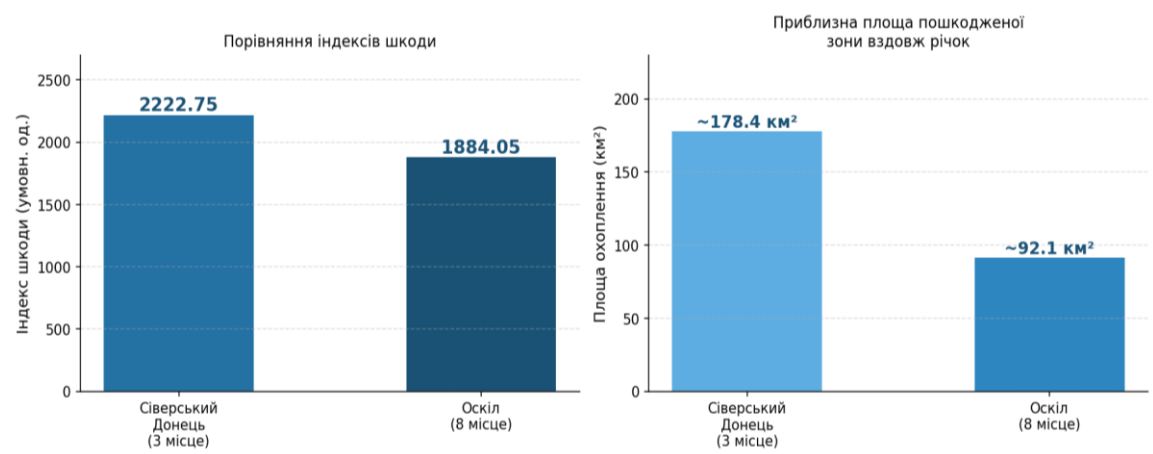


Рисунок 3.4 – Аналіз шкоди для екосистем річкових долин (Сіверський Донець та Оскіл)

Кейс 4: Регіональний ландшафтний парк «Донецький кряж» (Донецька область)

Цей кейс демонструє вразливість унікальних степових екосистем. РЛП «Донецький кряж» посідає 5-те місце в рейтингу з високим індексом шкоди 2146,46. Парк охоплює цінні ділянки справжніх степів, які є осередком біорізноманіття та домівкою для багатьох рідкісних видів (рис. 3.5).

Високе значення індексу на відносно невеликій території (74,18 км²) свідчить про те, що пожежі, спричинені бойовими діями, мали тут катастрофічний характер (додаток Л). На відміну від лісів, які можуть частково відновлюватися, випалені степові екосистеми з їхніми повільнозростаючими рослинними угрупованнями можуть бути втрачені назавжди. Пожежі в степу

призводять до повної загибелі флори, фауни та знищення родючого шару ґрунту, посилюючи ерозійні процеси.

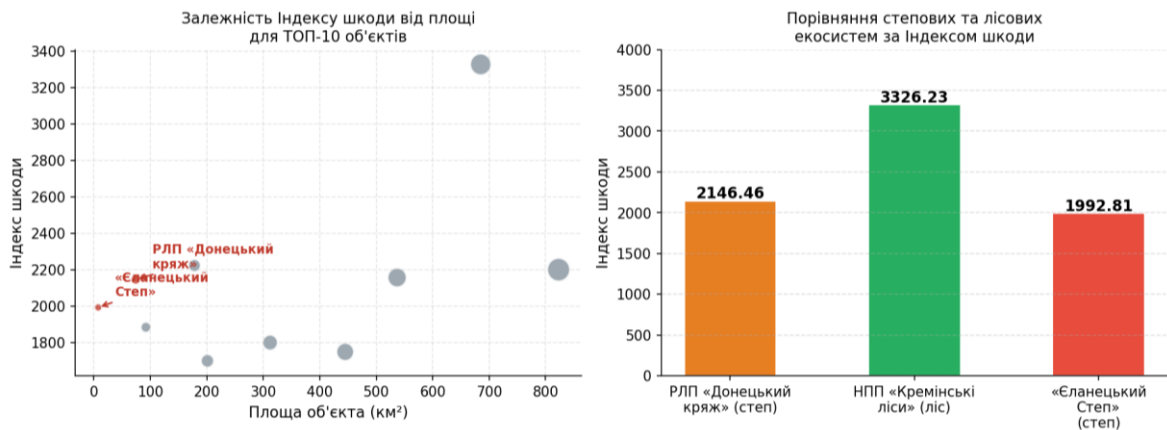


Рисунок 3.5 – Аналіз шкоди степових екосистем (РЛП «Донецький кряж» та «Єланецький Степ»)

Кейс 5: Природний заповідник «Єланецький Степ» (Миколаївська область)

Цей об'єкт є показовим прикладом того, чому саме розроблений «Індекс шкоди» є більш коректним показником, ніж абсолютні значення. Заповідник посідає 6-те місце з індексом 1992,81, незважаючи на свою крихітну площу – всього 7,57 км².

Якби аналіз базувався лише на сумарній кількості теплових аномалій, цей заповідник, ймовірно, не потрапив би до рейтингу. Однак високе значення індексу показує, що ця невелика, але надзвичайно цінна ділянка типчаково-ковилового степу зазнала майже тотального ураження. Це ілюструє методологічну важливість нормалізації даних відносно площі, що дозволяє виявити невеликі, але критично постраждалі об'єкти, які потребують негайної уваги та пріоритетних заходів з відновлення.

3.4 Практичні рекомендації та напрямки подальших досліджень

Проведене дослідження та розроблена методика мають значний практичний потенціал. Отримані результати можуть бути використані за такими напрямками:

- пріоритезація заходів з відновлення – ранжований список дозволяє державним органам та міжнародним партнерам сфокусувати ресурси на об'єктах ПЗФ, що потребують першочергових заходів з оцінки збитків та екологічної реставрації;

- формування доказової бази – отримані дані (карти, розрахунки) можуть слугувати частиною доказової бази для документування злочинів проти довкілля та формування позовів до міжнародних інстанцій;

- довгостроковий моніторинг – запропонований алгоритм є відтворюваним і може бути використаний для регулярного моніторингу, дозволяючи відстежувати динаміку екологічної шкоди в часі.

Напрямами подальших досліджень є вдосконалення запропонованої моделі:

- автоматизація процесу – алгоритм аналізу може бути автоматизований за допомогою Графічного моделювальника (Graphical Modeler) в QGIS. Це дозволить створити систему моніторингу, що вимагатиме мінімального втручання для оновлення результатів;

- інтеграція нових даних – модель може бути збагачена шляхом включення інших типів супутникових даних. Наприклад, аналіз динаміки вегетаційного індексу (NDVI) дозволить кількісно оцінити втрату рослинного покриву. Дані Sentinel-5P можуть бути використані для оцінки забруднення повітря внаслідок масштабних пожеж.

За допомогою розробленої в попередньому розділі методики створено фінальний картографічний продукт, який візуалізував чітку просторову кореляцію екологічної шкоди з географією бойових дій. Аналіз карти продемонстрував, що ураження не є хаотичними, а чітко сконцентровані вздовж

лінії фронту, річкових долин (Сіверський Донець, Оскіл) та у межах найбільш вразливих ландшафтів (ліси, піски, степи).

Розрахунок інтегрального «Індексу шкоди» дозволив провести об’єктивне кількісне ранжування постраждалих об’єктів ПЗФ, виявивши території, що зазнали найбільшого відносного впливу. Детальний аналіз репрезентативних кейсів (НПП «Кремінські ліси», «Олешківські піски», «Донецький кряж») підтвердив катастрофічний рівень ураження цих унікальних екосистем (додаток М). Водночас кейс заповідника «Єланецький Степ» довів методологічну коректність використання нормалізованого індексу, здатного ідентифікувати критично постраждалі об’єкти малої площі, які б не потрапили у вибірку при аналізі абсолютних значень (рис. 3.6).

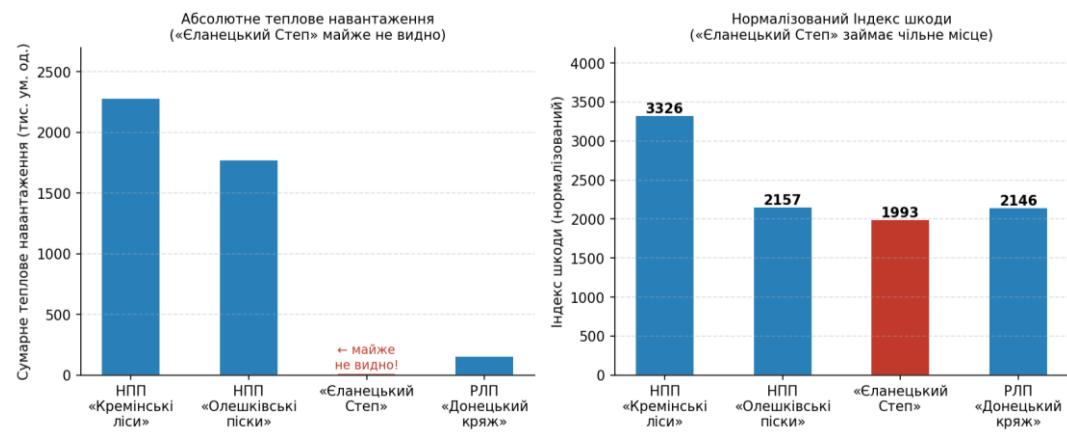


Рисунок 3.6 – Демонстрація важливості нормалізації: порівняння абсолютних та нормалізованих показників шкоди

Таким чином, результати, представлені в цьому розділі, повністю підтверджують ефективність обраної ГС-методики. Вони лягають в основу практичних рекомендацій щодо пріоритезації відновлення та документування екологічних злочинів, а також формують емпіричний базис для загальних висновків до дипломної роботи.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Загальні положення охорони праці при роботі з геоінформаційними системами

Охорона праці – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці. Правове регулювання охорони праці в Україні здійснюється відповідно до Закону України «Про охорону праці» [21].

Виконання дипломної роботи пов'язане з тривалою роботою на персональному комп'ютері з використанням геоінформаційного програмного забезпечення QGIS. Така діяльність належить до категорії легкої фізичної праці, проте є пов'язаною з рядом специфічних виробничих ризиків.

Згідно з Державними санітарними правилами і нормами роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин (ДСанПіН 3.3.2.007-98 [22]), до основних шкідливих і небезпечних факторів при роботі з комп'ютером відносяться:

- підвищений рівень електромагнітного випромінювання від монітора та системного блоку;
- підвищена або знижена іонізація повітря у робочому приміщенні;
- підвищені рівні шуму від охолоджувальних систем;
- несприятливі умови освітлення робочого місця (недостатня освітленість, засліплення, відблиски);
- психофізіологічне навантаження (статичне напруження м'язів, розумова перевтома, зорова втома);
- ризик ураження електричним струмом.

Робочі місця операторів ПК повинні відповідати вимогам НПАОП 0.00-1.28-10 «Правила охорони праці під час експлуатації електронно-

обчислювальних машин» [23]. Площа на одне робоче місце має становити не менше ніж 6 м², об'єм – не менше 20 м³.

Освітлення робочого місця повинне бути комбінованим: природне (коефіцієнт природної освітленості не менше 1,5 %) та штучне. Освітленість на поверхні робочого столу від системи загального штучного освітлення має становити 300–500 лк. Монітор повинен розташовуватися на відстані 600–700 мм від очей користувача.

4.2 Вимоги безпеки при роботі з комп'ютерною технікою

Перед початком роботи необхідно виконати огляд робочого місця: переконатися у відсутності видимих пошкоджень ізоляції кабелів; перевірити надійність підключення обладнання до мережі живлення та заземлення; відрегулювати положення монітора, клавіатури та крісла. Забороняється розпочинати роботу на несправному обладнанні або при наявності видимих пошкоджень.

Під час роботи необхідно дотримуватися таких вимог:

- тривалість безперервної роботи за монітором не повинна перевищувати 2 годин;
- через кожну годину роботи слід робити перерву тривалістю 10–15 хвилин;
- під час перерв рекомендується виконувати гімнастику для очей та фізичні вправи для профілактики остеохондрозу;
- сукупний час роботи за монітором не повинен перевищувати 6 годин на зміну;
- забороняється залишати включені ПК без нагляду на тривалий час.

Мікроклімат у приміщенні має відповідати вимогам ДСН 3.3.6.042-99 [24] температура повітря у холодний період 21–23 °С, у теплий – 22–24 °С; відносна вологість 40–60%; швидкість руху повітря 0,1–0,2 м/с.

Рівні електромагнітних полів від комп'ютерних моніторів не повинні перевищувати допустимих значень. Для захисту від електромагнітного випромінювання рекомендується:

- використовувати монітори з пониженим випромінюванням;
- організовувати робоче місце таким чином, щоб задня та бокова стінки суміжних моніторів не були спрямовані на робочі місця інших співробітників;
- не розміщувати на одному робочому місці декілька включених одночасно комп'ютерів.

Ергономічні вимоги до робочого місця: висота робочої поверхні столу – 680–800 мм; простір для ніг – висота не менше 600 мм, ширина не менше 500 мм; крісло повинно мати регульовану висоту сидіння (400–550 мм) та кут нахилу спинки.

4.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях воєнного характеру

З огляду на особливий контекст дипломного дослідження – аналіз наслідків воєнного конфлікту – актуальним є розгляд питань безпеки в надзвичайних ситуаціях воєнного характеру. Правовою основою є Кодекс цивільного захисту України [25] та Закон України «Про правовий режим надзвичайного стану» [26].

Надзвичайні ситуації воєнного характеру – це надзвичайні ситуації, що виникають через збройне насильство, активні бойові дії, терористичні акти, диверсії та інші застосування зброї. Для них характерна раптовість виникнення, швидкий розвиток і необхідність негайного реагування.

Основні заходи захисту населення у воєнний час відповідно до чинного законодавства:

- укриття в захисних спорудах. До захисних споруд цивільного захисту відносяться сховища, протирадіаційні укриття та укриття. У разі оголошення повітряної тривоги необхідно негайно слідувати в найближче укриття або підвальне приміщення будівлі;

- евакуація. У разі загрози або виникнення надзвичайної ситуації здійснюється завчасна або термінова евакуація. Евакуація планується та проводиться заздалегідь, за рішенням органів цивільного захисту;

- засоби індивідуального захисту. До засобів захисту органів дихання відносяться фільтрувальні протигази та респіратори. До засобів захисту шкіри – ізолювальні костюми, захисні плащі;

- радіаційний та хімічний захист. При загрозі радіаційного або хімічного забруднення необхідно: відключити вентиляцію, ущільнити вікна та двері, прийняти йодид калію (при радіаційному забрудненні), залишати укриття тільки за командою відповідальних осіб.

У контексті виконання дипломної роботи особливого значення набуває алгоритм дій під час повітряної тривоги на робочому місці:

- припинити роботу за ПК та зберегти поточні файли;
- відключити комп'ютер від мережі живлення (за наявності часу);
- взяти необхідні документи, засоби зв'язку та засоби індивідуального захисту;
- слідувати в найближче укриття відповідно до плану евакуації установи;
- у разі виявлення підозрілих предметів – не торкатися їх, терміново повідомити компетентні органи.

Психологічна підтримка та стресостійкість є важливими складовими безпеки в умовах тривалого стресу. Рекомендується обмежити споживання новин до 2–3 разів на день, підтримувати соціальні зв'язки, дотримуватися режиму сну та відпочинку, звертатися за психологічною допомогою при потребі.

4.4 Розрахунок заходів з охорони праці

Для оцінки умов праці при виконанні дипломної роботи проведемо розрахунок коефіцієнта природного освітлення (КПО) та оцінку рівня шуму в робочому приміщенні.

4.4.1 Розрахунок коефіцієнта природного освітлення

Відповідно до ДБН В.2.5-28-2006 «Природне і штучне освітлення» [27], нормоване значення КПО для кімнат з роботою за ПК при боковому освітленні для IV пояса світлового клімату України становить $e_n = 1,5\%$.

Фактичне значення КПО визначається за формулою:

$$e_f = (S_v / S_p) \times 100 \times \eta,$$

де S_v – площа вікон (m^2);

S_p – площа підлоги (m^2);

η – коефіцієнт, що враховує умови освітлення.

Для стандартного робочого кабінету площею $24 m^2$ ($6 \times 4 m$) з двома вікнами розміром $1,5 \times 1,8 m$:

$$S_v = 2 \times 1,5 \times 1,8 = 5,4 m^2;$$

$$e_f = (5,4 / 24) \times 100 \times 0,4 = 9,0\%.$$

Фактичне значення КПО ($9,0\%$) значно перевищує нормоване ($1,5\%$), що свідчить про достатнє природне освітлення.

4.4.2 Оцінка рівня шуму

Нормативний рівень шуму для роботи, що вимагає розумового зосередження (зокрема, робота в ГІС), становить $L = 50$ дБА [24]. Рівень шуму від типового системного блоку ПК з повітряним охолодженням складає $28-35$ дБА. Рівень шуму від кондиціонера – $35-45$ дБА.

Сумарний рівень шуму від обладнання при одночасній роботі визначається:

$$L_{\text{сум}} = 10 \times \lg(10^{(L_1/10)} + 10^{(L_2/10)})$$

$$L_{\text{сум}} = 10 \times \lg(10^{(35/10)} + 10^{(45/10)}) = 10 \times \lg(3162 + 31623) = 45,8 \text{ дБА}$$

Розрахований рівень шуму (45,8 дБА) не перевищує нормативного значення (50 дБА), що підтверджує відповідність умов праці санітарним нормам.

У розділі проаналізовано умови праці при виконанні дипломної роботи та визначено відповідні заходи з охорони праці. Встановлено, що основними шкідливими факторами є підвищене електромагнітне випромінювання, зорова та психофізіологічна перевтома. Для їх мінімізації необхідно дотримуватися режиму праці та відпочинку, використовувати сучасні монітори з низьким рівнем випромінювання та відповідним чином організувати робоче місце.

З огляду на особливі умови воєнного стану в Україні, розроблено алгоритм дій при повітряній тривозі на робочому місці. Розрахунки підтвердили відповідність освітленості та рівня шуму нормативним вимогам.

ВИСНОВКИ

У даній бакалаврській роботі проведено комплексне дослідження, спрямоване на розробку та апробацію методики геоінформаційного аналізу та картографування екологічної шкоди, завданої природоохоронним територіям України внаслідок військових дій з 24 лютого 2022 року. На основі аналізу відкритих даних дистанційного зондування Землі та ГІС-моделювання досягнуто поставленої мети та виконано всі дослідницькі завдання.

Основні наукові та практичні результати роботи.

Досліджено теоретичну базу та доведено ефективність ГІС-підходу. Аналіз світового досвіду та наукових публікацій підтвердив, що в умовах сучасних конфліктів технології ГІС та ДЗЗ є єдиним об'єктивним інструментом для моніторингу та оцінки екологічних наслідків.

Обґрунтовано вибір даних та розроблено аналітичний інструментарій. Доведено, що використання даних NASA FIRMS (VIIRS) у поєднанні з базою WDPA є надійним методом для оцінки шкоди. Ключовим елементом є «Індекс шкоди» (Damage Index), що нормалізує теплове навантаження відносно площі об'єкта.

Виявлено чіткі просторові закономірності на всіх рівнях. Встановлено, що екологічна шкода має чітку просторову локалізацію, яка збігається з лініями бойових зіткнень. Абсолютним лідером за інтенсивністю шкоди є Донецька область (регіональний індекс 222,72). Серед окремих об'єктів перше місце посідає НПП «Кремінські ліси» (індекс 3326,23).

Підтверджено комплексний характер екологічної шкоди. Вплив не обмежується лише пожежами: він включає фізичне руйнування ландшафтів, потенційне хімічне забруднення та катастрофічні вторинні наслідки від руйнування критичної інфраструктури (Каховське та Оскільське водосховища).

Забезпечено відтворюваність та масштабованість дослідження. Автоматизована модель у Графічному моделювальнику QGIS перетворює

разовий аналіз на гнучку систему моніторингу, що дозволяє оперативно оновлювати дані щомісяця.

Практичне значення роботи полягає в тому, що її результати – фінальні карти, розраховані індекси, таблиці регіонального ранжування та автоматизована методологія – є готовим аналітичним продуктом, придатним для безпосереднього використання державними органами (Міністерством захисту довкілля та природних ресурсів України, Державною екологічною інспекцією) для пріоритезації заходів з відновлення, документування воєнних злочинів проти довкілля та формування міжнародних позовів з метою отримання репарацій.

Напрямами подальших досліджень є розширення методики шляхом інтеграції аналізу вегетаційних індексів (NDVI) для кількісної оцінки втрати біомаси, даних Sentinel-5P для моніторингу забруднення повітря та радарних знімків Sentinel-1 для картування фізичних руйнувань ландшафту.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Muran Jaamacada Carabta. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://so.wikipedia.org/wiki/Muran_Jaamacada_Carabta# (дата звернення: 25.05.2026).
2. Copernicus Data Space Ecosystem. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://browser.dataspace.copernicus.eu/> (дата звернення: 25.05.2026).
3. 1991 Kuwait Oil Spill Clean-up. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.linkedin.com/pulse/1991-kuwait-oil-spill-clean-up-sustainabledmu--jriue> (дата звернення: 25.05.2026).
4. OpenStreetMap. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.openstreetmap.org/> (дата звернення: 26.05.2026).
5. Ukrainisches Video zeigt Russen ueberdachen Schuetzengraeben. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.n-tv.de/politik/Ukrainisches-Video-zeigt-Russen-ueberdachen-Schuetzengraeben-article24591076.html> (дата звернення: 26.05.2026).
6. Solutions: Remote Sensing Analytics, Field Testing & Comparison. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://eos.com/blog/upl-ukraine-uses-sattech-to-remotely-monitor-fields/> (дата звернення: 26.05.2026).
7. Bellingcat [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.bellingcat.com/> (дата звернення: 26.05.2026).
8. Lemenkova P. Python libraries matplotlib, seaborn and pandas for visualization geospatial datasets generated by QGIS. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/344380152_Python_libraries_matplotlib_seaborn_and_pandas_for_visualization_geospatial_datasets_generated_by_QGIS (дата звернення: 29.05.2026).
9. Conflict and Environment Observatory. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ceobs.org/countries/ukraine/> (дата звернення: 29.05.2026).

10. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України: офіційний веб-сайт [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://mepr.gov.ua/> (дата звернення: 29.05.2026).
11. UNOSAT – UN Satellite Centre [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.unitar.org/unosat/> (дата звернення: 31.05.2026).
12. UNEP. The Environmental Impact of the Conflict in Ukraine [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.unep.org/resources/annual-report-2022> (дата звернення: 31.05.2026).
13. Fire Information for Resource Management System (FIRMS) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/> (дата звернення: 31.05.2026).
14. EarthData. Visible Infrared Imaging Radiometer Suite. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.earthdata.nasa.gov/data/instruments/viirs> (дата звернення: 31.05.2026).
15. MapTiler: Maps for developers [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.maptiler.com/> (дата звернення: 31.05.2026).
16. QGIS Development Team, 2025. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://qgis.osgeo.org> (дата звернення: 31.05.2026).
17. WDPA – World Database of Protected Areas. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.arcgis.com/apps/mapviewer/index.html?layers=ae78aeb913a343d69e950b53e29076f7> (дата звернення: 31.05.2026).
18. Geographic vs Projected Coordinate Systems. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.esri.com/arcgis-blog/products/arcgis-pro/mapping/gcs_vs_pcs (дата звернення: 02.06.2026).
19. Природно-заповідний фонд України: веб-портал [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://pzf.land.kiev.ua/> (дата звернення: 02.06.2026).
20. CEOBS. Ukraine Conflict Environmental Briefing: Nature [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ceobs.org/ukraine-conflict-environmental-briefing-nature/> (дата звернення: 02.06.2026).

21. Закон України «Про охорону праці» від 14.10.1992 № 2694-ХІІ. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12/> (дата звернення: 06.06.2026).
22. ДСанПіН 3.3.2.007-98. Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин. – К., 1998.
23. НПАОП 0.00-1.28-10. Правила охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин. – К., 2010.
24. ДСанПіН 3.3.2.007-98. Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин. – К., 1998.
25. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. – К., 1999.
26. ДБН В.2.5-28-2006. Природне і штучне освітлення. – К., 2006.
27. Кодекс цивільного захисту України від 02.10.2012 № 5403-VІ. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5403-17> (дата звернення: 06.06.2026).
28. Закон України «Про правовий режим надзвичайного стану» від 16.03.2000 № 1550-ІІІ. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1550-14#Text> (дата звернення: 08.06.2026).
29. Вареник А. В. Геоінформаційний аналіз екологічної шкоди, завданої природоохоронним територіям України внаслідок військових дій // Будівництво, землеустрій та цивільна інженерія : матеріали міжнародної науково-практичної конференції. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2026. С. 196–197. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://science.kname.edu.ua/images/dok/konferentsii/2026/Tezi%20konferencij/C.%203%20Budivnictvo%20zemleustrij%20ta%20civilna%20inzeneria_26.pdf (дата звернення: 10.06.2026).

ДОДАТОК А

Карта екологічної шкоди, завданої об'єктам природно-заповідного фонду України
внаслідок військових дій (24.02.2022 — листопад 2025 р.)



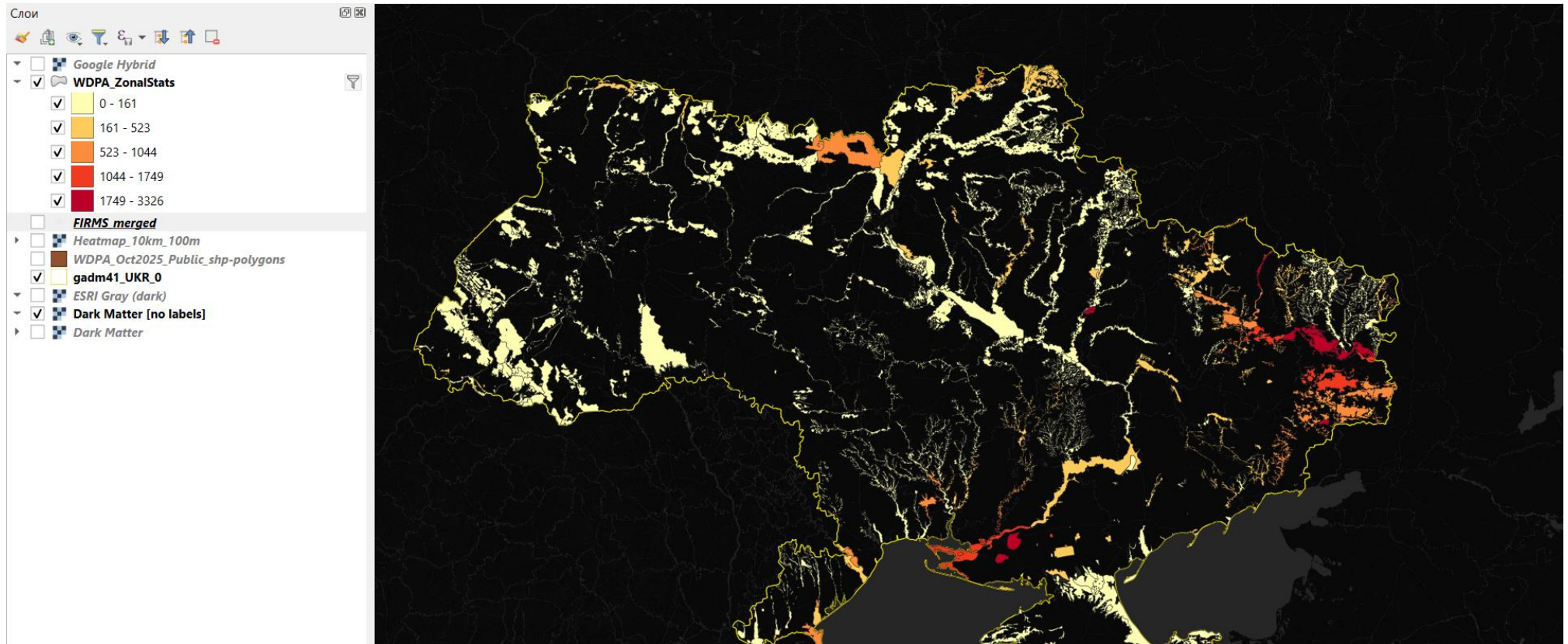
ДОДАТОК Б

Атрибутивна таблиця шару ПЗФ після розрахунку зональної статистики та інтегрального «Індексу шкоди»

ORIG_NAME	ZS_sum	ZS_mean	ZS_max	Area_km2	Damage_Ind
Kreminski Lisy	604550,596184...	33,1970016025...	56,2601432800...	181,75213	3326,23
Novosanzharskyi	285410,158570...	25,1617877608...	43,9134407043...	117,35145	2432,09
Siverskyi Donets river valley in Luhansk oblast	2916490,47377...	22,1368861293...	55,5781173706...	1312,10353	2222,75
Oleshkivski Pisky	997628,864806...	21,5904270956...	41,7784957885...	462,57737	2156,67
Donetskyi Kriazh Regional Landscape Park	159226,480267...	21,3985324912...	26,4175510406...	74,18065	2146,46
Elba Zakaznyk	15083,0155706...	19,7421669772...	23,0793819427...	7,56869	1992,81
Luhanskyi Nature Reserve	104869,009710...	19,2667664359...	44,9043121337...	54,08646	1938,91
Oskol	154568,775132...	18,7994131758...	29,6732978820...	82,04032	1884,05
Biloberezhzia Sviatoslava National Nature Park	91597,8185055...	17,6048084769...	29,0745697021...	52,37317	1748,94
Kinburnska Kosa	790861,278217...	17,0030158927...	39,3479919433...	465,32419	1699,59
Lisne Zakaznyk	4101,37692260...	14,9685289146...	15,7945213317...	2,70249	1517,62
Dobrianski Hory Zakaznyk	1647,99598503...	14,2068619399...	16,5206890106...	1,16291	1417,13
Stanychno-Luhanskyi	165490,376685...	13,9914082419...	48,7486076354...	117,75376	1405,39
Lower Dnipro	714690,583029...	13,7176695399...	26,2457733154...	521,16371	1371,33
Sviati Hory	587487,843215...	13,5365862492...	32,4840621948...	433,10928	1356,44
Black Sea Biosphere Reserve	317191,243173...	14,1755114038...	39,2293968200...	249,80089	1269,77
Dvorichanskyi National Nature Park	42626,3786182...	12,4311398711...	18,5015506744...	34,22821	1245,35
Steppes of the Donetsk ridge	1435928,12435...	11,7013252198...	41,1976966857...	1222,71457	1174,37
Green depression	18256,5819253...	11,5841255871...	12,6423053741...	15,81117	1154,66
Chervonooskilske Reservoir	104999,430001...	10,4145437414...	14,1793661117...	100,53845	1044,37
Petrivski creeks	21334,0140004...	10,2027804880...	17,2223510742...	21,01352	1015,25
Loess outcrops of the Dnipro estuary	5915,25317811...	10,0428746657...	15,0983800888...	5,88623	1004,93
Sydrivskyi storks land	15264,8123030...	9,70426719838...	12,1463918685...	15,71028	971,64

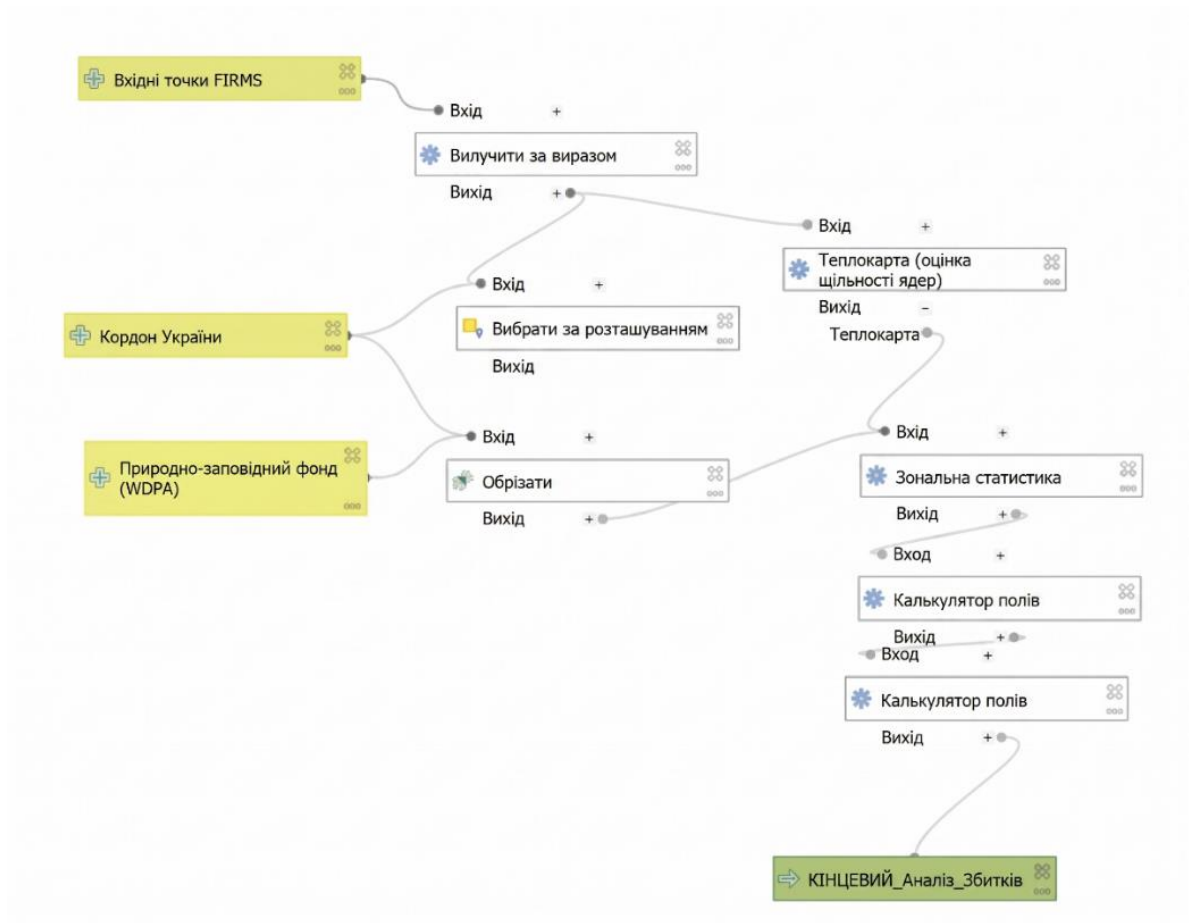
ДОДАТОК В

Приклад візуалізації результатів аналізу за допомогою градуйованої символіки на основі «Індексу шкоди»



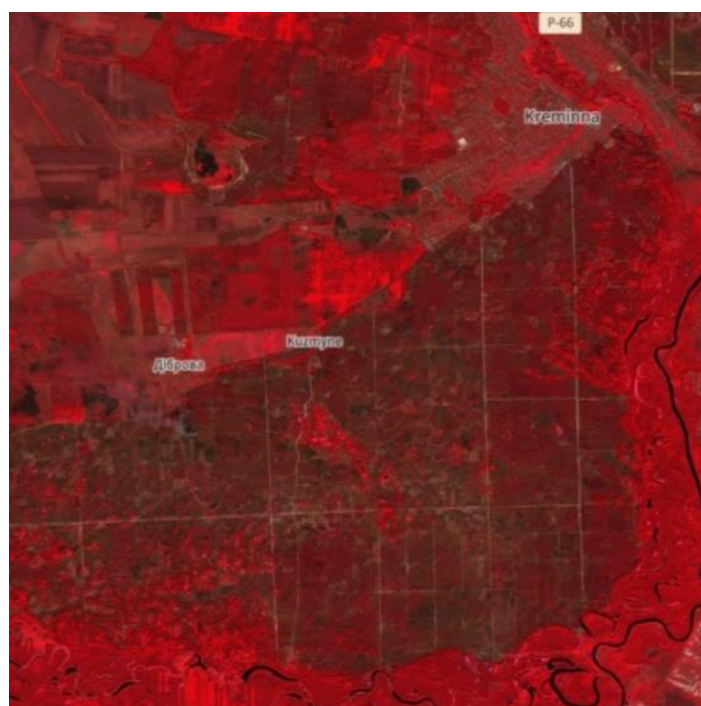
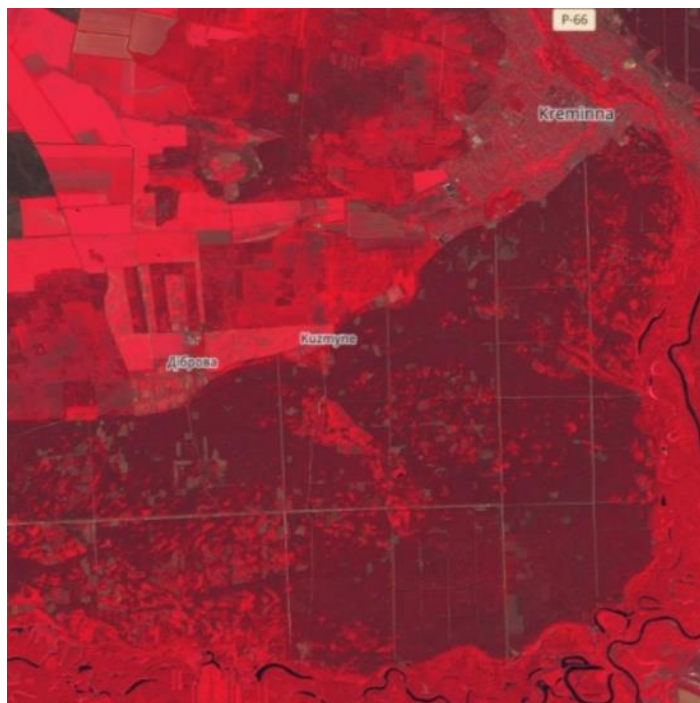
ДОДАТОК Г

Схема автоматизованої моделі геопросторового аналізу



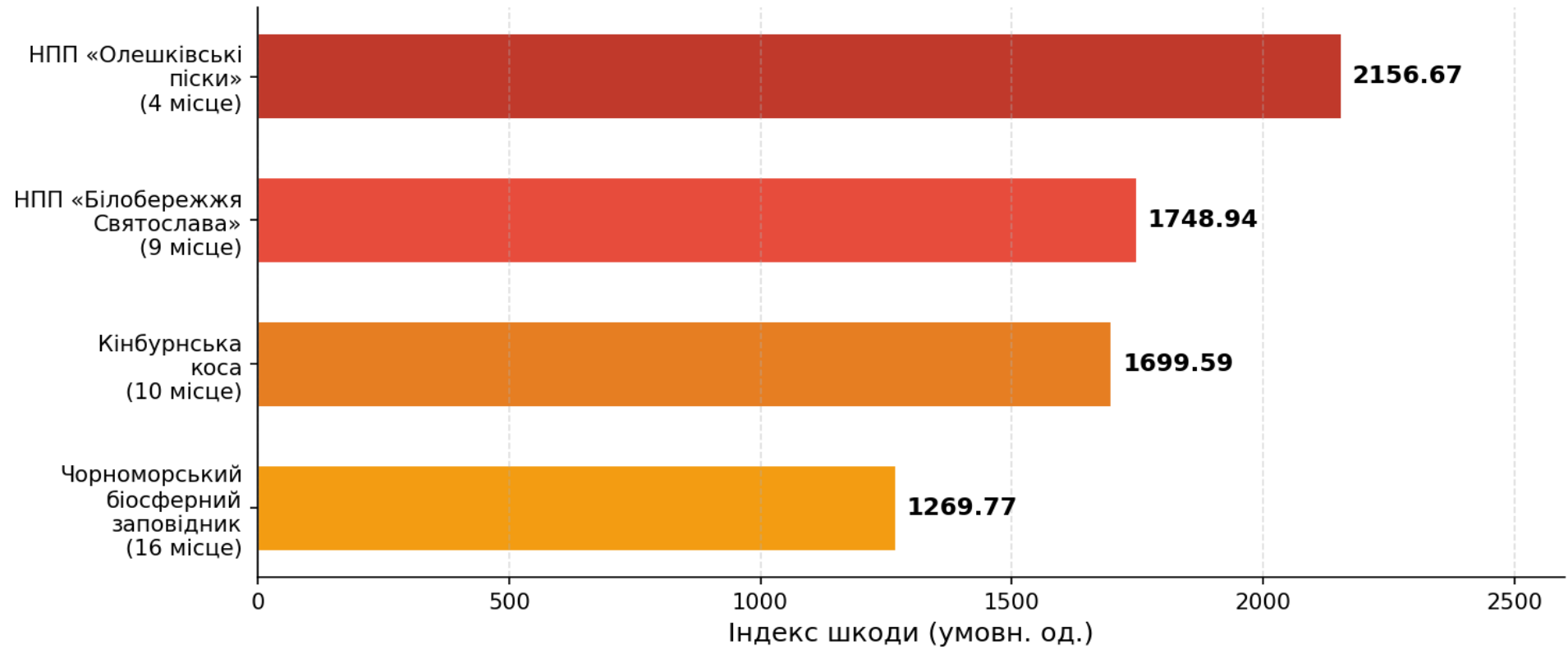
ДОДАТОК Д

Обробка супутникових знімків НПП «Кремінські ліси»: до та після
повномасштабного вторгнення



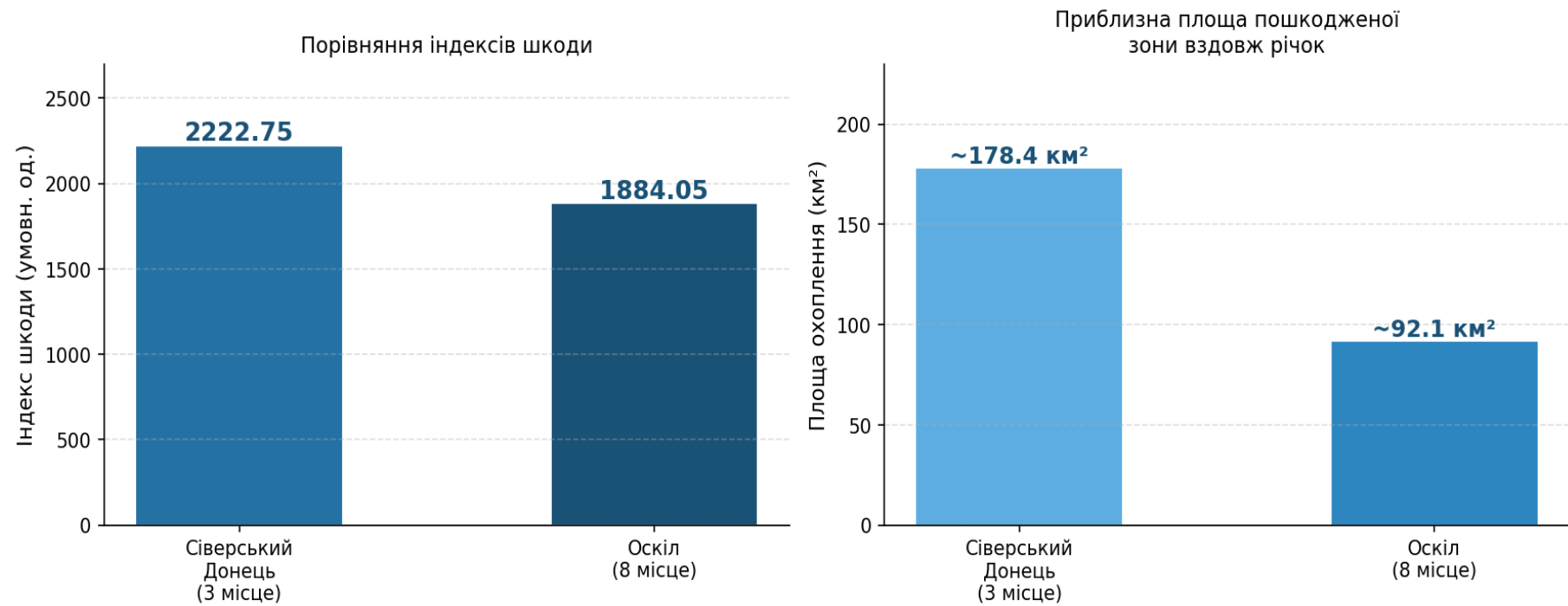
ДОДАТОК Ж

Індекс шкоди для об'єктів ПЗФ Херсонської та Миколаївської областей



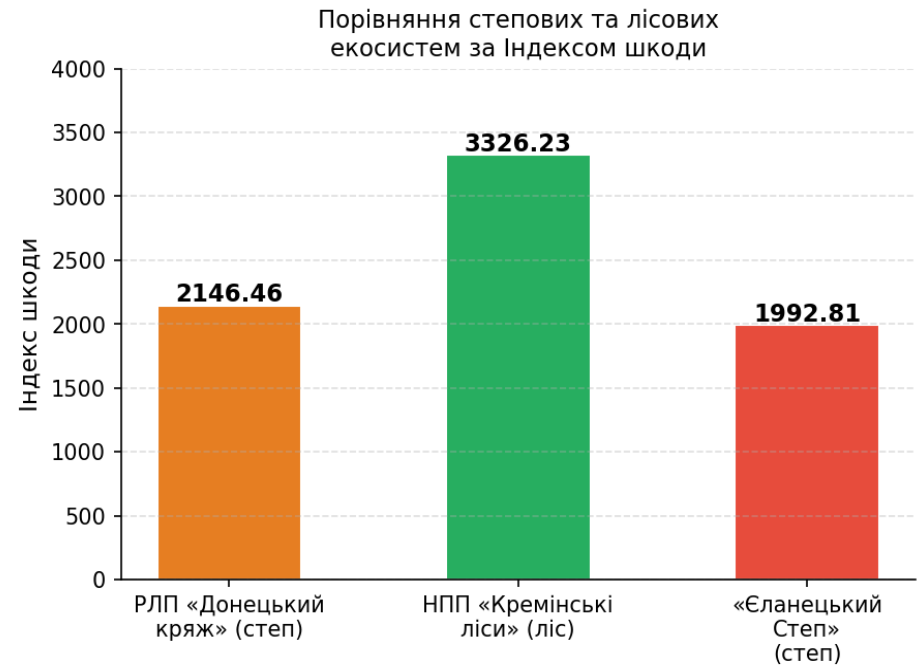
ДОДАТОК К

Аналіз шкоди для екосистем річкових долин (Сіверський Донець та Оскіл)



ДОДАТОК Л

Аналіз шкоди степових екосистем (РЛП «Донецький кряж» та «Єланецький Степ»)



ДОДАТОК М

Демонстрація важливості нормалізації: порівняння абсолютних та нормалізованих показників шкоди

