

Хмельницький національний університет
Гуманітарно-педагогічний факультет
Кафедра екології та біологічної освіти

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Особливості екологічного обстеження територій після обстрілів
із використанням БПЛА

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)
Галузь знань – 10 Природничі науки
Спеціальність – 101 Екологія
Освітня програма – «Екологія»

КвРЕКОЛ. 024007.01.03.00

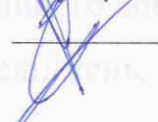
Виконав здобувач 4 курсу
група ЕКОЛз-22-1


Станіслав КОВШИРІН

Керівник к.с.-г.н., доцент


Сергій ШЕВЧЕНКО

Нормоконтролер


Сергій ШЕВЧЕНКО

До захисту допускаю:
Зав. кафедри екології
та біологічної освіти


Ольга ЄФРЕМОВА

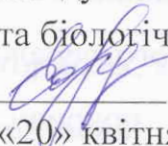
15 червня 2026 р.

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет – Гуманітарно-педагогічний
Кафедра – Екології та біологічної освіти
Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)
Галузь знань – 10 «Природничі науки»
Спеціальність – 101 «Екологія»
Освітньо-професійна програма – «Екологія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри екології
та біологічної освіти

 Ольга ЄФРЕМОВА
«20» квітня 2026 року

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Ковширіну Станіславу Миколайовичу

1. Тема роботи: Особливості екологічного обстеження територій після обстрілів із використанням БПЛА

керівник роботи Шевченко Сергій Миколайович, к.с.-г.н., доцент.

Затверджено наказом ректора університету від 20 січня 2026 року № 7.

2. Термін подання здобувачем роботи на кафедру 12 червня 2026 року.

3. Вихідні дані до роботи: аерофотознімання територій після обстрілів із використанням БПЛА, матеріали дистанційного зондування Землі, картографічні дані, результати польових екологічних досліджень.

4. Зміст кваліфікаційної роботи:

4.1 Вплив обстрілів на ґрунтовий покрив і рослинність.

4.2 Застосування БПЛА для виявлення осередків потенційного забруднення.

4.3 Аналіз природного середовища та стану ґрунтового покриву території дослідження.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів	Примітка
1	Вплив обстрілів на ґрунтовий покрив і рослинність	18.05-25.05.2026	виконано
2	Застосування БПЛА для виявлення осередків потенційного забруднення	26.05-01.06.2026	виконано
3	Аналіз природного середовища та стану ґрунтового покриву території дослідження	02.06-07.06.2026	виконано
4	Оформлення роботи	08.06-11.06.2026	виконано

Дата видачі завдання:

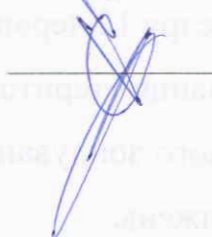
«12» травня 2026 р.

Здобувач



Станіслав КОВШИРІН

Керівник



Сергій ШЕВЧЕНКО

АНОТАЦІЯ

Тема – Особливості екологічного обстеження територій після обстрілів із використанням БПЛА.

Автор – здобувач ЕКОЛ-22₃-1 Р.Р. Станіслав КОВШИРІН.

Керівник – доцент кафедри екології та біологічної освіти, кандидат сільськогосподарських наук С.М. Шевченко.

Кваліфікаційна робота викладена на 54 сторінках, містить 11 рисунків, 3 таблиці та перелік джерел посилань із 30 найменувань.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ВОЄННИЙ СТАН, БПЛА, ЗАБРУДНЕННЯ ҐРУНТІВ, ВАЖКІ МЕТАЛИ, КРАСНОСІЛКА, ВІДНОВЛЕННЯ ҐРУНТІВ.

У кваліфікаційній роботі досліджено особливості екологічного обстеження територій після обстрілів із використанням безпілотних літальних апаратів. Проаналізовано вплив обстрілів на ґрунтовий покрив і рослинність. Розглянуто можливості застосування БПЛА для виявлення осередків потенційного забруднення та оцінки стану пошкоджених територій. Проведено аналіз природного середовища та стану ґрунтового покриву території дослідження із використанням матеріалів дистанційного зондування та польових досліджень. Обґрунтовано доцільність використання сучасних геоінформаційних і аерофотознімальних технологій для підвищення ефективності екологічного моніторингу територій, що зазнали воєнного впливу.

11.06.2026

Станіслав КОВШИРІН

ЗМІСТ

	С.
Вступ.....	5
1 Вплив обстрілів на ґрунтовий покрив і рослинність.....	8
1.1 Механічні пошкодження ґрунтів.....	8
1.2 Ризики хімічного забруднення.....	11
1.3 Методи екологічної оцінки порушених земель.....	12
2 Застосування БПЛА для виявлення осередків потенційного забруднення.....	15
2.1 Технічні характеристики та класифікація БПЛА для екологічних досліджень.....	15
2.2 Планування польотів і забезпечення безпеки робіт у зоні потенційної небезпеки.....	18
2.3 Організація аерофотозйомки: висота польоту, перекриття, просторове розрізнення.....	21
2.4 Обробка даних БПЛА: створення ортофотопланів, цифрових моделей рельєфу.....	24
2.5 Виявлення аномалій рослинності.....	27
3 Аналіз природного середовища та стану ґрунтового покриву території дослідження.....	33
3.1 Характеристика природного середовища району дослідження.....	33
3.2 Оцінка пошкоджень ґрунтового покриву внаслідок вибуху та заходи його рекультивації.....	38
3.3 Рекомендації щодо моніторингу пошкоджених ґрунтів після обстрілів із використанням БПЛА.....	47
Висновки.....	50
Перелік джерел посилання.....	52

ВСТУП

Актуальність теми. У сучасних умовах воєнних дій на території України проблема стану ґрунтового покриву та рослинності набуває особливої актуальності. Внаслідок обстрілів, вибухів і пересування військової техніки значні площі земель зазнають серйозних змін. Найчастіше це проявляється у вигляді вирв, порушення структури ґрунту, ущільнення поверхні, перемішування шарів і знищення рослинного покриву. Окрім механічних пошкоджень, існує ризик хімічного забруднення, оскільки після вибухів у ґрунт можуть потрапляти різні шкідливі речовини. Такі зміни не завжди помітні одразу, але вони можуть мати довготривалий вплив на стан екосистем і ускладнювати подальше використання земель, особливо в сільському господарстві.

Додатковою проблемою є наявність вибухонебезпечних предметів, які залишаються на територіях після бойових дій. Це створює небезпеку для людей і значно обмежує можливість проведення звичайних польових досліджень. У зв'язку з цим виникає потреба у використанні безпечних і сучасних методів оцінки стану територій. Одним із таких методів є застосування безпілотних літальних апаратів. Використання БПЛА дозволяє швидко обстежувати великі площі, отримувати детальні зображення місцевості та визначати найбільш пошкоджені ділянки без прямого контакту з небезпечною зоною. Це значно спрощує процес дослідження та підвищує його ефективність. Саме тому обрана тема є актуальною та має важливе практичне значення.

Мета і завдання роботи. Метою даної кваліфікаційної роботи є оцінка стану ґрунтового та рослинного покриву територій, пошкоджених унаслідок бойових дій, із використанням безпілотних літальних апаратів.

Для досягнення поставленої мети було визначено такі завдання:

- проаналізувати вплив бойових дій на стан ґрунтів і рослинності;

- визначити основні види механічних пошкоджень ґрунтового покриву;
- розглянути можливі наслідки хімічного забруднення;
- ознайомитися з методами екологічної оцінки порушених земель;
- дослідити можливості використання БпЛА для обстеження територій;
- розглянути особливості проведення аерофотозйомки та обробки даних;
- виконати аналіз стану досліджуваної території;
- запропонувати заходи щодо відновлення порушених земель.

Об’єкт дослідження – території, що зазнали впливу бойових дій та обстрілів, і їхній екологічний стан

Предмет дослідження – особливості проведення екологічного обстеження постраждалих територій із використанням безпілотних літальних апаратів (БПЛА) для виявлення та оцінки екологічних наслідків.

Під час виконання роботи було використано як теоретичні, так і практичні методи дослідження. На першому етапі проведено аналіз літературних джерел, що дозволило краще зрозуміти сутність проблеми та існуючі підходи до її вирішення. У подальшому застосовувалися польові спостереження для оцінки стану територій. Основну увагу було приділено дистанційним методам, зокрема використанню БпЛА для отримання аерофотознімків. Отримані матеріали оброблялися за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення, що дало змогу створювати ортофотоплани та аналізувати зміни поверхні. Також у роботі використовувалися методи порівняння, аналізу та узагальнення для оцінки результатів дослідження та формування висновків.

Практичне та інноваційне значення роботи. Практичне значення роботи полягає в тому, що отримані результати можуть бути використані для оцінки стану територій, які постраждали внаслідок бойових дій, а також для планування заходів з їх відновлення та рекультивації. Запропоновані підходи

можуть бути корисними для екологів, працівників аграрної сфери та спеціалізованих служб, що займаються обстеженням і очищенням територій. Інноваційність роботи полягає у застосуванні сучасних технологій дистанційного зондування, зокрема безпілотних літальних апаратів. Такий підхід дозволяє значно підвищити швидкість і точність досліджень, зменшити ризики для людей і отримати більш повну інформацію про стан територій. Використання БПЛА є перспективним напрямом у сфері екологічного моніторингу, особливо в умовах обмеженого доступу до досліджуваних ділянок.

Основні наукові положення та результати досліджень апробовано на щорічній студентській Науково-практичній конференції за підсумками науково-дослідної роботи здобувачів освіти Хмельницького національного університету (м. Хмельницький, 15 травня 2026 року).

1 ВПЛИВ ОБСТРІЛІВ НА ҐРУНТОВИЙ ПОКРИВ І РОСЛИННІСТЬ

Через повномасштабне вторгнення на територіях України почали знаходити велику кількість уламків та небезпечних предметів, і через невизначеність усіх компонентів що можуть там знаходитися це може призвести до зараження ґрунтового покриву землі що в подальшому може призвести до забруднення та знищення рослинного покриву та деяку виду рослин [1; 3; 10; 12].

1.1 Механічні пошкодження ґрунтів

Механічні пошкодження ґрунтів є однією з найбільш поширених форм деградації земель, що виникає внаслідок прямого фізичного впливу на ґрунтовий покрив. Вони характеризуються порушенням природної структури ґрунту, руйнуванням ґрунтового профілю, зміною фізичних властивостей та деформацією поверхні. В умовах інтенсивного антропогенного навантаження, а також воєнних дій, масштаби механічних пошкоджень зростають, тому потрібно використовувати сучасні методи їхнього виявлення та оцінки. Основними проявами механічних пошкоджень ґрунтів є ущільнення, зняття або руйнування верхнього гумусового шару, перемішування генетичних горизонтів, а також зміна мікрорельєфу території. Ущільнення ґрунту відбувається через рух важкої техніки й зменшує пористість, погіршує аерацію та водопроникність [8]. Отримані результати підтверджують ефективність використання БПЛА для оперативного моніторингу трансформації ґрунтово-рослинного покриву в умовах техногенного навантаження.

Такі зміни негативно впливають на водний режим ґрунтів, знижують їхню біологічну активність і обмежують можливості природного

відновлення. Особливо значних механічних порушень зазнають ґрунти на територіях, де відбувалися вибухи або масштабні земляні роботи. У результаті утворюються вирви, траншеї, насипи та колії, що супроводжується повним або частковим руйнуванням ґрунтового профілю. Порушення цілісності ґрунтових горизонтів призводить до втрати гумусу, зниження родючості та порушення процесів ґрунтоутворення, що має довготривалі екологічні наслідки. Механічні пошкодження ґрунтів тісно пов'язані з активізацією ерозійних процесів. Руйнування рослинного покриву та оголення поверхні ґрунту підвищують його вразливість до дії води й вітру. Внаслідок цього відбувається змивання або видування родючого шару, що поглиблює деградацію земель і ускладнює їх подальше господарське використання. Зміни мікрорельєфу через механічні впливи також змінюють розподіл поверхневої води, що може призводити до локального підтоплення або пересушування окремих ділянок [1; 3].

Для ефективного виявлення та аналізу механічних пошкоджень ґрунтів важливе значення мають методи дистанційного зондування, зокрема із застосуванням БПЛА. Використання БПЛА дозволяє швидко отримувати детальні аерофотознімки з високою роздільною здатністю, що є особливо актуальним для територій з обмеженим або небезпечним доступом. На таких знімках чітко фіксуються ознаки механічних порушень, зокрема вирви від вибухів, колії від техніки, зони зруйнованого ґрунтового та рослинного покриву. Дані, отримані з використанням БПЛА, можуть бути основою для створення ортофотопланів і цифрових моделей рельєфу, що дозволяє кількісно оцінювати параметри механічних пошкоджень, такі як площа порушених ділянок, глибина деформацій та характер змін поверхні. Порівняння матеріалів аерознімання, отриманих у різні періоди часу, дає змогу відстежувати зміну ґрунтового покриву та оцінювати процеси його відновлення або подальшої деградації [15]. Застосування ортофотопланів та цифрових моделей рельєфу дозволяє більш точно оцінити масштаби пошкоджень територій.

Використання БпЛА у дослідженні механічних пошкоджень ґрунтів дозволяє оптимізувати проведення польових робіт. На основі попереднього аналізу аерофотоматеріалів визначаються найбільш ушкоджені ділянки, що потребують детальнішого ґрунтового обстеження та відбору зразків. Такий підхід підвищує ефективність моніторингу та зменшує часові й ресурсні витрати (рисунок 1.1) [10; 11; 18].



Рисунок 1.1 – Падіння російського дрону по цивільній земельній ділянці
(<https://poltava.to/news/80878/>)

Отже, механічні пошкодження ґрунтів є складною екологічною проблемою, яка має багатофакторний характер і призводить до суттєвого порушення функціонування ґрунтових екосистем. Застосування БпЛА у процесі їх оцінки забезпечує більш повне та об'єктивне уявлення про масштаби й характер пошкоджень, що є необхідною передумовою для розробки науково обґрунтованих заходів з рекультивації та відновлення порушених земель [6; 7; 12; 24].

1.2 Ризики хімічного забруднення

Після обстрілів території зазнають не лише механічних руйнувань, але й хімічного забруднення, яке часто є менш помітним, але не менш небезпечним. У результаті вибухів у навколишнє середовище потрапляють різні хімічні речовини, здатні негативно впливати на ґрунти, воду, рослинність і живі організми. Особливість такого забруднення полягає в тому, що воно може зберігатися тривалий час і проявлятися не одразу. Основними джерелами хімічного забруднення після обстрілів є залишки боєприпасів, продукти вибуху, уламки металу, а також паливно-мастильні матеріали військової техніки. У ґрунт можуть потрапляти важкі метали та інші токсичні сполуки, які не руйнуються природним шляхом і здатні накопичуватися в навколишньому середовищі. З часом такі речовини можуть проникати в глибші шари ґрунту або змиватися дощовими водами [5; 7; 20; 24].

Значну небезпеку становить поєднання хімічного забруднення з механічними пошкодженнями ґрунтів. Після вибухів ґрунт часто розпушений або, навпаки, ущільнений, а рослинний покрив знищений. У таких умовах ґрунт втрачає здатність затримувати й частково нейтралізувати шкідливі речовини, що сприяє їх швидшому поширенню. Це підвищує ризик потрапляння токсичних елементів у ґрунтові та поверхневі води. Додатковим фактором ризику є метеорологічні умови, зокрема інтенсивні опади та танення снігу. Під час сильних дощів забруднюючі речовини можуть вимиватися з поверхні ґрунту та переноситися на сусідні ділянки, розширюючи зону ураження. У пониженнях рельєфу та місцях накопичення води концентрація шкідливих речовин часто зростає, що створює небезпеку для локальних екосистем [8].

Окрему проблему становлять нерозірвані боєприпаси та їхні фрагменти, які залишаються в ґрунті після обстрілів. Вони є потенційним джерелом хімічного забруднення, оскільки з часом металеві оболонки руйнуються, а шкідливі речовини поступово переходять у ґрунт. Крім того,

такі об'єкти створюють додаткову небезпеку під час проведення польових обстежень [5; 7; 20; 24].

Для виявлення зон можливого хімічного забруднення доцільно використовувати сучасні методи обстеження, зокрема дистанційні спостереження з використанням БПЛА. Застосування БПЛА дозволяє швидко оцінити масштаби пошкоджень, визначити найбільш уражені ділянки та спланувати подальші детальні дослідження без зайвого ризику для фахівців. Важливо враховувати, що наслідки хімічного забруднення можуть проявлятися не лише в природних екосистемах, але й у сільськогосподарському використанні земель. Забруднені ґрунти можуть становити небезпеку при вирощуванні сільськогосподарських культур, оскільки токсичні речовини здатні накопичуватися в рослинах і потрапляти в харчовий ланцюг. Це робить питання екологічного контролю особливо актуальним для постраждалих регіонів [1; 3; 10; 12].

Отже, хімічне забруднення після обстрілів є серйозною екологічною проблемою, яка потребує своєчасного виявлення та контролю. Поєднання дистанційних методів обстеження з лабораторними аналізами ґрунтів і вод дозволяє більш повно оцінити рівень небезпеки та розробити ефективні заходи для відновлення постраждалих територій [5; 7; 20; 24].

1.3 Методи екологічної оцінки порушених земель

Екологічна оцінка порушених земель проводиться для того, щоб оцінити, наскільки пошкоджені території внаслідок діяльності людини або воєнних дій. Вона допомагає виявити основні проблеми, зрозуміти рівень можливих загроз і прийняти рішення щодо подальшого відновлення земель [6; 7; 12].

Під час обстежень у польових умовах звертають увагу на стан ґрунту, рослинності та поверхні землі. Фіксуються помітні пошкодження, зокрема вирви після вибухів, сліди від руху техніки або насипи ґрунту. Також під час

виїздів на місцевість відбирають зразки ґрунту та води, які потім перевіряють на наявність шкідливих речовин. У відібраних зразках за допомогою лабораторного обладнання визначають, чи є важкі метали, нафтопродукти або інші забруднення, що могли потрапити в землю після обстрілів чи техногенних аварій. Отримані показники порівнюють із допустимими нормами, щоб оцінити можливу небезпеку для навколишнього середовища та людей [5; 7; 20; 24].

Важливу роль у оцінці порушених земель відіграють спостереження з повітря, зокрема із застосуванням БпЛА. Зйомка з дронів дає змогу швидко оглянути великі або важкодоступні території, куди небезпечно або складно дістатися пішки. За отриманими знімками можна оцінити масштаби пошкоджень, визначити площі порушених земель і загальний стан місцевості. Для зручності аналізу всі зібрані дані узагальнюють за допомогою комп'ютерних програм, у яких створюють карти порушених земель. На таких картах позначають найбільш проблемні ділянки та ступінь їх пошкодження. Це полегшує планування робіт з відновлення земель і допомагає зосередити увагу на тих територіях, які потребують першочергових заходів. [11; 14; 17].

Повномасштабне вторгнення РФ на територію України спричинило забруднення великої кількості території ВМП (вибухонебезпечні предмети) та металевими відходами. Що становить велику смертельну загрозу для мирного населення країни, блокує соціально-економічне відновлення, особливо в аграрному секторі [5; 7; 20; 24].

З початком використання країни агресора БпЛА-крила по типу Гербера, Шахед, Молнію... які почали переносити міни та інші ВМП і у зв'язку із збиття або заглушенням керування цих крил системою радіоелектронної боротьби (РЕБ) вони падають на земельні ділянки цивільних осіб та у місця де не можливо їх виявити неозброєним оком. Але використовується не тільки повітряне вторгнення, бо виконують ще наступальні дії що призводять до забруднення не тільки до механічного забруднення (відходи продуктів діяльності), а ще до знаходження на тих місцях металевих та пластикових

нерозпізнаних предметів що може завдати шкоду не тільки ґрунту та навколишньому середовищу, а і мирному населенню. Тому використовуючи БпЛА можливо виявити вирви від вибухів, розкиданих боєприпасів та оцінити безпеку ситуації для подальшої більш точної роботи [5; 7; 20; 24].

Задля безпечного виявлення та знешкодження цих ВНП доцільно використовувати БпЛА зі спеціальними вбудованими приладами, таких як: камеру з високою роздільною здатністю для чіткого охоплення зображення, магнітometri для виявлення металевих об'єктів у ґрунтах та великою іншою варіативністю приладів задля забезпечення продуктивної та безпечної роботи [1; 3; 10; 12].

Використовуючи БпЛА для розмінування дає не тільки змогу пришвидшити роботу, а найголовніше убезпечити особовий склад який виконує цю роботу (сапери та служби ДСНС), але в цьому способі виявлення є і недоліки тому що не всі нерозпізнані предмети мають металеву основу, а використовують ще і пластикову, тому є можливість неповного виявлення підозрілих предметів, але велика кількість може бути виявлена.

У більшості випадків коли знаходять ВНП його утилізують, але є випадки коли утилізація пройшла частково і більша частина предметів не виявлена спеціальними інструментами та спеціальними підрозділами кваліфіковано навчених людей, тому є велика вірогідність того що це може призвести до не приємних або навіть трагічних випадків в подальшому.

Використовуючи БпЛА можливо не тільки швидко, якісно та безпечно виявляти підозрілі предмети, а найважливіше що цей метод дає змогу забезпечити захист людям, тому що зазвичай на виклик нерозпізнаного можливо небезпечного предмета викликають службу ДСНС і люди ризикують своїм життям щоб розпізнати на скільки цей предмет може бути небезпечним та виконати план знешкодження, тому використання БпЛА в такі моменти є великим полегшенням та забезпеченням захисту осіб які проводять знешкодження.

2 ЗАСТОСУВАННЯ БПЛА ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ОСЕРЕДКІВ ПОТЕНЦІЙНОГО ЗАБРУДНЕННЯ

Задля виявлення потенційно забруднених територій які по всій території країни доцільно використовувати БПЛА зі спеціальними вбудованими приладами. Ця методика дає змогу доцільно вивчити території які перебувають забрудненими та визначити ступінь цих шкідливих речовин для того щоб розписати ступінь забруднення та виконати роботу по утилізації забруднюючих речовин то обстеженій території.

2.1 Технічні характеристики та класифікація БПЛА для екологічних досліджень

Під час проведення екологічних досліджень важливо правильно обрати БПЛА оскільки саме від його технічних характеристик залежить якість отриманих даних. Сучасні БПЛА можуть виконувати різні завдання: моніторинг стану ґрунтів, оцінку рослинного покриву, виявлення пошкоджених або забруднених територій, а також створення детальних карт місцевості. Використання дронів дозволяє швидко отримувати інформацію з великих площ та проводити дослідження у місцях, куди важко або небезпечно потрапити людині [11; 14; 17].

При виборі безпілотної літачки для екологічного моніторингу потрібно враховувати декілька основних параметрів. До них належать час польоту, дальність польоту для передачі сигналу, тип сенсорів, стабільність польоту, якість камери та можливість автоматичного планування маршруту. Визначивши для чого саме потрібен дрон можна детально визначити конкретні характеристики які потрібні для ефективної роботи щоб детально вивчити робочу місцевість та в подальшому коректно підготувати дії для програми утилізації та озеленення [7; 12; 24].

Одним із важливих параметрів є час та дальність польоту. Для досліджень бажано використовувати дрони, які можуть перебувати у повітрі не менше 35 хвилин. Це дозволяє обстежувати значні території за один виліт і зменшує кількість разів на заміну батареї. В більшості випадків для досліджень використовують китайську компанію DJI яка виробляє велику варіативність дронів для будь яких робіт, в більшості випадків використовують DJI Mavic 3 Multispectral та DJI Mavic 3 Pro (рисунок 2.1 та рисунок 2.2) [11; 14; 17].



Рисунок 2.1 – DJI Mavic 3 Multispectral



Рисунок 2.2 – DJI Mavic 3 Pro

Одним із прикладів такого дрона є DJI Mavic 3 Multispectral. Це спеціалізований безпілотний апарат, який використовують для дослідження рослинності, стану ґрунтів та екологічного моніторингу. Він обладнаний кількома мультиспектральними камерами, які працюють у різних спектральних діапазонах - зеленому, червоному та інфрачервоному. Завдяки

цьому можна отримувати дані про стан рослин та аналізувати екологічні зміни на досліджуваній території [11; 14; 17].

Важливим фактором при виборі БПЛА є типи встановлених сенсорів. У екологічних дослідженнях використовують кілька основних типів камер: [6; 7; 12; 24]:

- RGB-камери (звичайні камери високої роздільної здатності);
- мультиспектральні камери;
- тепловізійні камери;
- LiDAR-сенсори.

Звичайні RGB-камери використовуються для отримання детальних фотографій. Вони підходять для створення карт територій або фіксації пошкоджень ландшафту. Мультиспектральні камери дозволяють отримувати інформацію про стан рослинності, оскільки вони фіксують відбиття світла у різних спектральних діапазонах. У деяких випадках використовують дрони з телевізійною камерою. Вони визначають різницю температур на поверхні землі що дозволяє побачити місця витоку забруднень або аналізу теплового стану ґрунтів. Теплові дрони поєднують інфрачервону камеру з оптичною, що дає змогу аналізувати температурні зміни у навколишньому середовищі

Окрім технічних характеристик потрібно врахувати практичність використання дрона у польових умовах. Для досліджень доцільно щоб апарат був компактним, швидко готувався до польоту та легко транспортувався. Багато сучасних моделей мають складну конструкцію, що дозволяє переносити їх у невеликих кейсах або рюкзаках. Це особливо важливо під час польових експедицій [11; 14; 17].

Також важливим є програмне забезпечення, яке використовується для планування польотів та обробки даних. Більшість сучасних дронів мають програми які можуть автоматично планувати маршрут польоту, створювати тривимірні карти території та формувати ортофотоплани. Це значно спрощує процес аналізу отриманої інформації та дозволяє використовувати результати досліджень у подальших наукових роботах [15].

2.2 Планування польотів і забезпечення безпеки робіт у зоні потенційної небезпеки

Планування для проведення польотів у зонах потенційної небезпеки є однією з найважливіших складових під час екологічного обстеження територій. До таких зон належать території, які зазнали техногенних аварій, військових дій, пожеж або інших негативних впливів, де присутні хімічні, біологічні або механічні ризики для людей та техніки. Правильне планування польотів допомагає не лише отримати точну інформацію про стан обстежених територій, а й мінімізувати ризики для оператора та дрону [6; 7].

Перед тим, як здійснити виліт на обстеження територій, необхідно провести попередній аналіз місцевості де буде здійснюватися політ. Це включає в себе вивчення картографічних матеріалів, супутникових знімків, даних про рельєф, наявність будівель, ліній електропередач, водних об'єктів та інших потенційно небезпечних перешкод такі як залишки вибухонебезпечних предметів. На основі цього аналізу формується потенційний маршрут польоту та визначаються зони можливого ризику, де дрон може працювати лише на безпечній висоті або з певними обмеженнями швидкості [8].

Маршрут польоту необхідно планувати заздалегідь. Це дозволить уникнути хаотичних маршрутів та забезпечити більш ефективне обстеження території. Зазвичай маршрут складається з кількох точок, через які дрон повинен пройти під час польоту. Такі точки задаються у спеціальному програмному забезпеченні, яке автоматично керує дроном [11; 14; 17].

Під час планування маршруту польоту потрібно враховувати:

- висоту польоту, яка повинна бути достатньою для безпечного обльоту перешкод та щоб фотознімки були коректні.
- швидкість руху дрона, щоб камера встигала фіксувати необхідні деталі;

- відстань до оператора, оскільки занадто велика дистанція може призвести до втрати сигналу;
- максимально пряма видимість дрону з оператором для забезпечення стабільного зв'язку;
- заряд батареї, який повинен бути достатнім для повернення дрона.

Зазвичай використовують метод польоту за сіткою. У цьому випадку дрон рухається паралельними лініями, поступово охоплюючи всю територію. Такий підхід дозволяє отримати повноцінну картину місцевості та створити детальні карти для подальшої роботи з ними. Навіть якщо основну роботу виконує дрон, оператор все одно знаходиться поблизу небезпечної території. Тому важливо дотримуватись правил безпеки. Перед початком роботи оператор повинен перевірити стан обладнання, переконатися у справності дрону та зарядженості батарей. Також необхідно перевірити роботу системи навігації та зв'язку [11; 14; 17].

У деяких випадках оператори використовують засоби індивідуального захисту, наприклад: захисні каски, рукавиці, респіратори, спеціальний одяг. Це особливо актуально, якщо робота проводиться у зоні можливого хімічного або радіаційного забруднення. Під час польоту оператор повинен стежити за станом дрона [11; 14; 17].

Сучасні системи керування показують на екрані основні параметри: висоту, швидкість, рівень сигналу та заряд батареї. Якщо виникають будь-які проблеми, наприклад сильний вітер або втрата сигналу, політ потрібно негайно припинити. Більшість сучасних дронів мають функцію автоматичного повернення до точки запуску, що значно підвищує безпеку роботи. Також важливо контролювати навколишній простір, щоб уникнути зіткнення з іншими об'єктами або технікою. Детальніше наведено в таблиці 2.1 [11; 14; 17]

Таблиця 2.1 – Основні ризики під час використання БПЛА та способи їх запобігання під час обстеження територій

Потенційний ризик	Причина виникнення	Можливі наслідки	Способи запобігання
Втрата сигналу між дроном і пультом керування	Велика відстань, перешкоди (будівлі, дерева), радіоперешкоди	Втрата контролю над дроном, аварійна посадка або падіння	Планувати маршрут у межах стабільного сигналу, використовувати функцію автоматичного повернення (Return to Home)
Низький заряд акумулятора	Тривалий політ або некоректне планування маршруту	Аварійна посадка або падіння дрона	Перед польотом перевіряти заряд батарей, планувати маршрут з урахуванням запасу енергії
Сильний вітер або погані погодні умови	Нестабільна погода, різкі пориви вітру	Втрата стабільності польоту, можливе зіткнення з перешкодами	Перед польотом перевіряти прогноз погоди, не запускати дрон при сильному вітрі
Зіткнення з перешкодами	Наявність дерев, будівель, ліній електропередач	Пошкодження або втрата дрона	Планувати безпечну висоту польоту, використовувати системи уникнення перешкод
Помилки оператора	Недостатній досвід або неуважність	Неправильне керування дроном, аварійні ситуації	Проводити тренування операторів та дотримуватися інструкцій експлуатації
Технічна несправність обладнання	Зношення деталей, пошкодження пропелерів або електроніки	Неконтрольований політ або падіння дрона	Проводити технічний огляд дрона перед кожним польотом
Вплив електромагнітних перешкод	Поблизу ліній електропередач або промислових об'єктів	Помилки в роботі навігації або компаса	Уникати польотів біля потужних джерел електромагнітного випромінювання

Після завершення польоту дрон необхідно приземлити та перевірити його технічний стан. Усі отримані дані зберігаються на носіях інформації та

передаються для подальшого аналізу. Фотографії та відеоматеріали можуть використовуватись для створення карт місцевості, визначення масштабів пошкоджень або оцінки стану природних ресурсів. У деяких випадках ці дані допомагають приймати рішення щодо відновлення територій або проведення додаткових досліджень [11; 14; 17].

2.3 Організація аерофотозйомки: висота польоту, перекриття, просторове розрізнення

Аерофотозйомка є одним із найпоширеніших способів отримання інформації про певну територію за допомогою безпілотників. Завдяки сучасним дронам можна швидко отримувати фотографії місцевості з висоти та використовувати їх для створення карт, аналізу стану територій або проведення екологічних досліджень. Проте для того, щоб отримані матеріали були якісними для подальшої обробки, необхідно правильно організувати сам процес зйомки. Під час планування аерофотозйомки потрібно враховувати кілька основних параметрів. Найважливішими серед них є правильно підібрана висота польоту дрона, перекриття знімків та просторове розрізнення зображень. Саме ці фактори значною мірою визначають якість майбутніх ортофотопланів, карт або моделей місцевості [11; 15].

Одним із головних параметрів, який потрібно коректно визначити перед виконанням польоту, є висота безпілотного літального апарата. Вона впливає на площу території, яка буде зафіксована на одному знімку, а також на деталізацію зображення. Чим нижче летить дрон, тим більш детальними будуть фотографії. Це пояснюється тим, що камера знаходиться ближче до поверхні землі, тому об'єкти займають більше місця на зображенні. Наприклад, при зйомці з висоти приблизно 50 метрів можна чітко розрізнити невеликі предмети, такі як тріщини в ґрунті, дрібні залишки будівельних матеріалів або невеликі елементи рослинності. Якщо ж політ відбувається на більшій висоті, наприклад від 100 метрів до 120 метрів, то площа території,

яка потрапляє в кадр, значно збільшується. Це дозволяє швидше покривати великі ділянки місцевості. Проте деталізація при цьому трохи зменшується, тому дрібні об'єкти можуть бути менш помітними [1; 3; 10; 12].

Під час виконання екологічного обстеження територій часто вибирають висоту польоту приблизно від сімдесяти до 120 метрів. Такий діапазон вважається досить зручним, оскільки він дозволяє отримати достатньо чіткі зображення та одночасно охопити значну площу місцевості. Крім цього, висота польоту також може залежати від типу місцевості. Наприклад, якщо зйомка проводиться на відкритій території без високих об'єктів, то можна використовувати більшу висоту. У випадку, коли на ділянці є дерева, будівлі або інші перешкоди, іноді доводиться зменшувати висоту польоту, щоб отримати більш точні знімки. Також важливо враховувати правила безпеки польотів. У багатьох країнах існують обмеження щодо максимальної висоти польоту. Тому під час планування аерофотозйомки необхідно дотримуватися встановлених вимог [6; 7; 12; 24].

Ще одним важливим параметром під час організації аерофотозйомки є перекриття знімків. Перекриття означає, що сусідні фотографії частково накладаються одна на одну. Це необхідно для того, щоб спеціальні програми могли правильно об'єднати всі знімки у єдину карту або тривимірну модель. Потрібно враховувати ще один не менш важливий фактор того що в усіх країнах є максимально допустима висота польоту, тому починаючи аерофотозйомку потрібно ознайомитися та в подальшому дотримуватися цих правил. Важливим параметром під час організації аерофотозйомки є перекриття знімків. Перекриття означає, що сусідні фотографії частково накладаються одна на одну. Це необхідно для того, щоб спеціальні програми могли правильно об'єднати всі знімки у єдину карту або тривимірну модель [11; 15].

Існує два основні способи перекриття: поздовжнє та поперечне. Поздовжнє перекриття виникає між знімками, які робляться один за одним під час руху дрона вперед. Іншими словами, це перекриття між

фотографіями, зробленими вздовж маршруту польоту. Поперечне перекриття формується між фотографіями, які зроблені на сусідніх польотних лініях. Коли дрон проходить одну смугу, а потім переходить на наступну, частина території повинна потрапляти на обидві серії знімків [11; 14; 17].

Зазвичай використовують від 60 % до 70 % перекриття між фото такі параметри дозволяють отримати достатню кількість однакових точок на різних фотографіях. Саме ці спільні точки використовуються програмами для побудови карти або тривимірної моделі місцевості. Якщо перекриття буде занадто малим, програма може не знайти достатньої кількості однакових елементів на знімках. У такому випадку виникають помилки під час обробки, а отримана модель може бути неточною або неповною. З іншого боку, занадто велике перекриття також не завжди є доцільним. Воно призводить до збільшення кількості фотографій, що потребує більше часу для обробки та більше місця для зберігання даних. Тому зазвичай намагаються знайти баланс між якістю зйомки та обсягом отриманої інформації.

Під час аерофотозйомки важливим показником є просторове розрізнення. Воно показує, яку ділянку поверхні яка відповідає одному пікселю на зображенні. Іншими словами, цей параметр визначає, наскільки детально буде відображена місцевість. Чим менше значення просторового розрізнення, тим більш детальним буде зображення. Наприклад, якщо один піксель дорівнюватиме 3 сантиметрам на землі, то можна добре розрізнити навіть дрібні елементи поверхні. Якщо ж один піксель відповідає 10 см або 15 см, деталізація буде значно нижчою [11; 15].

Зазвичай при зменшенні висоти польоту просторове розрізнення покращується. Камера знаходиться ближче до поверхні, тому один піксель відповідає меншій ділянці землі. Для екологічних досліджень часто використовують просторове розрізнення приблизно 5 сантиметрів на піксель. Такої деталізації зазвичай достатньо для того, щоб аналізувати стан ґрунтів, рослинності або виявляти пошкодження територій. Проте варто пам'ятати, що висока деталізація також має свої недоліки. Чим більше деталізація, тим

більший об'єм даних потрібно обробляти. Це означатиме, що обробка фотографій може займати значно більше часу та вимагати потужнішого комп'ютера, що в роботі може бути не дуже прийнятним бо інколи не має багато часу чекати на результати [20; 25; 22].

Правильна організована аерофотозйомка має велике значення для отримання якісних результатів. Якщо всі параметри підібрані правильно, то отримані знімки можна легко обробити та використати для подальшого аналізу. Завдяки сучасним безпілотникам процес збору інформації про територію значно спростився. Дрони дозволяють швидко обстежувати великі площі, отримувати актуальні зображення місцевості та виявляти різні зміни на поверхні землі. Особливо важливо це під час екологічних досліджень або обстеження територій, які могли постраждати внаслідок бойових дій. У таких випадках аерофотозйомка дозволяє отримати детальну інформацію про стан місцевості без необхідності тривалого перебування людей у небезпечних зонах. Таким чином, правильно вибрана висота польоту, оптимальне перекриття знімків та відповідне просторове розрізнення є основою якісної аерофотозйомки. Від цих параметрів залежить точність отриманих даних та можливість їх подальшого використання для створення карт, аналізу територій або прийняття управлінських рішень [11; 15].

2.4 Обробка даних БПЛА: створення ортофотопланів, цифрових моделей рельєфу.

Після проведення зйомки з безпілотника всі отримані матеріали потрібно додатково опрацювати на комп'ютері. Окремі фотографії, які зроблені під час польоту, не дають повної картини місцевості, тому їх необхідно поєднати та обробити. Вони являють собою окремі знімки, які потрібно вирівняти та обробити спеціальними програмами. Лише після цього можна отримати зручні для аналізу матеріали.

Етап обробки матеріалів з БПЛА відіграє важливу роль, оскільки саме в цей момент багато окремих фотографій об'єднуються в одне загальне зображення території. Крім того, обробка дозволяє отримати додаткову інформацію про висоти, форму поверхні та інші особливості місцевості. У випадку екологічних досліджень це допомагає краще зрозуміти стан території, оцінити пошкодження ґрунтів або визначити масштаби руйнувань після обстрілів [6; 7; 12; 24].

Після завершення польоту всі знімки копіюються з карти пам'яті дрона на комп'ютер зі спеціальними програмами. Зазвичай їх може бути від кількох сотень до кількох тисяч, залежно від площі досліджуваної території та параметрів польоту. Перш за все перевіряють якість фотографій. Якщо серед них є невдалі кадри, розмиті, з поганою видимістю місцевості то їх краще видалити, щоб вони не заважали подальшій обробці загального знімку [11; 14; 17].

У подальшому всі вдалі фотографії завантажуються у спеціальні програми для фотограмметричної обробки. На сьогоднішній день існує багато таких програм. Найбільш поширеними є Agisoft Metashape, Pix4D, RealityCapture (рисунок 2.3) та деякі інші. Вони автоматично аналізують знімки, знаходять на них однакові точки та поєднують їх між собою.

Одним із основних результатів такої обробки стає створення ортофотоплану.

Ортофотоплан – це зображення території, яке створене на основі багатьох фотографій і виправлене з урахуванням рельєфу та геометричних спотворень. Ортофотоплан має правильний масштаб і може використовуватися для вимірювання відстаней та площ [8].



Рисунок 2.3 – Програмне забезпечення для створення повноцінного зображення місцевості

Ортофотоплани зараз застосовують у багатьох сферах діяльності людини, їх застосовують у картографії, будівництві, сільському господарстві та екологічних дослідженнях. У випадку оцінки пошкоджених земель дозволяє чітко побачити межі руйнувань, визначити місця утворення вирв, пошкодження рослинності або інші зміни на території. Ще важливим результатом обробки даних БПЛА є створення цифрових моделей рельєфу. Цифрова модель рельєфу представляє собою набір даних, за допомогою яких можна визначити висоти та форму поверхні землі. Вона дозволяє побачити, як змінюється рельєф на досліджуваній території [15].

Виділяють кілька типів моделей. Найчастіше використовують цифрову модель поверхні та цифрову модель рельєфу. Перша відображає всі об'єкти на поверхні - дерева, будівлі, техніку та інші предмети. Друга показує тільки поверхню землі без сторонніх об'єктів [8].

У роботах, пов'язаних з екологічним обстеженням територій, цифрові моделі рельєфу мають велике значення. Наприклад, вони допомагають визначити глибину вирв після вибухів, оцінити масштаби пошкоджень ґрунту або зрозуміти, як змінюється поверхня після техногенного впливу. Також такі моделі можуть використовуватися для планування подальших робіт з відновлення земель. Після створення ортофотопланів і цифрових моделей рельєфу результати обробки можна експортувати у різні формати. Найчастіше використовують формати GeoTIFF або LAS. Такі файли можна відкривати у

геоінформаційних системах. У таких програмах можна проводити додатковий аналіз, робити вимірювання або створювати тематичні карти [1; 3; 10; 12].

Важливим моментом є також точність отриманих результатів. На неї впливає багато факторів, зокрема висота польоту дрона, якість камери, погодні умови та правильність планування маршруту. Якщо під час зйомки було забезпечене достатнє перекриття знімків, то обробка проходить значно легше і результати виходять більш точними [11; 14; 17].

Таким чином, обробка даних БПЛА є важливою частиною всього процесу аерофотозйомки. Саме на цьому етапі звичайні фотографії перетворюються на повноцінні геопросторові матеріали, які можна використовувати для аналізу території. Ортофотоплани та цифрові моделі рельєфу дозволяють детально досліджувати поверхню землі, оцінювати пошкодження та планувати подальші роботи [11; 15].

2.5 Виявлення аномалій рослинності

Коли досліджуєш територію, дуже важливо придивлятися до рослин. Вони швидко реагують на все, що відбувається навколо. Тому, якщо на ділянці щось змінюється, рослини одні з перших це показують. До прикладу, якщо трава росте рідше, виглядає блідою або на окремих місцях взагалі її немає, це сигналізує про те, що з ділянкою щось не так. Навіть неспеціаліст може помітити такі зміни, просто пройшовшись по території.

Такі місця прийнято називати аномаліями рослинності. Це означає, що рослини ростуть інакше, ніж у сусідніх ділянках. Прикладом може бути те що на полях, де основна маса трави зелена і густа, можна побачити декілька зон, де рослини світліші, ростуть рідше або взагалі відсутні. Саме такі відмінності привертають увагу під час огляду територій. Вони допомагають зрозуміти, що тут можуть бути проблемні ділянки які потребують більш детальної перевірки [20; 25; 22].

Причини, через які з'являються аномалії, можуть бути напрочуд різні. Найчастіше це пошкодження ґрунту. Наприклад, якщо по території проходила техніка, особливо важка, або були вибухи, земля може стати ущільненою або порушеною. У таких умовах рослинам набагато складніше отримувати вологу та поживні речовини, тому вони ростуть гірше, виглядають слабкими або навіть не приживаються. Такі проблеми зазвичай помітні відразу – рослини не ростуть рівномірно, а на деяких ділянках рослинність може бути взагалі відсутня [1; 3; 10; 12].

Одна з причин через яку відбувається забруднення ґрунтів або води. Якщо у землю потрапляють шкідливі речовини, рослини теж починають відчувати стрес. Вони можуть змінювати колір, виглядати слабшими або перестати рости. На знімках із дронів це можливо побачити одразу - ділянки з проблемними зонами будуть відрізнятися за кольором і структурою від ділянок територій де ростуть здорові рослини. Тому важливо порівнювати різні частини поля або лісу, щоб визначити, що є нормою, а що ні. Особливо сильно на рослини та рослинний покрив впливають наслідки бойових дій. Після обстрілів або вибухів поверхня землі часто сильно змінюється – з'являються вирви, порушується структура ґрунту. Через це рослини можуть частково або повністю зникнути. Відновлення ділянок які зазнали фізичних або інших змін які потребують оздоровлення зазвичай займає дуже багато часу і в більшості залежить від погодних умов, типу ґрунту та інших факторів [11; 14; 17].

До повноцінного застосування новітніх технологій для оцінки стану рослинності доводилося обходитись традиційним способом – виїздом на місцевість. Дослідники оглядали територію пішки, фотографували рослини і записували спостереження. Це давало точне уявлення про стан рослин, але займало багато часу, особливо на великих територіях. Крім того, деякі місця могли бути небезпечними – прикладом цього є залишки боєприпасів або руйнування ґрунту могли становити загрозу [20; 22; 25].

Але на сьогоднішні дні ситуація кардинально змінилася завдяки дронам. Безпілотники дозволяють швидко зробити якісні знімки великої території і побачити загальну картину стану рослинності. Можна знімати з різних висот і бачити не лише великі площі, а й дрібні деталі, наприклад, окремі місця з пригніченими рослинами або плями, де покрив відсутній. Це значно економить час і робить обстеження безпечнішим та швидшими (рисунок 2.4).



Рисунок 2.4 – Аерофотознімок території зроблений з дрону

Отримані знімки обробляють за допомогою спеціальних програм. Вони допомагають поєднати велику кількість фотографій у єдиний великий план місцевості – ортофотоплан. Такий план дає змогу детально розглянути територію, побачити різницю у стані рослин і одразу помітити проблемні ділянки. На таких планах можна чітко побачити, де рослини ростуть рівномірно, а де відрізняються від загального фону. Наприклад, більшість трави може бути густою та темно-зеленою, а на деяких ділянках - світлішою, блідішою або зовсім рідкою. Це може свідчити про нестачу вологи, пошкодження ґрунту або інші фактори, що вплинули на ріст рослин [1; 3; 10].

Іноді аномалії мають вигляд окремих плям – невеликих або досить великих. Такі ділянки одразу кидаються в очі під час аналізу знімків. Якщо їх помітити вчасно, можна більш детально перевірити, що стало причиною змін

та запобігти розповсюдженню. Після того як потенційні зони аномалії знайдені, проводять додаткову перевірку на місцевості. Дослідники виїжджають і оглядають ці ділянки, щоб зрозуміти причину змін. Можливо, рослини постраждали через пошкоджений ґрунт, нестачу вологи або наслідки вибухів. У деяких випадках причиною можуть бути навіть природні умови, наприклад, затінені ділянки або кам'янистий ґрунт, де рослини ростуть слабше та рідше [20; 22; 25].

Ще одним з великий плюс використання дронів – це можливість повторної зйомки. Якщо робити фото через певні проміжки часу, можна побачити, як змінюється стан рослинності. До прикладу, після дощу деякі ділянки швидко зеленіють, а інші залишаються рідкими. Це допомагає зрозуміти, які місця потребують більшої уваги і втручання спеціалістів.

Зокрема того, важливо враховувати те що на стан рослинності впливає не тільки пошкодженість ґрунтів чи забруднення, а й природні умови. Наприклад, у низинах може накопичуватися вода після дощу, і рослини мають більш активний ріст у таких місцях, ніж на підвищених ділянках. А на кам'янистих чи піщаних ділянках вони можуть бути слабшими навіть без будь-якого людського впливу. Тому під час оцінки стану рослинності завжди варто враховувати особливості рельєфу та склад ґрунту [8].

Крім звичайної рослинності, на стан території впливає і наявність бур'янів або чужорідних рослин. Іноді саме вони змінюють вигляд ділянки і можуть створювати враження аномалій, хоча в дійсності це лише особливості флори. Тому спеціалісти завжди звертають увагу на те, які саме види рослин ростуть на проблемних ділянках. Це допомагає відокремити справжні пошкодження від природних відмінностей землі [20; 22].

Використовуючи дрони є ще одна важлива перевага – можливість спостерігати територію з різних ракурсів. Наприклад, на знімках зверху видно загальний стан рослинності, а з бокових ракурсів можна оцінити висоту трави, густоту кущів або розташування дерев. Це особливо важливо

на ділянках із нерівним рельєфом, де деякі зміни рослинності з висоти не завжди помітні.

Крім аерозйомки, на сьогоднішній день часто використовують різні додаткові методи для більш детальної оцінки рослинності. Наприклад, спеціальні сенсори можуть вимірювати вологість ґрунту, температуру, освітленість. Поєднання таких даних із аерофотознімками дозволяє точніше зрозуміти, чому рослини на одній ділянці ростуть добре, а на іншій – погано. Це особливо корисно під час обстеження великих територій, де простий огляд не дає повної картини [20; 22].

Важливо зазначити, що на відновлення рослинності впливають сезонні зміни. Прикладом є те що навесні і влітку рослини ростуть активніше, а восени й взимку сповільнюють свій ріст. Тому, оцінюючи аномалії, варто враховувати пору року. На одних і тих же ділянках у різні сезони стан рослинності може виглядати зовсім по-різному, навіть без будь-яких пошкоджень або забруднень [5].

Крім цього, потрібно звернути увагу на те, що на стан рослинності впливають і погодні умови останніх днів чи тижнів. Якщо була сильна посуха, трава на ділянці може виглядати висохлою і слабкою. А після дощу вона швидко оживає, і на знімках це виглядає як “відновлення” рослинності. Тому під час аналізу даних обов’язково враховують погодні умови, щоб правильно інтерпретувати аномалії.

Також потрібно робити порівняння з сусідніми територіями. Це допомагає зрозуміти, що є нормальною особливістю цієї ділянки, а що – справжньою проблемою. Наприклад, на сусідніх полях рослини можуть бути здоровими, а на обстежуваній ділянці – слабкішими. Це допомагає визначити, які ділянки потребують додаткових заходів таких як поливу, відновлення ґрунту або очищення від сміття та залишків вибухівки. Завдяки всім цим методам – аерозйомці, індексам, польовому огляду, повторним зйомкам і врахуванню сезонних та погодних факторів – можливо отримати повну

картину стану рослинності на території. Це допомагає швидко знаходити проблемні ділянки, оцінювати їх стан і планувати відновлювальні роботи

Поєднання аерозйомки та польових спостережень дає повну картину стану території. Це дозволяє точніше зрозуміти, чому рослини ростуть інакше, оцінити масштаби пошкоджень і прийняти рішення про відновлення території. Таким чином, виявлення аномалій рослинності допомагає швидко помітити проблемні місця, оцінити їх стан і визначити, які ділянки потребують більш детального дослідження та спостереження. Використання дронів значно полегшує цей процес, дає змогу швидко отримати потрібну інформацію і економить багато часу у порівнянні з традиційними методами [11; 14; 17].

3 АНАЛІЗ ПРИРОДНОГО СЕРЕДОВИЩА ТА СТАНУ ГРУНТОВОГО ПОКРИВУ ТЕРИТОРІЇ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Характеристика природного середовища району дослідження

На рисунок 3.1 та рисунок 3.2 (а) зображено окремі фрагменти міста Костянтинівка Донецької області. Тут панують умови справжнього Донецького лісостепу, що поступово переходить у відкритий степ.

Дивлячись на рисунок 3.2 (б) він зроблений в м. Слов'янськ Донецької області Слов'янськ, хоча й розташований лише за 25 км на північ від Костянтинівки, має свої унікальні географічні та природні особливості. Ця місцевість є перехідною ланкою між відкритим Донецьким степом і мальовничою долиною річки Сіверський Донець.



Рисунок 3.1 – Руйнування ворожим БПЛА в місті Костянтинівка

В Костянтинівці клімат значно посушливіший і має виражені ознаки континентальності. Для Костянтинівки характерне спекотне літо з частими суховіями та малосніжна, але вітряна зима. Сума активних температур тут

значно вища, ніж на півночі, що дозволяє вирощувати теплолюбні культури, проте головним обмежуючим фактором є волога. Часто спостерігається дефіцит опадів, особливо в критичні фази росту рослин. Ґрунтові особливості. На відміну від підзолистих ґрунтів півночі, околиці Костянтинівки – це царство чорноземів звичайних. Колір: Ґрунт на фото з цієї місцевості мав би насичений темно-сірий або майже чорний колір.

Клімат міста Слов'янськ помірно-континентальний, але дещо м'якший, ніж у південніших районах області, завдяки впливу річкової долини та наявності великих масивів води (озера, річки). Тут спостерігається висока кількість сонячних днів, проте вологість повітря вища, ніж у відкритому степу. Специфічною рисою є мікроклімат району Слов'янського курорту, де випаровування з солоних озер створює особливий склад повітря.



а



б

а – м. Костянтинівка; б – м. Слов'янськ

Рисунок 3.2 – Руйнування на околицях Донецької області

Ґрунти у цій в районах Костянтинівки мають дуже глибокий гумусовий горизонт (іноді до 1 метра і більше) і зернисту структуру. Вони надзвичайно родючі, але через інтенсивне розорювання та вітри схильні до вітрової ерозії (пилових бур) [3; 10; 12].

А навколо Слов'янська переважають чорноземи звичайні, але вони мають свої відмінності: різноманітність ґрунтів окрім потужних чорноземів

на рівнинах, у заплавах річок зустрічаються лучно-чорноземні та алювіальні ґрунти, які є дуже вологими та родючими. Ще цим ґрунтам притаманна засоленість через наявність соляних куполів під землею, у районі озер (Рапне, Сліпне) зустрічаються солончаки - специфічні ґрунти, на яких можуть рости лише особливі види рослин (галофіти) [1; 3; 12].

Природна рослинність в Костянтинівці суттєво обмежена сільськогосподарською діяльністю та промисловістю. Агрокультури – це головний регіон для вирощування соняшника та озимої пшениці. Також поширені кукурудза та ячмінь.

Флора Слов'янська значно багатша завдяки близькості до заповідника «Святі Гори». Лісові масиви на відміну від Костянтинівки, тут значно більше дерев. Окрім штучних лісосмуг, навколо міста є природні соснові бори (на піщаних терасах Дінця) та дубові гаї. Також є унікальні рослини, на солоних озерах ростуть рідкісні солелюби, а на крейдових відкладеннях неподалік - реліктові рослини (наприклад, сосна крейдяна). Сільське господарство, околиці активно використовують для вирощування соняшнику, пшениці та кукурудзи, але велика кількість водойм також сприяє розвитку овочівництва.

Ландшафт Костянтинівки більш розчленований і рельєфний. Це частина Донецького кряжу, тому для місцевості характерні хвилясті рівнини, порізані глибокими балками та ярами. Наявність териконів, кар'єрів та промислових зон, які вкраплені в аграрний пейзаж. Долина річки Кривий Торець формує специфічний мікрорельєф із заплавами луками, які різко контрастують із сухим степом навколо.

Ландшафт Слов'янська дуже впізнаваний і мальовничий: Крейдяні гори поблизу міста починаються виходи крейдових порід, що створює білосніжні схили, які різко контрастують із зеленню лісів. Головна особливість - система карстових солоних озер та близькість річки Казенний Торець, що впадає у Сіверський Донець. Місто розташоване у низовині, оточеній пагорбами, що захищає його від сильних степових вітрів, характерних для решти Донеччини [8; 38].

Порівняння: Якщо Костянтинівка - це індустріальний степ із глибокими чорноземами, то Слов'янськ – це «курортний степ» із унікальним поєднанням солі, крейди, води та соснових лісів, що робить його одним із найбільш природно різноманітних куточків сходу України.



Рисунок 3.3 – Грунтове пошкодження цивільних територій
Чернігівської області

Розглядаючи рисунок 3.3 та рисунок 3.4 це фото зроблені біля околиць с. Жадове Новгород-Сіверського району Чернігівської області дозволяє значно деталізувати природні характеристики цієї ділянки, оскільки цей регіон має свої унікальні особливості на межі Полісся та Лісостепу.

Місцевість цих районів належить до зони Новгород-Сіверського Полісся. Клімат тут помірно-континентальний, але з помітно вищою вологістю та дещо нижчими середньорічними температурами порівняно з центральною Україною. Це зона достатнього зволоження, де літо помірно тепле, а зима зазвичай м'яка з тривалим сніговим покривом.

Для околиць Жадове характерне поєднання дерново-підзолистих та сірих лісових ґрунтів. Оскільки на фото ми бачимо досить темний відтінок ріллі, ймовірно, це опідзолені або темно-сірі лісові ґрунти, які утворилися на лесовидних суглинках. Вони мають добру аерацію, але вимагають ретельного догляду через схильність до підкислення та вимивання поживних речовин під дією значних опадів, характерних для півночі Чернігівщини.



Рисунок 3.4 – Ґрунтове пошкодження цивільних територій Чернігівської області після танення снігу

Природна рослинність навколо села представлена мішаними лісами (Поліська флора). Специфіка регіону дозволяє вирощувати тут не лише пшеницю, а й льон, картоплю, жито та овес, які традиційно добре пристосовані до місцевих ґрунтово-кліматичних умов.

Це територія з хвилястим рівнинним рельєфом, що порізаний невеликими балками та долинами малих річок. Велика кількість відкритих просторів на фото в поєднанні з лісовими масивами створює мозаїчний ландшафт, який є ідеальним для ведення сільського господарства, але водночас зберігає значне біорізноманіття прикордонного поліського краю.

3.2 Оцінка пошкоджень ґрунтового покриву внаслідок вибуху та заходи його рекультивації

На рисунку 3.1 зафіксовано наслідки потужного вибуху на відкритій ділянці, що прилягає до паркану та зелених насаджень. У центрі знаходиться глибока вирва неправильної форми. Вона має круті схили, що вказує на значну енергію вибуху, яка пішла вглиб ґрунту. Внутрішня частина вирви заповнена пухкою землею, перемішаною з камінням. Навколо епіцентру вибуху ми бачимо розкидані великі та дрібні шматки асфальту. Вибухова хвиля буквально розірвала дорожнє покриття, перетворивши його на гострі уламки, що врізалися в сусідній ґрунт. Поверхня навколо виглядає «посіченою». На задньому плані видно бетонний паркан, частина якого пошкоджена. Поруч стоїть дерево з обламаними гілками, а земля вкрита дрібним сміттям та залишками рослинності, що була вирвана з коренем у момент детонації.

Наслідки для стану ґрунту на цій локації демонструє поєднання двох типів негативного впливу: прямого ударного та вторинного забруднення.

Порушення структури та аерації: Через падіння важких уламків асфальту та дію ударної хвилі ґрунт навколо вирви зазнав сильного переущільнення. Це створює ефект «бетонування» землі, коли коріння рослин не може пробитися крізь занадто щільні шари.

Хімічне забруднення нафтопродуктами. Оскільки асфальт містить бітум та інші нафтопродукти, його дрібні частки, потрапляючи вглиб вирви, починають отруювати ґрунт. При нагріванні влітку ці залишки можуть виділяти шкідливі речовини, що пригнічують корисні мікроорганізми.

На фото чітко видно, що верхній шар ґрунту змішався з підстилаючими породами (щебенем та піском), які зазвичай кладуть під асфальт. Це робить землю бідною на поживні речовини.

Озеленення території. Для маскуванню пошкодженої ділянки та зміцнення країв колишньої вирви рекомендується використовувати рулонний

газон. Це дозволить миттєво створити захисний шар, який не дасть дощам розмивати пухку землю (таблиця 3.1).

Таблиця 3.1 – Методи рекультивації та озеленення ділянки для відновлення необхідно виконати наступні кроки:

Етап робіт	Суть заходу	Мета виконання
Повне вилучення техногенного сміття	Ретельне збирання всіх уламків асфальту та бетону, включаючи дрібні частки	Запобігання довготривалому хімічному забрудненню ґрунту нафтопродуктами
Відновлення родючого шару	Пошарове засипання вирви: на дно – пісок або суглинок, зверху – шар чорнозему (не менше 24 см)	Відновлення родючості ґрунту та створення сприятливих умов для росту рослин

Висадка «стресостійких» рослин: Біля пошкоджених дерев варто висадити кущі, які швидко відновлюються, наприклад, бирючину або дерен. Вони допоможуть закрити пошкоджений паркан і створять природний бар'єр для пилу.

Через сильний механічний стрес, який зазнала земля, обов'язковим є внесення гуматів – спеціальних добрив, які допомагають рослинам адаптуватися до «важкої» землі.

Відновлення ділянки потребує особливої уваги до очищення від залишків асфальтового покриття та глибокого розпушування. Основна мета - не просто зарівняти яму, а нейтралізувати вплив нафтопродуктів та відновити родючість через повну заміну верхнього шару землі якісним ґрунтом.

На фотографіях див. рисунок 3.2 зафіксовано наслідки вибухів, спричинених влучанням боєприпасів (імовірно, ударних БпЛА).

На першому фото ми бачимо відкриту місцевість, де внаслідок вибуху утворилася глибока вирва конусоподібної форми. Навколо розкидані шматки асфальту, каміння та перемішані шари землі. Рослинність навколо вирви знищена або присипана щільним шаром пилу та дрібних уламків. На задньому плані помітно зруйновану дерев'яну та цегляну споруду, що свідчить про значну вибухову хвилю. На другому фото зафіксовано влучання безпосередньо біля багатопверхового житлового будинку. Вирва розташована на асфальтованій ділянці та межує з прибудинковою зеленою зоною. Вибух призвів до сильного обвуглення поверхні – земля та залишки покриття мають характерний чорний колір, що вказує на термічний вплив тобто високу температуру. Стіни будинку посічені уламками, вікна вибиті, а поруч лежать купи будівельного сміття. Наслідки спричинені для ґрунту після влучання безпілотної – це не просто «дірка в землі» це комплексне пошкодження, яке змінює структуру та склад ґрунту на роки.

Під час вибуху відбувається колосальний тиск. Верхній, найбільш родючий шар ґрунту (гумус), просто викидається назовні або перемішується з глибинними шарами піску та глини. Через ударну хвилю земля навколо вирви стає занадто щільною, що перекриває доступ повітря та води до коріння рослин, які вціліли поруч [1; 12].

Хімічне отруєння це найнебезпечніший «невидимий» наслідок. Уламки безпілотної та вибухова речовина містять важкі метали (свинець, кадмій, марганець) та залишки палива.

Сірка та азот при згорянні утворюють сполуки, які при контакті з дощем перетворюються на слабкі розчини кислот, що «спалюють» мікрофлору.

Засмічення дрібними уламками пластику, металу та скла залишаються в ґрунті, заважаючи розвитку кореневої системи.

У здоровому ґрунті живуть мільярди бактерій, грибів та черв'яків, які роблять його родючим. Висока температура від вибуху буквально стерилізує

землю, вбиваючи все живе в радіусі кількох метрів. Щоб на цьому місці знову щось виросло, недостатньо просто засипати яму. Потрібен системний підхід.

Крок 1. Очищення та розмінування Перш за все, територія має бути перевірена саперами. Після цього необхідно вручну або механізовано видалити всі великі уламки: шматки металу, пластику, цегли та асфальту. Якщо залишити їх у землі, вони будуть роками отруювати воду, що просочується крізь ґрунт.

Крок 2. Детоксикація (виведення отрути) Якщо аналіз показує високий вміст важких металів, використовують спеціальні речовини-сорбенти (наприклад, активоване вугілля або природні мінерали, такі як цеоліт). Вони «зв'язують» отруту, не даючи рослинам її всмоктувати. Також ефективним є вапнування, якщо ґрунт став занадто кислим після вибуху.

Крок 3. Технічне відновлення Вирву потрібно засипати. Але не будь-чим. Спочатку на дно кладеться шар «материнської породи» (пісок або глина), а зверху від двадцяти до тридцяти см якісного чорнозему або родючої суміші. Важливо не утрамбовувати землю занадто сильно, щоб вона залишалася пухкою.

Після того, як земля «відпочила», переходимо до біологічного етапу. Фіторе mediaція – рослини-чистильники. Існують рослини, які вміють витягувати отруту з землі. Наприклад, соняшник, гірчиця або кукурудза здатні накопичувати в собі важкі метали. Їх висаджують на перший сезон, а потім обов'язково скошують і утилізують як небезпечні відходи - їсти їх чи згодовувати худобі не можна. Для швидкого відновлення родючості використовують біопрепарати – суміші корисних бактерій, які купуються в магазинах для аграріїв. Вони допомагають землі знову «дихати». Детальніше наведено в таблиці 3.2.

З вище написано можна зробити висновок що відновлення ґрунту після влучання БпЛА – це тривалий процес, що вимагає терпіння. Головне завдання – не просто приховати вирву, а нейтралізувати хімічну загрозу та повернути землі здатність підтримувати життя.

Таблиця 3.2 – Приклади рослин для постійного озеленення пошкоджених територій

Тип рослинності	Приклади	Характеристика	Призначення
Травосуміші	Тонконіг, костриця	Утворюють щільний дерен	Захист ґрунту від розмивання дощами
Кущі	Форзиція, пухироплідник	Швидко ростуть, мають потужну кореневу систему	Закріплення пошкодженого ґрунту
Дерева	Липа, клен	Стійкі до міських умов, добре переносять загазованість та інші стресові фактори	Озеленення території та довготривале укріплення ґрунтового покриву

Використання правильних сорбентів, свіжого ґрунту та рослин – чистильників дозволяє за два роки або три роки повністю відновити екосистему на місці вибуху.

На даних зображеннях див. рисунок 3.3 видно фрагмент фото з камери БпЛА. У центральній частині фото знаходиться темна пляма, яка має нерівномірну форму та, ймовірно, є місцем удару або падіння об'єкта. Навколо цієї ділянки спостерігаються розкидані уламки різного розміру, які частково занурені у сніг. Також видно сліди розльоту матеріалу від центру, що може свідчити про механічний вплив або вибуховий характер події.

Загальний вигляд місцевості – це відкрита ділянка без густої рослинності, ймовірно поле або порушена територія. З точки зору впливу на ґрунтовий покрив, подібне падіння безпілотного апарата може мати комплексні наслідки. Насамперед відбувається механічне порушення верхнього шару ґрунту. У місці падіння формується воронка або заглиблення, руйнується структура ґрунтових агрегатів, порушується природна щільність і пористість. Це може призводити до погіршення водопроникності та аерації ґрунту. У зимовий період ці зміни не завжди одразу помітні, оскільки поверхня прихована снігом, але після його танення такі ділянки часто

виглядають як оголені плями з ущільненим або, навпаки, розпушеним ґрунтом.

Окрім механічного впливу, можливе хімічне забруднення. Безпілотники містять різні матеріали: пластик, композитні елементи, металеві деталі, акумулятори, залишки пального або мастильних речовин. У разі руйнування ці компоненти можуть потрапляти в ґрунт. Особливо небезпечними є залишки акумуляторів, які можуть містити важкі метали або токсичні електроліти. Такі речовини здатні змінювати кислотність ґрунту, порушувати мікробіологічні процеси та знижувати родючість. Якщо місце вибуху, то додатково можуть з'являтися продукти горіння, які також негативно впливають на екологічний стан ділянки.

Ще одним наслідком є порушення рослинного покриву. Навіть якщо на момент падіння територія була вкрита снігом, під ним знаходиться рослинність або насіння, які можуть бути пошкоджені. В зоні впливу знищується дернина, порушується коренева система рослин, що у подальшому призводить до утворення ділянок без рослинності. Такі місця стають більш вразливими до ерозії – як водної, так і вітрової. Після танення снігу на цих ділянках часто спостерігається змивання верхнього родючого шару або його пересихання.

Після сходу снігу першочерговим завданням є оцінка стану території. Необхідно провести візуальне обстеження ділянки, визначити межі пошкодження, зібрати всі видимі уламки та сторонні предмети. Особливу увагу слід приділити можливим небезпечним залишкам. За потреби до таких робіт залучаються спеціалісти, оскільки деякі елементи можуть бути потенційно небезпечними. Наступним етапом є відновлення ґрунтового покриву. Якщо утворилася воронка або значне заглиблення, її слід засипати. Для цього використовують місцевий ґрунт або завозять родючий шар. Важливо не просто засипати яму, а відновити природну структуру: спочатку більш щільні шари, потім – пухкий родючий верхній шар. Після цього

бажано провести легке розпушування поверхні, щоб покращити доступ повітря та води.

У випадку можливого хімічного забруднення доцільно провести аналіз ґрунту. Якщо виявлено перевищення шкідливих речовин, можуть застосовуватись заходи локальної рекультивації. Це може бути заміна верхнього шару ґрунту або внесення спеціальних матеріалів, які зменшують токсичність (наприклад, органічні добрива, сорбенти). Такі дії допомагають відновити нормальні умови для розвитку рослин. Для озеленення ділянки після відновлення ґрунту застосовують посів трав або інших рослин. Найчастіше використовують невибагливі трав'яні суміші, які добре приживаються та швидко формують дернину. Це можуть бути злакові трави, які стійкі до погодних умов і здатні швидко закрити оголені ділянки. Посів бажано проводити навесні, коли ґрунт вже достатньо прогрітий і має достатню вологість.

Перед посівом поверхню вирівнюють, при необхідності додають добрива, після чого насіння рівномірно розподіляють і злегка прикочують. У подальшому важливо забезпечити догляд за відновленою ділянкою. Це може включати полив у разі посушливої погоди, контроль за появою бур'янів, а також повторний підсів у місцях, де рослини не зійшли. Через деякий час, за умови правильного догляду, рослинний покрив поступово відновлюється, і ділянка набуває більш природного вигляду.

Таким чином, навіть локальне падіння безпілотного апарата може мати помітний вплив на стан ґрунтового покриву. Однак за умови своєчасного обстеження, очищення території та проведення простих відновлювальних заходів можливо значною мірою мінімізувати негативні наслідки та повернути ділянці її екологічні функції.

На рисунку 3.4 показано ділянку місцевості з однаковими пошкодженнями але вже після танення снігового покриву. Територія виглядає як відкрите поле, ймовірно сільськогосподарського призначення, із характерною структурою обробленого ґрунту – помітні сліди від техніки та

рівномірна текстура поверхні. У центральній частині фото чітко видно локальне порушення ґрунтового покриву. Це місце має світліший колір порівняно з навколишнім ґрунтом і виглядає як пляма неправильної форми. Також спостерігаються залишки сторонніх матеріалів або уламків, які не були повністю прибрані. Якщо порівнювати із зимовими фото, де ця ділянка була частково прихована, тепер добре видно реальні масштаби пошкодження. Ймовірно, це місце падіння БПЛА, де відбувся механічний вплив на поверхню та верхній шар ґрунту.

Після танення снігу стає очевидним, що ґрунтовий покрив зазнав як фізичних, так і, можливо, хімічних змін. По-перше, відбулося механічне порушення структури ґрунту. У місці удару верхній шар був або знятий, або перемішаний із нижніми шарами. Це призводить до втрати природної структури, яка формується тривалий час. Також можливе ущільнення ґрунту внаслідок удару, що негативно впливає на водопроникність і аерацію. Ущільнений ґрунт гірше пропускає воду, через що можуть виникати застійні процеси або, навпаки, поверхневий стік.

По-друге, у місці падіння можуть залишатися залишки технічних матеріалів. Навіть якщо великі уламки були частково прибрані, дрібні фрагменти, а також сліди пального чи мастил можуть залишатися у ґрунті. Це створює ризик локального забруднення. Такі речовини можуть змінювати хімічний склад ґрунту, знижувати його родючість та негативно впливати на мікроорганізми, які відіграють важливу роль у формуванні ґрунтової структури. Також варто звернути увагу на відсутність рослинності у пошкодженій зоні. Якщо на решті поля можуть з'являтися перші ознаки відновлення або залишки попередніх культур, то в центрі пошкодження рослинний покрив відсутній. Це означає, що насіння або коренева система були знищені або умови для їх проростання стали несприятливими. Така ділянка без рослин є вразливою до ерозійних процесів, особливо у весняний період, коли підвищується вологість і можливі опади.

З урахуванням виявленого стану території, після танення снігу доцільно провести комплекс відновлювальних заходів. Першим етапом є очищення ділянки. Необхідно ретельно зібрати всі видимі уламки та сторонні предмети. Особливо важливо видалити дрібні фрагменти, які можуть залишатися у ґрунті та заважати його обробці. У разі підозри на наявність небезпечних речовин варто провести додаткову перевірку або залучити спеціалістів.

Далі слід оцінити стан ґрунту. Якщо пошкодження є значним, доцільно частково замінити верхній шар ґрунту або провести його покращення. Це може включати внесення органічних добрив, які допомагають відновити мікробіологічну активність. Також можна застосувати розпушування, щоб відновити структуру та покращити доступ повітря і води. Після підготовки ґрунту можна переходити до озеленення. Найпростішим і ефективним способом є посів трав'яних сумішей. Вони швидко проростають, формують щільний покрив і захищають ґрунт від ерозії. Для таких умов зазвичай обирають невибагливі види, які добре пристосовуються до змінених умов. Посів слід проводити рівномірно, після чого бажано трохи ущільнити поверхню, щоб забезпечити контакт насіння з ґрунтом.

У подальшому важливо контролювати стан цієї ділянки. Якщо з'являються ознаки нерівномірного проростання або ділянки залишаються пустими, слід провести повторний підсів. Також у перший період бажано уникати інтенсивного навантаження на ґрунт, наприклад руху техніки, щоб не погіршити його стан. Отже, порівняння зимових і весняних зображень дозволяє краще зрозуміти характер пошкодження та його наслідки.

Видно, що навіть відносно невелике локальне порушення може суттєво вплинути на стан ґрунтового покриття. Проте за умови своєчасного втручання та правильного підходу до відновлення є можливість досить швидко повернути ділянку до нормального стану та відновити її функціональність.

3.3 Рекомендації щодо моніторингу пошкоджених ґрунтів після обстрілів із використанням БПЛА

Моніторинг стану ґрунтового покриву після обстрілів є важливим завданням, оскільки такі події призводять не лише до механічного порушення поверхні, але й до можливого хімічного забруднення. У таких умовах використання БпЛА дозволяє швидко оцінити ситуацію без прямого перебування людини в небезпечній зоні. Це особливо актуально для територій, де існує ризик наявності нерозірваних боєприпасів або інших загроз. Першим етапом організації моніторингу є підготовка. Вона включає аналіз доступної інформації про територію: топографічних карт, супутникових знімків, а також попередніх звітів про обстріли. Наприклад, використання відкритих супутникових сервісів дозволяє попередньо визначити місця найбільших руйнувань і сформувавши зони пріоритетного обстеження. Це допомагає оптимізувати польоти та зменшити витрати часу і ресурсів.

На етапі планування польотів важливо правильно обрати параметри зйомки. Для більшості завдань моніторингу ґрунтів оптимальним є перекриття зображень на рівні від 75 % до 85 % уздовж маршруту і не менше в діапазоні приблизно від 65 % до 75 % поперек. Такий підхід забезпечує достатню кількість даних для подальшої фотограмметричної обробки. Висота польоту залежить від необхідної деталізації: наприклад, для виявлення великих воронок достатньо висоти приблизно 100 м, тоді як для детального аналізу структури ґрунту або дрібних пошкоджень доцільно знижувати висоту до п'ятдесяти метрів.

Як приклад, для моніторингу можуть використовуватися дрони типу DJI Mavic 3 або Autel EVO II, які оснащені камерами з високою роздільною здатністю і дозволяють отримувати чіткі знімки. У більш складних випадках доцільно застосовувати БпЛА з мультиспектральними камерами, наприклад DJI Mavic 3 Multispectral, що дає змогу оцінювати стан рослинності та

виявляти ділянки деградації ґрунтів, які не завжди помітні у видимому спектрі, приклади БПЛА наведено на рисунку 3.5.

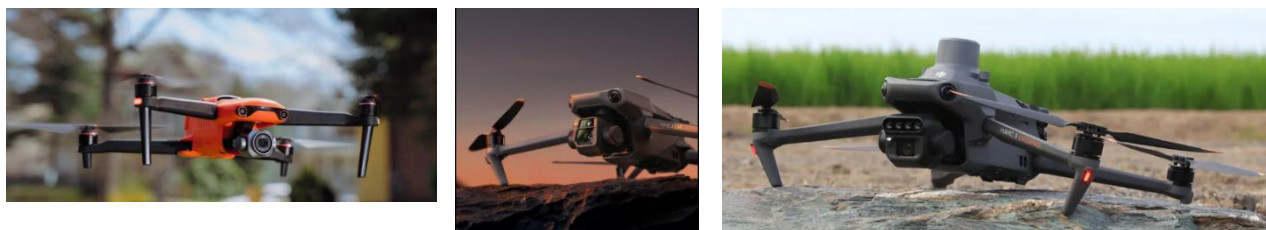


Рисунок 3.5 – Приклади БПЛА які найчастіше використовують для моніторингу

Під час виконання зйомки важливо дотримуватися однакових умов, особливо якщо планується повторний моніторинг. Рекомендується проводити польоти в один і той самий час доби, за подібного освітлення та погодних умов. Це дозволяє уникнути впливу тіней і зміни кольорових характеристик зображень, що може ускладнювати аналіз. Після збору даних здійснюється їх обробка. Найчастіше використовуються такі програмні продукти, як Pix4D, Agisoft Metashape або DroneDeploy. За їх допомогою створюються ортофотоплани, цифрові моделі рельєфу та тривимірні моделі місцевості. Наприклад, на основі цифрової моделі рельєфу можна визначити глибину та об'єм воронок, що є важливим показником рівня пошкодження ґрунтового покриву. Приклади додатків показано на рисунку 3.6.



Рисунок 3.6 – Додатки для обробки даних

Окрему увагу слід приділяти аналізу отриманих результатів. Візуальний аналіз дозволяє виявити порушення структури ґрунту, сліди ерозії, ділянки знищеної рослинності. У разі використання мультиспектральних даних можна розраховувати індекси рослинності (наприклад NDVI), які допомагають оцінити рівень відновлення екосистеми. Зниження таких показників може свідчити про деградацію ґрунту або наявність токсичних речовин. Для підвищення достовірності результатів доцільно поєднувати дані БПЛА з польовими дослідженнями. Наприклад, після виявлення підозрілих ділянок за результатами аерозйомки проводиться відбір проб ґрунту. Лабораторний аналіз дозволяє визначити вміст важких металів, продуктів горіння або інших забруднювачів. Такий підхід забезпечує комплексну оцінку стану території.

Важливим аспектом є безпека виконання робіт. Перед запуском БПЛА необхідно оцінити ризики, пов'язані з наявністю вибухонебезпечних предметів. У разі сумнівів варто залучати спеціалізовані служби для обстеження території. Також оператор повинен дотримуватися правил польотів, контролювати рівень заряду батареї, уникати польотів у складних погодних умовах та забезпечувати стабільний зв'язок із дроном.

Крім того, ефективний моніторинг передбачає регулярність. Проведення повторних обстежень через певні проміжки часу (наприклад, раз на місяць або сезон) дозволяє відстежувати процес відновлення ґрунтів. Це особливо важливо для оцінки ефективності рекультиваційних заходів, таких як засівання трав, внесення добрив або вирівнювання поверхні.

Таким чином, застосування БПЛА у моніторингу пошкоджених ґрунтів після обстрілів є сучасним і ефективним підходом. Воно дозволяє оперативно отримувати детальну інформацію, зменшувати ризики для людей та підвищувати точність оцінки стану територій. Поєднання аерозйомки, програмної обробки та польових досліджень створює основу для прийняття обґрунтованих рішень щодо подальшого використання та відновлення земель.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі досліджено особливості екологічного обстеження територій, що зазнали впливу бойових дій, із застосуванням безпілотних літальних апаратів. На основі аналізу наукових джерел і практичних прикладів встановлено, що воєнні дії спричиняють значні механічні та хімічні порушення ґрунтового покриву, руйнування рослинності, зміну рельєфу місцевості та підвищення ризиків для навколишнього природного середовища і населення.

У роботі визначено основні наслідки обстрілів для ґрунтів, серед яких найбільш поширеними є утворення вирв, ущільнення та руйнування ґрунтового профілю, активізація ерозійних процесів, а також накопичення уламків боєприпасів і токсичних речовин. Встановлено, що особливу небезпеку становить поєднання механічних пошкоджень із хімічним забрудненням, оскільки це ускладнює природне відновлення земель та може спричиняти довготривалу деградацію екосистем.

Проаналізовано сучасні методи екологічної оцінки порушених територій та обґрунтовано доцільність використання БпЛА для проведення моніторингових досліджень. Визначено, що застосування безпілотних систем забезпечує оперативне отримання актуальної інформації про стан територій, дозволяє працювати у важкодоступних і потенційно небезпечних зонах, а також значно знижує ризики для фахівців під час польових обстежень.

У ході дослідження розглянуто технічні характеристики та можливості сучасних БпЛА, які використовуються для екологічного моніторингу. Встановлено, що найбільш ефективними для оцінки стану ґрунтів і рослинності є безпілотники, оснащені RGB-, мультиспектральними та тепловізійними камерами. Такі системи дають змогу виконувати аерофотозйомку високої точності, створювати ортофотоплани та цифрові

моделі рельєфу, а також виявляти осередки потенційного забруднення і аномалії рослинного покриву.

Окрему увагу приділено питанням планування польотів та організації аерофотозйомки. Визначено основні параметри, що впливають на якість отриманих матеріалів, зокрема висоту польоту, перекриття знімків та просторове розрізнення. Доведено, що правильне планування маршруту польоту та дотримання вимог безпеки є важливою умовою ефективного проведення екологічного обстеження територій після обстрілів.

У практичній частині роботи проведено аналіз природного середовища окремих територій Донецької та Чернігівської областей, які постраждали внаслідок бойових дій. Встановлено, що характер пошкоджень залежить від природно-кліматичних умов, типів ґрунтів, особливостей рельєфу та інтенсивності антропогенного впливу. За результатами аналізу підтверджено, що використання БпЛА дозволяє ефективно виявляти пошкоджені ділянки, оцінювати масштаби руйнувань та фіксувати зміни стану рослинності.

Доведено, що поєднання аерофотозйомки, дистанційного зондування, польових досліджень і лабораторних аналізів забезпечує комплексний підхід до екологічної оцінки порушених земель. Отримані результати можуть бути використані для подальшого моніторингу територій, планування рекультиваційних заходів, оцінки екологічних ризиків та прийняття управлінських рішень щодо відновлення постраждалих екосистем.

Таким чином, використання БпЛА є перспективним та ефективним напрямом сучасного екологічного моніторингу, який дозволяє підвищити точність досліджень, скоротити час проведення обстежень і забезпечити безпечне отримання інформації про стан територій, пошкоджених унаслідок бойових дій.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

- 1 Булигін С. Ю. Моніторинг ґрунтів та оцінка їх екологічного стану : навч. посіб. / С. Ю.Булигін, С. В. Вітвіцький. – Київ : Аграрна освіта, 2020. – 256 с.
- 2 Вергунов В. А. Основи дистанційного зондування Землі : навч. посіб. / В. А. Вергунов. – Київ : НУБіП України, 2021. – 312 с.
- 3 Греков В. О. Деградація ґрунтів України та шляхи їх відновлення / В. О. Греков, Л. М. Даценко. – Харків : Факт, 2019. – 284 с.
- 4 Добряк Д. С., Канаш О. П. Екологічні основи рекультивації порушених земель / Д. С. Добряк, О. П. Канаш. – Київ : Урожай, 2020. – 198 с.
- 5 Жовинський Е. Я. Геохімія ґрунтів та техногенне забруднення територій / Е. Я. Жовинський Е. Я. – Київ : Логос, 2021. – 344 с.
- 6 Кучерявий В. П. Екологія: : навч. посіб. / В. П. Кучерявий. – Львів : Світ, 2022. – 520 с.
- 7 Мальований М. С. Екологічна безпека територій після техногенного впливу / М. С. Мальований, В. Г. Петрук. – Вінниця : ВНТУ, 2023. – 241 с.
- 8 Мартин А. Г. Геоінформаційні системи у природоохоронній діяльності / А. Г. Мартин. – Київ : Компринт, 2021. – 276 с.
- 9 Національний атлас України / Л. Г. Руденко. – Київ : ДНВП «Картографія», 2021. – 440 с.
- 10 Патика В. П., Макаренко Н. А. Агроекологічний моніторинг та охорона ґрунтів / В. П. Патика, Н. А. Макаренко. – Київ : Основа, 2020. – 336 с.
- 11 Шевченко Р. Ю. Використання БПЛА для екологічного моніторингу територій / Р. Ю. Шевченко // Вісник геодезії та картографії. – 2022. – № 3. – С. 45–52.

- 12 Яцик А. В. Оцінка екологічного стану порушених територій / А. В. Яцик // Екологічні науки. – 2023. – № 2. – С. 88–96.
- 13 Agisoft Metashape Professional User Manual. Version 2.0. – Agisoft LLC, 2023. – 168 p.
- 14 DJI Enterprise. DJI Mavic 3 Multispectral User Guide. – Shenzhen : DJI, 2023. – 74 p.
- 15 Pix4Dmapper User Manual. – Lausanne : Pix4D SA, 2022. – 115 p.
- 16 Anderson K. Lightweight unmanned aerial vehicles will revolutionize spatial ecology / K. Anderson, K. J. Gaston // *Frontiers in Ecology and the Environment*. – 2019. – Vol. 11. – № 3. – P. 138–146.
- 17 Colomina I. Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review / I. Colomina, P. Molina // *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. – 2021. – Vol. 92. – P. 79–97.
- 18 Drone Industry Insights. Drone applications in environmental monitoring. – 2024. – URL: <https://droneii.com/drone-applications-in-environmental-monitoring> (дата звернення: 07.05.2026).
- 19 FAO. Status of the World's Soil Resources. – Rome : Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2021. – 650 p.
- 20 FAO. Soil pollution: A hidden reality. – Rome : Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2022. – 142 p.
- 21 Lal R. Soil degradation as a reason for inadequate human nutrition / R. Lal // *Food Security*. – 2021. – Vol. 1. – P. 45–57.
- 22 Li Y. Spectral responses of damaged vegetation under environmental stress using UAV imagery / Y. Li, H. Zhang, Q. Shen // *Remote Sensing*. – 2023. – Vol. 15. – № 4. – P. 554–568.
- 23 Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine. Методичні рекомендації щодо оцінки екологічних збитків внаслідок бойових дій. – Київ, 2023. – URL: <https://mepr.gov.ua> (дата звернення: 07.05.2026).
- 24 UNEP. Environmental impacts of armed conflicts and remediation measures. – Nairobi : United Nations Environment Programme, 2022. – 214 p.

25 UNITAR. Satellite-based assessment of environmental damage in conflict zones. – Geneva, 2023. – URL: <https://unitar.org> (дата звернення: 07.05.2026).

26 Zhang C. The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: A review / C. Zhang, J. M. Kovacs // Precision Agriculture. – 2020. – Vol. 13. – P. 693–712.

27 Державна служба України з надзвичайних ситуацій. Рекомендації щодо поводження з вибухонебезпечними предметами. – Київ, 2024. – URL: <https://dsns.gov.ua> (дата звернення: 07.05.2026).

28 Державне космічне агентство України. Використання технологій дистанційного зондування Землі для оцінки наслідків бойових дій. – Київ, 2023. – URL: <https://space.gov.ua> (дата звернення: 07.05.2026).

29 European Environment Agency. Soil monitoring in Europe. – Copenhagen : EEA, 2022. – 186 p.

30 ISO 21384-3:2021. Unmanned aircraft systems – Operational procedures. – Geneva : International Organization for Standardization, 2021. – 54 p.