

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»

Навчально-науковий інститут природокористування
Кафедра екології та технологій захисту навколишнього середовища

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
кваліфікаційної роботи ступеня магістра


студента Маслака Анатолія Юрійовича
(ПІБ)

академічної групи 183М-23-1
(шифр)

спеціальності – 183 «Технології захисту навколишнього середовища»
(код і назва спеціальності)

за освітньо-професійною програмою – «Технології захисту навколишнього середовища»
(офіційна назва)

на тему «Обґрунтування методів оцінки та технологій відновлення земель, порушених воєнними діями»
(назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка	Підпис
роботи	Бучавий Ю.В.		
розділів:			
Теоретичного	Бучавий Ю.В.		
Дослідницького	Бучавий Ю.В.		
Технологічного	Бучавий Ю.В.		
Охорони праці	Столбченко О.В.		
Економічного	Павличенко А.В.		
Рецензент			
Нормоконтролер	Грунтова В.Ю.		

Дніпро
2024

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»

ЗАТВЕРДЖЕНО:

завідувачка кафедри ЕТЗНС

_____ Борисовська О.О.

(підпис) (прізвище, ініціали)

« » _____ 2024 року

ЗАВДАННЯ

на виконання кваліфікаційної роботи магістра

студенту Маслаку А.Ю. академічної групи 183М-23-1

(Прізвище, ініціали)

(група)

спеціальності 183 «Технології захисту навколишнього середовища»

(код і назва спеціальності)

на тему «Обґрунтування методів оцінки та технологій відновлення земель, порушених воєнними діями», затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 05.11.2024 № 1461-с

Розділ	Зміст	Термін виконання
Теоретичний	Надати характеристику земельному фонду України та оцінити специфіку впливу воєнних дій на якість ґрунтів	09.09.2024 03.11.2024
Дослідницький	Дослідити показники та методи виявлення порушень сільськогосподарських угідь від впливу воєнних дій на прикладі північних територій Харківської області	30.09.2024 24.11.2024
Технологічний	Обґрунтувати технології рекультивації земель, порушених воєнними діями	11.11.2024 30.11.2024
Охорона праці	Обґрунтувати заходи щодо безпеки працівників під час відновлення земель, що зазнали впливу від воєнних дій	20.11.2024 05.12.2024
Економічний	Визначити питому вартість робіт з рекультивації земель, порушених воєнними діями	01.12.2024 15.12.2024

Завдання видано _____
 (підпис керівника)

_____ (прізвище, ініціали)

Дата видачі: _____

Дата подання до екзаменаційної комісії _____

Прийнято до виконання _____
 (підпис) (прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка : 101 с., 18 рис., 18 табл., 5 додатків, 66 джерел.

Об'єкт дослідження – вплив воєнних дій на стан ґрунтів.

Предмет дослідження – якість ґрунтів, технології рекультивації.

Мета роботи – обґрунтувати методи виявлення порушень сільськогосподарських угідь внаслідок війни та технології їх рекультивації.

У вступі підкреслюється актуальність обраної тематики та перспективи застосування досліджень

У теоретичному розділі наведено узагальнені дані про земельний фонду України та специфіку впливу воєнних дій на якість ґрунтів.

У дослідному розділі показники та методи виявлення порушень сільськогосподарських угідь від впливу воєнних дій. Апробовано методику на прикладі північних територій Харківської області. Запропоновано удосконалену форму паспорту земельної ділянки з урахуванням додаткових показників.

У технологічному обґрунтовано технології відновлення земель, порушених воєнними діями, на основі досвіду проведення технічної та біологічної рекультивації.

У розділі «охорона праці та техніка безпеки» запропоновано заходи щодо безпеки працівників підчас відновлення земель, що зазнали впливу від воєнних дій.

В економічному розділі визначити питому вартість робіт з рекультивації земель, порушених воєнними діями в умовах півночі Харківської області.

У висновках наведено основні результати роботи та шляхи їх використання в природоохоронній діяльності та землеустрої

СІЛЬГОСПУГІДДЯ, ПАСПОРТ ЗЕМЕЛЬНОЇ ДІЛЯНКИ, ГРУНТИ, ГІС, ДЗЗ, ЗЕМЕЛЬНИЙ КАДАСТР, РЕКУЛЬТИВАЦІЯ

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1 ЗЕМЕЛЬНИЙ ФОНД УКРАЇНИ ТА ВПЛИВ НА НЬОГО ВОЄННИХ ДІЙ .9	
1.1 Узагальнена характеристика земельного фонду України	9
1.2 Специфіка впливу військової діяльності на якість ґрунтів	13
Висновки до розділу 1.....	19
РОЗДІЛ 2 ОГЛЯД МЕТОДІВ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ПОРУШЕНЬ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ УГІДЬ ВІД ВПЛИВУ ВОЄННИХ ДІЙ.....	20
2.1 Використання технологій дистанційного зондування в сільському господарстві.20	
2.2 Використання ГІС-технологій в сільському господарстві.....	32
Висновок до розділу 2.....	35
РОЗДІЛ 3 ТЕХНОЛОГІЯ ОЦІНКИ УШКОДЖЕНЬ ВІД БОЙОВИХ ДІЙ ТА ВІДНОВЛЕННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ЗЕМЕЛЬ	36
3.1 Оцінка стану земель Харківської області що постраждали від бойових дій.....	36
3.2 Підходи щодо відновлення земель, порушених воєнними діями	48
3.3 Технології біологічної рекультивації для земель, порушених воєнними діями	Ошибка! Закладка не определена.
Висновок до розділу 3.....	52
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ Ошибка! Закладка не определена.	
4.1 Аналіз шкідливих та небезпечних чинників працівника.....	Ошибка! Закладка не определена.
4.2 Аналіз умов праці при застосуванні ГІС технологій.....	Ошибка! Закладка не определена.
4.3 Пожежна безпека.....	Ошибка! Закладка не определена.
Висновки до розділу 4	Ошибка! Закладка не определена.
РОЗДІЛ 5 ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНИХ ВТРАТ ТА ВІДНОВЛЕННЯ ЗЕМЕЛЬ ЗГІДНО МЕТОДОЛОГІЇ КОМПЕНСАЦІЇ ЗБИТКІВ НАВКОЛИШНЬОМУ СЕРЕДОВИЩУ ВНАСЛІДОК ВІЙСЬКОВИХ ДІЙ	Ошибка! Закладка не определена.

ВИСНОВКИ	54
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	56
Додаток А	Ошибка! Закладка не определена.
Додаток Б.....	Ошибка! Закладка не определена.
Додаток В	Ошибка! Закладка не определена.
Додаток Г.....	Ошибка! Закладка не определена.
Додаток Д	Ошибка! Закладка не определена.

ВСТУП

З початком повномасштабного вторгнення військ Російської Федерації на територію України, коли на значних територіях нашої держави ведуться інтенсивні бойові дії, шкода, що завдається земельним ресурсам нашої держави, є дуже значною.

Відповідно до ст. 14 Конституції України «земля є основним національним багатством, що перебуває під особливою охороною держави» [1]. Забруднення земель, які є простором для людської діяльності та важливим ресурсом для сільськогосподарського виробництва, має негативний вплив як на виробничі процеси, так і на загальні умови проживання людей. Це призводить до виникнення проблем у виробничому секторі, погіршення життєвого середовища, зменшення рекреаційного потенціалу території та негативного впливу на здоров'я населення.

За оцінкою Державної екологічної інспекції, станом на 6 листопада 2023 року внаслідок військової агресії 18,0 млн. м² – земель засмічено залишками знищених об'єктів та боєприпасів, та 594,5 тис. м² – ґрунтів забруднено небезпечними речовинами [2].

Часто недооцінюється вплив воєнних дій на ґрунтове середовище у порівнянні з втратами людських життів та пошкодженням інфраструктури. Проте погіршення якісних характеристик ґрунту має тривалий ефект, який суттєво понижує його продуктивні функції. Воєнні дії викликають ряд механічних, фізичних та хімічних впливів на ґрунтовий покрив. Такі впливи призводять до руйнування структури та функцій ґрунтової екосистеми і призводять до погіршення фізико-геохімічних властивостей [3].

Питання чіткої просторової фіксації порушень природних комплексів та їх складових стає надзвичайно актуальним. Наслідки подій, таких як потрапляння снарядів та ракет, пожежі внаслідок обстрілів, та інше, мають безпосередні наслідки для порушення ландшафтів і спричиняють хімічне забруднення навколишнього середовища.

У сучасних умовах складно, а в деяких регіонах навіть неможливо провести інвентаризацію та налаштувати систему моніторингу порушень за допомогою традиційних польових методів. Проте значну частину цієї роботи можна виконати з використанням вільних космічних знімків та геоінформаційних технологій. Мова стосується лише початкового етапу робіт - фіксації та класифікації наслідків бойових дій, тоді як подальші етапи вимагатимуть традиційних польових та лабораторних досліджень.

Моделювання просторової ситуації пошкодження природних угідь, представлене у вигляді бази геоданих та цифрових карт, може допомогти вирішити ряд невідкладних питань, пов'язаних як з прямим ризиком для життя мешканців постраждалих районів, так і з віддаленими екологічними впливами на їх стан здоров'я.

Створення карт, на яких будуть зафіксовані вирви, що утворились внаслідок бомботурбації дозволять знизити ризик для мешканців даної території. Отже, поєднання можливостей дистанційного зондування та геоінформаційних технологій дозволить класифікувати постраждалі території за ступенем ймовірнісної вибухової небезпеки [4].

Більшість територій, що зазнали пошкоджень, є сільськогосподарськими угіддями, що зумовлює бажання фермерів ефективно використовувати їх, збільшуючи тим самим ризик нещасних випадків. Створена карта визначатиме зони, які потребують перевірки саперами в першу чергу.

У зв'язку з чим виникає необхідність в розробки оперативних та ефективних методик з оцінки наслідків бойових дій на землях сільськогосподарського призначення на основі методів дистанційного зондування.

Об'єкт дослідження – вплив воєнних дій на стан ґрунтів.

Предмет дослідження – якість ґрунтів, технології рекультивації.

Мета роботи – обґрунтувати методи виявлення порушень сільськогосподарських угідь внаслідок війни та технології їх рекультивації.

Для цього були поставлені наступні завдання:

1. Надати характеристику земельному фонду України та оцінити специфіку впливу воєнних дій на якість ґрунтів.
2. Дослідити показники та методи виявлення порушень сільськогосподарських угідь від впливу воєнних дій на прикладі північних територій Харківської області.
3. Обґрунтувати технології рекультивації земель, порушених воєнними діями.
4. Обґрунтувати заходи щодо безпеки працівників підчас відновлення земель, що зазнали впливу від воєнних дій й.
5. Визначити питому вартість робіт з рекультивації земель, порушених воєнними діями в умовах півночі Харківської області..

Апробація результатів кваліфікаційної роботи

Матеріали роботи були представлені на міжнародному форумі студентів і молодих вчених «Розширюючи обрії».

Maslak A.J.. Die Rekultivierung von beschädigten Landflächen nach bewaffneten Konflikten: Wiederherstellung der Produktivität und ökologischen Stabilität. / Maslak A.J., Buchavyi Y.V., Yaremenko I.A. // Розширюючи обрії: зб. тез дев'ятнадцятого міжнар. форуму студ. і молодих учених, 8 – 12 квітня 2024 р., м. Дніпро / за ред. С. І. Кострицької; М-во освіти і науки України; Дніпровська політехніка. – Д.: ДП, 2024. С. 13 – 16

РОЗДІЛ 1 ЗЕМЕЛЬНИЙ ФОНД УКРАЇНИ ТА ВПЛИВ НА НЬОГО ВОЄННИХ ДІЙ

1.1 Узагальнена характеристика земельного фонду України

Україна володіє значними земельними ресурсами, запаси яких оцінено у 60,4 млн. га. Ці землі мають різноманітне функціональне використання, якісний стан та правовий статус. Значна частка земельної площі 70,9 %, складають сільськогосподарські землі, у структурі яких сільськогосподарських угідь – 68,9 %, з них на ріллю припадає 53,8 %; 9,1 % складають пасовища; 4,0 % – сіножаті; 1,5 % – багаторічні насадження тощо, рис. 1.1.

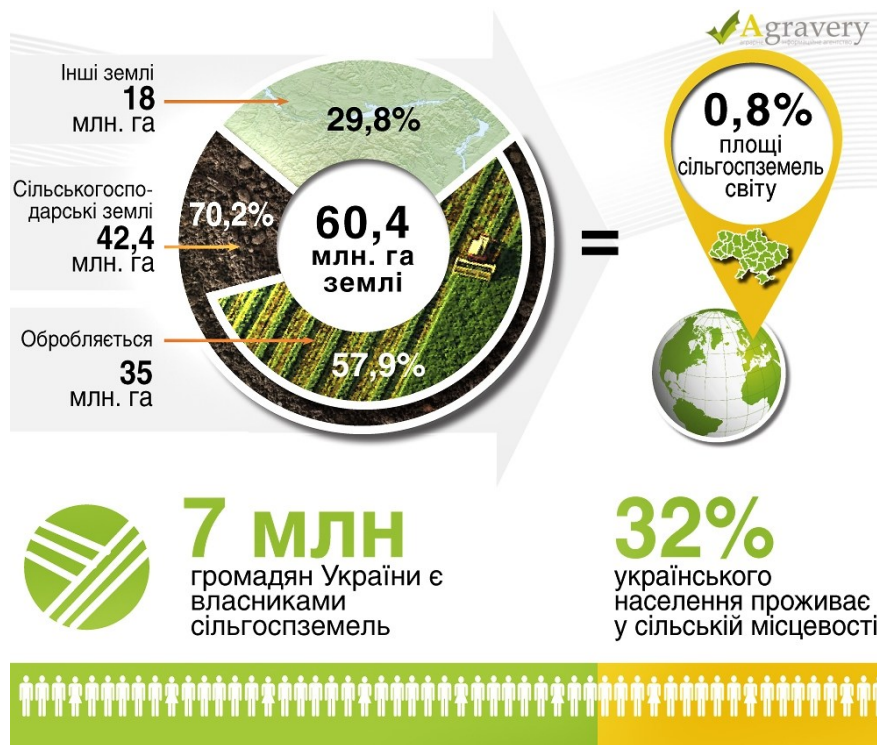


Рисунок 1.1 – Характеристики земельного фонду України

Серед земель України найбільшу площу (40378,2 тис. га) займають землі сільськогосподарського призначення, які є найбільш цінним ресурсом держави і забезпечують найголовніші потреби суспільства, рис. 1.2. Землями сільськогосподарського призначення визнаються землі, надані для виробництва сільськогосподарської продукції, здійснення сільськогосподарської науководослідної та навчальної діяльності, розміщення відповідної виробничої інфраструктури або призначені для цих цілей.

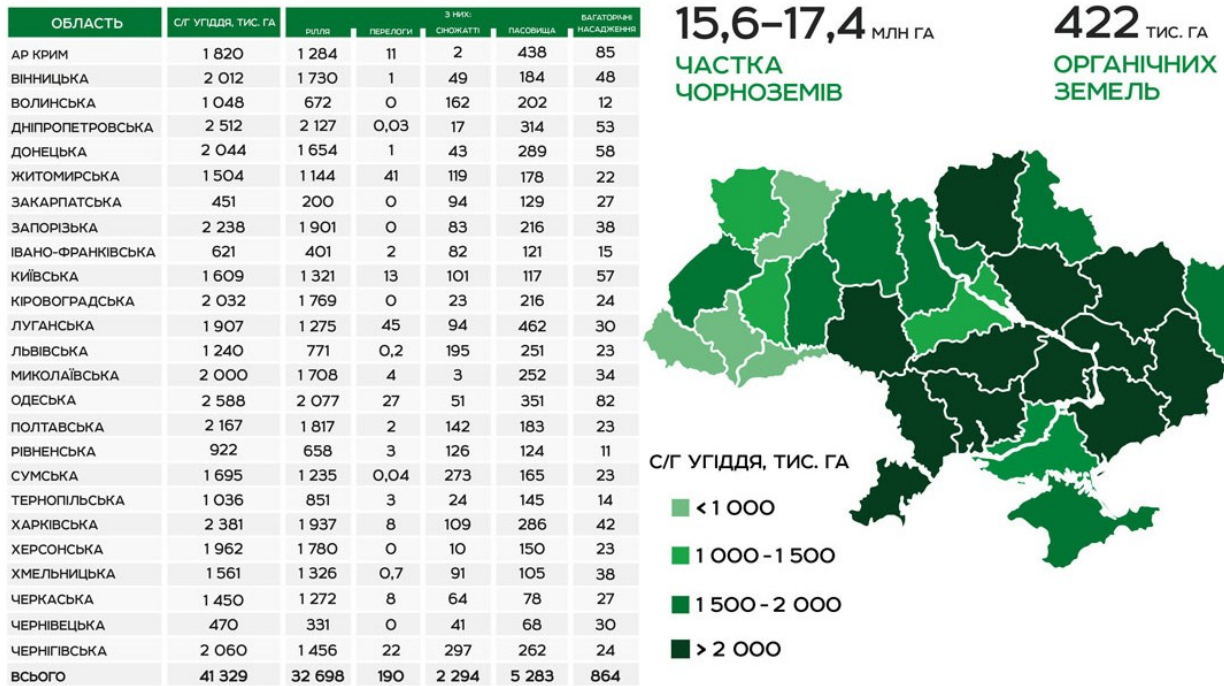


Рисунок 1.2 – Сільськогосподарські угіддя

До земель цієї категорії належать сільськогосподарські угіддя (рілля, багаторічні насадження, сіножаті, пасовища, перелоги) та несільськогосподарські угіддя (господарські шляхи і прогони, полезахисні лісові смуги та інші захисні насадження, крім тих, що віднесені до земель лісогосподарського призначення, землі під господарськими будівлями і дворами, землі тимчасової консервації).

Земельний Кодекс України закріплює пріоритетні напрямки використання земель сільськогосподарського призначення. Землі, що визнані в установленому порядку придатними для сільського господарства, насамперед повинні надаватися для сільськогосподарського використання.

Земельні ресурси є базою розвитку та розміщення господарського комплексу та складною природно-економічною системою. У географічному відношенні – це поверхня суші, що характеризується різноманітними природно-історичними умовами, а з економічної точки зору – це сукупність земельних угідь, які відображають форму використання землі як засобу виробництва і характер зайнятості території.

Найбільш придатними для органічного землеробства визнані ґрунти у

Харківській та Черкаській областях, а також частково в Київській, Вінницькій, Кіровоградській, Хмельницькій, Івано-Франківській та Тернопільській областях.

Деградація ґрунтів українських земель активно зростає через нерациональне використання аграріями, недооцінку небезпеки та відсутність державної підтримки для відновлення родючості ґрунтів. За даними досліджень, втрати гумусу та поживних речовин орних площ становлять 43%, переущільнення – 39%, замулювання та кіркоутворення – 38%, а також є інші проблеми, такі як водна та вітрова ерозія, забруднення пестицидами та важкими металами. Фахівці виділяють основні чинники, які призводять до цих процесів, зокрема неоптимальне використання земельних угідь, недосконалість земельної реформи та відсутність ефективного механізму виконання законодавчих актів стосовно охорони земель, рис.1.3 [4].



Рисунок 1.3 – Площі деградованих земель

Площі деградованих земель коливаються від 8 до 10 - 15 млн га (рис. 1.3) [5]. Понад 1,1 млн га підлягають консервації; 315,6 тис. га - малопродуктивних угідь; 143,4 тис. га потребують рекультивації.

Зменшення гумусу в ґрунтах:

- лісостеп – на 22%,
- степ – на 20 %,
- полісся – на 19 %.

Розораність землі порушила природні процеси утворення ґрунтових покривів. Лісові ресурси піддаються різним викликам, таким як незаконні рубки, лісові пожежі, шкідники та хвороби, а також зміна клімату. Знищення лісів також погіршує стан довкілля, спричиняючи негативні наслідки для клімату, водних та повітряних ресурсів, а також великих втрат біологічного різноманіття.

Розвиток людства створює серйозні проблеми опустелювання та деградації землі, що впливає на соціальні, економічні та екологічні сфери, викликаючи голод і міграцію населення.

Згідно з оцінками економістів-екологів, щорічні втрати нашої держави від неефективного використання природних ресурсів і забруднення навколишнього середовища досягають двадцять відсотків національного доходу. Покращення екологічної стійкості потребує негайного впровадження системи відновлення та захисту земель, що відповідає стандартам Європейського Союзу з охорони навколишнього середовища.

В результаті недоцільного використання природних ресурсів, суспільство повинно витратити додаткові матеріальні, технічні та людські ресурси для компенсації цих втрат. Набагато вигідніше спрямувати ці кошти на усунення причин, а не наслідків ерозії, ґрунтової деградації та виснаження, екологоекономічної кризи в сучасному аграрному секторі.

Відсутність ефективних сівозмін, недостатня захисна та агролісомеліоративна діяльність призводять до деградації ґрунтів, зменшення родючості, поширення ерозії та підвищення кислотності, що є серйозними наслідками для сільськогосподарського виробництва та екологічної стабільності.

Військові конфлікти суттєво впливають на земельні ресурси. Ці дії мають значний негативний вплив не лише на окремі природні елементи, але і на екосистеми в цілому. Наслідки забруднення землі включають розриви снарядів,

що призводить до потрапляння хімічних речовин у ґрунт, витік забруднюючих матеріалів і небезпечних речовин з пошкоджених контейнерів, а також нафтопродукти та паливно-мастильні матеріали, включаючи ті, які потрапляють з розбитої військової техніки.

1.2 Специфіка впливу військової діяльності на якість ґрунтів

Військова діяльність є однією з основних причин екологічних проблем у світі. Ґрунтовий покрив є важливим компонентом екосистеми. Він забезпечує рослини поживними речовинами і водою, а також допомагає регулювати клімат. Війни порушують ці процеси, що може призвести до деградації ґрунтів і інших екологічних проблем.

Знищення ґрунтово-рослинного покриву є найбільш очевидним. Це може бути цілеспрямованим завданням шкоди для досягнення конкретної військової мети, наприклад, спалювання полів і садів або руйнування джунглів для виявлення укриттів противника. Випадкові прямі руйнування виникають через цілеспрямовані дії з іншою тактикою, наприклад, риття окопів і бомбардування шляхів постачання. Наслідки, які залишаються менш очевидними під час воєнних дій, можуть мати тривалий вплив на ґрунтове середовище. Зазвичай найскладніше передбачити непрямий вплив. Втрата буферності ґрунту, засолення тощо є прикладами непрямого впливу на ґрунт [5].

В процесі виконання кожного вогневого завдання відбувається забруднення ґрунту залишками боєприпасів та продуктами вибуху (рис.1.3). Характер поширення цих забруднень та їх вплив на природне середовище в значній мірі залежать від швидкості хімічних перетворень вибухових матеріалів та маси вибухових речовин у снаряді.

Можна виділити три типи вибухових процесів:

1. Процес горіння відбувається з незначною швидкістю - від сантиметра до декількох метрів на секунду - і, як правило, не супроводжується значними механічними діями при відкритому доступі повітря.

2. Вибух протікає з великою швидкістю - декілька тисяч метрів на секунду. Це характеризується різким стрибком тиску в точці вибуху та ударом газів на оточуюче середовище, що викликає сильну деформацію предметів та оточення на короткій відстані, рис.1.4.



Рисунок 1.4– Ушкодження ґрунтів від артилерійських обстрілів

3. Детонація - це вибух, що поширюється з постійною і максимальною можливою швидкістю для конкретної вибухової речовини. Цей процес досягає максимальної руйнівної сили вибуху з відповідною трансформацією середовища. Таким чином, трансформація середовища в момент вибуху снарядів є одним з факторів вогневого ураження, який може впливати на процеси поширення забруднення [5].

Під час вибухів та горіння порохів та вибухових речовин виникає значна кількість газів, які містять такі речовини, як азот, сажа, вуглеводні, свинець, двоокис марганцю та інші. До 30% цих газів розсіюються в повітрі, тоді як більша частина, зокрема важкі фракції та важкі метали, осідає на ґрунті. Завдяки наявності до 15% водяних парів у продуктах вибуху, іони важких металів та дрібнодисперсні речовини можуть проникати у ґрунт у вигляді водяних розчинів.

Аналіз хімічного складу вибухових речовин, які використовуються для створення сучасних боєприпасів під час проведення бойових стрільб, вказує на те, що результатом горіння, вибуху та детонації є утворення різноманітних похідних продуктів. Більшість з цих продуктів є або токсичними, або представляють собою небезпечні забруднювачі.

Під час проведення бойових стрільб основним джерелом забруднення є продукти вибуху, що утворюються внаслідок розриву снарядів. В результаті відбувається деформація ґрунту в усіх напрямках, що викликає розповсюдження ударної хвилі. Тому, вже на глибині до 2 м на території проведення стрільб, порушується однорідність ґрунту, і відбувається утворення тріщин, які розділяють пористі блоки [5].

Велика частина вибухових речовин, які використовуються для створення бойових зарядів, представляє собою органічні сполуки. Ці речовини складаються з елементів вуглецю (C), водню (H), кисню (O) та азоту (N), а також інших компонентів. Зазвичай ці компоненти є токсичними, і під час вибухового перетворення утворюються стійкі продукти.

Так, в залежності від типу вибухових речовин, умов їх використання та інших факторів, у продуктах вибуху можуть присутні інші речовини. Наприклад, оксиди азоту (NO , NO_2 , N_2O_3), пари ртуті, свинцю і т.д. Причиною утворення цих речовин є відхилення кисневого балансу від нульового. При негативному кисневому балансі утворюється більше оксиду вуглецю (CO), а при позитивному - оксиду азоту (NO).

Токсичні гази можуть виникати в результаті хімічної взаємодії продуктів вибуху з навколишнім природним середовищем, таким як атмосферне повітря. У цьому процесі вуглекислий газ (CO_2) може бути відновлений до отруйного оксиду вуглецю (CO). Оксид вуглецю, відомий як чадний газ, виникає в умовах неповного згоряння речовин, що містять вуглець. Гази, що утворюються під час вибуху різних речовин, такі як димний порох, тринітротолуол, мелініт та пікринова кислота, містять великі концентрації оксиду вуглецю (CO).

Оксид вуглецю (CO) і оксиди азоту (NO , NO_2) є отрутою для крові. Діоксид

сірки (SO_2) може викликати подразнення дихальних шляхів і спричиняти спазми бронхів. Сірководень (H_2S) є потужною нервовою отрутою, яка може призводити до смерті внаслідок зупинки дихання.

Загальний висновок з поданих даних полягає в тому, що більшість забруднювачів, що виникають внаслідок бойової діяльності, є газоподібними або твердими дрібнодисперсними речовинами, і багато з них представляють серйозні небезпеки для здоров'я і навколишнього середовища [5].

Під час бойових дій використовуються бойові машини, які оснащені переважно дизельними двигунами. При спалюванні дизельного пального утворюється близько 200 різних забруднюючих речовин, загальний обсяг яких досягає приблизно 2,6 кг на кожен пройдений 1 км. Серед основних забруднюючих речовин виділяються нафтопродукти, важкі метали та ароматичні з'єднання.

Ураховуючи, що моторесурс бронетехніки складає понад 4000 л на рік, одна така машина може викидати приблизно 6,3 кг свинцю, 180 кг оксиду азоту та 140 кг оксиду вуглеводнів за рік експлуатації. Ці дані вказують на значний внесок бойової техніки у забруднення атмосфери різноманітними шкідливими речовинами під час її експлуатації.

Територія, де ведуться бойові дії, є обмеженим регіоном, на якому відбуваються активні воєнні операції із здійсненням впливу на всі компоненти ландшафту через чинники воєнно-техногенного навантаження. Військові об'єкти включають рухомі (зброя та військова техніка) або стаціонарні (позиційні райони) джерела забруднення, від яких забруднення потрапляє до компонентів ландшафту, зокрема в ґрунти.

Під час реєстрації екологічних даних військовий об'єкт розглядається як відкрита ієрархічна військово-технічна система, що має воєнно-техногенні чинники впливу на ґрунтове середовище. Транспортна мережа, яка включає автомобільні і залізничні шляхи, польові дороги та інші елементи шляхів руху бронетехніки, може "блокувати" поверхню екосистем. Це може впливати на шляхи міграції тварин і сприяти фрагментації біоценозів, що може призвести до

зниження стійкості біогеоценозів і погіршення якості ґрунтів [5].

З початку 24 лютого 2022 року в Україні тривають повномасштабні воєнні дії, що супроводжуються порушеннями ґрунтового покриву. Ці порушення викликають різноманітні механічні, фізичні та хімічні впливи на ґрунтовий покрив. Вони призводять до руйнування структури та функцій ґрунтової екосистеми та спричиняють погіршення фізико-геохімічних характеристик ґрунту.

Варіації порушень відзначаються різними характеристиками в залежності від типу та характеру бойових дій, а також впливу на рельєф поверхні, ґрунти (включаючи воронки від вибухів та сліди від руху військової техніки), захисні споруди (такі як окопи, бліндажі, вогневі точки, протитанкові споруди тощо), забруднення верхніх шарів ґрунтового покриву від продуктів бойової діяльності, а також блокування поверхні залишками військової техніки, захисними спорудами, осколками тощо.

Негативні наслідки включають знищення рослинності, порушення ґрунтового покриву, дефіцит природного зволоження та опустелювання, що різко зменшує біологічні популяції та види. Втрата біорізноманіття поглиблюється через зміни в структурі та функціях ландшафтів [5].

Механічний вплив при воєнно-техногенному навантаженні полягає в механічній деформації ґрунтового покриву під час руху колісної та гусеничної військової техніки, активного руху військ, будівництва споруд на поверхні та вглибині, бомбардування, розмінування територій та створення оборонної інфраструктури. Механічний вплив часто супроводжується хімічним забрудненням ґрунтів, що призводить до довготривалого виведення земель із експлуатації та встановлення заборон на їхнє використання.

Хімічний вплив воєнних заходів призводить до зміни природних параметрів ґрунтового покриву через використання зброї та військової техніки, що призводить до утворення забруднюючих речовин. Довготривала військова діяльність може створювати локальні воєнно-техногенні геохімічні аномалії з різним спектром токсичних речовин, що може призвести до встановлення

невизначених термінів заборони на використання земель.

Серед речовин, що утворюють хімічне забруднення воєнно-техногенного походження, можна виділити такі категорії: палива транспортних засобів, мастильні матеріали, сольвенти, відходи гальванічного виробництва, залишки вибухових речовин, дезактиваційні речовини, важкі метали та їхні сполуки, а також радіоактивні речовини. Важливою категорією є вибухонебезпечні матеріали, які також можуть вносити значний внесок у формування хімічного забруднення [5].

Фізичний вплив воєнних заходів визначається змінами фізичних властивостей ґрунтового покриву внаслідок використання систем зброї та військової техніки.

Вібраційний вплив характеризується низькими частотами коливань і передачею їх через тверді предмети, що стикаються з працюючими механізмами. Цей вплив пов'язаний із генерацією енергетичних імпульсів під час бойової підготовки, таких як вибухи боєприпасів та стрільба з різних систем зброї. Ці імпульси можуть бути одноразовими, викликаними вибухами, або періодичними, такими як шум і вібрація від роботи військової техніки.

Джерелами вібрації на військовому полігоні можуть бути військова автомобільна та бронетехніка, а також дизельні, газодинамічні та вентиляційні установки різного призначення. Передача вібрації у ґрунт може призводити до його ущільнення, витіснення води, змін мікрорельєфу, а також утворення порожнин.

Радіоактивний вплив виникає внаслідок збільшення вмісту радіоактивних речовин через застосування боєприпасів із збідненим ураном та джерел іонізуючого випромінювання.

Тепловий вплив виникає через локальне підвищення температури від викидів нагрітого повітря, порохових газів, газоподібних продуктів вибухового перетворення боєприпасів та вихлопних газів. Цей вплив негативно впливає на ґрунтовий покрив, порушуючи термічний та водний режим, а також змінюючи його гранулометричний та агрегатний склад [5].

Екологічні наслідки військових дій також включають шкоду, яка заподіяна здоров'ю людей внаслідок контакту з небезпечними речовинами. Наприклад, вдихання газів, що викидаються під час горіння нафтових родовищ або пилу урану, може спричинити розвиток астми та, можливо, рак легенів.

Можна класифікувати негативні наслідки військових дій на екологію та навколишнє середовище:

1. Забруднення ґрунту та води.
2. Зміна біогеохімічного балансу територій.
3. Руйнування гідротехнічних, електричних та газових споруд.
4. Знищення лісів та господарських угідь.
5. Знищення природи та фауни заповідних територій.
6. Нанесення шкоди здоров'ю людини.

Наслідки військових дій мають непередбачувані екологічні наслідки і відчутні протягом багатьох років після завершення військових подій.

Висновки до розділу 1

1. Військова діяльність є однією з основних причин екологічних проблем у світі. Під час вибухів та горіння порохів та вибухових речовин виникає значна кількість газів, які містять такі речовини, як азот, сажа, вуглеводні, свинець, двоокис марганцю та інші.

2. Територія, де ведуться бойові дії, є обмеженим регіоном, на якому відбуваються активні воєнні операції із здійсненням впливу на всі компоненти ландшафту через чинники воєнно-техногенного навантаження.

3. Негативні наслідки включають знищення рослинності, порушення ґрунтового покриву, дефіцит природного зволоження та опустелювання, що різко зменшує біологічні популяції та види. Втрата біорізноманіття поглиблюється через зміни в структурі та функціях ландшафтів.

4. Воронки, утворені внаслідок вибухів, призводять до ерозії та формування боліт. Це явище не лише виключає великі території з господарського використання, але й перетворює їх у резервуари, сприяючи розмноженню комах – переносників заразних захворювань для людини і тварин.

РОЗДІЛ 2 ОГЛЯД МЕТОДІВ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ПОРУШЕНЬ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ УГІДЬ ВІД ВПЛИВУ ВОЄННИХ ДІЙ

2.1 Використання технологій дистанційного зондування в сільському господарстві

Дистанційне зондування Землі (ДЗЗ) - це метод отримання інформації про об'єкти або процеси без прямого фізичного контакту з ними [7]. У сучасному розумінні цього процесу використовується аналіз випромінювання, яке надходить від Землі, незалежно від того, чи є це випромінювання природним чи створеним штучно. Цей аналіз охоплює широкий спектр від ультрафіолетового до радіохвильового спектрів.

Завдяки прогресу в геодезичних та картографічних знаннях тепер можна точно визначати місцезнаходження космічного знімку на поверхні Землі. Без наземних геодезичних спостережень, географічних проекцій та координат було б неможливо ефективно використовувати космічні знімки як джерело геоданих.

Використання аерофотозйомки розпочалося практично відразу після винайдення фотографічного методу. Фелікс Турнашон, відомий також як Надар, став першим, хто здійснив аерознімок, фотографуючи селище під Парижем з повітряної кулі на висоті 80 метрів.

Починаючи з кінця XIX століття, з розвитком методів фотографування, з'явилося багато експериментаторів, які прикріплювали камери до безпілотних літальних апаратів [7].

У 1909 році були здійснені перші аерознімки з літаків, а аерофотозйомка під час Першої світової війни використовувалась для військової розвідки. Між Першою та Другою світовими війнами були розроблені методи її цивільного використання, зокрема в картографії, геології, сільському та лісовому господарстві. Перша фотографія з космосу була зроблена з борту ракети V-2 24 жовтня 1946 року.

Кольорову інфрачервону плівку спочатку розробили передусім для

військових цілей, проте у 1950-х роках її почали використовувати для складання карт рослинності. Також у цей період були створені візуальні радари високого розрізнення.

Перші багато спектральні зображення Землі з космосу були отримані з борту пілотованого літального апарата «Аполлон-6». Незважаючи на наявність безпілотних супутників для дистанційного зондування, сучасна ера дистанційного зондування з космосу в режимі моніторингу почалася у червні 1972 року із запуску ERTS - Технологічного супутника для вивчення земних ресурсів, що був розроблений Національним управлінням з аеронавтики і дослідження космічного простору (NASA) США. Супутник ERTS пізніше отримав назву Landsat-1, і програма Landsat успішно функціонує і донині [7].

На сьогоднішній день існує велика кількість супутників, обладнаних різноманітними інструментами для дистанційного зондування, які слідкують за поверхнею Землі. Наприклад, місія CORONA, походження якої пов'язане з секретною програмою військової розвідки, продовжує свою діяльність і використовує передові супутники Keyhole. З іншого боку, Landsat є програмою відкритих ресурсів Землі, яка також активно використовується завдяки вдосконаленим програмам супутникового моніторингу.

Вимоги до параметрів космічної інформації, які виникають у різних галузях науки, промисловості та сільського господарства, свідчать про те, що для вирішення багатьох тематичних завдань дистанційного зондування потрібні матеріали космічної зйомки з просторовою розрізненістю до 5,0 метрів. Більшість завдань вимагає використання даних дистанційного зондування з розрізненістю менше 15 метрів. Роздільна здатність матеріалів космічних зйомок має великий вплив на економічну ефективність їх використання.

Існують архіви та банки даних цифрових знімків, що охоплюють значну територію Землі, і доступні для користувачів через Інтернет. Користувачі мають можливість шукати, замовляти та отримувати знімки, а також проводити зйомки обраної території за власним вибором. Багато з цих архівів пропонують різноманітні програмні засоби для обробки та аналізу фотографій з космосу, що

дозволяє користувачам використовувати ці дані для різних цілей, таких як дослідження, моніторинг середовища, агропромисловість, та інші [8].

Супутники. Використання супутникових даних для прогнозування врожайності та моніторингу полів у режимі реального часу стає більш доступним завдяки новітнім технологіям в сільському господарстві. Сучасні датчики здатні надавати зображення у різних спектральних діапазонах, що дозволяє використовувати різноманітні спектральні індекси (рис. 2.1).



Рисунок 2.1 – Популярні радарні та оптичні супутники

Один із таких індексів, Нормалізований диференційований вегетаційний індекс (NDVI) - допомагає визначити стан рослинності, виявляти ознаки зів'ялих рослин та отримувати загальну інформацію про стан рослин. Інший важливий індекс - Індекс вмісту хлорофілу в покривах (CCCI) - є корисним для оптимізації внесення поживних речовин у сільському господарстві. До них також можна віднести Нормалізований індекс RedEdge (NDRE), який допомагає визначити вміст азоту в рослинах, і Модифікований ґрунтово-корегований вегетаційний індекс (MSAVI), розроблений для мінімізації впливу ґрунтового фону на оцінку

стану рослин на ранніх стадіях їх розвитку. Це лише декілька прикладів індексів, які допомагають зрозуміти стан та потреби сільськогосподарських культур [12].

Copernicus – це програма спостереження Землі в рамках космічної програми Європейського Союзу (рис. 2.1), яка вивчає нашу планету та її довкілля. Вона пропонує інформаційні послуги, які базуються на даних супутникового спостереження Землі та наземних (не космічних) даних [9].

Програмою керує Європейська Комісія. Вона реалізується у партнерстві з державами-членами, Європейським космічним агентством (ESA), Європейською організацією з експлуатації метеорологічних супутників (EUMETSAT), Європейським центром середньострокових прогнозів погоди (ECMWF), агенціями ЄС та Mercator Océan.

Величезні обсяги глобальних даних із супутників та наземних, повітряних і морських вимірювальних систем надають інформацію, яка допомагає постачальникам послуг, органам державної влади та іншим міжнародним організаціям. Надані інформаційні послуги є безкоштовними і відкриті для користувачів.

Система «Copernicus» була спеціально розроблена, щоб задовольнити потреби користувачів. Засновані на супутникових та наземних спостереженнях, сервіси «Copernicus» надають дані в режимі, близькому до реального часу, на глобальному рівні, які також можуть бути використані для місцевих та регіональних потреб, щоб допомогти нам краще зрозуміти нашу планету та раціонально використовувати навколишнє середовище, в якому ми живемо [9].

Обслуговування системи «Copernicus» здійснюється за допомогою спеціальних супутників (сімейства Sentinel) та допоміжних місій (існуючі комерційні та державні супутники). Після запуску Sentinel-1A у 2014 році Європейський Союз розпочав процес розміщення на орбіті ще майже 20 супутників до 2030 року. Програма також збирає інформацію з систем на місцях, таких як наземні станції, які передають дані, отримані за допомогою безлічі датчиків на землі, в морі або в повітрі.

Сервіси «Copernicus» перетворюють безліч супутникових та наземних

даних на інформацію з доданою цінністю, обробляючи та аналізуючи дані. Набори даних, що зберігаються роками і десятиліттями, стають доступними для пошуку, забезпечуючи таким чином моніторинг змін, досліджуються закономірності і застосовуються для створення кращих прогнозів, наприклад, океану і атмосфери. На основі знімків створюються карти, визначаються особливості та аномалії, а також витягується статистична інформація [9].

Інформація, яку надають сервіси може бути використана цільовими користувачами для широкого спектру застосувань у різних галузях. Це управління міськими територіями, сталий розвиток та охорона природи, регіональне та місцеве планування, сільське, лісове та рибне господарство, охорона здоров'я, цивільний захист, інфраструктура, транспорт та мобільність, а також туризм.

Наразі Європейське космічне агентство розробляє 10 місій в рамках програми Sentinel. Кожна з цих місій базується на використанні двох супутників.

Sentinel-1 надає можливість проведення спостережень як удень, так і вночі, незалежно від погодних умов, використовуючи радіолокаційні дані. Перший супутник Sentinel-1A був успішно виведений на орбіту в 2014 році, а другий - Sentinel-1B - 25 квітня 2016 року [10].

Sentinel-2 надає високо роздільні оптичні знімки для системного вивчення суші. Перший супутник Sentinel-2 почав свою ефективну роботу 23 червня 2015 року.

Sentinel-3 відповідає за системний контроль океану та глобальний моніторинг Землі. Перший супутник Sentinel-3A був виведений на орбіту 16 січня 2016 року.

Sentinel-4 виведений на орбіту у 2023 році. Цей супутник забезпечує дані для системного контролю атмосфери та взаємодіє з супутником третього покоління Meteosat.

Sentinel-5 Precursor включає в себе апаратну частину датчиків, які також використовуються в системі Sentinel 5. Цей супутник був запущений 13 жовтня 2017 року з основною метою уникнення відсутності даних у період між

завершенням місії ENVISAT у 2012 році та запуском Sentinel-5 у 2021 році, зокрема щодо атмосферного спостереження, особливо SCIAMACHY.

Sentinel-5 постачає дані для системного контролю атмосфери. Він був виведений на орбіту одночасно з космічним апаратом post-EUMETSAT Polar System (EPS) і розпочав свою роботу з 2021 року.

Sentinel-6 призначений для підтримки високоточних місій альтиметрії, що включає вимірювання висоти над рівнем моря, подібно до місії супутника Jason-3. Запуск Sentinel-6A відбувся в листопаді 2020 року.

Sentinel-7 – це місія Carbonsat (вимірювання вмісту Карбону).

Sentinel-8 – це термічна інфрачервона місія.

Sentinel-9 – це інфрачервона місія вимірювань льоду і снігу.

Sentinel-10 – це гіперспектральна місія [10].

Sentinel-2 проводить зйомку в 12 спектральних каналах, при цьому канали RGB і NIR мають просторову роздільну здатність на рівні 10 метрів (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Характеристики каналів супутника Sentinel-2

Канали Sentinel-2	Центральна довжина хвилі [мікрометри]	Роздільна здатність [метри]
Канал 1 – Аерозолі	0,443	60
Канал 2 – Синій	0,490	10
Канал 3 – Зелений	0,560	10
Канал 4 – Червоний	0,665	10
Канал 5 – Інфра червоний	0,705	20
Канал 6 – Інфра червоний	0,740	20
Канал 7 – Інфра червоний	0,783	20
Канал 8 – NIR	0,842	10
Канал 8А – Червоний	0,865	20
Канал 9 – Водяна пара	0,945	60
Канал 10 – SWIR – Пір’їсті хмари	1,375	60
Канал 11 – SWIR1	1,610	20
Канал 12 – SWIR2	2,190	20

Для формування часової та просторово-розподіленої бази даних про стан

досліджених земель ми пропонуємо використовувати системи дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) використовують електромагнітне випромінювання для створення зображень поверхні планети. В результаті проведеного літературного пошуку визначено, що сьогодні існує широкий спектр таких систем, які відрізняються за спектральним діапазоном випромінювання, типом приймача і методом зондування, зокрема:

- Фотографічні та фототелевізійні системи;
- Скануючі системи в видимому та інфрачервоному діапазоні (телевізійні оптико-механічні та оптико-електронні, скануючі радіометри та багатоспектральні сканери);
- Телевізійні оптичні системи;
- Радіолокаційні системи бічного огляду (РЛСБО);
- Скануючі системи у невидимому ближньому інфрачервоному діапазоні (НВЧ).

Більш глибока та складна обробка знімків дозволяє розпізнавати малорозмірні об'єкти та явища, які неможливо виявити на знімках, зроблених у конкретному спектральному діапазоні. Важливою особливістю таких знімків є те, що вони є растровими вже на етапі фіксації. Це означає, що вони складаються з окремих точок, які мають свої координати та колірний код.

Актуальною є обробка кількох одночасних знімків, зроблених на різних довжинах хвиль та з різним просторовим розрізненням. Це дозволяє створювати єдине штучне зображення із покращеними інформаційними характеристиками порівняно з початковими фотографіями.

Результатом такої обробки є підвищена інформативність синтезованого зображення. Це сприяє подальшому тематичному аналізу, тобто розпізнаванню та класифікації об'єктів та явищ на знімках [22].

В таблиці 2.2 подані класифікації знімків по просторовій роздільній здатності

Таблиця 2.2 – Класифікація знімків по просторовій роздільній здатності

Знімки	Роздільна здатність, м
знімки дуже низької роздільної здатності	10 000 – 100 000 м
знімки низької роздільної здатності	300 – 1 000 м
знімки середньої роздільної здатності	50 – 200 м
знімки високої роздільної здатності	<ul style="list-style-type: none"> • відносно високої 20 – 40 м • високої 10 – 20 м • дуже високої 1 – 10 м • знімки надвисокої роздільної здатності 0,3 – 0,9 м

За результатами аналізу сучасних систем для дистанційного зондування було визначено, що для вирішення завдань з дослідження наслідків для ґрунтів від влучання артилерійських снарядів на рівні селищних ОТГ або адміністративних районів найбільш доцільно використовувати супутники середньої та високої роздільної здатності, а на локальному рівні – БПЛА середнього радіусу дії – тобто до 5–10 км. Характеристики та сфера використання такого устаткування наведено в табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Характеристики та сфера використання устаткування для дистанційної оцінки ушкоджень сільськогосподарських угідь внаслідок бойових дій.

Назва супутнику	Загальні характеристики устаткування	Специфіка використання, переваги (+) та недоліки(-)
<i>Landsat-8</i>	8 оптичних каналів з роздільною здатністю 30 м, 2 теплових канали	Термальна зйомка поверхні та оцінка наслідків від пожеж Загальнодоступний ресурс з актуальними даними (+) Низька роздільна здатність каналів (-)
<i>EO-1 ALI</i>	9 оптичних каналів з роздільною здатністю 30 м та радіометричною 16 біт	Аналіз ретроспективних вегетаційних показників рослин (архів з 2001-2017 р) Загальнодоступний ресурс (+) Низька роздільна здатність каналів (-)
<i>EO-1</i>	220 оптичних каналів з	Класифікація територій за високоточним

Назва супутнику	Загальні характеристики устаткування	Специфіка використання, переваги (+) та недоліки(-)
<i>Hyperion</i>	шириною 10 μm та роздільною здатністю 30 м, що покривають діапазон 0.4 - 2.5 μm	спектральним профілем земної поверхні Загальнодоступний ресурс (+) Низька роздільна здатність каналів та площа охоплення зображень(-)
<i>Sentinel-1</i>	Роздільна здатність до 10 м в режимі <i>Interferometric Wide Swath</i> , середня періодичність зйомки 3-4 доби, добра точність при визначенні висот	Побудова ЦМР місцевості; моніторинг зсувів; класифікація земної поверхні за діелектричною проникністю Загальнодоступний ресурс з актуальними даними та ПЗ (+)
<i>Sentinel-2</i>	Інфрачервоні канали з роздільною здатністю до 10 м., власне ПЗ SNAP із модулем атмосферної корекції та біофізичним процесором	Оцінка і класифікація культур за біофізичними показниками, розрахунок вегетаційних індексів для прогнозу врожаю Загальнодоступний ресурс з актуальними даними та ПЗ (+) Середня роздільна здатність (-)
<i>WorldView, Iconos</i>	Комерційні багато спектральні супутники	Висока роздільна здатність каналів (+) Висока вартість зображень на замовлення (-)
<i>TerraSAR-X</i>	Комерційні радарні супутники	Пошук вирв за геометричними властивостями Побудова деталізованої мапи рельєфу (+) Висока вартість зображень на замовлення (-)
БПЛА з багато спектральною камерою	GPS-навігація, управління "від першої особи" (FPV), система стабілізації камери, автономна маршрутна навігація.	Оперативна зйомка та гнучкість використання БПЛА за вибором місця та часу (+) Висока роздільна здатність каналів (+) Відсутність впливу погодних умов на якість зображень (+) Суттєві капітальні витрати на обладнання: БПЛА з мультиспектральною камерою (-) Складність обробки вихідних даних: геометрична корекція, топографічна прив'язка (-)

Кожен із наведених складових системи дистанційного зондування має свої обмеження та специфічні характеристики та знайде своє застосування для оцінки змін стану земель, наприклад зображення з БПЛА можуть мати більш високу роздільну здатність, проте такі зображення потребують прив'язки до системи координат та геометричної трансформації. Гіперспектральні

зображення з *EO-1 Hyperion* хоч і мають середню просторову роздільну здатність, проте дозволяють визначати не лише присутність рослин а ще ідентифікувати їх вид або культуру та оцінювати їх біофізичні показники. Подібний симбіоз устаткування суттєво розширює можливості дослідження наслідків бойових дій для сільськогосподарських земель.

Використання методів обробки даних дистанційного зондування (ДЗЗ) для створення карт сільськогосподарського землекористування дозволяє не лише аналізувати межі різних класів земельної поверхні, але і проводити оперативний тематичний моніторинг стану сільськогосподарських культур, а також оновлювати метадані просторових об'єктів [16].

Багато технологічних рішень для аналізу параметрів рослинного покриття на основі космічних знімків у різних зонах спектру ґрунтуються на розрахунку вегетаційних індексів. Ці індекси є формалізованими виразами, де в якості змінних використовуються яскраві характеристики каналів. Розрахунок більшості цих індексів базується на властивостях відбивної здатності рослин у червоному та ближньому інфрачервоному діапазонах спектру. Зі збільшенням фітомаси в межах пікселя значення яскравості зростають у ближньому інфрачервоному діапазоні та зменшуються у червоному.

Для моніторингу посівів сільськогосподарських культур використовується один із найпоширеніших вегетаційних індексів – NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), який був вперше запропонований у 1973 році J.W. Rouse, R.H. Haas, J.A. Schell, DW. Deering. Значення цього індексу коливаються в інтервалі від -1 до 1. Чим вище розрахункове значення, тим більше фітомаса, яку можна виявити в межах конкретного пікселя. У роботі використовується традиційна формула (2.1) для його обчислення.

$$NDVI = (NIR - Red)/(NIR + Red), \quad (2.1)$$

де *NIR* - відображення в ближній інфрачервоній області спектра;

RED – відображення у червоній області спектра [17].

Листкова поверхня практично прозора для сонячного випромінювання в видимому та ближньому інфрачервоному діапазонах. Пройшовши через

поверхневий шар листка, промені потрапляють у багатошарову м'яку частину листка, де взаємодія з тканинами включає в себе вбирання сонячної енергії, її перетворення та селективне відбиття [18].

Спектральні характеристики багатьох рослин зазнають змін протягом періоду вегетації внаслідок різноманітних факторів, таких як зміни у формі, розмірах та товщині листків, зміни в структурі листка, зміна концентрації пігментів та, в кінцевому підсумку, забрудненість листя.

Спектральні відмінності у характеристиках рослин можуть виявлятися як виразними, так і менш помітними протягом різних сезонів року. У зв'язку з цим виникла потреба вивчення спектральної яскравості рослинних об'єктів протягом всіх сезонів, природних фенофаз, що включає в себе природну динаміку життєдіяльності рослин від їх виникнення та проростання у вигляді сходів до відмирання, руйнування і розкладу [18].

Відповідно до формули, щільність рослинного покриву (NDVI) у конкретний момент зображення визначається як різниця між інтенсивністю відбитого світла в інфрачервоному та червоному спектральних зонах, поділеною на їхню суму. Обчислення NDVI базується на двох найбільш стабільних областях (незалежно від інших факторів) спектральної кривої відбиття судинних рослин. Максимальне поглиблення сонячної радіації хлорофілом вищих судинних рослин відбувається в червоному спектрі (0,6 - 0,7 мкм), тоді як область максимального відбиття структур клітин розташована в інфрачервоному спектрі (0,7 - 1,0 мкм). Інакше кажучи, велика фотосинтетична активність, зазвичай пов'язана з густою рослинністю, призводить до меншого відображення в червоному спектрі і більшого в інфрачервоному. Взаємозв'язок цих показників дозволяє чітко відокремити рослини від інших природних об'єктів. Використання не лише коефіцієнта, але й нормалізованої різниці між максимальним і мінімальним відбиттям підвищує точність вимірювань та зменшує вплив таких факторів, як різниця в освітленні зображення, помутніння, дим, поглиблення випромінювання атмосферою тощо [19].

NDVI можна розрахувати із зображень високої, середньої або низької

роздільної здатності, використовуючи спектральні канали у червоному діапазоні (0,55 - 0,75 мкм) та інфрачервоному (0,75 - 1,0 мкм). Алгоритм обчислення NDVI є інтегрованим практично з усіма поточними пакетами програмного забезпечення для обробки даних дистанційного зондування [20].

Щоб відобразити індекс NDVI, який знаходиться в межах від -1,0 до +1,0, використовується стандартизована неперервна дискретизована шкала (рис. 2.7).



Рисунок 2.2 – Дискретизована шкала NDVI

Завдяки відмінностям у відображенні в різних частинах червоного та інфрачервоного спектрів природні об'єкти, які не пов'язані з рослинністю, виявляють сталі значення NDVI, яке може бути використане для визначення даного параметра. У таблиці 2.4 представлена шкала NDVI, з якої можна взяти до уваги, що кожне конкретне значення NDVI відповідає різним об'єктам на поверхні землі [21].

Таблиця 2.4 – Шкала значень NDVI

Значення NDVI	Тип поверхні (характеристика рослинності)
<0	Вода та штучні матеріали (рослинність відсутня)
0 – 0,3	Відкриті ґрунти (рослинність відсутня)
0,3 – 0,5	Розряджена рослинність
0,5 – 0,6	Нормальна рослинність
0,6 – 0,7	Рясна рослинність
>0,7	Густа рослинність

Дані дистанційного зондування надають можливість виявляти та картографувати різноманітні сільськогосподарські використання земель, такі як поля для обробітки, трав'яні насадження, посіви зернових, просапних і технічних

культур. Також можна визначити види посівних культур, пасовища, перелоги та інші елементи. За допомогою цих матеріалів можна встановити площі земель, які використовуються під різні типи сільськогосподарських угідь, культури або для специфічних цілей.

Використання високо роздільної апаратури в різних підзонах видимого та інфрачервоного спектру електромагнітного випромінювання дозволяє не лише визначати площі, під якими вирощуються різні сільськогосподарські культури, але й оцінювати їхній стан на різних фазах розвитку. Можливість відстеження динаміки біомаси, виявлення захворювань, пошкоджень від шкідників, а також контроль за водним режимом у посушливих умовах, потенційне виснаження поживних елементів, рівень забур'яненості і ведення агротехнічних заходів у комплексі дозволяє вирішувати завдання прогнозування врожайності відповідних культур [18].

2.2 Використання ГІС-технологій в сільському господарстві

Геоінформаційні технології та геоінформаційні системи (ГІС) виявляють широке застосування в різних галузях та сферах діяльності. Зокрема, вони використовуються у кадастрових системах для ефективного управління земельним, лісовим та нерухомим майном. Також ГІС важливі в містобудуванні, муніципальному управлінні, проектуванні, будівництві та експлуатації об'єктів.

Геоінформаційні технології знаходять застосування в геологічних дослідженнях, управлінні сільським, лісовим та водним господарством, вивченні та прогнозуванні погоди, охороні здоров'я, природокористуванні та екологічному моніторингу. Також вони широко використовуються в сферах торгівлі, маркетингу, демографії, дослідженні трудових ресурсів, плануванні, прогнозуванні, обороні, безпеці та надзвичайних ситуаціях, а також у політиці, державному управлінні, туризмі, освіті та науці [8].

Використання ГІС-технологій дозволяє ефективно збирати, зберігати та аналізувати просторову інформацію, забезпечуючи швидку ідентифікацію

необхідних даних та їх зручне візуальне відображення.

Сучасні геоінформаційні технології взаємодіють із потужною системою отримання та подачі географічної інформації, базуючись на даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) з космосу, літаків та інших літальних апаратів. Цей підхід дозволяє отримувати точну та різноманітну інформацію, забезпечуючи легкий та доступний підхід до неї. З використанням десятків орбітальних систем можна отримувати високоточні космічні знімки будь-якої частини планети.

Геоінформаційні технології (ГІС) відіграють ключову роль у розвитку точного сільського господарства, надаючи фермерам інструменти для створення карт, які не лише відображають поточний стан, але й прогнозують майбутні зміни в показниках, таких як опади, температура, врожайність і стан рослин.

ГІС також включають застосунки на основі GPS, які сприяють оптимізації внесення добрив та пестицидів у сільському господарстві. Фермери можуть точно визначити ділянки для обробки, що призводить до ефективної економії грошей, зусиль і часу [12].

Сучасні ГІС широко використовуються в таких областях:

1. Геодезія та картографія: ГІС застосовуються для обробки результатів польових вимірювань, зберігання та оновлення картографічної інформації, а також для підготовки до друку та видання карт.

2. Навігаційні системи та системи моніторингу транспорту: можливості ГІС з відображення великих обсягів різноманітних картографічних даних дозволяють в реальному часі відстежувати місцезнаходження та рух транспортних засобів.

3. Муніципальні системи: ГІС використовуються для зберігання різноманітної просторової інформації та пов'язаних з об'єктами документів, таких як плани території, земельно-кадастрова інформація, дані про об'єкти нерухомості, комунікації, а також креслення, дозволи, рішення та інші документи.

4. Моніторинг навколишнього природного середовища: фахівці у цій галузі використовують ГІС для зберігання та аналізу значних обсягів

просторової інформації, що робить їх ключовими у сфері моніторингу навколишнього середовища.

5. Військова справа: геодезія та картографія завжди були невід'ємною частиною військових операцій, і сьогодні ГІС використовуються як для розробки військово-топографічних карт, так і для прийняття рішень в сфері військової стратегії [11].

Останні роки свідчать про значні трансформації у галузі сільського господарства завдяки впровадженню інформаційних технологій. Ці новаторські рішення змінюють підхід до обробки сільськогосподарських культур і управління полями, роблячи їх більш вигідними, ефективними, безпечними та доступними для фермерів [12].

П'ять ключових інновацій у цій галузі, які завдяки своїм перевагам отримали визнання серед фермерів, включають:

- ГІС технології та GPS у сільському господарстві;
- Використання супутникових знімків;
- Використання дронів та інших аерофотознімки;
- Застосування інформаційних технологій для потреб сільського господарства та отримання онлайн-даних;
- Об'єднання різних наборів даних.

Сучасні сільськогосподарські ферми користуються численними перевагами, які виникають внаслідок постійного розвитку інформаційних технологій у галузі. Ці переваги включають:

1. Ефективне використання ресурсів: використання інформаційних технологій дозволяє фермам зменшити споживання води, поживних речовин і добрив, що призводить до більш ефективного та екологічно чистого сільського господарства.

2. Охорона навколишнього середовища: сучасні технології сприяють зменшенню негативного впливу на природні екосистеми, а також зниженню ризику забруднення хімічними речовинами ґрунтових вод і річок.

3. Підвищення ефективності: інформаційні технології дозволяють

оптимізувати управління фермами, що призводить до підвищення продуктивності та зниження витрат.

4. Економія коштів: використання передових технологій сприяє зниженню витрат на сільськогосподарські операції, роблячи сільське господарство більш прибутковим [12].

Висновок до розділу 2

1. Використання ГІС-технологій дозволяє ефективно збирати, зберігати та аналізувати просторову інформацію, забезпечуючи швидку ідентифікацію необхідних даних та їх зручне візуальне відображення. Сучасні геоінформаційні технології взаємодіють із потужною системою отримання та подачі географічної інформації, базуючись на даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) з космосу, літаків та інших літальних апаратів.

2. Сервіси «Copernicus» перетворюють безліч супутникових та наземних даних на інформацію з доданою цінністю, обробляючи та аналізуючи дані. Набори даних, що зберігаються роками і десятиліттями, стають доступними для пошуку, забезпечуючи таким чином моніторинг змін, досліджуються закономірності і застосовуються для створення кращих прогнозів, наприклад, океану і атмосфери. На основі знімків створюються карти, визначаються особливості та аномалії, а також витягується статистична інформація.

3. Для моніторингу посівів сільськогосподарських культур використовується один із найпоширеніших вегетаційних індексів – NDVI, що дозволяє оцінити фотосинтетичну активність рослин.

4. ГІС-технології дозволяють створювати детальні карти вегетації та продуктивності полів, що сприяє оптимізації управлінських рішень в сільському господарстві. За допомогою ГІС-інструментів в агрономії можна оцінювати стан рослинності на всьому полі або на конкретній ділянці. Отримана за допомогою ГІС-технологій інформація використовується для коригування внесення насіння, поживних речовин, гербіцидів та добрив.

РОЗДІЛ 3 ТЕХНОЛОГІЯ ОЦІНКИ УШКОДЖЕНЬ ВІД БОЙОВИХ ДІЙ ТА ВІДНОВЛЕННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ЗЕМЕЛЬ

3.1 Оцінка стану земель Харківської області що постраждали від бойових дій

Сьогодні сільськогосподарський сектор на півночі Харківської області переживає надзвичайно важкі часи через воєнні події. Внаслідок бойових дій ґрунт став забрудненим хімічними речовинами, що призводить до неможливості вирощування сільгосппродукції на деяких територіях. Великі площі земель забруднені мінами та вибухівкою, що робить їх небезпечними для обробки.

Крім того, часткова окупація території російськими військами створює проблеми з доступом до земельних ресурсів та можливістю вести сільське господарство. Пошкоджені або зруйновані сховища, елеватори та сільгосптехніка ускладнюють ситуацію, оскільки інфраструктура стає непридатною для подальшого використання.

Робота з визначення оцінки збитків для довкілля від бойових дій проводилася на наступним алгоритмом, рис. 3.1

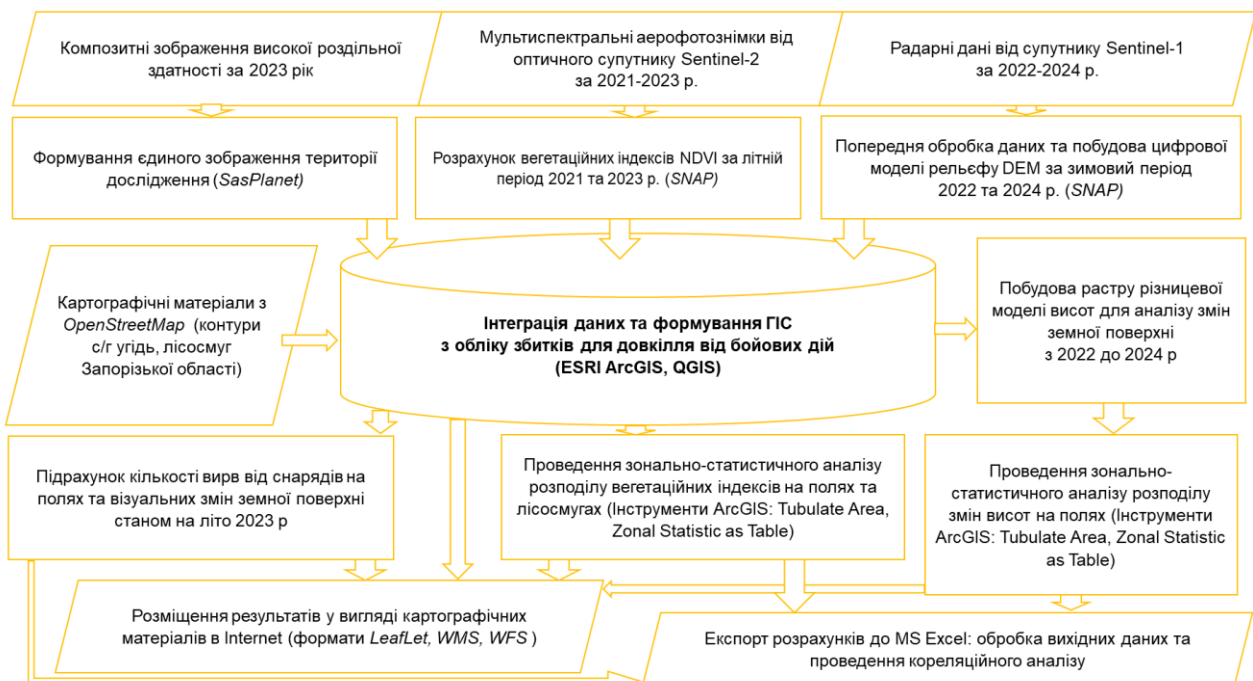


Рисунок 3.1 – Алгоритм оцінки збитків для довкілля від бойових дій на основі дистанційних методів

Сучасні геоінформаційні технології взаємодіють із потужною системою отримання та подачі інформації, що базується на даних дистанційного зондування Землі. На даному слайді наведено алгоритм обробки даних дистанційного зондування та їх інтеграція до ГІС. Для дослідження територій сільськогосподарського призначення, які зазнали ушкоджень від бойових дій, використовувалися набори мультиспектральних аерофотознімків супутника Sentinel-2 та Sentinel-2 з порталу Copernicus Open Access Hub та програма для їх обробки SNAP Desktop 8

Основним документом який містить необхідну інформацію про характеристики ґрунтів певної ділянки є агрохімічний паспорт. В ньому налічується кількадесят важливих параметрів серед яких дані про мінеральний склад, гумус, продуктивність, агрохімічна та агроекологічна оцінка тощо. Водночас через ушкодження ґрунтів від бойових дій виникає необхідність в додаткових моніторингових даних, що характеризують земельну ділянку, які можна отримати за допомогою методів дистанційного спостереження. Саме ці дані можуть знадобитися для оцінки ушкоджень ділянок та їх подальшої рекультивації.

У дипломній роботі для аналізу і візуалізації наслідків війни в Запорізькій області використовувалось програмне забезпечення SAS.Planet, яке надає можливість отримувати, опрацьовувати супутникові знімки та картографічні дані високої роздільної здатності для подальшого використання у дослідженнях. Програма працює з популярними картографічними сервісами, такими як Google Earth, Google Maps, Bing Maps, DigitalGlobe, Yahoo! Maps та іншими.

На відміну від цих служб, завантажені за допомогою SAS.Planet карти зберігаються на комп'ютері і їх можна переглядати навіть без підключення до Інтернету. У SAS.Planet можна вимірювати відстані, додавати користувальницькі карти та використовувати GPS-приймач для навігації. Програма доступна для різних операційних систем, включаючи Windows, Linux тощо. Вона надає можливість зберегти потрібну ділянку карти, щоб використовувати її в подальших дослідженнях або програмах, відповідно до

своїх потреб.

У SAS.Planet доступна опція «Формування карти заповнення шару», яка дозволяє переглядати або завантажувати в кеш певні області на карті. Також є можливість пошуку місць за допомогою інтернет-сервісів, що дозволяє знаходити конкретні об'єкти або місця на карті. Ці функції SAS.Planet були використані під час моєї роботи.

За допомогою програми SAS.Planet було проведено геоінформаційний аналіз даних сільськогосподарських угідь Харківської області, що постраждали від бойових дій.

Виконаний аналіз дозволив отримати знімки пошкоджених ділянок для подальшого вивчення впливу військового конфлікту.

На знімках досліджуваної прифронтової території Харківської області, отриманих у SAS.Planet, помітні наслідки військових дій.

Територією дослідження була обрана північно-східна частина Харківської області – Куп'янщина. Обрана територія, нараховує 282 земельні ділянки, які неодноразово потерпала від бойових дій з моменту повномасштабного вторгнення (рис. 3.2).

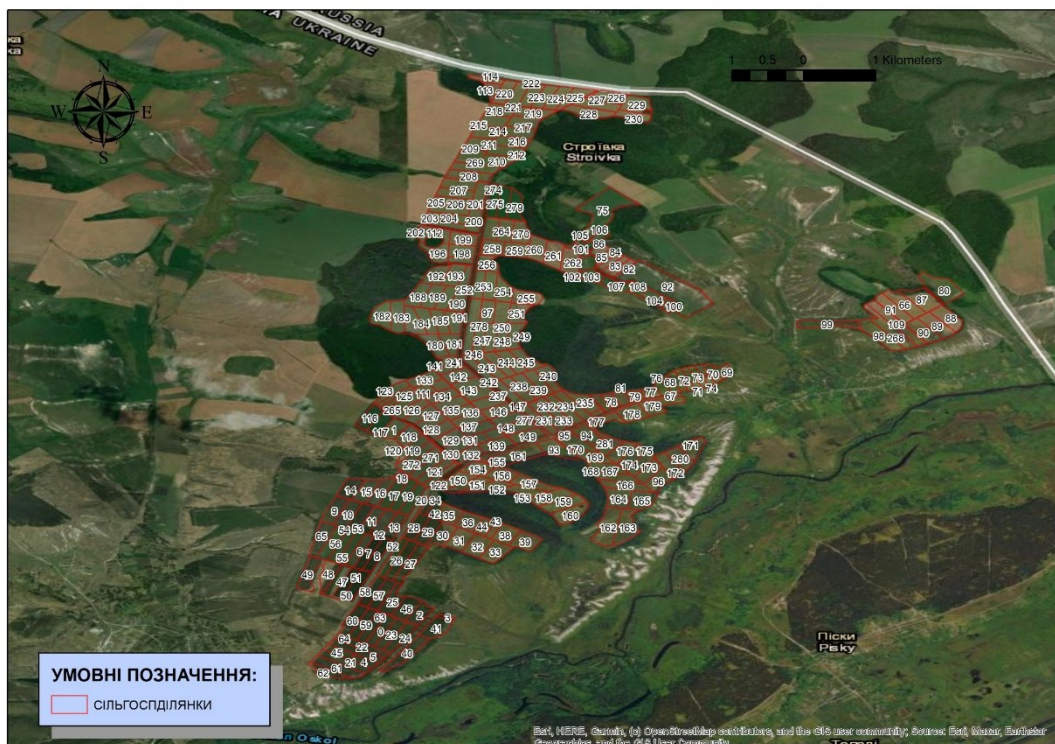


Рисунок 3.2 – досліджені ділянки Харківщини

Під час збирання, візуалізації, аналізу та управління геопросторовими даними за допомогою програмного забезпечення SAS.Planet було завантажено знімки досліджуваної місцевості станом на квітень 2024 року (рис. 3.3).



Рисунок 3.3 –досліджувана земельна ділянка - зйомка з кадркоптера

На знімках видно поля, понівечені вирвами від артилерійських снарядів, авіаційних бомб та інших видів боєприпасів. Знівечені вибухами, колись родючі поля тепер непридатні для землеробства.

Для аналізу змін на вибраній ділянці за допомогою програми SAS.Planet були отримані два знімки: один за 2021 рік, а інший – за квітень 2024 року. Зображення поля можна порівняти на рисунках 3.9 та 3.10 відповідно.



Рисунок 3.4 - Знімок досліджуваної земельної ділянки, 2021 рік



Рисунок 3.5 - Знімок досліджуваної земельної ділянки, квітень 2024 рік

Для додаткового аналізу та використання візуалізації геопросторових даних також було використано програмне забезпечення ArcGIS - багатоплатформну геоінформаційну систему з широким спектром можливостей для роботи з геопросторовими даними. ArcGIS є ефективним та універсальним інструментом, який може використовуватися для багатьох завдань: вивчення ґрунту, води, рослинності, управління лісами, водосховищами та іншими природними ресурсами, дослідження географічних проблем.

За допомогою програмного забезпечення ArcGIS була створена карта Запорізької області з відображенням адміністративного поділу області, додані нові атрибути та внесені корективи до існуючих об'єктів. Дані досліджуваної місцевості були експортовані з SAS.Planet, а потім оброблені в ArcGIS для створення растрового шару (рис. 3.6). Використовувався інструмент «Завантажити растрові дані», який дозволив додати зображення до карти. Після цього застосовувались відповідні інструменти для редагування та аналізу обраної ділянки у Запорізькій області.

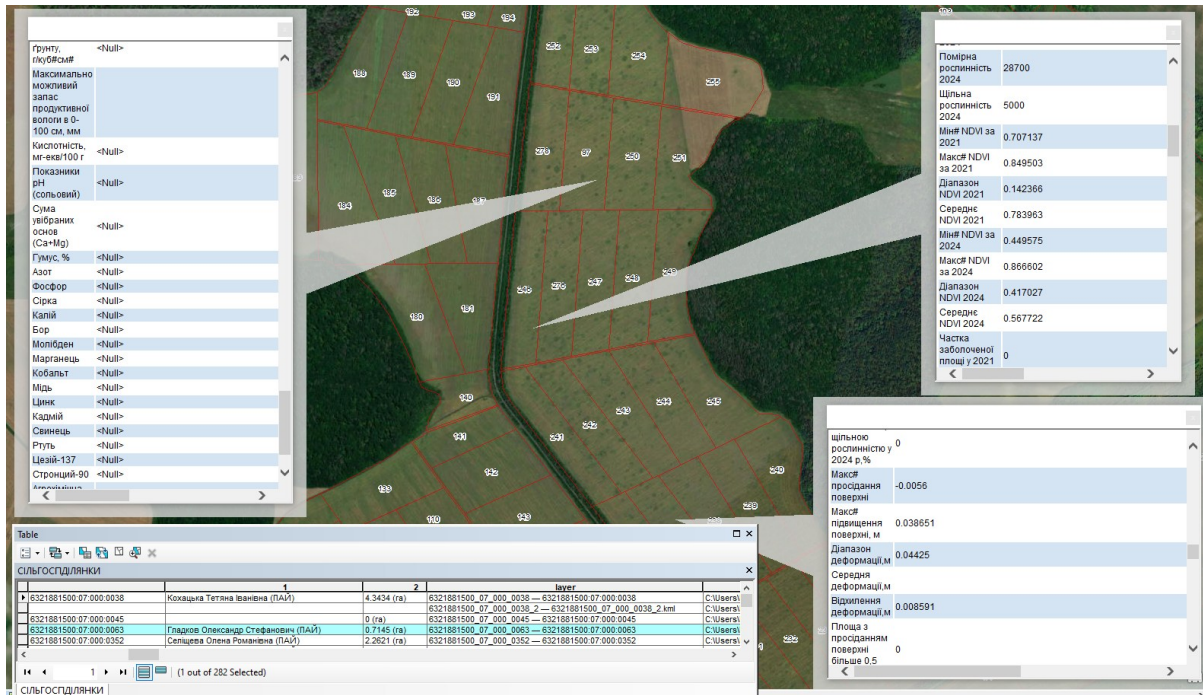


Рисунок 3.6— Реалізація ГІС в середовищі ArcGIS

Для моніторингу посівів сільськогосподарських культур на Харківщині використовується один із найпоширеніших вегетаційних індексів – NDVI, що дозволяє класифікувати земну поверхню за станом щільності рослинних угруповань. На даному слайді наведено картографування території за вегетаційними індексами на 2021 та 2024 роки.

Як бачимо на зображенні за 2021 рік можна достатньо чітко відрізнити однорідні сільгосп ділянки з щільною рослинністю, що характеризуються високим індексом фотосинтетично активної фітомаси, та ділянки на яких вже відбулися жнива для яких є притаманні «відкриті ґрунти» відповідно до класифікації поверхні за NDVI. Як бачимо, станом на літо 2024 р. переважна більшість сільгосп ділянок мали змішані класи щільності рослин відповідно, відповідно до класифікації поверхні за NDVI. Що вказує на те що ці ділянки хоч і мають рослинний покрив проте не використовуються за призначенням через бойові дії

На основі багатоспектральних аерофотознімків від супутника Sentinel-2 були побудовані цифрові мапи розподілу вегетаційних індексів за літні періоди 2021 та 2024 років. Оцінка характеристик рослинності влітку 2021 за класами нормалізованого вегетаційного індексу NDVI наведено на рис. 3.7

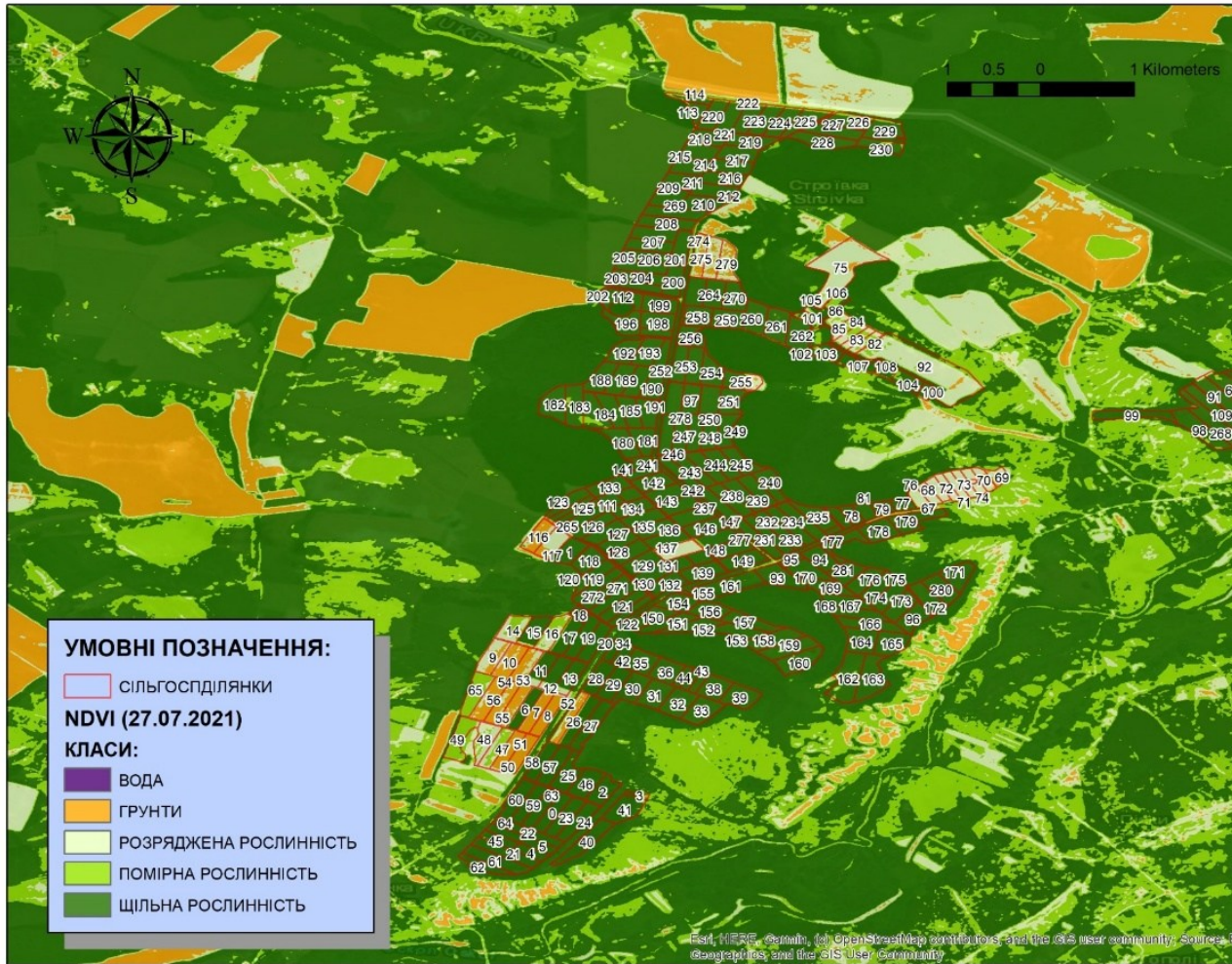


Рисунок 3.7 – Оцінка характеристик рослинності влітку 2021

Як бачимо на зображенні за 2021 рік можна достатньо чітко відрізнити однорідні сільгосп ділянки з щільною рослинністю, що характеризуються високим індексом фотосинтетично активної фітомаси, та ділянки на яких вже відбулися жнива для яких є притаманні «відкриті ґрунти» відповідно до класифікації поверхні за NDVI. Подекуди зустрічаються й ділянки з «паром», тобто землі що на той період що не використовувалися за призначенням або відновлювалися після минулорічного врожаю – вони представлені на мапі змішаними класами щільності рослин, який зазвичай є характерним для природних територій, зокрема степів та луків.

На малюнку 3.8 наведено характеристики рослинності влітку 2024 за класами нормалізованого вегетаційного індексу NDVI.

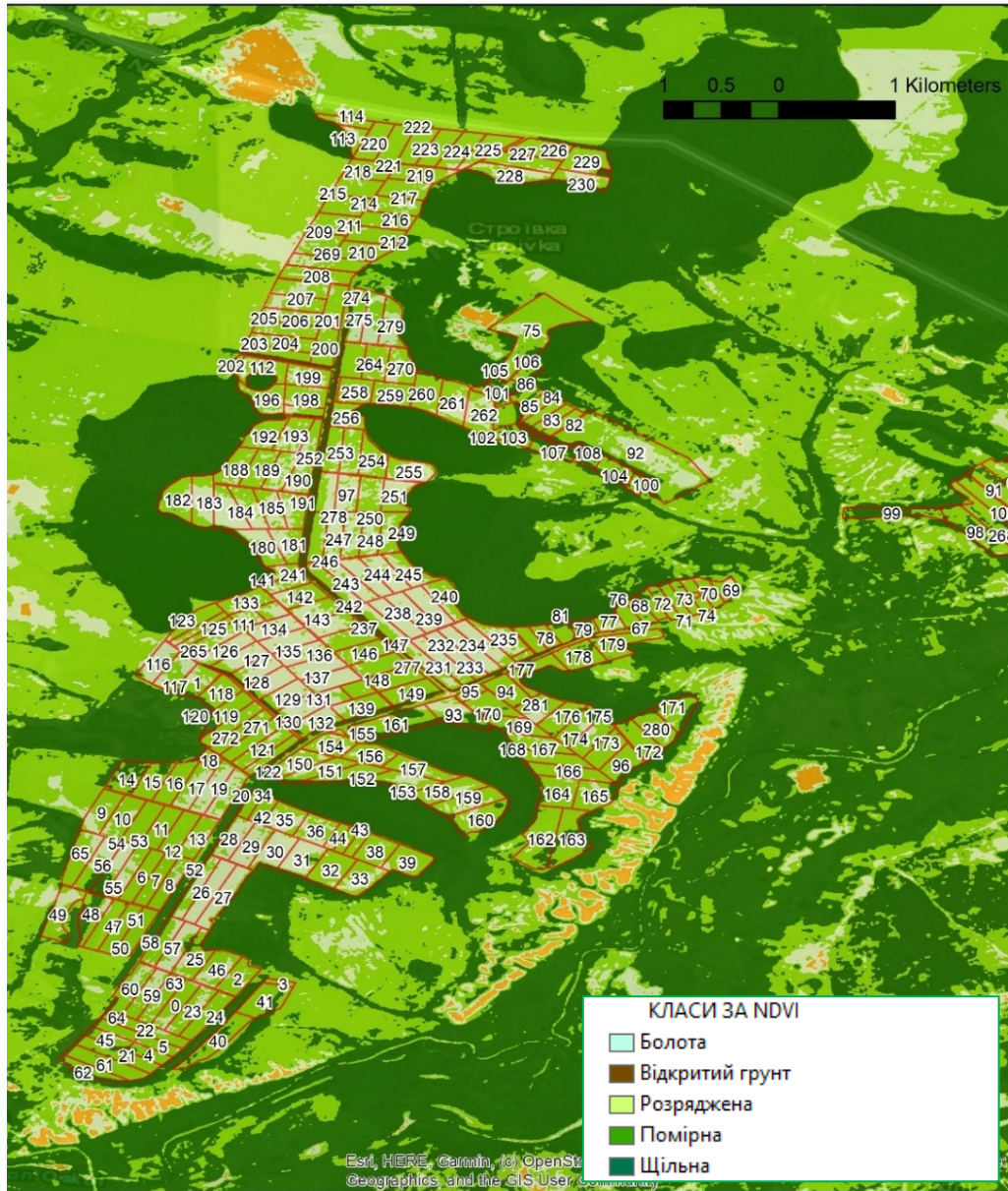


Рисунок 3.8 – Оцінка характеристик рослинності влітку 2023

Як бачимо, станом на літо 2023 р. переважна більшість сільгосп ділянок мали змішані класи щільності рослин відповідно, відповідно до класифікації поверхні за NDVI. Що вказує на те що ці ділянки хоч і мають рослинний покрив проте не використовуються за призначенням через бойові дії.

Інструменти *Tabulate Area* та *Zonal Statistic as Table*, що входять до програми ESRI ArcGIS Desktop, дозволяють провести зонально-статистичний аналіз розподілу вегетаційних індексів на територіях сільгосп ділянок із подальшим експортом у вигляді електронних таблиць, рис. 3.9

FID	Частка площі з відкритим ґрунтом у 2021	Частка площі з розрядженою рослинністю у 2021 р, %	Частка площі з помірною рослинністю у 2021 р, %	Частка площі щільною рослинністю у 2021 р, %	Частка площі з відкритим ґрунтом у 2023	Частка площі з розрядженою рослинністю у 2023 р, %	Частка площі з помірною рослинністю у 2023 р, %	Частка площі щільною рослинністю у 2023 р, %
	р, %	2021 р, %	2021 р, %	у 2021 р, %	р, %	2023 р, %	2023 р, %	2023 р, %
	0	46,810	2,430	0,572	50,189	0,018	2,135	75,652
1	0,270	6,731	8,127	84,873	0,000	0,096	34,366	65,538
2	0,000	0,066	24,992	74,943	0,000	1,970	95,304	2,726
3	0,000	0,000	11,730	88,270	0,026	22,655	71,487	5,832
4	97,627	1,863	0,473	0,037	0,065	42,312	57,299	0,324
5	1,067	97,875	1,058	0,000	0,010	15,317	84,566	0,108
6	96,619	2,240	1,089	0,052	0,581	4,377	89,847	5,196
7	1,602	1,878	3,433	93,087	0,000	14,070	85,922	0,008
8	61,358	38,525	0,117	0,000	0,000	6,440	92,740	0,820
9	91,480	5,945	2,383	0,193	0,000	7,726	91,673	0,602

Рисунок 3.9 – Фрагмент електронної таблиці із зональною статистикою щодо розподілу класів щільності рослин перших 10 ділянок

Отже характеристики розподілу вегетаційних індексів, розрахованих за даними оптичних знімків, для сільгосп ділянок які знаходяться «під паром», що дозволяє виявляти ділянки які не використовуються за призначенням внаслідок бойових дій та автоматизувати дану процедуру засобами ЕОМ.

Інтенсивні артилерійські обстріли неминуче призводять до деформації земної поверхні через значну кількість вирв, різного розміру. Існує дві групи методів для знаходження площі та об'єму вирв. Перша група – контактні геодезичні дослідження, які дозволяють точно визначити параметри вирв, але їх не можливо застосувати із-за вибухонебезпечності території й великої кількості ушкоджених ділянок. Інші методи пов'язані з визначенням геометричних характеристик за даними дистанційного зондування Землі (ДЗЗ). Вони дозволяють оперативно виявляти місцезнаходження вибухових вирв, але у військовий час не доступні у повному обсязі. Визначення геометричних характеристик вибухових вирв на землях сільськогосподарського призначення дистанційними методами/

В даній роботі окрім оптичного супутника Sentinel-2 використовувалися дані з радарного супутника Sentinel-1, що дозволили побудувати цифрову модель висот 3-D модель земної поверхні із середньою просторовою роздільною здатністю біля 10 метрів на піксель.

Дані радарної зйомки супутнику Sentinel-1 оновлюються у середньому раз на 6–12 днів для більшості території суходолу Земної кулі, включаючи територію досліджень, і є доступними у вигляді архівів на ресурсі *Copernicus Open Hub Access* за посиланням <https://scihub.copernicus.eu/>

На основі двох цифрових моделей висот дослідженої території, побудованих з лютого 2022 до лютого 2024 роки, було сформовано растр деформацій земної поверхні, який наведено на рис. 3.10

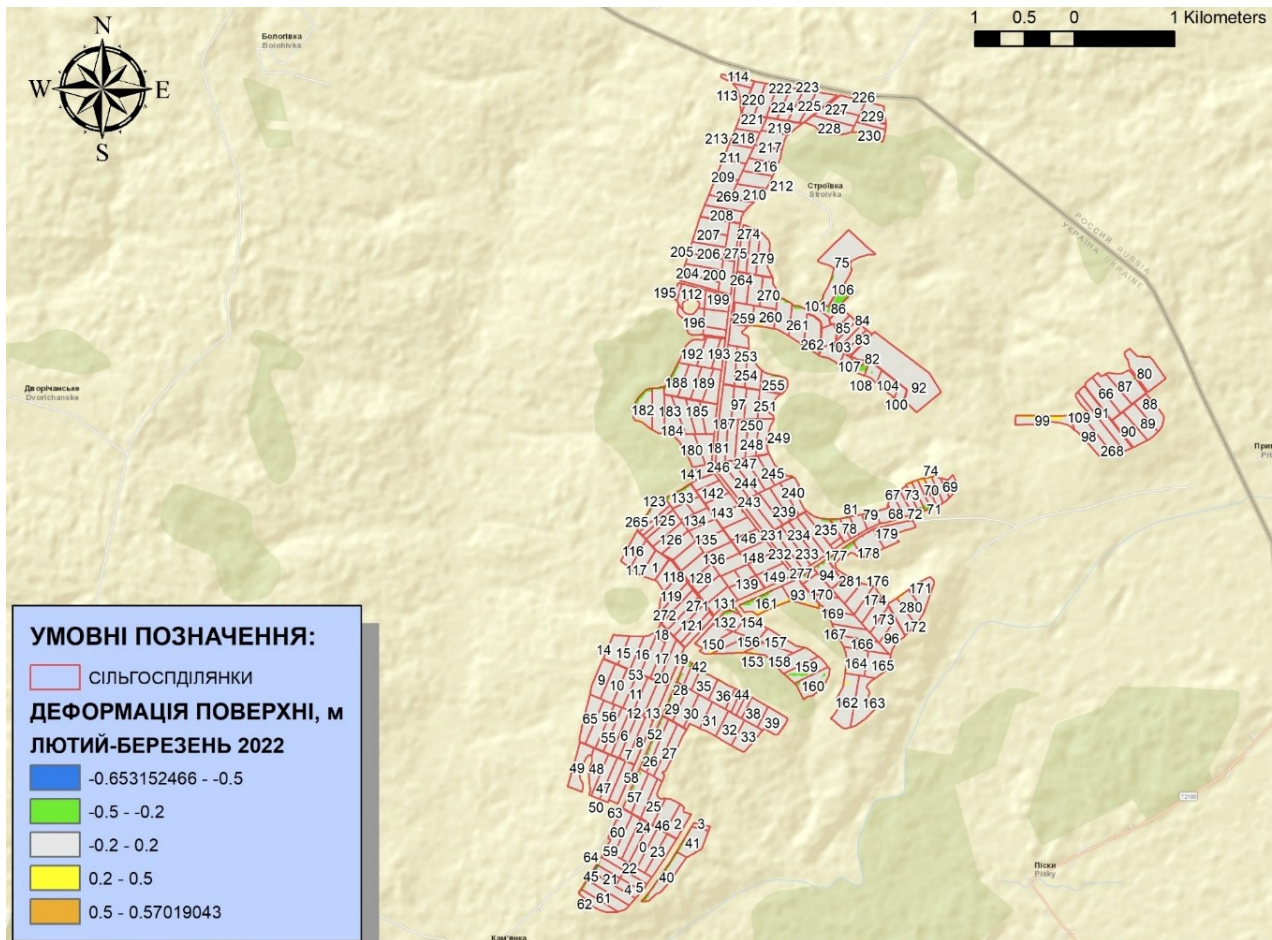


Рисунок 3.10 – Оцінка деформацій земної поверхні

Дане зображення дозволяє візуалізує зміни висоти земної поверхні тобто просідання або підвищення на дослідженій території що утворилися за 2 роки війни – з лютого 2022 до лютого 2024 року.

Для статистичного порівняння змін деформації земної поверхні на територіях сільгосп ділянок, було проведено зонально-статистичний аналіз розподілу площ за класами деформації, рис. 3.11

№	Площа, м2	Макс. просідання поверхні	Макс. підвищення поверхні, м	Діапазон деформації, м	Середня деформації, м	Відхилення деформації, м
0	43400	-0,086	0,007	0,093	-0,049	0,017
1	42000	-0,084	0,090	0,174	0,000	0,020
2	41000	-0,111	0,068	0,179	-0,046	0,028
3	7100	-0,204	-0,004	0,200	-0,066	0,042
4	22600	-0,170	-0,002	0,168	-0,089	0,033
5	22600	-0,128	0,061	0,189	-0,058	0,037
6	40300	-0,050	0,073	0,123	0,011	0,026
7	40200	-0,053	0,047	0,100	-0,001	0,020
8	40200	-0,056	0,191	0,246	0,006	0,042
9	48200	-0,226	0,036	0,261	-0,007	0,026
10	48900	-0,059	0,029	0,089	-0,004	0,016
11	41400	-0,052	0,065	0,117	-0,015	0,018
12	41500	-0,053	0,019	0,072	-0,021	0,014
13	41900	-0,080	0,208	0,288	-0,021	0,038
14	44000	-0,154	0,125	0,280	0,052	0,047
15	44100	-0,048	0,127	0,175	0,055	0,035
16	44000	0,000	0,161	0,161	0,047	0,032
17	44400	-0,006	0,075	0,081	0,026	0,017
18	15100	-0,172	0,057	0,230	0,015	0,032
19	44000	-0,018	0,032	0,051	0,011	0,012
20	44300	-0,040	0,253	0,293	0,009	0,048

Рисунок 3.11 – Фрагмент електронної таблиці із зональною статистикою щодо деформації земної поверхні для перших 20 ділянок

Варто зауважити, що окрім бойових дій на зміни деформації території з часом мають вплив і природні процеси, зокрема зсуви, підтоплення, ерозія ґрунтів тощо.

Таким чином, методи та технології дистанційного зондування у поєднанні з інструментами ГІС дають можливість отримати додаткову інформацію щодо змін характеристик сільськогосподарських земель від бойових дій.

В даній роботі були отримані наступні групи показників, які зведені у таблиці 3.1 – 3.3.

Таблиця 3.1 – Деформація земної поверхні за методом радарної інтерферометрії

Характеристика виміру	
м	%
Макс. просідання поверхні	Площа з просіданням поверхні більше 0,5 м
Макс. підвищення поверхні	Площа з просіданням поверхні від 0,2 до 0,5 м
Діапазон деформації	Площа з деформацією поверхні від -0,2 до 0,2 м
Середня деформації	Площа з підвищенням поверхні від 0,2 до 0,5 м
Відхилення деформації	Площа з підвищенням поверхні більше 0,5 м

Таблиця 3.2 – Характеристики рослинності на ділянці за вегетаційними індексами (NDVI) на основі оптичних супутників

Характеристика виміру	
га	%
Болота (вода)	Частка заболоченої площі,%
Відкритий ґрунти	Частка площі з відкритим ґрунтом,%
Розряджена рослинність	Частка площі з розрядженою рослинністю,%
Помірна рослинність	Частка площі з помірною рослинністю,%
Щільна рослинність	Частка площі щільною рослинністю,%

Таблиця 3.3 – Візуальні порушення (за даними БПЛА або супутників високої роздільної здатності)

Кількість маленьких вирв (від артилерійських снарядів та мінометів)	Кількість маленьких вирв (від артилерійських снарядів та мінометів)
Кількість маленьких вирв (від артилерійських снарядів та мінометів)	Кількість маленьких вирв (від артилерійських снарядів та мінометів)
Кількість великих вирв (від ракет)	Кількість великих вирв (від ракет)
Кількість зруйнованої бронетехніки	Кількість зруйнованої бронетехніки
Наявність інженерних споруд	Наявність інженерних споруд

Усього запропоновано біля 30 показників, отриманих за методами дистанційного зондування, в тому числі підрахунок вирв та зруйнованої бронетехніки на певній ділянці. Всі ці дані доцільно поєднати до ГІС, що містить дані з офіційного кадастру та агрохімічних паспортів

3.2 Підходи щодо відновлення земель, порушених воєнними діями

Етапи рекультивації земель, порушених воєнними діями:

- **підготовчий** - включає в себе обстеження порушених і порушуваних земель, складання техніко-економічних обґрунтувань і технічних робочих проектів з рекультивації (розмінування територій та часткове прибирання знищеної бронетехніки), 3.12



Рисунок 3.12 – Підготовчий етап рекультивації

Відновлення земель сільськогосподарського призначення, які зазнали згубного впливу внаслідок бойових дій, проводиться тільки після повного розмінування під'їзних доріг та їх узбіччя, польових шляхів, полезахисних лісових смуг, полів сівозмін та окремих земельних ділянок, а також виявлення на цих землях та знешкодження вибухонебезпечних предметів: ракет, авіабомб, артилерійських снарядів і мін, гранат, набоїв для стрілецької зброї, інших вибухових пристроїв та їх залишків.

Підставою для проведення робіт з відновлення земель передусім є результати з очищення та гуманітарного розмінування місцевості від вибухонебезпечних предметів, які виконані підрозділами ДСНС, інженерно-

піротехнічними підрозділами ЗСУ та МВС, а також іноземними спеціалістами відповідно до Стандартної операційної процедури 09.11/ДСНС «Порядок проведення органами та підрозділами цивільного захисту очищення (розмінування) району ведення бойових дій», затвердженою Головою ДСНС 04.03.2020 р.

Земельні ділянки вважаються засміченими внаслідок агресії та бойових дій металевими частинами знищеної військової техніки, транспортних засобів, бетонними та цегляними уламками зруйнованих будівель і споруд, зруйнованими опорами ліній електропередачі, бетонними та металевими ерешкодами для бронетехніки, залишками польових оборонних укріплень, різного побутового сміття і військової амуніції на місцях дислокації військових підрозділів та іншого сміття.

Гірничотехнічний етап – передбачає планування, формування укосів, зняття і нанесення родючого шару ґрунту, будову гідротехнічних і меліоративних споруд, поховання токсичних вскришних порід, а також проведення інших робіт, що створюють необхідні умови для подальшого використання рекультивованих земель за цільовим призначенням, або для проведення заходів щодо відновлення родючості ґрунтів (біологічний етап), рис.3.13.



Рисунок 3.13– перепрофілювання ландшафту за допомогою спецтехніки

На полях, усіяних вирвами різного діаметру та глибини від вибухів, неможливо безпечно проводити механізовані роботи сільськогосподарською технікою. Переміщення сільськогосподарської техніки по таких полях для їх обробітку чи/ або при збиранніурожаю, призводить до аварійних ситуацій внаслідок попадання коліс тракторів, комбайнів чи агрегатів у вирви, що призводить до поломки та виходу з ладу техніки, а також травмування трактористів і комбайнерів.

Рекультивація порушених земель проводиться на усіх сільськогосподарських угіддях, але передусім – на ріллі.

Необхідність розроблення окремих проєктів землеустрою щодо рекультивації, встановлюється під час обстеження полів, земельних ділянок.

Залежно від густоти вирв та їх параметрів на полях, земельних ділянках, приймається рішення про розроблення кількості проєктів землеустрою щодо рекультивації земель сільськогосподарського підприємства. Для одиночних вирв на кількох полях, земельних ділянках, розробляється єдиний проєкт рекультивації. У випадках густого порушення вирвами полів сівозміни або земельних ділянок, проєкт рекультивації рекомендовано розробляти окремо для кожного поля, земельної ділянки.

Технічний етап рекультивації передбачає підготовку земель для їх подальшого використання і включає:

- на підставі даних космічної зйомки, наявної геопросторової інформації, цифрових картографічних матеріалів (геодезичної зйомки на земельній ділянці) на постраждалі території, замірів параметрів вирв від вибухів, в робочому проєкті землеустрою обчислюється потреба у мінеральних та родючих ґрунтах;

- об'єми потреби ґрунтів для рекультивації обчислюються у кубічних метрах.

Враховуючи, що під час рекультивації кожна вирва попередньо засипається мінеральним ґрунтом нижче на 0,3 м від поверхні земельної ділянки, проводиться розрахунок потреби в мінеральному ґрунті для кожного параметру

вирви.

Технологія технічної рекультивації вирв від вибухів така:

- визначаються джерела та місця забору необхідних ґрунтів та шляхи їх транспортування до земельної ділянки;
- залежно від кліматичної зони, агровиробничих груп ґрунтів та їх механічного складу на земельній ділянці, засипка вирв від вибухів, глибина яких складає 0,4 м – 3 м, проводиться мінеральним ґрунтом (суглинками, лесовидними суглинками, супіском, піском);
- після засипки вирв мінеральним ґрунтом, проводиться його ущільнення на глибину до 0,3 м від поверхні земельної ділянки;
- покриття поверхні рекультивації родючим шаром ґрунту або придатним для створення рекультивованого шару ґрунту товщиною 0,30 м;
- вирви від вибухів снарядів малих калібрів глибиною від 0,2 м до 0,4 м зарівнюються механічним способом вивернутим від вибуху ґрунтом;
- на земельній ділянці проводиться дискування та культивування, а за необхідності – оранка, для проведення біологічного етапу рекультивації.

Біологічний етап – включає комплекс агротехнічних і фіто-меліоративних заходів, направлених на поліпшення агрофізичних, агрохімічних, біохімічних і інших властивостей ґрунту. Розглянемо його в наступному підрозділі

Робочими проектами землеустрою щодо консервації забруднених земель, залежно від забруднювачів та ступеня забруднення, передбачаються заходи щодо зниження ступеня забруднення і напрями знезараження: біоремедіація, фіторемедіація (фітомеліорація) та агрохімічні меліорації.

Найбільш дешевий спосіб знезараження забрудненого ґрунту важкими металами та іншими небезпечними сполуками, а також нафтопродуктами є біологічний спосіб (біоремедіація, фіторемедіація).

Технологія біоремедіації застосовується для знешкодження органічних токсикантів і ґрунтується на внесенні у ґрунт певних культур мікроорганізмів та створенні оптимального середовища для розвитку мікроорганізмів, які

розчеплюють токсиканти.

Технологія фіторемедіації полягає в застосуванні рослин, які сприяють виносу забруднювачів з ґрунту. Такими рослинами можуть бути багаторічні трави або їх суміші, луб'яні рослини, інші технічні культури, які не накопичують у своїх плодах шкідливі речовини.

Агрохімічні меліорації передбачають внесення в кислі ґрунти вапна, а гіпсу – в лужні ґрунти.

Названі вище методи знезараження ґрунту застосовуються в поєднанні з агротехнічними заходами такими як оранка, дискування важкими боронами, періодичне розпушування ґрунту, що сприяє вивітрюванню токсичних речовин із ґрунту.

Таким чином, біологічний етап рекультивації включає заходи з відновлення продуктивності земель і родючості ґрунтів, які здійснюються після технічної рекультивації. Біологічна рекультивація включає комплекс агротехнічних, агрохімічних та фітомеліоративних заходів шляхом розкислення ґрунтів, внесення органічних і мінеральних добрив та посіву багаторічних трав.

Висновок до розділу 3

Для моніторингу посівів сільськогосподарських культур використовується один із найпоширеніших вегетаційних індексів – NDVI, що дозволяє класифікувати земну поверхню за станом щільності рослинних угруповань. За 2021 рік можна достатньо чітко відрізнити однорідні сільгосп ділянки з щільною рослинністю, що характеризуються високим індексом фотосинтетично активної фітомаси, та ділянки на яких вже відбулися жнива для яких є притаманні «відкриті ґрунти» відповідно до класифікації поверхні за NDVI. Станом на літо 2024 р. переважна більшість сільгосп ділянок мали змішані класи щільності рослин відповідно, відповідно до класифікації поверхні за NDVI. Що вказує на те що ці ділянки хоч і мають рослинний покрив проте не використовуються за призначенням через бойові дії.

Запропоновано біля 30 показників, отриманих за методами дистанційного зондування, в тому числі підрахунок вирв та зруйнованої бронетехніки на певній ділянці. Всі ці дані доцільно поєднати до ГІС, що містить дані з офіційного кадастру та агрохімічних паспортів.

Основними етапами рекультивації земель, порушених воєнними діями є підготовчий що включає в себе обстеження порушених і порушуваних земель, складання техніко-економічних обґрунтувань і технічних робочих проектів з рекультивації а також розмінування територій та часткове прибирання знищеної бронетехніки.

Технології на етапах гірничо-технічної та біологічної рекультивації для земель порушених воєнними діями можуть відрізнятися залежно від ступеня і специфіки ушкодження певної ділянки і потребують індивідуального проекту. Саме тому на етапі планування робіт з рекультивації необхідно оперативно зібрати якомога більше інформації, зокрема на основі технологій дистанційного зондування, та польових методів з урахуванням безпеки.

ВИСНОВКИ

В процесі написання дипломної роботи було проведено аналіз сучасного стану можливостей ДЗЗ як технології для практичного використання в системі сільськогосподарських відносин під час воєнних дій в Україні.

Військова діяльність є однією з основних причин екологічних проблем у світі. Під час вибухів та горіння порохів та вибухових речовин виникає значна кількість газів, які містять такі речовини, як азот, сажа, вуглеводні, свинець, двоокис марганцю та інші.

Негативні наслідки включають знищення рослинності, порушення ґрунтового покриву, дефіцит природного зволоження та опустелювання, що різко зменшує біологічні популяції та види. Втрата біорізноманіття поглиблюється через зміни в структурі та функціях ландшафтів.

За результатами аналізу наукової літератури та попередніх досліджень стало очевидним, що використання цифрових методів і дистанційного зондування для оцінки сучасного стану земельних ресурсів є важливою та ефективною стратегією. Попередні дослідження підтверджують, що ці методи дозволяють отримувати точні та надійні дані про зміни у земельному покриві та користуванні землею.

Основні аспектів впливу на ґрунти внаслідок воєнних дій:

Забруднення від вибухів та військових дій. Вибухи можуть викидати в ґрунт токсичні хімічні речовини, такі як важкі метали (свинець, кадмій), пально-мастильні матеріали, залишки боєприпасів. Це може призвести до тривалого забруднення, яке вплине на якість ґрунту і рослинність на багато років наперед. Залишки боєприпасів (наприклад, нерозірваних) можуть залишатися в землі, забруднюючи її важкими металами і небезпечними хімічними сполуками.

Механічна ерозія. Військова техніка (танки, ВПМ та інші транспортні засоби) можуть знищити поверхневий шар ґрунту, зменшуючи його здатність утримувати воду та підтримувати рослинність. Це призводить до збільшення ерозії та повної деградації ґрунтів на окремих ділянках.

Втрата рослинності. Пожежі, вибухи і механічні пошкодження можуть

знищити рослинний покрив. Ці чинники також призводять до ерозії ґрунту. Адже відсутність рослинності може погіршити якість ґрунту, оскільки рослини допомагають підтримувати його структуру і здоров'я.

Зміни у складі ґрунту. Бойові дії можуть призвести до змін у складі ґрунту, таких як зменшення його родючості через забруднення і механічні пошкодження. Це може ускладнити сільськогосподарське використання цих земель у післявоєнний період.

Запропоновано удосконалену форму паспорту земельної ділянки з урахуванням додаткових показників.

Відновлення забруднених і пошкоджених ґрунтів після конфлікту є складним процесом, який потребує часу і ресурсів. Для цього потрібні спеціальні технології та методи очищення, а також боротьба з ерозією та робота з відновлення рослинності.

Отримані дані становлять основу для розроблення рекомендацій з оптимізації використання земельних ресурсів, розвитку сільського господарства, збереження природи та ефективного землеустрою. Це сприятиме сталому розвитку регіону та покращенню якості природного середовища, що є надзвичайно важливим для мешканців області.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Конституція України від 28.06.1996 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/254%D0%BA/96-%D0%B2%D1%80#Text>
2. Земельний фонд України / А. М. Третяк // Енциклопедія Сучасної України [Електронний ресурс] / Редкол. : І. М. Дзюба, А. І. Жуковський, М. Г. Железняк [та ін.] ; НАН України, НТШ. – К. : Інститут енциклопедичних досліджень НАН України, 2010. – Режим доступу : <https://esu.com.ua/article-15948>
3. [eДорада](https://edorada.org/uk/articles/159). Земельні ресурси України. URL: <https://edorada.org/uk/articles/159>
4. Підрахунок екологічних витрат: Наслідки збройної агресії російської федерації для довкілля. URL: <https://www.dei.gov.ua/post/pidrakhunok-ekologichnikh-vtrat-naslidki-zbroynoi-agresii-rosiyskoi-federat>
5. Забруднення земель внаслідок агресії Росії проти України. URL: <https://ecoaction.org.ua/wp-content/uploads/2023/03/zabrudnennia-zemel-vid-rosii1.pdf>
6. Ачосов А. Б., Селіверстов О. Ю., Дядін Д. В., Сєдов А. О. Дистанційний моніторинг наслідків бойових дій на території Харківської області. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна*. 2023. (№28). С. 71-82.
7. Нікітченко І.В., Прокопенко Н.Ю. Вплив військових конфліктів на навколишнє середовище та екологію: Екологічні проблеми природокористування та охорона навколишнього середовища. С. 153-155
8. Основи дистанційного зондування Землі : історія та практичне застосування : навч. посіб. / С. О. Довгий, В. І. Лялько, С. М. Бабійчук, Т. Л. Кучма, О. В. Томченко, Л. Я. Юрків. — К. : Інститут обдарованої дитини НАПН України, 2019. — 316 с.
9. Conventional Data Access Hubs. URL: <https://www.copernicus.eu/en/access-data/conventional-data-access->

[hubs#:~:text=Copernicus%20Open%20Access%20Hub,an%20interactive%20graphic%20user%20interface.](#)

10. Основи дистанційного зондування Землі : робочий зошит. Частина 1. / С. М. Бабійчук, Л. Я. Юрків, О. В. Томченко, Т. Л. Кучма. – Київ: Національний центр «Мала академія наук України», 2020. – 122 с.

11. Геоінформаційні системи. URL: <http://www.geoguide.com.ua/survey/survey.php?part=gis>

12. Сучасні технології в сільському господарстві. URL: <https://eos.com/uk/blog/suchasni-tekhnologii-v-silskomu-hospodarstvi/>

13. Робота майбутнього. Форсайт обумовлених впровадженням нових технологій змін в сільському, лісовому та рибному господарстві України. Аналітичний звіт / О. Давліканова, І. Осадчук – Київ: Національне агентство кваліфікацій, Державна служба зайнятості, Представництво Фонду ім. Фрідріха Еберта в Україні. — Київ: ТОВ «ВІСТКА», 2022. — 172 с

14. Скидан О. В., Бродський Ю, Б., Топольницький П. П., Пивовар П. В. Космічні технології у виробничій системі сільськогосподарських товаровиробників. Наукові горизонти. 2019. № 4 (77). – С. 3-12. URL: <https://doi.org/10.33249/2663-2144-2019-77-4-3-12>

15. Інформаційні технології : навч. посібник. / Волосюк Ю.В., Кузьома В.В., Коваленко О.А., Тихонова Т.В., Нелепова А.В., Бондаренко Л.В., Мороз Т.О., Борян Л.О., під заг. ред. А.В. Нелепової. – К. : «Кафедра», 2017. – 200 с.

16. ГІС-технології в сільському господарстві та їх переваги. URL: <https://eos.com/uk/blog/his-tekhnologii-v-silskomu-hospodarstvi/>

17. Зарубин О.А., Ларина А.В., Саулин В.А., Шабайкина В.А. Использование многозональных космических снимков для целей геоинформационного мониторинга и анализа пространственных характеристик сельскохозяйственного землепользования // Вектор ГеоНаук. 2020. Т.3. №2. С. 37-50. DOI: 10.24411/2619-0761-2020-10017

18. Дистанційні дослідження Землі : Навчальний посібник / Галина Байрак, Богдан Муха. – Львів : Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2010.

– 712 с.

19. Кохан С. С. Застосування вегетаційних індексів на основі серії космічних знімків IRS-1D LISS-III для визначення стану посівів сільськогосподарських культур / С. С. Кохан // Космічна наука і технологія. – 2011. – Т. 17, № 5. – С. 58

20. Бардиш Б. Використання вегетаційних індексів для ідентифікації об'єктів земної поверхні/ Бардиш Б., Бурштинська Х. // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2014. – № 2 (28). – С. 82-88.

21. Бурштинська Х., Долинська І. Врахування впливу атмосфери під час опрацювання космічних зображень // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2012. – Вип. 76. – С. 70–73.

22. Дистанційне зондування Землі. Лекційний матеріал для дисциплін «Системи супутникового зв'язку», «Системи зв'язку з рухомими об'єктами». - Тернопіль: ТНТУ, 2012– 58 с.

23. John A. Richards, Xiuping Jia. Remote sensing digital image analysis. – Springer, 2006.

24. Дистанційне зондування Землі: аналіз космічних знімків у геоінформаційних системах : навч.-метод. посіб. / С. О. Довгий, С. М. Бабійчук, Т. Л. Кучма та ін. – Київ : Національний центр «Мала академія наук України», 2020. – 268 с.

25. Наказ Міністерства з питань реінтеграції тимчасово окупованих територій України «Про затвердження Переліку територій, на яких ведуться (велися) бойові дії або тимчасово окупованих Російською Федерацією» від 22.12.2022 № 309. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1668-22#Text>

26. Огляд збитків від війни в сільському господарстві України. Непряма оцінка пошкоджень. Другий випуск, 10 листопада 2022. URL: <https://minagro.gov.ua/storage/app/sites/1/uploaded-files/damagesreportissue2ua-1.pdf>

27. Міністерство аграрної політики та продовольства України. Польові роботи. URL: <https://minagro.gov.ua/news/v-ukrayini-zibrano-783-mln-tonn->

[novogo-vrozhayu](#)

28. Klimkina I., Kharytonov M., Wiche O., Heilmeier H. Phytoremediation of spoil coal heaps in Western Donbas (Ukraine). Geophysical Research Abstracts, 19, EGU2017-1312, EGU General Assembly. 2017. URL: <http://surl.li/scuzei>. (data of access: 12.04.2024)

29. Krasovskyi S., Kovrov O., Klimkina I., Wiche O. Impact of substrate acidification on the plant availability of some trace elements in a coal waste material. Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences. 2022. Vol. 17, no. 1. P. 171–178. URL: <https://doi.org/10.26471/cjees/2022/017/211> (date of access: 12.09.2024)

30. Надточій П.П., Мислива Т.М. Охорона та раціональне використання природних ресурсів і рекультивація земель. Житомир, 2007. 420 с.

31. Самохвалова В. Л., Фатєєв А. І., Зуза С. Г., Погромська Ю. А., Зуза В. О., Панасенко Є. В. та Горпинченко П. Ю. Фіторемедіація техногенно забруднених ґрунтів. 2015. Агроєкологічний журнал. №1. С. 92–100. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/agrog_2015_1_13. (дата звернення: 08.07.2024)

32. Ковров О., Федотов В., Зворигін К. Обґрунтування технології фіторемедіації деградованих ландшафтів на основі екосистемного підходу. Аудит технології та резерви виробництва. 2019. 6/3(50) С. 3–9. URL: <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2019.185204> (дата звернення: 12.06.2024)

33. Pavlychenko, A., Adamchuk, A. and Shustov, O. Technology of deep open-cast mines reclamation. In: Modern forms of development of resource-saving technologies for minerals mining and processing. UNIVERSITAS Publishing. 2024. P. 180-199. URL: <https://doi.org/10.31713/m1311> (date of access: 13.10.2024)

34. Kharytonov M.M., Klimkina I.I., Wiche, O., Multiple Environment Assessment of Artificial Profiles of Reclaimed Minelands, Actual problems of natural sciences: modern scientific discussions: Collective monograph. Riga: Izdevnieciba “Baltija Publishing”. 2020. P. 600–624. URL: <https://doi.org/10.30525/978-9934-588-45-7.29>. (date of access: 12.09.2024)

35. Kharytonov M. Geochemical assessment of reclaimed lands in the mining regions of Ukraine, NATO ARW Soil chemical pollution, risk assessment, remediation

and security. Springer, Printed in the Netherlands. 2007. P. 57–60. URL: https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8257-3_16 (date of access: 18.11.2024)

36. Kharytonov M.M., Klimkina I.I., Martynova N.V., Rula I.V., Gispert M., Pardini G. Estimation of the Biochar Effect on Annual Energy Crops Grown in Post-Mining Lands, *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2021 **22**(2) P. 15–26. URL: <https://doi.org/10.12912/27197050/133257>. (date of access: 18.11.2024)

37. Kharytonov, M.M., Klimkina, I.I., Martynova, N.V., Rula, I.V., Gispert M., Pardini G.M. The biochar impact on miscanthus and sunflower growth in marginal lands. *Agrology*. 2019. Vol. 3, no. 1. P. 3-11. URL: <https://doi.org/10.32819/020001>. (date of access: 12.10.2024)

38. Frolova L., Kharytonov M., Klimkina I., Kovrov O., Koveria A. Investigation of the adsorption of ions chromium by mean biochar from coniferous trees. *Applied Nanoscience*. 2022. Vol. 12. P. 1123–1129. URL: <https://doi.org/10.1007/s13204-021-01995-1> (date of access: 11.10.2024)

39. Гавриляк М.Ю., Баранов В.І. 2010 Спосіб очищення ґрунтів відвалу вугільних шахт від важких металів. Патент на корисну модель 50789 UA <http://surl.li/jocppg>.

40. Лаврик М.О., Павличенко А.В. Фіторемедіація засолених ґрунтів вугледобувних регіонів України. *Геотехнічна механіка*. 2013. 111 С. 77–85. URL: <http://dspace.nbu.gov.ua/bitstream/handle/123456789/87347/09-Lavryk.pdf?sequence=1> (дата звернення: 23.11.2024)

41. Zverkovsky V.M., Sytnyk S.A., Lovynska V.M., Kharytonov M.M., Lakyda I.P., Mykolenko S.Yu., Pardini G., Margui E., Gispert M. Remediation potential of forest forming tree species within northern steppe reclamation stands, *Ecologia (Bratislava)*. 2018. Vol. 37, no. 1, P. 69–81. URL: <https://doi.org/10.2478/eko-2018-0007> (date of access: 11.11.2024)

42. Lovynska V.M., Holoborodko K.K., Sytnyk S.A., Ivanko I.A., Buchavyi Yu.V., Alekseeva A.A. Study on accumulation of heavy metals by green plantations in the conditions of industrial cities, *Naukovi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho*

Universytetu, 2022. no. 6. P. 117-122. URL: <https://doi.org/10.33271/nvngu/2022-6/117> (date of access: 12.11.2024)

43. Зубов А.А., Зубова Л.Г., Зубов А.Р. Лісова рекультивація відвалів Екологічний вісник Північного Кавказу. 2020. Т. 16, №3. С. 64–73 URL: <http://surl.li/yaqaky>. (дата звернення: 01.12.2024)

44. Bilal E., Bellefqih H., Bourgier V., Mazouz H., Dumitraş D.-G., Bard F. Phosphogypsum circular economy considerations: A critical review from more than 65 storage sites worldwide. *Journal of Cleaner Production*. 2023. P. 414 URL: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137561> (date of access: 10.11.2024)

45. Plyatsuk L., Balintova M., Chernysh Y., Demcak S., Holub M., Yakhnenko E. Influence of Phosphogypsum Heap on the Soil Ecosystem in the Sumy region (Ukraine). *Appl. Sci.*, 2019. Vol. 9 no. 24, 5559. URL: <https://doi.org/10.3390/app9245559>. (date of access: 09.11.2024)

46. Dushenkov S., Mikheev A., Prokhnevsky A., Ruchko M., Sorochinsky, B. Phytoremediation of Radiocesium-Contaminated Soil in the Vicinity of Chernobyl, Ukraine. *Environ. Sci. Technol.* 1999. Vol. 33. P. 469–475.

47. Chernysh Y., Balintova M., Shtepa V., Skvortsova P., Skydanenko M., Fukui M. Integration of Processes of Radionuclide-Contaminated Territories Decontamination in the Framework of their Ecological-Socio-Economic Rehabilitation, *Ecological Engineering and Environmental Technology*. 2022. Vol. 23, no. 1. P. 110-124. URL: <https://doi.org/10.12912/27197050/143002> (date of access: 06.09.2024)

48. Борецька І Ю, Джура Н. М. та Романюк О. І. Фіторемедіація техногенно забруднених ґрунтів з використанням енергетичних культур. *Екологічні науки*. 2021. 6(39) С. 72–76 URL: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.6-39.11>. (дата звернення: 11.10.2024)

49. Булавенко Р. В. Можливості використання фітолікувальних рослин для захисту ґрунтів Полтавської області від діяльності об'єктів нафтової промисловості. *Екологічна безпека*. 2013. №1. С. 99 – 102. URL:

[http://www.kdu.edu.ua/ЕКВ_jurnal/2013_1\(15\)/Pdf/99.pdf](http://www.kdu.edu.ua/ЕКВ_jurnal/2013_1(15)/Pdf/99.pdf). (дата звернення: 03.09.2024)

50. Романюк О. І., Шевчик Л. З. Використання обліпихи для фіторемедіації нафтозабруднених ґрунтів. Біологічний вісник Мелітопольського державного педагогічного університету. 2016. 6(3) С. 472–480.

51. Цвілинюк О., Буньо Л. В., Карпін О. Л. та Пенцак А. Я. Фіторемедіація нафтозабруднених ґрунтів із застосуванням *Carex hirta*. Будівництво, матеріалознавство, інженерія: зб. науки тр. 2017. 99. С. 187–193.

52. Клепач Г., Кречківська Г., Іскович Л. та Волошанська С. Оцінка методів рекультивації насипу Бориславського озокеритового родовища Вісник Львівського університету. 2015. Серія біологічна. 70. С. 100–109. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VLNU_biol_2015_70_14. (дата звернення: 19.09.2024)

53. Самарська А., Ковров О. та Зеленко Ю. Дослідження джерел важких металів на залізницях: баластний шар і гербіциди. Журнал екологічної інженерії. 2020. 21(8) С. 32–46. URL: <https://doi.org/10.12911/22998993/127393>. (дата звернення: 19.09.2024)

54. Yakovyshyna T. Integrated Approach of Phytostabilization for Urban Ecosystem Soils Contaminated with Lead. Environmental Research Engineering and Management. 2021. Vol. 77, no. 2, P. 43–52. URL: <https://doi.org/10.5755/j01.erem.77.2.28633> (date of access: 16.10.2024)

55. Yakovyshyna T.F. Improvement of phytoextraction technology of heavy metals from soil, Bulletin of the Sumy National Agrarian University. Series: Agronomy and Biology. 2013. Vol. 3. P. 72–76. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vsna_agro_2013_3_21. (date of access: 16.11.2024)

56. Mykola Kharytonov, Nadia Martynova, Mykhailo Babenko, Oleksandr Kovrov, Liliya Frolova, Paloma Hueso González. Application of flocculated sewage sludge for growing miscanthus on post-mining lands. International Journal of Environmental Studies. 2023. URL: <https://doi.org/10.1080/00207233.2023.2262867>. (date of access: 15.09.2024)

57. Корж О.П., Савченко І.Г. та Гура Н.О. 2013 Фіторе mediaційний спосіб очищення ґрунтів від важких металів Патент на корисну модель 76416 UA. <http://surl.li/qkrbnn>.

58. Prysedskyi Y. Lykholat, Y. Influence of sulfite and fluoride soil contamination on the pigment content in some species of arboreal plants. *Biologija*. 2017. Vol. 63, no. 3. P. 264-269. URL: <https://doi.org/10.6001/biologija.v63i3.3581>. (date of access: 15.09.2024)

59. Korol K., Popovych, V. Spectral Analysis Method for Distinguishing Heavy Metals Pollution in the Pioneer Vegetation of Landfills Located within the Prikarpatian Geobotanical District of Ukraine, *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2023. Vol. 1. P. 29–37. URL: <https://doi.org/10.12912/27197050/154910>. (date of access: 15.09.2024)

60. ДСанПІН 3.3.2.007-98 Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0007282-98#Text>

61. ДСН 3.3.6.039-99 Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va039282-99#Text>

62. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va037282-99#Text>

63. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va042282-99#Text>

64. Аналіз умов праці на робочому місці користувача ПК. URL: https://cpo.stu.cn.ua/Oksana/dipl_bak/140.html

65. ДБН В.2.5-56:2014 «Системи протипожежного захисту»

66. Наказ Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України «Про затвердження Методики визначення розміру шкоди завданої землі, ґрунтам внаслідок надзвичайних ситуацій та/ або збройної агресії та бойових дій під час дії воєнного стану» від 04.04.2022 № 167. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0406-22#Text>