

Міністерство освіти і науки України
Київський національний університет імені
Тараса Шевченка ННІ «Інститут геології»
Кафедра геоінформатики

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА
спеціальність 193 – Геодезія та землеустрій
освітня програма «Оцінка землі та нерухомого майна»

ТЕМА: «Моніторинг впливу військових дій на довкілля за допомогою
засобів ГІС та методів дистанційного зондування Землі»

Виконала



студентка 4-го курсу
кафедри геоінформатики
Семеняка Валерія Юріївна

Науковий керівник



доктор технічних наук, професор
Зацерковний Віталій Іванович

Робота рекомендується до захисту (протокол № 14
засідання кафедри геоінформатики від 13.06.23р)

Завідувач кафедри



доктор технічних наук, професор
Зацерковний Віталій Іванович

Київ – 2023

ЗМІСТ

ВСТУП	3
1. ГЕОСИСТЕМА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВІЙСЬКОВИХ ДІЙ НА ЕКОСИСТЕМУ	6
1.1. Роль ГІС в екологічній безпеці.....	6
1.2. Аналіз даних зображень дистанційного зондування	8
1.3. Програмне забезпечення ArcGIS як платформа для екологічного моніторингу	12
2. ДЖЕРЕЛА ЗАБРУДНЕННЯ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ВНАСЛІДОК ВІЙСЬКОВИХ ДІЙ.....	15
3. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВІЙСЬКОВИХ ДІЙ НА ЯКІСТЬ ВОДИ.....	21
3.1. Стан водних ресурсів внаслідок збройної агресії.....	21
3.2. Дослідження екологічного стану Кременчуцького водосховища за спектральними каналами.....	25
4. ОЦІНКА ЯКОГО СТАНУ ЗЕМЕЛЬ, ЯКІ ЗАЗНАЛИ ВПЛИВУ ВІЙСЬКОВИХ ДІЙ	34
4.1. Використання ДЗЗ для аналізу впливу військових дій на лісове господарство	34
4.2. Наслідки прориву дамби для земельних ділянок.....	38
4.3. Ресурс Fire Information for Resource Management System (FIRMS) як джерело інформації про теплові аномалії.....	41
5. ВПЛИВ ВІЙСЬКОВИХ ДІЙ НА СТАН ҐРУНТІВ ТА ЗЕЛЕНИХ НАСАДЖЕНЬ	45
5.1. Метод визначення площ зелених насаджень із використанням даних ДЗЗ	45
5.2. Моніторинг стану Ґрунтів в зонах бойових дій	49
5.2.1. Ідентифікація пошкоджених угідь за даними ДЗЗ	49
5.2.2. Ідентифікація факторів впливу	50
5.2.3. Оцінка рівня пошкодження Ґрунтів	51
5.2.4. Комплексне оцінювання рівня пошкодження, зведена оцінка	53
6. ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА У ЗВ'ЯЗКУ ЗІ ЗБРОЙНИМИ КОНФЛІКТАМИ	54
ВИСНОВКИ	57
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	59

ВСТУП

Дистанційне зондування Землі і система географічної інформації (ГІС) відіграють ключову роль у військових операціях, оскільки вони дуже динамічні за своєю природою, а концепції командування, контролю, зв'язку та координації у військових операціях значною мірою залежать від наявності точної інформації. Щоб швидко приймати рішення для оперативних наказів.

Проблема екологічної безпеки стає все більш актуальною у світових справах. Екологічна безпека – це стан динаміки людини та навколишнього середовища, який включає відновлення навколишнього середовища, пошкодженого військовими діями, а також зменшення дефіциту ресурсів, погіршення стану навколишнього середовища та біологічних загроз, які можуть призвести до соціальних безладів і конфліктів.

Без посилення заходів щодо забезпечення екологічної безпеки постійне зростання населення та економічне зростання зменшать природні системи життєзабезпечення, що призведе до міграції та конфліктів. Оскільки половина світу скупчена в міських середовищах, стихійні лиха та глобальні зміни навколишнього середовища впливають на більшу кількість людей, які залежать від цивільних систем водопостачання, електроенергії, транспорту, їжі та інших промислових систем.

Безпека навколишнього середовища, управління водними ресурсами та інформації стає головною необхідністю через тероризм і підвищує рівень якості людського життя.

Нові вдосконалені методології, якими є геоінформаційна система (ГІС) і дистанційне зондування (ДЗЗ), важливий інструмент для визначення та допомоги у вирішенні описаних проблем для моніторингу навколишнього середовища для оцінки та управління ризиками, необхідні для вирішення нових викликів, включаючи терористичні атаки.

З перших днів російського військового вторгнення в Україну 24 лютого 2022 року вони розпочали цілеспрямоване знищення об'єктів критичної інфраструктури нашої країни, як із застосуванням високоточних ракет, так і реактивної артилерії. Метою таких дій було послабити постачання українських міст паливом і ресурсами для відновлення та завдати максимального економічного збитку. Проте окремі випадки свідчать про те, що метою індивідуальних обстрілів було безпосередньо погіршення екологічної ситуації в населених пунктах.

Обстріли промислових об'єктів та інфраструктури призвели до пожеж, що призвело до додаткового забруднення повітря, ґрунту та води. У місцях проведення заходів з гасіння пожежі забруднення додатково посилювалося залишками пожежної піни, що також негативно впливає на здоров'я населення.

Метою дипломної роботи є дослідження впливу військових дій на навколишнє середовище, а саме на якість ґрунту, повітря, водних ресурсів, зелених насаджень, показати як за допомогою методів ГІС та ДЗЗ можна проводити моніторинг та оцінити всі ризики.

Об'єктом дослідження є територія України на яких відбувалися і відбуваються активні бойові дії.

Наукова новизна роботи полягає в тому, що змодельовано процес оцінки негативного впливу на екологію внаслідок бойових дій на території України.

Практична значимість полягає в тому, що в даній роботі було створено карти, схеми для продовження теоретичного чи експериментального вивчення питання моніторингу стану навколишнього середовища засобами ГІС та ДЗЗ.

Завдання:

- проаналізувати вплив військових дій на навколишнє середовище;
- визначити, які чинники і яким чином впливають на навколишнє середовище;
- відобразити вплив військових дій засобами ГІС;
- пояснити яким чином можна відстежувати динаміку впливу військових дій на повітря, ґрунт і так далі.

1. ГЕОСИСТЕМА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВІЙСЬКОВИХ ДІЙ НА ЕКОСИСТЕМУ

1.1. Роль ГІС в екологічній безпеці

ГІС – це комп'ютерна система для збору, зберігання, керування, аналізу, опису та застосування даних, пов'язаних із просторовим і географічним розподілом усієї або частини поверхні Землі. Вона складається з комп'ютерних апаратних і програмних систем, баз даних і користувачів, а інтелектуальна ГІС включає експертні системи, що складаються зі знань і міркувань.

В даній роботі будуть представлені проекти, в яких буде використано методи ДЗЗ з супутниковими даними та програмним забезпеченням ГІС.

ГІС — це нова передова дисципліна, що об'єднує географію, інформатику, картографію, інформатику, просторову науку, науку про Землю та науку про управління. Геосистема вивчає поєднання комп'ютерних технологій і даних просторового географічного розподілу за допомогою ряду просторових операцій і аналізу для географічної науки, науки про навколишнє середовище та інженерного проектування та навіть розвитку національної економіки, міського будівництва та бізнес-операцій для забезпечення планування, управління, а також інформацію для підтримки прийняття рішень і відповідати на відповідні запитання, поставлені користувачами (*Зацерковний В.І., 2018*).

З безперервним розвитком технологій дистанційного зондування з'явилися різноманітні супутникові зображення дистанційного зондування з різною часовою та просторовою роздільною здатністю, а аналіз даних дистанційного зондування за допомогою поєднання ДЗЗ та ГІС поступово перейшов від якісного до кількісного (*Курепін В.М., Іваненко В.С., 2019*).

Аналізуючи тенденцію розвитку екологічних досліджень в Україні та за кордоном за останні роки, можна зробити висновки про складність та інтеграцію об'єктів дослідження. Екосистема – це комплексна (природно-соціально-економічна) мегасистема зі зростанням чисельності населення, економічним розвитком і підвищенням здатності людини використовувати ресурси (Магура Н. Л., 2001).

Екологічні проблеми стали складнішими та комплекснішими, а дослідження екологічного середовища — комплекснішими та комплекснішими. Короткострокові масштабні та локальні проблеми дослідження екологічного середовища більше не можуть задовольнити потреби регіонального економічного розвитку та екологічної координації.

Сучасні дослідження екологічного середовища поступово вийшли на стадію створення регіональних стійких екосистем на основі мережевого довгострокового моніторингу позиціонування та сучасних теоретичних методів як інструментів дослідження. Створення цифрових систем екологічного моніторингу та будівництво цифрових вододілів у просторових масштабах, більших за великі вододіли, стало важливою тенденцією розвитку, а цілями досліджень, як правило, є стале екологічне та екологічне управління (Наслідки російської військової агресії для довкілля України — Всеукраїнська екологічна ліга, 2023).

1.2. Аналіз даних зображень дистанційного зондування

На необроблені зображення дистанційного зондування впливають і перешкоджають різні фактори, такі як кривизна Землі, атмосферна рефракція, сонячне випромінювання та кут сканування дистанційного датчика під час процесу зображення, що призводить до низької якості зображення цільового об'єкта та неточне відображення його електромагнітної енергії, тому необроблені зображення дистанційного зондування потрібно попередньо обробити, щоб зменшити фактори впливу на зображення перед використанням для аналізу. Комп'ютерна класифікація зображень дистанційного зондування в основному базується на подібності значень сірого пікселів зображення (*Congalton R., 2008*).

Подібність між пікселями вимірюється відповідно до відстані та коефіцієнта кореляції: чим більша подібність, тим ближчі атрибути пікселів і тим більша ймовірність бути класифікованою в одній категорії. Необроблені дані дистанційного зондування були попередньо оброблені за допомогою програмного забезпечення ENVI та ArcGIS.

Згідно з блок-схемою обробки космознімку етапами попередньої обробки для необробленого зображення мають бути відкриття даних → орторектифікація → автовирівнювання(необов'язково) → об'єднання зображень → швидка атмосферна корекція, як показано на рисунку 1.1.

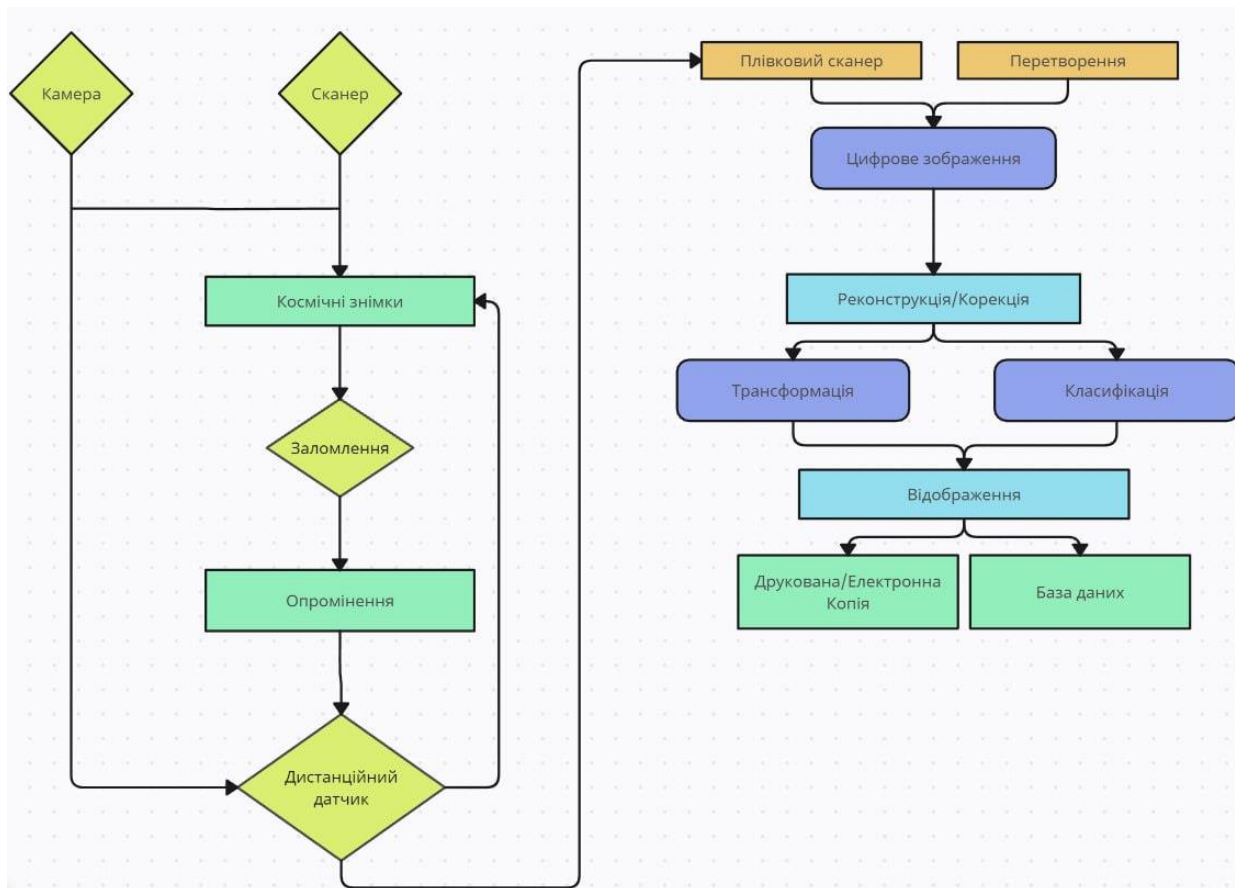


Рис. 1.1 – Обробка космознімку (Джерело: власна розробка)

Дистанційне зондування надає важливі дані про об'єкти на або поблизу земної поверхні та атмосферу на основі випромінювання, відбитого або випромінюваного від об'єктів або областей у багатомасштабному та різночасовому підходах (Semeniaka V., Zatserkovny V., Ilchenko A., Trofymenko P., Nikolaienko O. , 2021).

Методи дистанційного зондування використовують супутникові та/або бортові датчики для збору інформації про певний об'єкт або територію. Таким чином, вони залежать від їхніх фізичних, хімічних, біологічних та/або геологічних властивостей.

Вимірювання та реєстрація електромагнітного випромінювання здійснюється датчиками, встановленими на платформі (а саме супутникові, повітряні, безпілотні бортові системи) над земною поверхнею.

Датчики можуть бути встановлені на висоті від кількох сотень метрів над земною поверхнею (наприклад, мультиспектральні та гіперспектральні зображення з високою роздільною здатністю, системи виявлення та визначення дальності світла (LiDAR) і радіолокаційні системи) до сотень (або навіть тисяч) кілометрів (наприклад, орбітальні супутники). Методи збору даних ДЗЗ можуть бути пасивними та активними. Пасивні датчики (наприклад, спектральні зображення) виявляють природне випромінювання, яке випускається або відбивається спостережуваним об'єктом або областю. Активні датчики мають власне джерело енергії, яке випромінюється в напрямку об'єкта (наприклад, радар), і вимірюється результуючий сигнал, відбитий назад (*Yelistratova L.A., Apostolov A.A., Lyalko V.I., Tomchenko O.V., Khyzhniak A.V., Hodorovsky A.Ja., 2022*).

Останні технологічні досягнення в техніках і методологіях географічної інформаційної системи (ГІС) у поєднанні з аналізом даних дистанційного зондування виявилися потужними інструментами у фундаментальних і прикладних науках про Землю (наприклад, геологічне картографування, геоморфологія, структурна геологія, гідрогеологія, геофізика, геологічні розвідка), прикладні науки та інженерія (геоматична, геологічна, геотехнічна, гірничодобувна, цивільна, екологічна), географія та землеустрій, гідрологія та водні ресурси, наука про атмосферу та метеорологія, природні небезпеки тощо (*Shevchuk S., Vyshnevskyi V., Bilous O., 2022*).

Крім того, методології ГІС є передовим підходом для підтримки концептуальних моделей сайтів і картографування досліджень сайтів, що включає аналіз даних, візуальну аналітику та підтримку дизайнерських рішень.

Геовізуалізація — це галузь обчислювальної науки, що розвивається, з фундаментальним підходом, згідно з яким відображення візуальних представлень даних допомагає людям генерувати ідеї та гіпотези щодо набору даних (*Зацерковний В. І., 2018*).

У прикладних науках поєднання дистанційного зондування та картографування на основі ГІС корисне для візуалізації даних, просторового аналізу та кращого розуміння функціонування землі, води та екологічних систем.

Дистанційне зондування та картографування на основі ГІС для Землі та систем навколишнього середовища повинні просуватися до комплексної картографічної концепції, заснованої, серед іншого, на геоматичних техніках, польових роботах, геоприв'язаних даних з використанням високоточної GPS (системи географічного позиціонування) для польових досліджень та цифрові зображення високої роздільної здатності, отримані безпілотним літальним апаратом (БПЛА), концептуалізація наземних систем і чисельне моделювання. І останнє, але не менш важливе, програми дистанційного зондування та ГІС для системи Землі та навколишнього середовища стосуються концептуального та практичного контексту для кращого розуміння функціонування природних систем у рамках зміни клімату та підтримки проектних рішень з природними небезпеками (*Пранович К.О., 2022*).

1.3 Програмне забезпечення ArcGIS як платформа для екологічного моніторингу

Екологічний моніторинг на базі геоінформаційної платформи ArcGIS є ефективним підходом для збору, аналізу та візуалізації даних про стан навколишнього середовища. ArcGIS - це потужна геоінформаційна система, розроблена компанією Esri, яка надає широкі можливості для обробки просторових даних (Федченко О., Кулинич І., Сторубльов О., 2020).

Основні переваги використання ArcGIS для екологічного моніторингу включають:

1. Збір та інтеграція даних: ArcGIS дозволяє збирати дані з різних джерел, таких як супутникові знімки, даних з датчиків, географічні дані тощо. Ці дані можуть бути інтегровані для аналізу та створення комплексної картини екологічного стану.

2. Аналіз та моделювання: ArcGIS надає різноманітні інструменти для аналізу та моделювання просторових даних. Це дозволяє виконувати різні аналітичні операції, включаючи класифікацію земельного покриття, оцінку ризику природних лих та інше. Моделювання дозволяє прогнозувати можливі зміни в екосистемах на основі наявних даних.

3. Візуалізація та спільна робота: ArcGIS має інтерактивний інтерфейс, що дозволяє відображати дані у вигляді карт, графіків, діаграм та інших географічних візуалізацій. Це сприяє легкому розумінню та інтерпретації результатів моніторингу. Крім того, ArcGIS також надає можливість спільної роботи над проектами, обміну даними та спільному доступу до інформації.

4. Розширення можливостей: ArcGIS має велику кількість розширень та додатків, які дозволяють розширити функціональність платформи.

Наприклад, існують розширення для обробки супутникових знімків, моделювання гідрологічних процесів, аналізу біорізноманіття та багато інших.

Використання геоінформаційної платформи ArcGIS для екологічного моніторингу дозволяє збирати, аналізувати та візуалізувати дані про навколишнє середовище, що сприяє кращому розумінню стану екосистем та прийняттю обґрунтованих рішень у сфері охорони навколишнього середовища (Федченко О., Кулинич І., Сторубльов О., 2020).

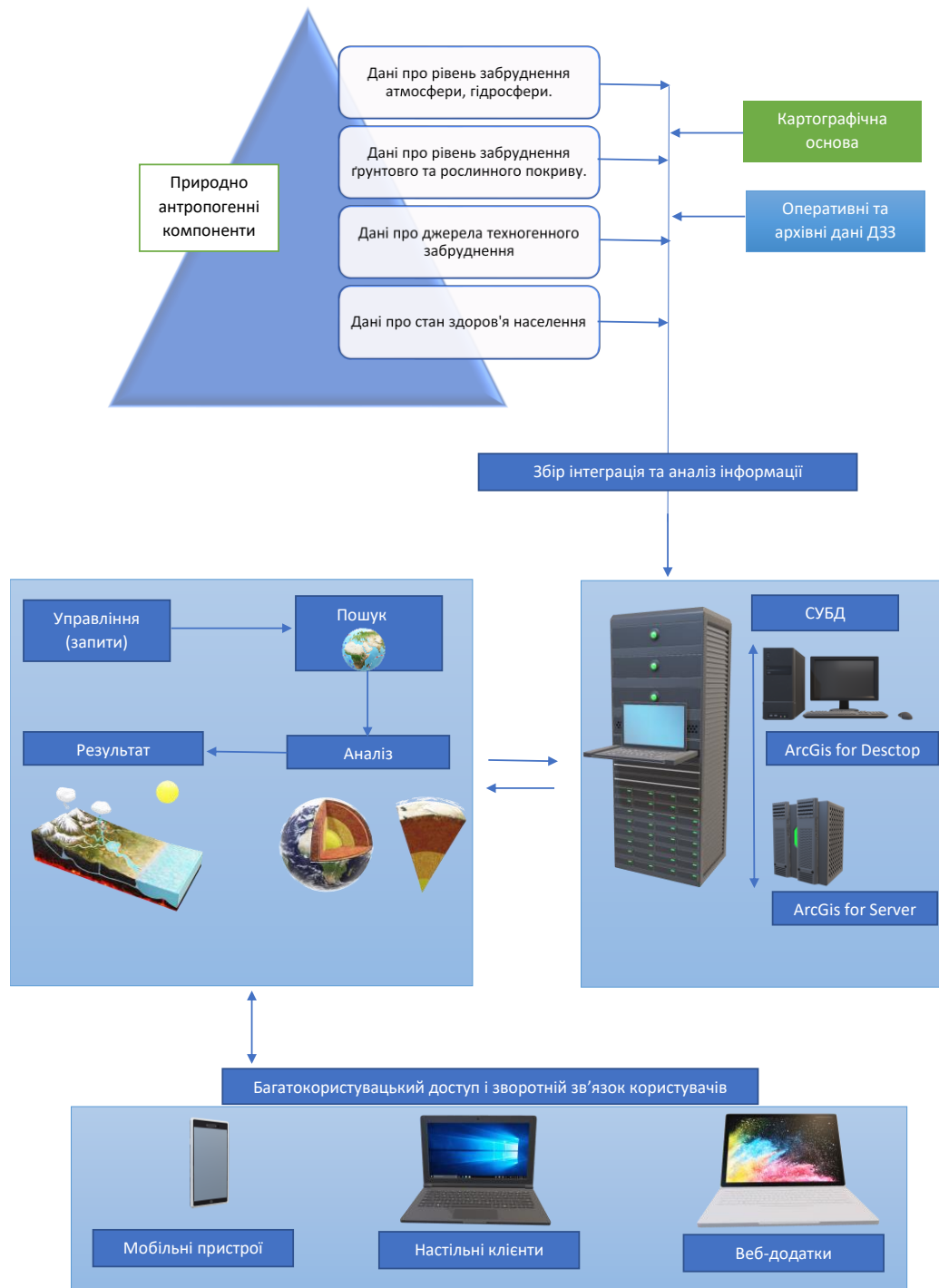


Рис. 4.1 – Графічне зображення створення системи керування базами даних (Джерело: власна розробка)

2. ДЖЕРЕЛА ЗАБРУДНЕННЯ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ВНАСЛІДОК ВІЙСЬКОВИХ ДІЙ

Джерелом воєнно-техногенного впливу у військовій екосистемі виступають об'єкти військової інфраструктури.

Військові дії можуть призводити до значного забруднення атмосфери, в основному через наступні джерела:

1. Вибухи та піротехнічні матеріали. Вибухи та використання піротехнічних матеріалів, таких як боєприпаси, ракети, артилерійські снаряди та вибухові пристрої, викидають значні кількості шкідливих речовин у повітря. Це може включати токсичні гази, шкідливі пари та аерозолі, які мають негативний вплив на якість повітря та здоров'я людей.

2. Викиди від збройних систем. Використання військової техніки, такої як танки, бойові літаки, гелікоптери та військові судна, супроводжується викидами відпрацьованих палив, мастильних матеріалів та інших шкідливих речовин у повітря. Це може призводити до забруднення атмосфери шкідливими викидами, включаючи вуглеводні, оксиди азоту та сірки, тверді частки та інші забруднюючі речовини.

3. Спалювання об'єктів та інфраструктури. У конфліктах може відбуватись широкомасштабне спалювання будівель, техніки, паливних запасів та інфраструктури. Це спричиняє викиди токсичних газів, шкідливих речовин та чадного диму у повітря, що негативно впливає на якість повітря та здоров'я людей.

4. Використання хімічної зброї. У деяких випадках у воєнних конфліктах може бути застосована хімічна зброя, така як отруйні гази, ядерні або біологічні речовини. Викиди таких шкідливих речовин у повітря мають серйозні наслідки для здоров'я людей та навколишнього середовища.

Відновлення якості повітря після військових дій вимагає комплексних заходів, включаючи ремонт та реконструкцію інфраструктури, очищення забруднених ділянок, видалення небезпечних речовин та реструктуризацію екологічних систем. Геоінформаційні платформи, такі як ArcGIS, можуть використовуватися для моніторингу якості повітря, аналізу забруднення та планування відновлювальних заходів після війни (*Випадки потенційної шкоди довкіллю, спричинені російською агресією, н. д.*).

Природно-заповідний фонд є одним із джерел покращення екологічної ситуації в Україні. Ці території відіграють важливу роль у захисті біорізноманіття та збереженні клімату. Проте, за даними Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів, станом на 1 березня 2022 року агресор вів бойові дії на території 900 об'єктів природно-заповідного фонду на площі 12406,6 кв. км, що становило близько третина площі природно-заповідного фонду України (рис. 2.1).

Під загрозою знищення знаходяться близько 200 територій Смарагдової мережі площею 2,9 млн га. Ареали деяких рідкісних та ендемічних видів і біотопів опинилися в зоні активних бойових дій, що загрожувало їхньому існуванню. Як приклад можна навести цілинні неорані степи, крейдянні схили на Донеччині, приморські поселення на півдні, болота на півночі тощо.

Російська збройна агресія призвела до серйозних екологічних наслідків – знищення незайманих природних ландшафтів, забруднення підземних і поверхневих водойм, забруднення атмосферного повітря, виведення з ладу значних масивів ріллі, знищення та пошкодження об'єктів природно-заповідного фонду, лісових пожеж та знищення біологічних ресурси величезні і за часом реабілітація цих об'єктів довкілля триватиме досить значний період (*Лісова Н. О., 2015*).

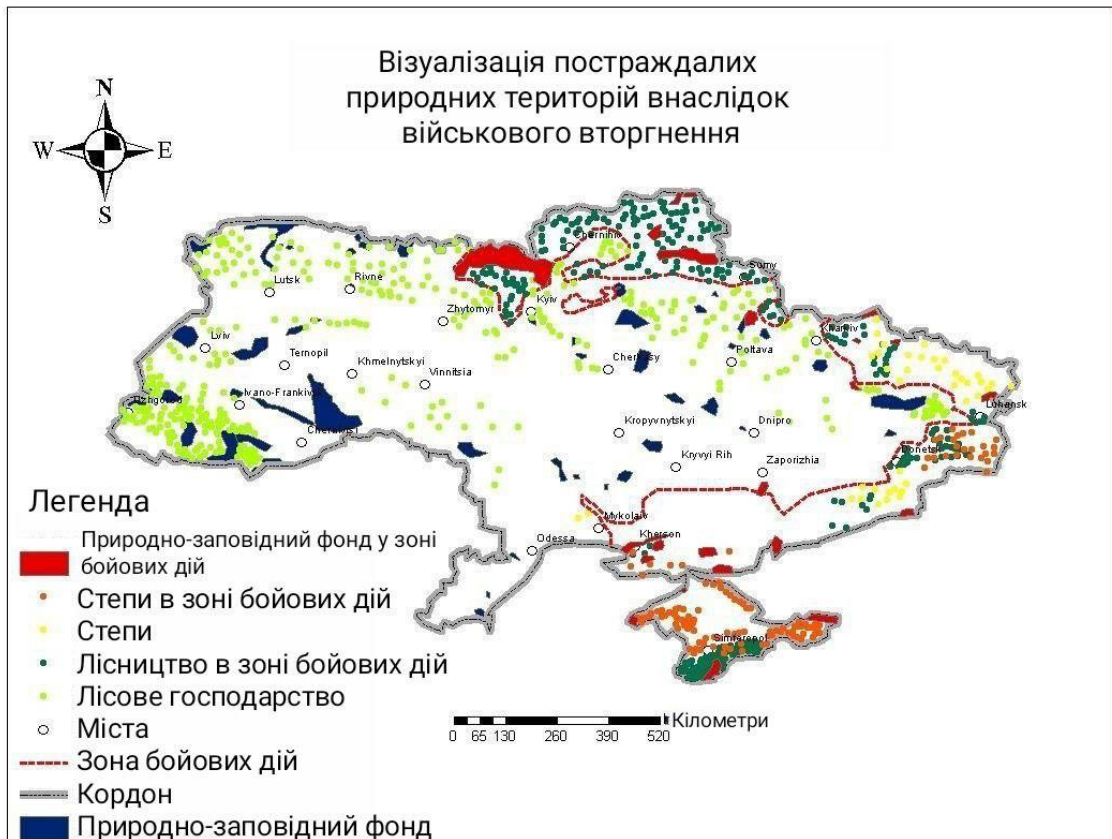


Рис. 2.1 – Візуалізація постраждалих природних територій внаслідок військового вторгнення (Джерело: власна розробка за даними за даними ГО “Українська природоохоронна група” – <https://uncg.org.ua/>)

Війна може мати серйозний вплив на ліси і ґрунт, призводячи до значних збитків і змін у природному середовищі.

Відбувається знищення лісового покриву. Військові дії, включаючи вибухи, обстріли і випалювання, можуть спричинити масове знищення лісів. В результаті лісові екосистеми можуть бути руйновані, дерева відмирати, а багато рослин і тварин втрачають свої місця існування.

Також військові дії можуть призвести до забруднення ґрунту внаслідок використання хімічних речовин, палива, вибухівок і інших небезпечних матеріалів.

Це може мати шкідливий вплив на родючість ґрунту і здоров'я рослин, а також може створювати загрозу для водних ресурсів у результаті забруднення.

Військові дії можуть змінювати природні екологічні умови в лісах і на ґрунті. Наприклад, великі вибухи можуть спричинити зсуви ґрунту, змінити рельєф та гідрологічний режим. Це може мати вплив на гідрологічний баланс, забезпечення водою та регенерацію екосистем.

Знищення лісових екосистем може призвести до втрати біорізноманіття. Багато видів рослин і тварин, які залежать від лісового середовища, можуть бути витиснені або вимерти через знищення їх місць існування.

Військові дії можуть порушити природний покрив ґрунту, що призводить до посиленої ерозії. Відсутність рослинного покриву і порушення структури ґрунту сприяють змиву та вивітрюванню ґрунту, що може мати негативний вплив на його родючість та *стабільність* (Semeniaka V., Zatserkovnyi V., Ilyin L., 2022).

Як приклад, на рис. 2.2 наведено розрахований індекс мутності NDTI в Маріупольському регіоні, який характеризує зниження прозорості води внаслідок наявності неорганічних і органічних домішок, суспензій, а також розвитку планктону у водоймі .

Алгоритм розрахунку показника каламутності води. Сьогодні в Україні 14 Рамсарських угідь площею 397,7 тис. га використовуються російськими загарбниками під час бойових дій проти українського народу. Це стосується узбережжя Азовського та Чорного морів, а також територій у нижній течії річок Дунай та Дніпро (*Environmental Performance Index, н.д.*).

Індекс NDTI розраховується за формулою (2.1):

$$NDTI = (RED[3]-GREEN[2])/(RED[3]+GREEN[2]) \quad (2.1)$$

де RED[3] – коефіцієнт відбиття в ближньому червоному діапазоні електромагнітного спектру;

GREEN[2] – коефіцієнт відбиття в зеленому діапазоні електромагнітного спектру (*Індекси рослинності ...*, н. д.).

Цей показник є глобальним показником, він дуже чутливий до зміни запасів вологи в рослинах. Це також корисно для прогнозування посухи. Як свідчать отримані космічні фотографії (один 2022 року (під час бойових дій), інший 2021 року), у воді зросла кількість органічних і неорганічних домішок, вода помутніла, що може спричинити серйозні проблеми в майбутнє, близьке до висихання водосховища (*Війна і екологія, 2022*).

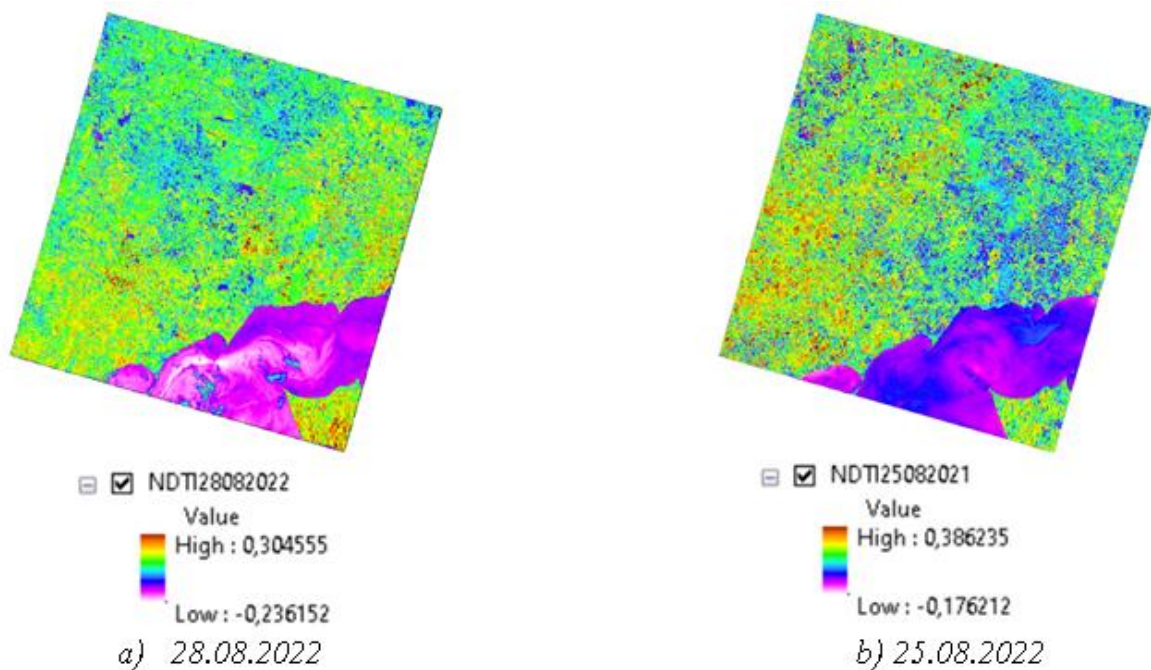


Рис. 2.2 – Розрахований індекс NDTI на південному-сході міста Маріуполь на основі знімків Sentinel-2B (Джерело: власна розробка)

На рис. 2.3 представлено розрахований індекс NDMI – стандартизований індекс різниці вологи, який дуже чутливий до рівня зволоження рослинності.

Використовується для відстеження посухи, також може використовуватися для визначення рівня палива та мастильних матеріалів у пожежонебезпечних районах (як NDWI, він більш чутливий до вологи).

Використовує канали NIR та SWIR для створення коефіцієнта, призначеного для приглушення освітлення та атмосферних ефектів. Розраховується за формулою (2.2):

$$\text{NDMI} = (\text{NIR}[4] - \text{SWIR1}[5]) / (\text{NIR}[4] + \text{SWIR1}[5]) \quad (2.2)$$

де NIR[4] – коефіцієнт відбиття в ближньому інфрачервоному діапазоні електромагнітного спектру;

SWIR1[5] – це коефіцієнт відбиття в короткохвильовому інфрачервоному діапазоні електромагнітного спектра (*Індекси рослинност, н.д.*).

Внаслідок вторгнення природному середовищу України буде завдано значної шкоди. Проведений аналіз свідчить про можливість посухи в зоні активних бойових дій, підвищення пожежної небезпеки та, як наслідок, додаткового забруднення навколишнього середовища.

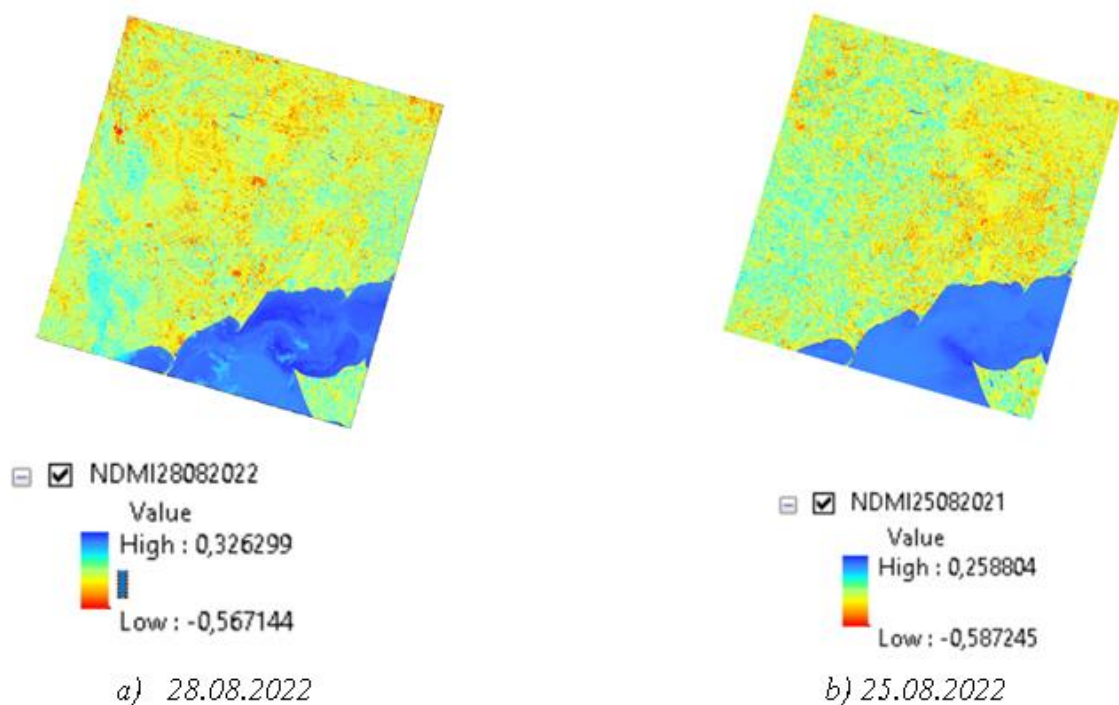


Рис. 2.3 – Розрахований індекс NDMI на південному-сході міста Маріуполь на основі знімків Sentinel-2B (Джерело: власна розробка)

3. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВІЙСЬКОВИХ ДІЙ НА ЯКІСТЬ ВОДИ

3.1. Стан водних ресурсів внаслідок збройної агресії

Стан водних ресурсів внаслідок збройної агресії може бути серйозно пошкоджений і мати значний вплив на екологічну та географічну ситуацію в даних районах. Основні наслідки збройної агресії на водні ресурси включають:

Конфлікти можуть спричинити намагання ворожих сил забруднити водні джерела, включаючи річки, озера та підземні води. Це може бути зроблено шляхом розливу небезпечних хімічних речовин, нафтопродуктів або інших токсичних матеріалів. Такі забруднення створюють серйозні загрози для екосистем та здоров'я людей, які залежать від цих водних джерел.

Збройна агресія може призвести до руйнування водно-болотних угідь та інших важливих водних екосистем. Воєнні дії, зокрема використання важкотехнічних засобів та вибухівки, можуть змінити гідрологічний режим, зруйнувати рослинність та пошкодити природні середовища, які забезпечують утримання та очищення води.

Збройний конфлікт може призвести до обмеження доступу до водних ресурсів для цивільного населення. Інфраструктура водопостачання, водоочищення та інші системи водопостачання можуть бути пошкоджені або знищені внаслідок воєнних дій, що призводить до недостатнього доступу до безпечної та чистої води.

Збройна агресія може призвести до втрати унікальних водних екосистем, таких як коралові рифи, мангрові ліси та інші місця природної ваги. Це може мати серйозні наслідки для біорізноманіття та екологічної рівноваги в регіоні (Семерня О.М., Любинський О.І., Федорчук І.В., Рудницька Ж.О., Семерня А.О., 2022).

Для візуалізації та аналізу стану водних ресурсів внаслідок збройної агресії на базі геоінформаційної платформи ArcGIS можна використовувати різні шари даних, такі як карти забруднення водних джерел, геопросторові дані про водні екосистеми та інші. Крім того, можна проводити аналіз впливу населення та встановлювати зони з посиленою потребою у водних ресурсах, щоб планувати допомогу та реагування на кризові ситуації.

Ми проаналізували багатогранний вплив військових дій на прісноводні ресурси та водну інфраструктуру, визначимо характер впливу, тип тиску на водний сектор і негативні наслідки для наявності та якості ресурсів прісної води для цивільного населення.



**Рис. 3.1 – Виявлені впливи на водні ресурси та інфраструктуру в Україні
(Джерело: власна розробка)**

Виявлено наступні типи реалізованих впливів: вісім випадків припинення водопостачання, шість випадків забруднення поверхневих вод внаслідок військових дій, з чотирьох випадків затонулих військових об'єктів і два через викид хімічних речовин внаслідок обстрілів, п'ять випадків пошкодження дамб (чотири на водосховищах і одна вздовж Північно-Кримського каналу), шість випадків затоплення шахт, один випадок бактеріологічного забруднення через масову загибель домашньої птиці та один випадок зриву роботи гідроелектростанції (ГЕС) (Каховська ГЕС).

Крім того, ми повідомляємо про впливи на системи водопостачання та очищення стічних вод, у тому числі 12 випадків порушення роботи водопровідних та очисних споруд, 7 випадків порушення роботи централізованого водопостачання та три випадки порушення роботи очисних споруд. Для деяких регіонів вдалося отримати лише об'єднану інформацію із загальною кількістю населених пунктів і мешканців без водопостачання. З реалізованих впливів 17 є результатом прямих атак, 13 через відключення електропостачання, 8 є комбінацією обох, 4 випадки забруднення поверхневих вод від затонулих військових об'єктів, 1 пов'язаний з непрямим пошкодження системи водопостачання (випадок м. Миколаєва, де підключення до альтернативного джерела водопостачання призвело до корозії та пошкодження труб) та 1 через нестандартні умови експлуатації (підтоплення у Новій Каховці).

Що стосується інфраструктури водопостачання, в результаті бойових дій постраждали 12 насосних станцій, у 6 випадках – трубопроводи та дамби, у 3 випадках – пошкоджено очисні споруди, уражено 2 фільтрувальні станції з водозабірними спорудами та 1 артезіанська свердловина.

Загалом у 12 населених пунктах такі пошкодження призвели до повного виходу з ладу всієї системи водопостачання та очищення стічних вод. Як потенційні загрози ми визначили 15 впливів, у тому числі 8 випадків затоплення через пошкодження дамб (наприклад, потенційні ракетні удари по дамбах Київської та Каховської ГЕС, вибух дороги на дамбі Печенізького водосховища, 5 водойм нібито заміновані), 4 загрози, пов'язані з АЕС через низько літаючі ракети (можливе пошкодження водойм-охолоджувачів, поширення радіоактивного пилу), 2 випадки періодично затоплюваних підземних шахт, 1 можливий випадок детонації ємності з хлором на території стічних вод. очисних споруд і вибуху морських мін у дельті річки Дунай.

Ресурси прісної води та водна інфраструктура постраждали насамперед у Донецькій та Луганській областях (17 та 13 реалізованих впливів відповідно), де конфлікт був найбільш інтенсивним (*Війна і море: як бойові дії загрожують екосистемам Чорного та Азовського морів, н.д.*).

Дефіцит електропостачання в регіоні призвів до переривання далекого водопостачання (основного джерела водопостачання) та спричинив неконтрольований підйом забруднених шахтних вод. Кілька впливів на прісноводні ресурси та водну інфраструктуру також було зафіксовано в західних областях України, далеко від активних наземних військових дій. Наприклад, напад на нафтобазу у Львові призвів до забруднення річки Західний Буг, притоки річки Нарва (басейн річки Вісла).

На півночі Тернопільської області внаслідок обстрілів пошкоджено шість резервуарів з мінеральними добривами, що призвело до забруднення річки Іква, притоки річки Стир (басейн Дніпра). Це призвело до значного підвищення концентрації аміаку та нітратів, що призвело до масової загибелі риби.

В Одеській області на півдні України місцева влада повідомила про наявність морських мін у дельті річки Дунай, що перешкоджає рибальству та обмежує судноплавство.

3.2. Дослідження екологічного стану Кременчуцького водосховища за спектральними каналами

Дистанційне зондування Землі (ДЗЗ) — метод отримання інформації про різноманітні об'єкти, динамічні процеси та явища на поверхні Землі, в її надрах та атмосфері шляхом реєстрації відбитого або власного електромагнітного випромінювання на відстані без прямого контакту (Зацерковний В. І., 2018).

Інтеграція геоінформаційних систем (ГІС) і технологій дистанційного зондування Землі є ефективним інструментом для розуміння й оцінки взаємодії різних компонентів у гео- та екосистемах на різних рівнях від локального до регіонального та глобального.

Аналіз матеріалів ДЗЗ за допомогою ГІС дає змогу створювати електронні карти рельєфу з урахуванням фактичних змін досліджуваних територій, які разом із цифровими моделями рельєфу (ЦМР), картографічною та атрибутивною інформацією забезпечують моніторинг, динамічну оцінку та прогнозування стану геооб'єктів у цілому (Семеняка В.Ю., Зацерковний В., Ільченко А., Євсєєва-Северина І., Ільїн Л., 2021).

Дані дистанційного зондування зазвичай надходять із супутників, кількість яких сьогодні досить велика, найбільш помітними з яких є супутники місії Landsat і Sentinel.

Ці супутники оснащені високоякісним обладнанням для отримання зображень та високоточними датчиками, здатними реєструвати найменші зміни у видимому та невидимому інфрачервоному спектрі (Семеняка В., Зацерковний В., Ільченко А., Трофименко П., Ніколаєнко О., 2021).

Система збору даних ДЗЗ включає: джерело електромагнітного випромінювання, випромінювання, що проходить через атмосферу, а також радіаційні об'єкти і реєструючий датчик. Датчики можуть бути як активними, так і пасивними. Варто зазначити, що пасивні датчики фіксують відбите або природне випромінювання, а активні здатні випромінювати необхідний сигнал і фіксувати його відбиток від об'єкта.

Усі дані, отримані з перерахованих пристроїв, є мультиспектральними зображеннями, тому для отримання інформації, що міститься в них, потрібна подальша інтерпретація даних та ідентифікація їхнього фізичного вмісту. Цей етап аналізу даних RSE називається декодуванням або декодуванням зображення.

Обробка зображень означає не тільки покращення зорового сприйняття зображень, а й класифікацію об'єктів, яка виконується в процесі аналізу зображень.

Дослідження екологічного стану Кременчуцького водосховища за спектральними каналами може бути проведено з використанням різних супутникових даних та методів обробки. Спектральні канали визначаються діапазоном електромагнітних хвиль, які використовуються для зйомки з висоти.

Основні канали, які можуть бути використані для дослідження екологічного стану водосховища, включають видимий спектр (VIS), інфрачервоний спектр (IR) та радіохвилі (R). Кожен канал має свої особливості та може надати інформацію про певні параметри *екосистеми (Vegetation indices for satellite platforms, н. д.)*.

➤ *Видимий спектр (VIS)*. Видимий спектр охоплює діапазон хвиль від близько 400 до 700 нм. Цей діапазон дозволяє визначати водні об'єкти, такі як водосховища, річки, озера та інші водні тіла. За допомогою видимого спектра можна оцінити якість води, виявити забруднення та аналізувати рослинний покрив навколишнього середовища.


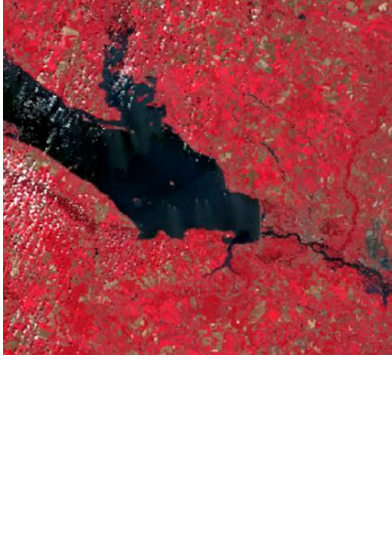
➤ *Інфрачервоний спектр (IR)*. Інфрачервоний спектр використовує хвилі з довжиною більше 700 нм. Інфрачервоний спектральний аналіз може надати інформацію про температуру поверхні води, виявляти забруднення та вимірювати концентрацію певних речовин.

➤ *Радіохвилі (R)*. Радіохвилі використовуються для радіолокаційного зондування поверхні води. За допомогою радіолокаційних даних можна отримати інформацію про структуру водосховища, включаючи глибину, форму та текстуру дна, а також виявити потенційні зони ерозії або затоплення.

Для проведення дослідження можна використовувати супутникові знімки, такі як Landsat, Sentinel або моделі спектральних каналів. Дані можуть бути оброблені за допомогою геоінформаційної платформи, такої як ArcGIS, для аналізу спектральних сигнатур, класифікації водних об'єктів, виявлення забруднень та оцінки змін в екологічному стані водосховища.

В таблиці 3.1 представлено комбінації різних каналів на основі зображення Landsat-8 та описано їх застосування на прикладі Кременчуцького водосховища (*Давибіда Л.І., 2012*).

**Таблиця 3.1 – Комбінації каналів Landsat-8 та їх значення на прикладі
Кременчуцького водосховища (Джерело: власна розробка)**

КОМБІНАЦІЇ КАНАЛІВ	ОПРАЦЬОВАНИЙ СУПУТНИКОВИЙ ЗНІМОК
<p>Комбінація 4, 3 і 2 каналів – це природні кольори, тобто використовуються ті кольори, які найкраще сприймаються людиною.</p> <p>Здорова рослинність зображена інтенсивно-зеленим кольором, дороги – сірим, пошкоджена та змінена рослинність – коричневим і жовтим, узбережжя – світлим, майже білим, хмари та сніг – білим.</p>	
<p>Комбінація 5, 4, 3 каналів – це штучні кольори з перевагою червоного. Таке поєднання каналів в основному використовується для вивчення стану рослинності та посівів. Показниками благополуччя широколистяних рослин є насичені відтінки рожевого і червоного кольорів, а більш світлі відтінки характеризують трав'янисту, чагарникову рослинність або рідколісся. Хвойні ліси пофарбовані в темно-червоний або тяжіють до бурого кольору.</p> <p>Хмари, сніг і лід пофарбовані в білий або відтінки синього кольору, земля змінюється від темно-до світло-коричневого.</p>	
<p>Комбінація 5, 6 і 4 каналів – це комбінація ближнього, середнього інфрачервоного каналів і видимого червоного каналу. Це поєднання чітко розмежовує землю і воду. Рослинність у цій комбінації представлена різними відтінками коричневого, помаранчевого та зеленого. Завдяки цьому каналу також можна аналізувати вологість ґрунту, чим вона вища, тим темніше будуть виглядати відтінки ґрунту - це пов'язано з поглинанням водою інфрачервоного випромінювання.</p>	

Комбінація 5, 6 і 2 каналів демонструє рослинність зелених, помаранчевих, червоних і коричневих відтінків. Глибока і прозора водна поверхня може виглядати дуже темно-синьою або навіть чорною, однак, якщо користувач стикається з мілководдям або водою, що містить велику кількість суспензій, колір зміниться на більш світлі відтінки. Додавши середнє значення інфрачервоного каналу, можна визначити різницю у віці рослинності.



Комбінація 6, 5 і 4 каналів відображає ґрунт рожево-бузковим кольором, а непорушену рослинність — яскраво-зеленим. Ця комбінація дозволяє проводити аналіз сільськогосподарської рослинності, а також використовується для моніторингу рослинного покриву та оцінки стану лісових угідь.



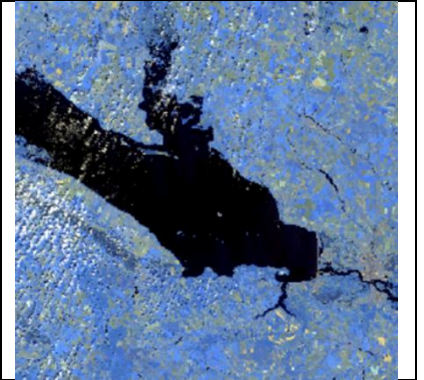
Комбінація 7, 5 і 3 каналів дозволяє отримати зображення, наближене до природних кольорів, а також дає можливість аналізувати стан атмосфери та диму. Вони добре проявляються в пустельних районах цієї комбінації. Це також зручно для вивчення боліт. Квітуча рослинність відображена яскраво-зеленим кольором, трав'янисті ділянки світло-зеленими, відкриті ґрунти пофарбовані в рожеві кольори, для розрідженої рослинності характерні коричневі і помаранчеві відтінки. Вода зображена в синіх і блакитних тонах.



Комбінація 7, 6 і 4 каналів схоже на попереднє, але контрастне зображення значно вище, що дозволяє якнайкраще виділити берегову лінію. Ділянки, схильні до частих повеней, виглядають темно-синіми або чорними.



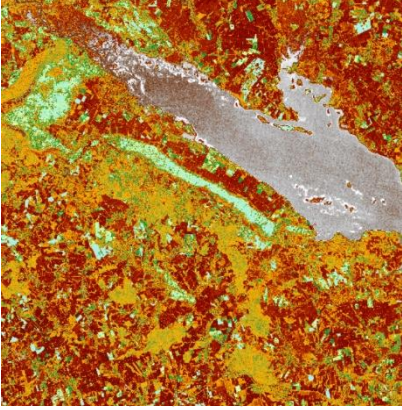
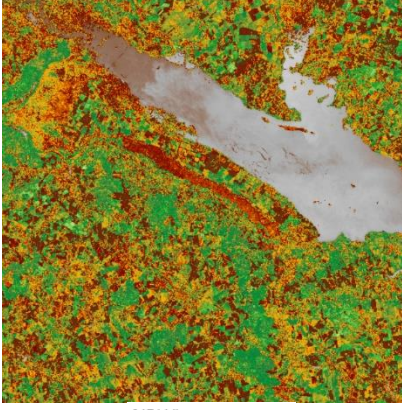
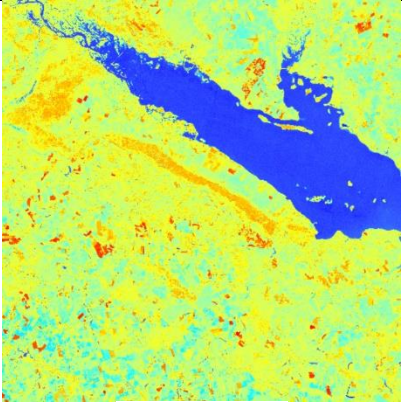
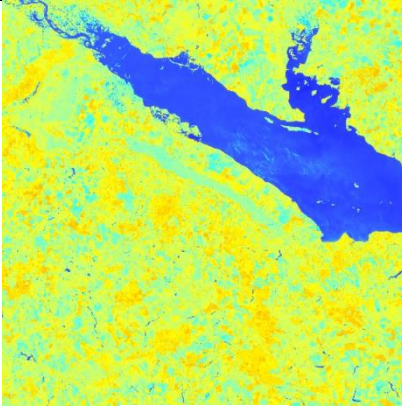
Комбінація 7, 6 і 5 каналів— це комбінація інфрачервоних каналів, які відображають зображення синім кольором. Ця комбінація дає змогу аналізувати структуру та вологість ґрунту. Рослинність зображена переважно синім кольором.


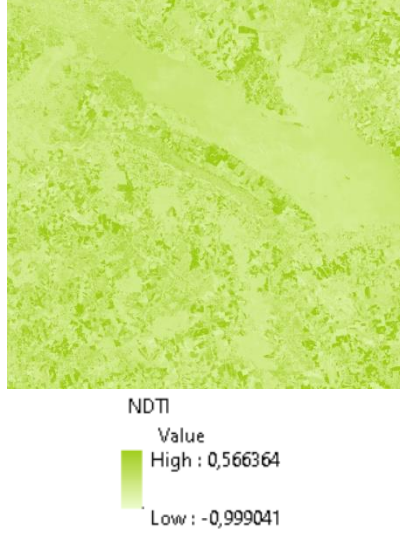


Спектральні індекси використовуються для автоматичного окреслення ландшафтних особливостей, таких як сніг/лід, хмари, рослинність і вода, на зображеннях Landsat, де вони створюють «індексний стек» за допомогою трьох наборів індексів (ArcGIS Pro: Index Gallery, 2022). Для цього існують різні індекси води, розраховані з урахуванням даних дистанційного зондування Землі (*Yelistratova L.A., Apostolov A.A., Lyalko V.I., Tomchenko O.V., Khyzhniak A.V., Hodorovsky A.Ja., 2022*).

У нашій роботі ми розглянемо найпопулярніші з них. Для вивчення розрахункових індексів, які використовуються для розрізнення водойм на поверхні Землі, були зроблені зображення супутника Sentinel-2B (таблиця 3.2) (індекси рослинності, н. д.).

Таблиця 3.2 – Розрахунок індексів рослинності за даними знімків Sentinel-2B (об’єкт – Кременчуцьке водосховище, джерело: власна розробка)

	01.11.2021	03.07.2022
<p>NDWI = (NIR-SWIR / NIR + SWIR)</p> <p>За цими растровими зображеннями можна визначити, на яких полях зібрано урожай, які культури засіяні різними культурами та наскільки вони вологі. За шкалою NDWI, чим менше значення індексу, тим більша ймовірність того, що на цій ділянці немає вологи, і навпаки.</p>	 <p>NDWI Value High : 0,998006 Low : -0,998596</p>	 <p>NDWI Value High : 0,469925 Low : -0,596179</p>
<p>MNDWI = (GREEN - SWIR₂) / (GREEN + SWIR₂)</p> <p>Якщо порівняти отримані растри за індексами NDWI та MNDWI, то можна побачити, що останні виявилися менш контрастними. Оператору легше розрізнити межі деяких об'єктів, наприклад, полів, водойм. MNDWI найкраще використовувати, якщо територія сильно забудована, оскільки використання видимого зеленого каналу замість</p>	 <p>MNDWI Value High : 0,997942 Low : -1</p>	 <p>MNDWI Value High : 0,807359 Low : -0,914617</p>

діапазону NIR дозволяє краще розділити будівлі та водні об'єкти.		
<p>NDTI = (RED - GREEN) / (RED + GREEN)</p> <p>Як бачимо на зведеному зображенні в природних кольорах, вода в Кременчуцькому водосховищі досить каламутна і зелена. Перерахунок в NDTI дає нам таку ж картину. Низькі значення індексу відображаються на карті жовтим кольором і відповідають чистій, незамутненій воді, і навпаки.</p>	 <p>NDTI Value High : 0,999141 Low : -0,998616</p>	 <p>NDTI Value High : 0,566364 Low : -0,999041</p>

У ході досліджень було проведено комплексне дослідження екологічного моніторингу підземних вод на прикладі Кременчуцького водосховища. Ефективним засобом моніторингу екологічної ситуації в регіонах є космічний моніторинг.

Регулярне дистанційне зондування Землі допомагає відстежувати природні процеси, а також зміни, спричинені діяльністю людей і тварин. Сучасні радіолокаційні пристрої дозволяють спостерігати за земною поверхнею в будь-який час доби, незалежно від стану атмосфери.

Космічний моніторинг широко використовується для ландшафтної структури, природних ресурсів і видів природокористування, а також для аналізу ступеня забруднення атмосфери, земельних і водних ресурсів, при оцінці антропогенного і техногенного впливу на навколишнє середовище.

У розділі висвітлено методику моніторингу підземних вод на основі космічних знімків за допомогою програмного забезпечення ArcGIS.

Продемонстровано методику розшифровки та визначення екостану території за такими спектральними показниками, як NDWI, MNDWI, NDTI. Отримані дані можуть бути використані при розробці проектів збереження та покращення стану довкілля.

4. ОЦІНКА ЯКСНОГО СТАНУ ЗЕМЕЛЬ, ЯКІ ЗАЗНАЛИ ВПЛИВУ ВІЙСЬКОВИХ ДІЙ

4.1. Використання ДЗЗ для аналізу впливу військових дій на лісове господарство

Використання даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) може бути корисним для аналізу впливу військових дій на лісове господарство. ДЗЗ надає змогу отримати об'єктивну інформацію про зміни, які сталися в результаті військових дій, та визначити їх вплив на лісові екосистеми. Ось деякі способи використання ДЗЗ для аналізу цього впливу:

- *Виявлення змін в лісовому покриві.* Зображення ДЗЗ можна порівняти перед військовими діями та після них, щоб виявити зміни в лісовому покриві. Це можуть бути зміни у величині лісових площ, зруйновані або пошкоджені дерева, зміна структури лісу тощо.
- *Виявлення вирубування лісу.* ДЗЗ може використовуватись для виявлення вирубаних ділянок лісу, які можуть бути наслідком військових дій. Це можна зробити шляхом аналізу змін в лісовому покриві та виявлення відкритих просторів там, де раніше були лісові масиви.
- *Оцінка пошкоджень та деградації.* ДЗЗ може надати інформацію про ступінь пошкоджень та деградації лісу, які сталися внаслідок військових дій. Це може включати виявлення зміни кольору листя або дерев, зміну структури деревостану та оцінку впливу на біорізноманіття.
- *Моніторинг відновлення.* Після закінчення військових дій, ДЗЗ може використовуватись для моніторингу процесу відновлення лісових екосистем. Це дозволяє визначити успішність відновлення лісу та вжити заходів для сприяння його відновленню.

- *Виявлення забруднення.* ДЗЗ може допомогти виявити забруднення лісових ресурсів, таких як ґрунт та водні джерела, які можуть бути результатом військових дій. Зміни в кольорі води, зміна шару снігу чи льоду, а також зміна характеристик ґрунту можуть свідчити про наявність забруднень.

Використання ДЗЗ для аналізу впливу військових дій на лісове господарство може допомогти зрозуміти наслідки цих дій і розробити ефективні заходи для відновлення та охорони лісових екосистем.

Військові дії можуть мати серйозний вплив на землі лісогосподарського призначення в районі Бахмуту або будь-якому іншому районі, де вони відбуваються (*Возний О., н.д.*).

Військові дії призводять до широкомасштабного вирубування лісу. Дерева можуть бути вирубані для використання у фортифікаційних спорудах, паливному матеріалі, будівництві сховищ та інших потребах військових сил.

Внаслідок бомбардування, стрільби, вибухів та інших військових дій можуть постраждати дерева та лісові масиви. Це може включати знищення частини крони, облому гілок або стовбурів, пошкодження кореневої системи тощо.

Військові дії можуть спричинити забруднення ґрунту та водних ресурсів у зоні бойових дій. Це може бути результатом вилливу паливно-мастильних матеріалів, хімічних речовин, побутових відходів, вибуху піротехніки та інших факторів.

Військові дії можуть призвести до поширення пожеж у лісових масивах. Внаслідок вибухів, вогнепальних снарядів або неконтрольованого використання паливних матеріалів можуть виникати лісові пожежі, які можуть спричинити значні знищення та втрату лісового покриву (*Герасімов О. М., 2018*).

На рис. 4.1 ми можемо побачити супутникові знімки зруйнованого Бахмуту, перше фото зроблене в липні минулого року, а інше в січні 2023 року.



а) 27.07.2022



б) 23.01.2023

**Рис. 4.1 – Супутникові знімки міста Бахмут за даними супутника Sentinel-2
Sentinel-2 (знімки одержано 27.04.2023, джерело:
<https://earthexplorer.usgs.gov/>)**

Руйнування внаслідок бойових дій тотальні - уцілих будівель фактично не залишилось, а поля на околицях Бахмута усипані тисячами вирв від снарядів (рис. 4.2).



а) 27.07.2022



б) 23.01.2023

Рис. 4.2 – Супутникові знімки околиць Бахмуту за даними супутника Sentinel-2 (знімки одержано 27.04.2023, джерело: <https://earthexplorer.usgs.gov/>)

4.2. Наслідки прориву дамби для земельних ділянок

Прорив дамби внаслідок військових дій може мати серйозні наслідки для навколишнього середовища та населення.

Військові дії, такі як бомбардування, вибухи або саботаж, можуть спричинити пошкодження дамби, що може призвести до прориву.

Прорив дамби може призвести до швидкого затоплення прилеглих територій. Це може включати сільські землі, міські райони та інфраструктуру, таку як дороги, будівлі та електростанції. Затоплення може також створити загрозу для людського життя, особливо якщо прорив відбувається раптово та без попередження.

Внаслідок прориву дамби великі кількості води можуть потрапити в навколишнє середовище, спричиняючи забруднення води, знищення екосистем та втрату біорізноманіття. Затоплення лісів, полів та природних масивів може призвести до вимирання рослин і тварин, а також до знищення природних резерватів та природних місць.

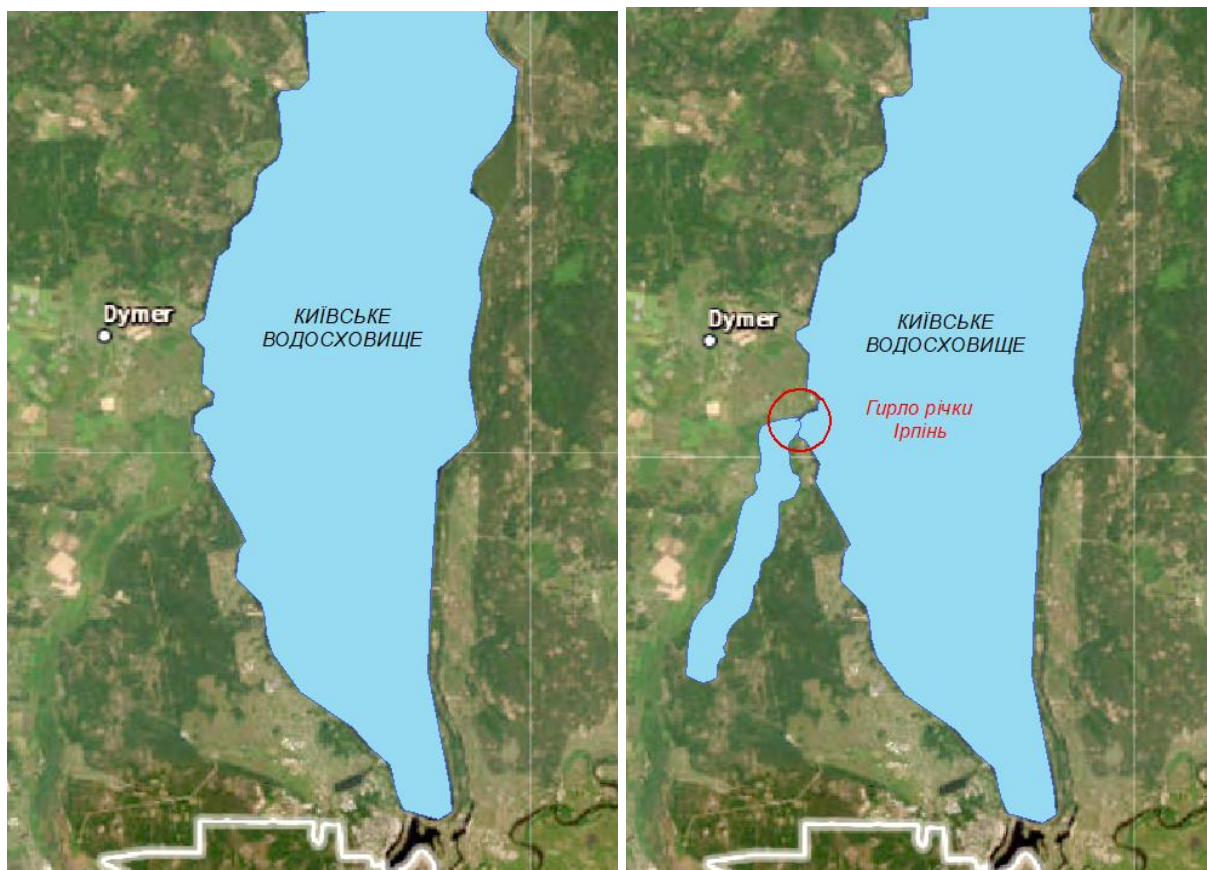
Прорив дамби може створити гуманітарну кризу, оскільки люди можуть втратити свої житла, майно та засоби існування. Евакуація населення, надання необхідної медичної допомоги та надання притулку стають невідкладними завданнями.

Прорив дамби може призвести до значних економічних втрат, оскільки будівлі, інфраструктура та сільськогосподарські землі можуть бути пошкоджені або зруйновані. Втрати в сільському господарстві, промисловості та інших галузях можуть мати довгострокові економічні наслідки для регіону.

У разі прориву дамби внаслідок військових дій, негайна реакція, евакуація людей, організація рятувальних робіт та відновлення дамби є надзвичайно важливими завданнями для мінімізації наслідків та забезпечення безпеки населення та довкілля.

26 лютого 2022 року окупанти підірвали дамбу, яка виконувала функції автомобільного моста у місці впадіння річки Ірпінь у Дніпро. Внаслідок цього село Демидів на березі Київського моря майже повністю було затоплено.

Багато століть річки сходилися в одному рівні, але під час будівництва Київського водосховища у 1960-х роках, вода у Дніпрі піднялася. Щоб не затоплювати додаткову територію, побудували дамбу з насосами для перекачування води з Ірпеня в Дніпро.



а) водосховище до затоплення б) водосховище після прориву дамби

Рис. 4.3 – Наслідки прориву дамби річки Ірпінь (в основі карти використано супутниковий знімок з сайту EarthExplorer)

Також 6 червня 2023 російськими військами була підірвана Каховська ГЕС. Більша її частина зруйнована або повністю затоплена, внаслідок цього затоплено понад 80 населених пунктів.



Рис. 4.4 – Підірвана дамба в Новій Каховці на Херсонщині на супутникових знімках компанії Махар

Ситуація, що склалася, буде мати серйозні наслідки для екології. По-перше, це призведе до знищення природних середовищ і місць існування численних видів рослин і тварин (станом на 06.06.2023 відомо про повністю знищений зоопарк «Казкова діброва» у Новій Каховці).

По-друге, після підриву потрапила велика кількість шкідливих речовин зі сміттєзвалища, а також випливають міни, залишені російськими солдатами. Це суттєво вплине на забруднення води, негативно позначиться на здоров'ї людей та тварин.

По-третє, буде зруйнована прибережна зона внаслідок підняття рівня води, що в свою чергу веде до втрати водних середовищ, включаючи болота, вологі зони і лісові угруповання, а також може спричинити ерозію ґрунту.

4.3. Ресурс Fire Information for Resource Management System (FIRMS) як джерело інформації про теплові аномалії

Fire Information for Resource Management System (FIRMS) - це ресурс, розроблений NASA та Європейською Космічною Агентством (ESA), який надає інформацію про теплові аномалії, такі як лісові пожежі, в усьому світі.

FIRMS використовує дані з супутників і надає користувачам доступ до актуальних карт і даних про виявлення пожеж та інших теплових подій.

Основні риси та можливості FIRMS:

- Виявлення пожеж: FIRMS використовує дані з супутників MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite) та других супутників для виявлення теплових аномалій, пов'язаних з пожежами. Він надає актуальну інформацію про місцезнаходження та інтенсивність пожеж.
- Глобальний охоплення: FIRMS охоплює всю планету і надає дані про пожежі та теплові аномалії в будь-якому регіоні світу. Це дозволяє відстежувати пожежі та їх розповсюдження навіть в віддалених та важкодоступних областях.
- Різноманітність даних: FIRMS надає різноманітні дані про пожежі, включаючи карти, табличні дані та графіки. Це дозволяє користувачам отримувати докладну інформацію про розмір, розповсюдження та інтенсивність пожеж.
- Інтерактивна платформа: FIRMS надає інтерактивну веб-платформу, де користувачі можуть відстежувати пожежі в реальному часі, зберігати дані, використовувати інструменти аналізу та експортувати дані для подальшого використання.

- Використання в ресурсному управлінні: FIRMS надає цінну інформацію для ресурсного управління, зокрема в галузі лісового господарства, охорони довкілля та боротьби з пожежами. Вона допомагає виявляти гарячі точки, сприяє розумінню динаміки пожеж та підтримує прийняття рішень щодо захисту лісових ресурсів.

FIRMS є важливим джерелом інформації для виявлення теплових аномалій, зокрема лісових пожеж. Він надає актуальну інформацію для моніторингу та управління пожежами, допомагає в реагуванні на них та в ресурсному управлінні для збереження лісових екосистем.

Для того щоб дізнатись кількість пожеж на території України за допомогою FIRMS, необхідно відвідати офіційний веб-сайт системи (<https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/>). На сайті вибрати регіон, який цікавить (наприклад, Україна), а потім обрати період, за який ви хочете дізнатись інформацію про пожежі.

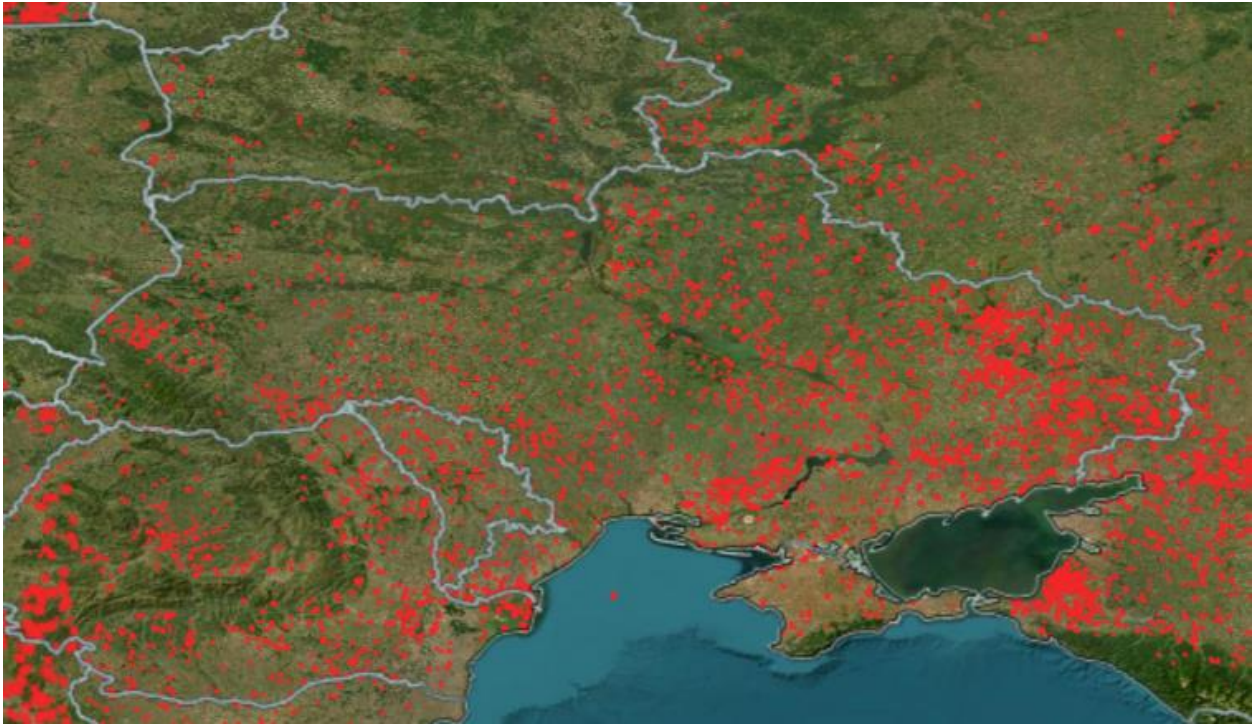


Рис. 4.4 –Інформація про кількість пожеж на території України з 1 квітня по 1 травня 2023 року (Джерело: <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/>).

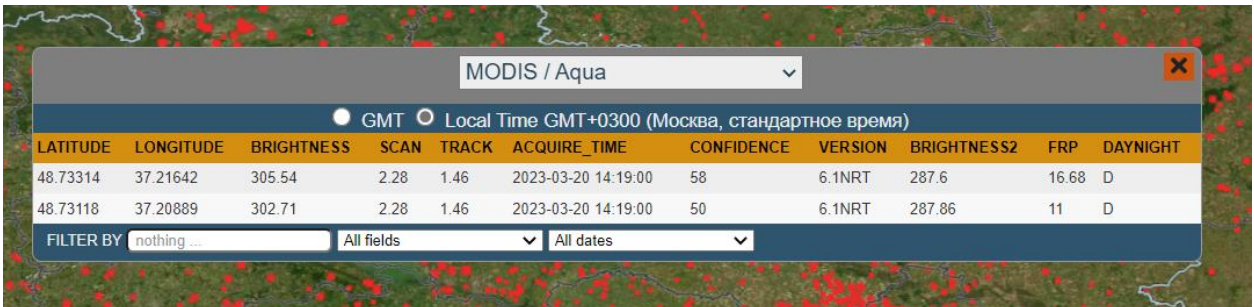
Після вибору регіону та періоду, система покаже на карті кількість та розподіл пожеж за вказаний період.

Система FIRMS використовує дані від супутників MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), які збирають інформацію про температуру поверхні землі, що дозволяє виявляти джерела пожеж. Крім того, система також використовує дані про пожежі, які надходять від різних країн, що мають власні системи моніторингу лісових пожеж.

FIRMS надає користувачам можливість відображення теплових аномалій на карті, що забезпечує доступ до відомостей про місця виникнення пожеж, їх розповсюдження та інтенсивність, що дозволяє ефективно виявляти та контролювати лісові пожежі або місця, які потребують уваги з точки зору захисту довкілля та зменшення впливу змін клімату.

Система також допомагає відстежувати зміни в лісовому покриві, що можуть бути пов'язані зі знищенням лісів в результаті пожеж та інших факторів.

Для отримання детальнішої інформації про пожежі можна натиснути на відповідну точку на карті. FIRMS надає користувачам можливість завантажувати дані про пожежі у різних форматах, що дозволяє подальшу аналітику даних та моніторинг пожеж.



MODIS / Aqua											
<input checked="" type="radio"/> GMT <input type="radio"/> Local Time GMT+0300 (Москва, стандартное время)											
LATITUDE	LONGITUDE	BRIGHTNESS	SCAN	TRACK	ACQUIRE_TIME	CONFIDENCE	VERSION	BRIGHTNESS2	FRP	DAYNIGHT	
48.73314	37.21642	305.54	2.28	1.46	2023-03-20 14:19:00	58	6.1NRT	287.6	16.68	D	
48.73118	37.20889	302.71	2.28	1.46	2023-03-20 14:19:00	50	6.1NRT	287.86	11	D	

FILTER BY: nothing... All fields All dates

Рис. 4.5 – Відображена детальна інформація про пожежі на відповідній точці на карті зібрана супутниками MODIS і Terra (Джерело: <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/>).

Крім того, FIRMS надає користувачам доступ до інформації про теплові аномалії у різних форматах, які можуть бути корисними для подальшого аналізу даних та моніторингу температурних змін на поверхні Землі.

5. ВПЛИВ ВІЙСЬКОВИХ ДІЙ НА СТАН ГРУНТІВ ТА ЗЕЛЕНИХ НАСАДЖЕНЬ

5.1. Метод визначення площ зелених насаджень із використанням даних ДЗЗ

Метод визначення площ зелених насаджень з використанням даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) включає кілька етапів. Потрібно вибрати супутникові дані, які мають високу роздільну здатність та відповідні спектральні канали для виявлення зелених насаджень. Наприклад, можуть бути використані дані від супутників Landsat, Sentinel або інших супутників з аналогічними характеристиками.

Далі виконується попередня обробка супутникових зображень, така як корекція атмосферних спотворень, реєстрація зображень та інші корекції, які можуть бути потрібні для поліпшення якості зображення (*Birch C., 2007*).

Потім робимо класифікацію зображення, використовуючи алгоритми обробки зображень та машинного навчання. Один з поширених методів - це метод надійних статистичних показників (Random Forest), який може автоматично класифікувати зображення на основі тренувальних даних та спектральних характеристик покриття.

Наступним етапом після класифікації зображення обираємо клас, що відповідає зеленим насадженням. Це може бути клас лісу, парку, сільськогосподарських полів або будь-який інший клас, що представляє зелені рослини.

Останнім кроком обчислюємо площу зелених насаджень, використовуючи результати класифікації. Це робимо шляхом порівняння кількості пікселів, що відповідають класу зелених насаджень, з загальною кількістю пікселів на зображенні та масштабування результатів на площу одного пікселя.



Рис. 5.1 – Схематичне вивчення структури зелених насаджень території міста Васильків (за даними знімка Landsat-8; джерело: власна розробка)

Узявши наші одиниці вибірки 1-3 категорій, зображені на рис. 5.1, присвоємо кожній точці відповідний атрибут, виділивши наступні категорії:

- парк, бульвар;
- насадження вздовж вулиць;
- насадження на території житлової забудови;
- автомагістраль, забудова.

До 1 категорії відноситься промислова зона та транспортні шляхи; до 2 категорії – масивні зелені насадження; до 3 категорії – житлова зона.

Площу зелених насаджень на дослідній території визначимо за співвідношенням кількості точок віднесених до категорій 1-3 та їх загальної кількості:

$$S = \sum_{i=1}^k \frac{m_i}{n_i} s_i \quad (5.1),$$

де i та k – порядковий номер і кількість страт, що використані;

m_i – кількість точок в i -й страті, віднесених до категорій 1-3;

n_i – загальна кількість точок, які потрапили в i -ту страту;

s_i – площа i -тої страти, га (Congalton R., 2008).

Результати виконаних розрахунків наведені у таблиці 5.1. Окрім оцінки площі зелених насаджень, виражених у відносних і абсолютних величинах, для кожної страти було визначено величину довірчого інтервалу при ймовірності 0,95.

Таблиця 5.1 – Результати статистичної оцінки площі зелених насаджень

Номер страги	Площа страги, га	Кількість точок у вибірці		Частка зелених насаджень, %	Площа зелених насаджень, га
		m_i	n_i		
Вибірка 1					
1	594,2	94	751	12,1±2,4	66,4±12,4
2	495,2	648	852	79,4±2,6	400,1±15,2
3	1325,5	578	1587	35,4±2,2	415,5±25,7
Вибірка 2					
1	594,2	74	590	11,7±2,1	65,2±14,7
2	495,2	445	556	79,9±3,4	403,7±17,2
3	1325,5	598	1911	30,1±1,9	369,5±29,4
Вибірка 3					
1	594,2	90	931	10,2±1,8	56,3±10,9
2	495,2	625	754	79,2±2,9	406,8±13,9
3	1325,5	483	1508	33,1±2,5	399,4±28,6

Отримані дані свідчать про статистичну достовірність результатів, які ми отримали. Обчислені значення площі дуже близькі за своєю абсолютною величиною. Такий підхід є досить ефективним, оскільки дані знаходяться на високому рівні автоматизації.

5.2. Моніторинг стану ґрунтів в зонах бойових дій

5.2.1. Ідентифікація пошкоджених угідь за даними ДЗЗ

На початку потрібно визначити територію та період ведення бойових жій на ній для того, щоб підібрати космічні знімки високої роздільної здатності (менше ніж 1 метр), які дадуть нам змогу ідентифікувати пошкоджені земельні угіддя.

Використання космічних знімків для попередньої оцінки території більш безпечно, ніж польове обстеження, оскільки при останньому можливо натрапити на залишки нерозірваних боєприпасів або міни.

На рис. 5.2 зображено ідентифіковані пошкоджені угіддя для земель Алчевської ОТГ (Луганська область), які ми отримали за знімками Landsat-8.

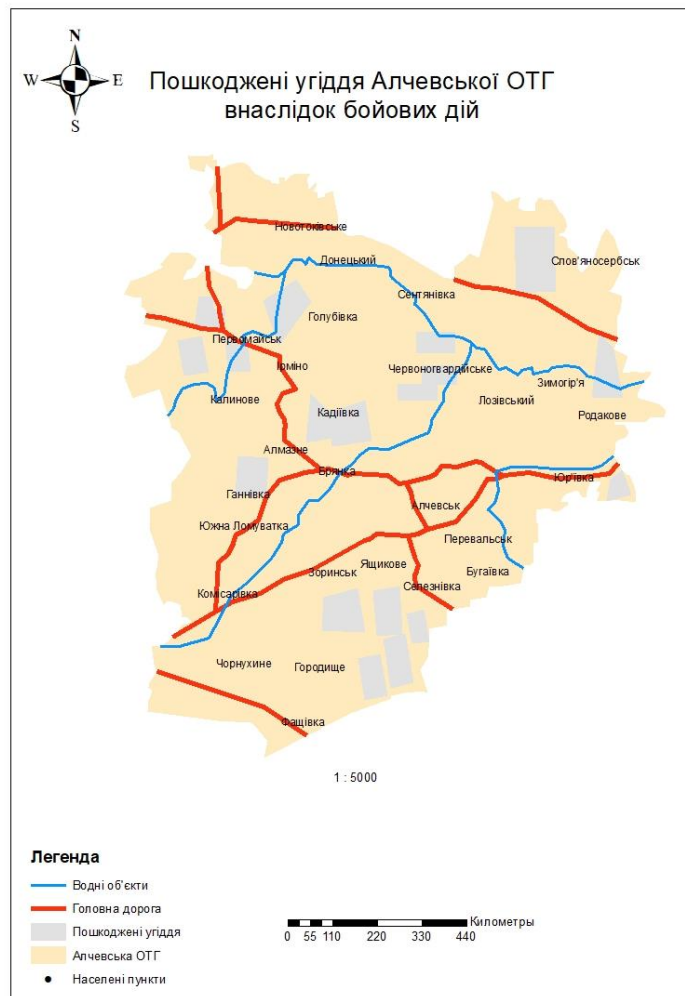


Рис. 5.2 – Пошкоджені угіддя Алчевської ОТГ внаслідок бойових дій виявлені на основі знімку Landsat-8 (джерело: власна розробка)

5.2.2. Ідентифікація факторів впливу

Безпосередньо, аналіз космознімків допомагає визначити фактори впливу бойових дій на ґрунт, які несуть негативні наслідки для навколишнього середовища. Наприклад, це може бути переміщення військ, місця активних боїв, обстріли і вибухи, укріплення, позиції та інше.

На рис. 5.3 нам вдалося відобразити ідентифіковані місця бомбардування, пожеж та розриву боєприпасів.

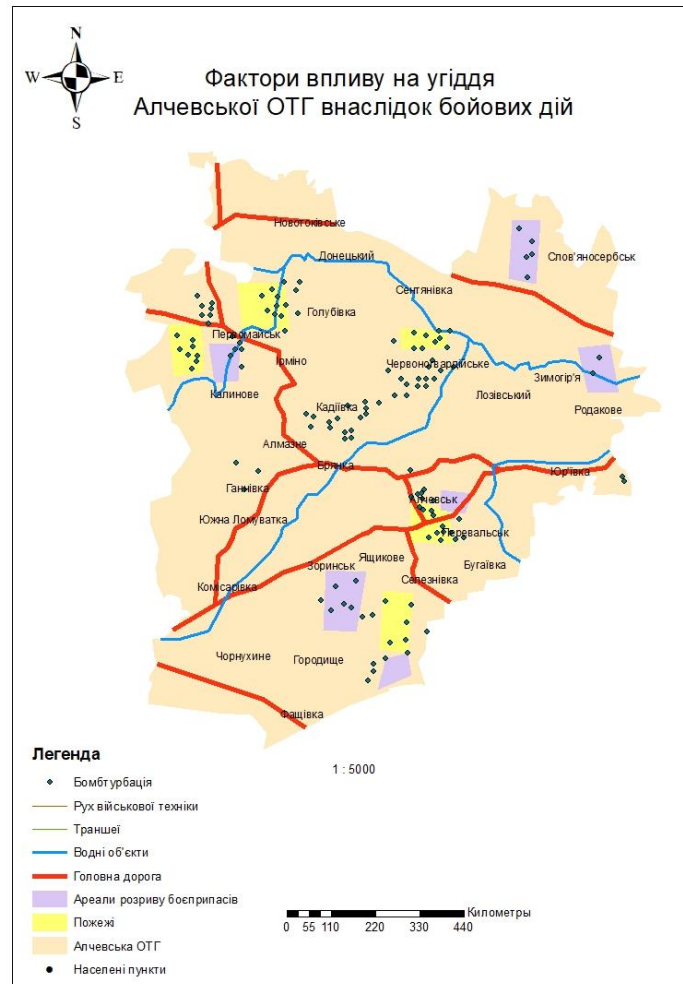


Рис. 5.3 – Фактори впливу на угіддя Алчевської ОТГ внаслідок бойових дій виявлені на основі знімку Landsat-8 (джерело: власна розробка)

5.2.3. Оцінка рівня пошкодження ґрунтів

Оцінка рівня пошкодження ґрунтів внаслідок певного типу впливу проводиться у розрізі угідь. Критерієм, який беремо до уваги при проведенні оцінки є частка площі ділянки, яка зазнала пошкодження чи забруднення.

Рівень пошкодження допомагає попередньо визначити рівень придатності ділянки для використання або прийняти рішення про доцільність заходів щодо відновлення даних угідь.

Наприклад, проведемо оцінку засміченості ділянок осколками. Якщо великий рівень пошкодження угідь, то тим більша площа засмічення і тим більше зусиль і коштів доведеться витратити на очищення ділянок.

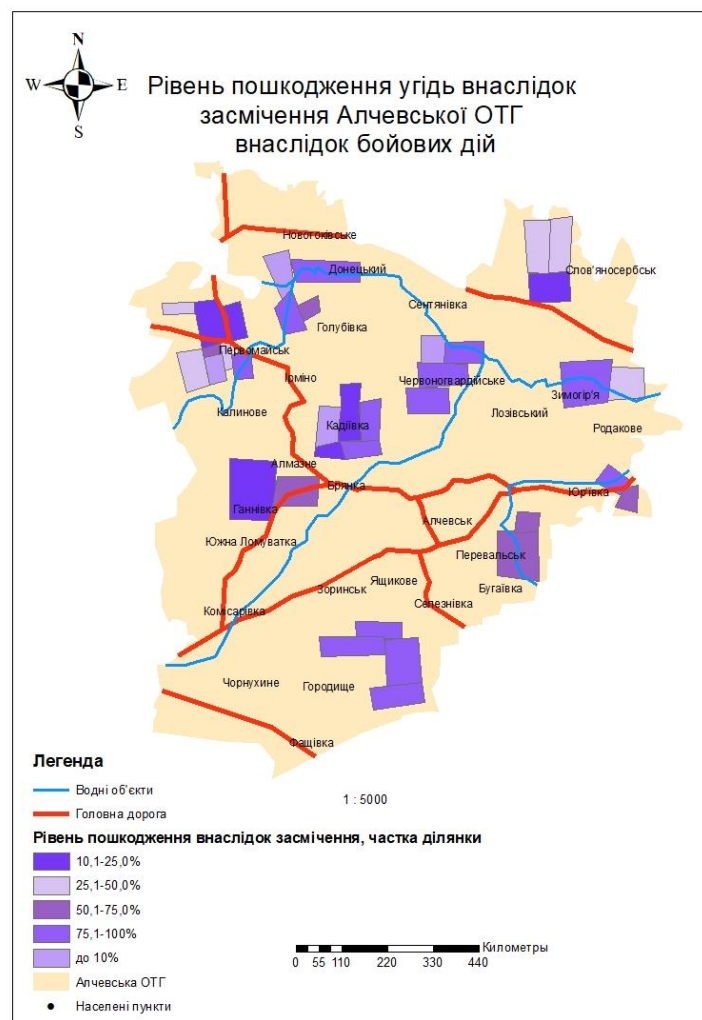


Рис. 5.4 – Рівень пошкодження угідь Алчевської ОТГ внаслідок бойових дій виявлені на основі знімку Landsat-8 (джерело: власна розробка)

5.2.4. Комплексне оцінювання рівня пошкодження, зведена оцінка

Зведена оцінка рівня пошкодження ділянки враховує комплекс впливів і наслідків, а також дає можливість прогнозувати кумулятивні ефекти. Це в свою чергу дає можливість прийняти обґрунтоване рішення щодо політики відновлення.

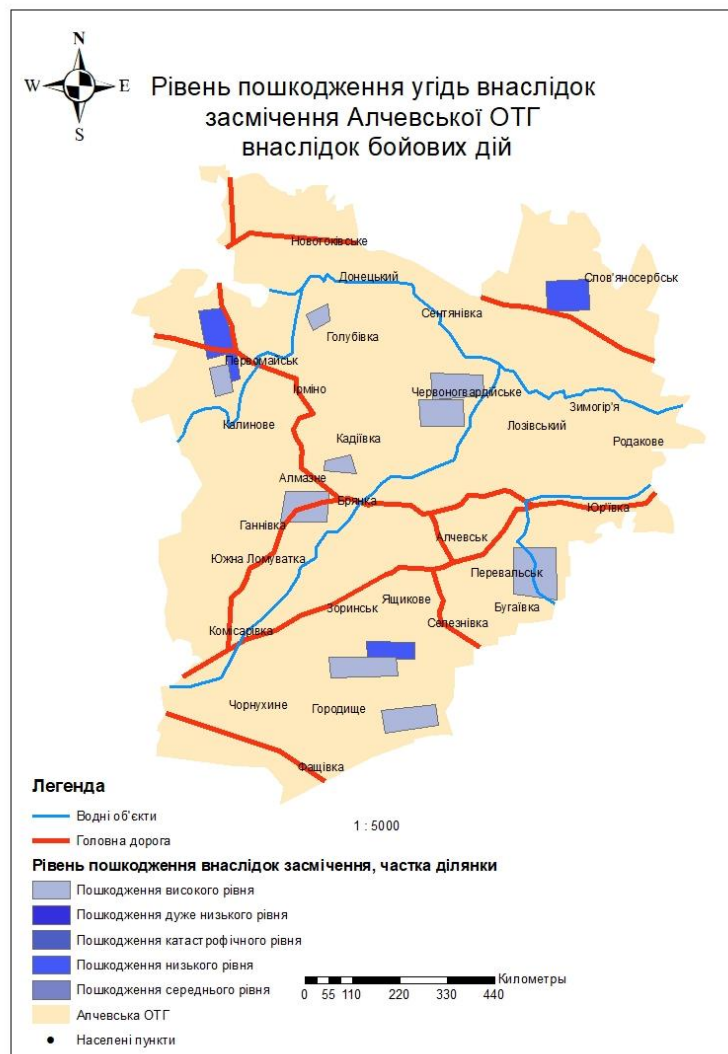


Рис. 5.5 – Рівень пошкодження угідь внаслідок засмічення Алчевської ОТГ внаслідок бойових дій виявлені на основі знімку Landsat-8 (джерело: власна розробка)

6. ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА У ЗВ'ЯЗКУ ЗІ ЗБРОЙНИМИ КОНФЛІКТАМИ

Збройні конфлікти мають серйозний вплив на навколишнє середовище, тому захист навколишнього середовища є важливим завданням у контексті збройних конфліктів. Ось декілька аспектів, які слід враховувати:

❖ *Заборона використання заборонених збройних засобів.* Міжнародне гуманітарне право містить норми, що забороняють використання збройних засобів, які мають надмірно шкідливий вплив на навколишнє середовище, такі як хімічні зброї, військові засоби масового знищення та класична зброя, яка може нанести значні шкоди природним ресурсам. Дотримання цих норм є важливим для захисту навколишнього середовища.

❖ *Мінімізація екологічного впливу воєнних дій.* Військові дії можуть мати значний негативний вплив на природні ресурси, включаючи ліси, водні басейни та ґрунти. Старання збільшити свідомість про екологічні наслідки воєнних дій та прийняття заходів для мінімізації цього впливу, наприклад, шляхом точного ведення бойових операцій, можуть допомогти зменшити негативний вплив на навколишнє середовище.

❖ *Відновлення та охорона природних ресурсів.* Після закінчення війни необхідно приділяти увагу відновленню та охороні природних ресурсів, які можуть бути пошкоджені або знищені під час воєнних дій. Це може включати відновлення лісів, очищення забруднених водних джерел, відновлення ґрунтів та природних екосистем. Програми реабілітації та відновлення можуть бути важливими для відновлення екологічного балансу та підтримки сталого розвитку.

❖ *Міжнародне співробітництво.* У зусиллях захисту навколишнього середовища в контексті збройних конфліктів важливе міжнародне співробітництво. Країни повинні спільно працювати, обмінюватись інформацією та координувати дії для мінімізації екологічних наслідків воєнних дій і відновлення природних ресурсів.

Ці заходи спрямовані на захист навколишнього середовища в умовах збройних конфліктів та допомагають зберегти природні ресурси для майбутніх поколінь (Денісов Н., Аверін Д., 2017).

Збереження екології під час війни є важливим завданням, оскільки військові дії можуть мати серйозний вплив на природні ресурси та навколишнє середовище. Але людство може посприяти цьому за допомогою використання наступних дій, а саме:

✓ *Заборона використання заборонених збройних засобів.* Міжнародне гуманітарне право містить норми, що забороняють використання збройних засобів, які можуть мати надмірно шкідливий вплив на навколишнє середовище, такі як хімічні зброї, військові засоби масового знищення та класична зброя, яка може нанести значні шкоди природним ресурсам. Дотримання цих норм є важливим для збереження екології під час війни.

✓ Мінімізація екологічного впливу воєнних дій. Військові дії можуть мати значний негативний вплив на природні ресурси, включаючи ліси, водні басейни та ґрунти. Старання зменшити цей вплив, шляхом точного ведення бойових операцій, уникання зайвого знищення природних ресурсів та обмеження забруднення довкілля, може допомогти зберегти екологію.

✓ Сприяння гуманітарним організаціям та місцевим спільнотам.

Гуманітарні організації та місцеві спільноти можуть відігравати важливу роль у збереженні екології під час війни. Це може включати організацію екологічних проєктів, моніторинг екологічного стану та проведення заходів з реабілітації довкілля після воєнних дій.

✓ Міжнародне співробітництво. У зусиллях збереження екології під час війни важливе міжнародне співробітництво. Країни повинні спільно працювати, обмінюватись інформацією та координувати дії для мінімізації екологічних наслідків воєнних дій та відновлення природних ресурсів (*Екологічний форум: вплив військових дій на навколишнє середовище, 2022*).

Ці заходи спрямовані на збереження екології під час війни та допомагають зменшити негативний вплив воєнних дій на природні ресурси та навколишнє середовище.

ВИСНОВКИ

В даній роботі було представлено методи обробки космічних знімків та обгрунтовано доцільність використання програмного забезпечення ArcGIS для моніторингу стану навколишнього середовища внаслідок бойових дій на території України.

Було побудовано візуалізаційну карту постраждалих територій внаслідок військових дій в програмному забезпеченні ArcGIS. На ній відображено ліси, степи, природно-заповідний фонд, який постраждав і продовжує страждати внаслідок активних бойових дій. Програма дозволяє візуалізувати дані і це допоможе в подальшому проводити аналіз (наприклад, досліджувати екологічний вплив бойових дій, оцінювати масштаби пошкоджень).

Також показано вплив військової агресії на стан ґрунтів на прикладі Алчевської ОТГ: відображено пошкоджені угіддя, які було ідентифіковано за космознімками Landsat-8.

Обраховано вегетаційні індекси для визначення стану Азовського моря. Вони показали, що у моря висока ступінь засміченості, спостерігається мутність води. Також було скомбіновано спектральні канали за супутниковими знімками на прикладі Канівського водосховища і показано, що відображає та чи інша комбінація.

Також на основі даних Української Природоохоронної групи було побудовано карту України з відображеною пошкодженою водною інфраструктурою.

За допомогою супутникових знімків Sentinel-2 показано зруйновану територію міста Бахмут та його околиці, усипані вирвами.

Також було використано метод обчислення площ зелених насаджень із використанням даних дистанційного зондування Землі. Отримані результати показали статистичну достовірність та сам підхід є досить ефективним, оскільки дані знаходяться на високому рівні автоматизації.

Проаналізовано стан водних ресурсів внаслідок війни і можна сказати, що військові дії можуть вестись до забруднення водних джерел внаслідок вилливу небезпечних речовин, включаючи нафту, хімічні речовини, важкі метали та інші токсичні речовини. Внаслідок цього відбувається забруднення річок, озер, ставків та ґрунтових вод, що негативно впливає на екосистеми та загрожує здоров'ю людей та тварин.

Отже, використання супутникових даних у моніторингу впливу військових дій водночас з програмним забезпеченням ArcGIS допомагає забезпечити об'єктивну оцінку збитків, планування відновлення та розробку стратегій захисту навколишнього середовища під час війн.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

Білявський Г. О., Фурдуй Р. С. (1997). "Основи екологічних знань", Либідь. Випадки потенційної шкоди довкіллю, спричинені російською агресією [Інтерактивна мапа]. URL: <https://ecoaction.org.ua/warmap.html>.

Війна вбиває не лише людей. Зоолог Павло Гольдін – про екологічне лихо в Чорному та Азовському морях. URL: <https://ua.krymr.com/a/zahybel-delfiniv-chorne-azovske-more-rosia-ukraina-viyna/31869759.html>.

Війна і море: як бойові дії загрожують екосистемам Чорного та Азовського морів. URL: <https://ecoaction.org.ua/vijna-imore.html>.

Возний О. День охорони довкілля в умовах війни. URL: <https://www.pravda.com.ua/columns/2022/06/5/7350341/>.

Вплив війни на навколишнє середовище | Співчуття у фермерстві. (2022). URL: <https://ciwf.in.ua/?p=3507>.

Герасимчук А. А. (1999). "Основи екології", Київ.

Герасимов О. М. (2018). Візуальне дешифрування природних змін лісів ДП "Чигиринське лісове господарство" за супутниковими знімками Landsat. Науковий вісник НЛТУ України, С. 129–131.

Денісов Н., Аверін Д. (2017). Оцінка екологічної шкоди та пріоритети відновлення довкілля на Сході України. URL: https://www.osce.org/files/f/documents/6/3/362581_0.pdf.

Екологічний форум: вплив військових дій на навколишнє середовище. (2022). URL: <https://www.davr.gov.ua/news/ekologichnij-forum-vpliv-vijskovih-dij-na-navkolishnye-seredovitshe>.

Екологічні наслідки військових дій: фактори впливу. (2022). URL: <https://osvita.ua/vnz/reports/ecology/21277/>.

Екологія в умовах війни: бомба уповільненої дії. URL: <https://armyinform.com.ua/2022/06/05/ekologiya-v-umovah-vijny-bomba-upovilnenoyi-diyi>.

Заповідні території під час війни. URL: <https://wownature.in.ua/>.

Зацерковний В.І. (2018). ДЗЗ. Фізичні основи: навч. посіб. Ніжин: НДУ ім.М.Гоголя, 380 с.

Зруйнована Україна: наслідки війни для наших міст, природи та сільського господарства (2022). (Додаток до листа Держлісагентства від 09.11.2021 № 02-18/-21).

Іваненко В.С., Курепін В.М. (2022). Захист водних ресурсів та джерел водопостачання// Захист водних ресурсів - Глобальні виклики, загрози опустелювання територій, міжнародні зобов'язання держав світу : тези доповідей з щорічного тематичного «круглого столу», м. Миколаїв, 22 березня 2022 року. URL: <https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/11213>.

Інформація про наслідки для довкілля від російської агресії в Україні 24 лютого – 9 березня 2022 року. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. URL: <https://mepr.gov.ua/news/39028.html>.

Курепін В.М., Іваненко В.С. (2019). Механізм управління екологічною безпекою об'єктами господарювання на засадах маркетингу// Обліково-аналітичне і фінансове забезпечення діяльності суб'єктів господарювання: національні, глобалізаційні, євроінтеграційні аспекти: матеріали IV міжнародної науково-практичної інтернет-конференції, м. Миколаїв, 20-21 листопада 2019р. – Миколаїв: МНАУ, 2019. – С. 169 – 172. URL: <http://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/6411>.

Лісова Н. О. (2015). Вплив військових дій в Україні на екологічний стан території. URL: <http://geography.tnpu.edu.ua/>.

Магура Н. Л. (2001). "Біологія навколишнього середовища", "Громада".

Малько Л., Ніколаєнко Д. (2022). Економічна оцінка екологічних наслідків військової агресії Російської Федерації проти України (2014–2022).

URL:

https://www.researchgate.net/publication/361285296_Voenna_ekologia_novini_2022_roku_ta_ocinka_ekologicnih_naslidkiv_agresii_Rosii_protiv_Ukraini.

Наслідки російської військової агресії для довкілля України — Всеукраїнська екологічна ліга. (2023). URL: <https://www.ecoleague.net/prov-vel/tematychni-napriamy-diialnosti/vplyv-voiennykh-dii-na-dovkillia>.

Піндера М. (2022). Екологічна безпека територій у зоні бойових дій// Молодь, наука, бізнес: матеріали Всеукр. інтер.-конф. здоб.вищ.освіти і мол.учених, 5-6 жовтня 2022 р., м. Миколаїв. Миколаїв: МНАУ, 2022. С. 81- 83. URL: <https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/11861>.

Пранович К.О. (2022). Охорона земель, інженерно-технічні заходи цивільного захисту та благоустрій територій об'єднаних громад// Інформаційно-психологічна та техногенна безпека: історичні аспекти, особливості захисту суспільства та особистості: тези доповідей за результатами тематичного «круглого столу», м. Миколаїв, 9 грудня 2022 р. Миколаїв: МНАУ, 2022. С. 43-46. URL:<https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/12080>.

Семерня О.М., Любинський О.І., Федорчук І.В., Рудницька Ж.О., Семерня А.О. (2022). Екологічна безпека в умовах воєнного стану. Економічні науки: науково-практичний журнал. № 2(41). С. 62–66.

Федченко О., Кулинич І., Сторубльов О. (2020). Екологічний моніторинг на базі геоінформаційної платформи ARCGIS. DOI: <https://doi.org/10.17721/1728-2217.2020.44.68-72>.

Як війна впливає на довкілля і як можна допомогти його відновлювати – розповідає екологиня. URL: <https://suspilne.media/246529-russia-invades-ukraine-live-updates-suspilne-30/>.

Birch C. (2007). Rectangular and hexagonal grids used for observation, experiment and simulation in ecology / C. Colin, S. Oom, J. Beecham // Ecological modeling. – 2007. – в 206. – P. 347–359.

Congalton R. (2008). Assessing the accuracy of remotely sensed data : Principles and practices / R. Congalton, K. Green – NY, 2008.

Environmental consequences of military operations: influencing factors. Abstract. (2021). URL: <https://osvita.ua/vnz/reports/ecology/21277/>.

Environmental Performance Index. URL: <https://epi.yale.edu/>.

Semeniaka V., Zatserkovny V., Ilchenko A., Trofymenko P., Nikolaienko O. (2021). Application of GIS, remote sensing and GPS technologies for forest fire monitoring tasks. URL: <https://www.earthdoc.org/content/papers/10.3997/2214-4609.20215K2062>.

Semeniaka V., Zatserkovnyi V., Ilyin L. (2022). Monitoring the impact of military actions on the environment using GIS and remote Earth sensing methods. URL: <https://eage.in.ua/wp-content/uploads/2022/11/Mon-22-042.pdf>.

Shevchuk S., Vyshnevskiy V., Bilous O. (2022). The use of remote sensing data that is studying the environmental consequences of the Russian invasion of Ukraine. Research Square; 2022. DOI:10.21203/rs.3.rs-1770802/v1.

Vegetation indices for satellite platforms. URL: <https://elearn.nubip.edu.ua/pluginfile.php/>.

War and the environment: nature reserves in the ATO zone. (2015). URL: <https://life.pravda.com.ua/society/2015/03/7/190398/>.

Yelistratova L.A., Apostolov A.A., Lyalko V.I., Tomchenko O.V., Khyzhniak A.V., Hodorovsky A.Ja. (2022). The results of socio-ecological monitoring during military operations in Ukraine using satellite information Rev. Roum. Géogr./Rom. Journ. Geogr., 66, (2), p. 117–136. (1999). (1999). URL: http://www.rjgeo.ro/issues/revue_roumaine_66_2/yelistratova%20et%20al..pdf.