

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХЕРСОНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет біології, географії та екології
Кафедра географії та екології

ДИСТАНЦІЙНИЙ МОНІТОРИНГ СТАНУ
НАВКОЛИШНЬОГО ПРИРОДНОГО
СЕРЕДОВИЩА ДЕОКУПОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ
ХЕРСОНСЬКОЇ ОБЛАСТІ (НА ПРИКЛАДІ
ХЕРСОНСЬКОГО РАЙОНУ)

Кваліфікаційна робота (проект)

на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

Виконав: здобувач 2 курсу 05-216М групи

Спеціальності 101 Екологія

Освітньо-професійної програми «Екологія»

Чабан Максим Сергійович

Керівник: к.геогр.н., доцентка Пяткова А.В.

Рецензент: доцент, к.геогр.н., доцент кафедри
фізичної географії, природокористування і
геоінформаційних технологій Одеського
національного університету імені І.І. Мечникова
Муркалов О.Б.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. ДИСТАНЦІЙНИЙ МОНІТОРИНГ СТАНУ НАВКОЛИШНЬОГО ПРИРОДНОГО СЕРЕДОВИЩА: СУЧАСНИЙ СТАН ТА НАПРЯМИ ВИКОРИСТАННЯ	6
1.1. Поняття та принципи дистанційного моніторингу довкілля	6
1.2. Основні джерела супутникової інформації (Sentinel, Landsat, MODIS, Copernicus, NASA EarthData).....	8
1.3. Використання дистанційного зондування для оцінки рослинності, водних ресурсів і деградації земель.....	11
РОЗДІЛ 2. ПРИРОДНІ УМОВИ ТА ЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН ХЕРСОНСЬКОГО РАЙОНУ ДО ОКУПАЦІЇ	15
2.1. Фізико-географічна характеристика району	15
2.2. Землекористування та господарська діяльність до 2022 року.....	18
2.3. Основні екологічні проблеми району до початку воєнних дій.....	22
РОЗДІЛ 3. ВПЛИВ ВОЄННИХ ДІЙ ТА ОКУПАЦІЇ НА СТАН НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ХЕРСОНСЬКОГО РАЙОНУ.....	24
3.1. Короткі відомості про хід бойових дій, окупацію та деокупацію території.....	24
3.2. Забруднення вод, ґрунтів і повітря внаслідок бойових дій та руйнування Каховської ГЕС.....	26
3.3. Руйнування екосистем: пожежі, знищення рослинного покриву, техногенні пошкодження.....	29
РОЗДІЛ 4. ДИСТАНЦІЙНА ОЦІНКА ЗМІН СТАНУ ДОВКІЛЛЯ ПІСЛЯ ДЕОКУПАЦІЇ	33
4.1. Доступні супутникові дані та аналітичні матеріали (2022-2025 рр.)..	33
4.2. Оцінка змін рослинності, водного режиму, деградації земель за супутниковими спостереженнями.....	35

4.3. Узагальнення результатів дослідження та перспективи використання дистанційних методів оцінки стану довкілля	38
ВИСНОВКИ	43
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	45

ВСТУП

Збройна агресія Російської Федерації проти України спричинила масштабну екологічну кризу на значній частині території країни. Херсонська область, відома своєю родючістю та розвиненою зрошувальною системою, зазнала особливо тяжких наслідків бойових дій, окупації та руйнування Каховської гідроелектростанції. Порушення водного режиму, деградація ґрунтів, забруднення та знищення рослинного покриву вимагають термінового аналізу стану довкілля.

В умовах обмеженого доступу до територій дистанційне зондування Землі є єдиним надійним інструментом для оперативного моніторингу, оцінки наслідків і планування заходів з відновлення. Це визначає *актуальність* даного дослідження.

Об'єктом дослідження є навколишнє природне середовище деокупованої території Херсонського району Херсонської області.

Предмет дослідження – зміни компонентів природного середовища (рослинності, водного режиму, ґрунтового покриву) за даними дистанційного зондування Землі у 2022–2025 рр.

Метою роботи є виявлення та аналіз зміни стану навколишнього природного середовища на території Херсонського району після деокупації з використанням даних супутникового моніторингу.

Завдання дослідження:

1. Розкрити сутність і значення дистанційного моніторингу довкілля.
2. Охарактеризувати природні умови та землекористування Херсонського району до 2022 року.
3. Проаналізувати вплив бойових дій і руйнування Каховської ГЕС на стан довкілля.
4. Виконати дистанційну оцінку змін рослинності, водного режиму та деградації земель на основі супутникових даних.

5. Узагальнити результати дослідження та визначити перспективи застосування дистанційних методів моніторингу для післявоєнного відновлення території.

Методи дослідження.

Аналіз супутникових зображень. На основі даних Sentinel-2, Landsat-8/9, MODIS та літературних джерел оцінено зміни рослинності, вологості, водного дзеркала та загального екологічного стану. Розраховано індекси NDVI, NDWI, NBR, SWI та RSEI для виявлення просторових і часових тенденцій деградації.

Аналіз літературних та інформаційних джерел (джерелознавчий метод). Проведено узагальнення наукових праць, звітів державних установ, аналітичних матеріалів та національних досліджень щодо впливу воєнних дій на довкілля.

Картографічний метод. Використано серію тематичних карт для характеристики території дослідження.

Математичний метод. Використано формули для розрахунку індексів екологічного стану, статистичні коефіцієнти для узагальнення динаміки показників NDVI, NDWI, SWI, RSEI.

Графічний метод. Створено діаграму розподілу земель за типами землекористування.

Магістерська робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел (51 найменування). Загальний обсяг – 44 сторінки основного тексту, що містять 6 рисунків та 2 таблиці.

РОЗДІЛ 1

ДИСТАНЦІЙНИЙ МОНІТОРИНГ СТАНУ НАВКОЛИШНЬОГО ПРИРОДНОГО СЕРЕДОВИЩА: СУЧАСНИЙ СТАН ТА НАПРЯМИ ВИКОРИСТАННЯ

1.1. Поняття та значення дистанційного моніторингу довкілля

Зростання антропогенного навантаження, воєнні дії та кліматичні коливання посилюють потребу в оперативних методах оцінки стану природних систем. Традиційні польові обстеження є надто трудомісткими й небезпечними для зон із обмеженим доступом, тому у світовій практиці дедалі більшого значення набувають дистанційні методи спостереження, що базуються на супутникових та авіаційних зйомках [Lillesand et al., 2015; Jensen, 2016].

Дистанційний моніторинг довкілля – це процес систематичного збору, обробки та інтерпретації інформації про об’єкти навколишнього середовища без їхнього безпосереднього контакту. Основою є фіксація електромагнітного випромінювання, відбитого або випроміненого земними поверхнями, яке реєструється сенсорами на орбітальних платформах. Отримані цифрові дані дають змогу відтворити картину стану ґрунтів, водних об’єктів, рослинності та інших компонентів природного середовища [Campbell & Wynne, 2011].

На сучасному етапі дистанційне зондування розглядається як ключовий елемент екологічного управління та просторового аналізу. Згідно з оцінкою United Nations Environment Programme, системи ДЗЗ забезпечують «безперервне, глобально узгоджене спостереження за природними системами з високим рівнем просторово-часової точності» [UNEP, 2023]. Саме така безперервність є критично важливою для України, де через воєнні дії багато регіонів залишаються недоступними для польових досліджень.

Практичне значення дистанційного моніторингу проявляється в кількох аспектах.

1. Оперативність – дані оновлюються через кожні кілька днів, що дає змогу відстежувати сезонну динаміку процесів.

2. Об’єктивність – інформація фіксується автоматично, без людського впливу.

3. Комплексність – можлива одночасна оцінка рослинного покриву, гідрологічного режиму, деградації ґрунтів і забруднень.

4. Безпечність – відсутність потреби у фізичній присутності дослідників на потенційно небезпечних територіях.

Як підкреслюють Підгрушний та співавтори (2025), супутникові спостереження сьогодні виходять за межі суто природничих досліджень: вони стають інструментом просторового аналізу суспільних процесів, урбанізації та наслідків воєнної агресії. Автори наголошують, що навіть непрямі показники, зокрема інтенсивність нічного освітлення, можуть свідчити про рівень соціально-економічної активності чи ступінь руйнувань у населених пунктах.

Українські дослідники активно розвивають методологію застосування дистанційних даних у моніторингу стану екосистем. Зокрема, Чорний (2023) продемонстрував ефективність використання знімків Sentinel-2 для оцінювання пошкодження лісосмуг Донецчини в зоні бойових дій, використовуючи вегетаційні індекси NDVI та EVI. Подібний підхід застосували Шевчук та ін. (2025) для аналізу змін водного дзеркала озера Солонець-Тузли, що підтвердило високу точність NDWI при оцінці динаміки малих водойм Півдня України.

Окрему увагу слід приділити агроекологічним аспектам. Данкевич (2019) та Омелич (2019) відзначають, що супутникові індекси дають змогу кількісно оцінювати вологість ґрунтів, ступінь засолення та деградації посівів, що робить дистанційне зондування незамінним інструментом для раціонального землекористування в умовах

кліматичних ризиків. У південних областях, зокрема Херсонській, ці параметри безпосередньо пов'язані з наслідками руйнування гідротехнічних споруд і порушення водного балансу.

Сукупність таких досліджень демонструє, що дистанційний моніторинг в Україні переходить із експериментальної стадії у системну практику. Його застосування дозволяє:

- оцінювати масштаб екологічних збитків унаслідок бойових дій;
- фіксувати динаміку відновлення рослинного покриву та водних ресурсів;
- створювати довгострокові серії спостережень для подальшого моделювання.

Попри значні переваги, метод має і певні обмеження. Для оптичних сенсорів головним недоліком є залежність від хмарності, а для оцінки забруднень – потреба у польовій верифікації даних [Richards & Jia, 2020]. Однак у післявоєнних умовах саме дистанційне зондування залишається єдиним безпечним і регулярним джерелом об'єктивної інформації про стан довкілля деокупованих територій.

Підсумовуючи, дистанційний моніторинг довкілля є не лише технологічною складовою екологічних досліджень, а й методологічною базою просторового аналізу та управління природними ресурсами. Він забезпечує наукову основу для оцінки екологічних наслідків війни, планування відновлення територій і формування стратегії сталого розвитку регіонів України, зокрема Херсонської області.

1.2. Основні джерела супутникової інформації (Sentinel, Landsat, MODIS, Copernicus, NASA EarthData)

Сучасний дистанційний моніторинг навколишнього середовища базується на використанні супутникових систем, що забезпечують безперервне надходження даних різного просторового, спектрального й часового розрізу. Поєднання кількох супутникових платформ дає змогу

одержувати цілісну картину стану довкілля – від локальних об’єктів до глобальних екосистем. Основними джерелами є серії супутників Sentinel (програма Copernicus), Landsat, MODIS та дані відкритих архівів NASA EarthData.

Європейська космічна програма Copernicus створена Європейським космічним агентством (ESA) і Єврокомісією для забезпечення безперервного екологічного моніторингу континентів і океанів. У межах програми діють шість активних місій Sentinel, із яких найважливішими для досліджень довкілля є Sentinel-1 та Sentinel-2.

Sentinel-1 – радарна система, що працює у діапазоні C-SAR. Її головна перевага – незалежність від освітлення та погодних умов. Дані використовують для моніторингу підтоплень, зсувів, деформацій поверхні, руйнувань дамб та інженерних споруд [ESA, 2023]. Для південних районів України ці дані мають ключове значення у виявленні зон затоплення після руйнування Каховської ГЕС.

Sentinel-2 – мультиспектральна система з 13 каналами, просторовою роздільною здатністю 10–60 м і періодичністю зйомки 5 днів. Це основне джерело даних для оцінки стану рослинності, вологості ґрунтів, змін землекористування, а також для розрахунку вегетаційних і водних індексів (NDVI, EVI, NDWI тощо).

Застосування цих зображень у вітчизняних дослідженнях підтверджено, зокрема, у роботах Чорного (2023) для Донеччини та Шевчук та ін. (2025) для водойм Причорноморської низовини.

Sentinel-3 та Sentinel-5P — орієнтовані на кліматичний і атмосферний моніторинг, зокрема вимірювання температури поверхні, концентрації озону, аерозолів і газів, що дає змогу оцінювати стан повітря у промислових і прифронтових районах.

Дані Sentinel доступні через платформу Copernicus Open Access Hub та Google Earth Engine у форматах, придатних для безкоштовного завантаження й аналізу.

Програма Landsat – найтриваліша серія спостережень Землі з орбіти, започаткована 1972 року спільно NASA та Геологічною службою США (USGS). Актуальні місії Landsat 8 і Landsat 9 забезпечують 30-метрову просторову роздільну здатність у 11 спектральних каналах і повторюваність зйомки кожні 16 днів.

Головна перевага Landsat – наявність безперервного архіву даних за понад півстоліття. Це дозволяє відстежувати довготривалі зміни земного покриття, деградацію сільськогосподарських угідь та лісів, урбанізаційні процеси. Для аналізу екологічних тенденцій у Херсонській області такі часові ряди особливо цінні, адже дають можливість порівняти довоєнний стан (до 2022 р.) із сучасним.

Дані Landsat активно інтегруються у дослідження землекористування та кліматичних змін в Україні [Підгрушний та ін., 2025; Данкевич, 2019].

Сенсор MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) установлений на супутниках Terra та Aqua і працює з 2000 року. Він має нижчу просторову роздільну здатність (250–1000 м), але високу частоту зйомки – двічі на добу. Це робить MODIS незамінним для моніторингу регіональних і глобальних процесів: температури поверхні, вологості, динаміки пожеж, концентрації аерозолів, індексів рослинності [Huete et al., 2002].

У роботах українських авторів MODIS застосовують для аналізу динаміки посух і сезонних змін рослинного покриття, що підтверджує його ефективність у дослідженнях півдня України [Омелич, 2019].

Copernicus Services надають тематичні продукти, сформовані на базі супутникових спостережень: Land Monitoring Service, Emergency Mapping, Climate Change Service, Atmosphere Service тощо. Для Херсонської області найважливішим є Emergency Mapping Service, який після 2023 р. регулярно публікував карти затоплень і руйнувань після підриву Каховської дамби.

Портал NASA EarthData є глобальним сховищем екологічних наборів даних: ASTER GDEM, VIIRS Fire Data, SMAP Soil Moisture, CERES Energy Balance тощо. Усі вони мають відкритий доступ і підтримуються аналітичними сервісами Giovanni та Worldview, які дозволяють будувати часові ряди і просторові зрізи без додаткового програмування [NASA EarthData, 2024].

Загальні переваги супутникових систем:

- Висока повторюваність зйомки (від 1 до 10 днів) дозволяє відстежувати динаміку змін.
- Широкий спектральний діапазон забезпечує аналіз різних компонентів довкілля: рослинності, води, ґрунтів, атмосфери.
- Глобальне охоплення та відкритий доступ до даних — важлива передумова для інтеграції в національні системи моніторингу.

Для деокупованих територій півдня України саме ці характеристики роблять супутникові дані незамінним джерелом інформації. Вони забезпечують можливість безпечного, систематичного та науково обґрунтованого аналізу екологічного стану регіону, що є необхідною передумовою для планування його відновлення.

1.3. Використання дистанційного зондування для оцінки рослинності, водних ресурсів і деградації земель

Дистанційне зондування Землі (ДЗЗ) є основним інструментом сучасного моніторингу природних систем, оскільки дозволяє кількісно оцінювати стан екосистем без проведення польових спостережень. Основними напрямками його практичного застосування є оцінка стану рослинності, моніторинг водних ресурсів і виявлення процесів деградації земель [Jensen, 2016; Roy et al., 2021].

Завдяки спектральним характеристикам рослинного покриву можливо розраховувати індекси вегетації, які описують рівень фотосинтетичної активності. Найбільш поширеним є NDVI (Normalized

Difference Vegetation Index), що відображає співвідношення між ближнім інфрачервоним і червоним каналами відбиття. Його значення варіюють від -1 до $+1$, де вищі показники відповідають густішій та здоровішій рослинності [Huete et al., 2002].

Для підвищення точності оцінок застосовують модифіковані індекси – EVI (Enhanced Vegetation Index), GNDVI, SAVI – які враховують вплив ґрунтів і щільності насаджень. Ці показники дозволяють виявляти деградовані ділянки, наслідки пожеж, посух чи військових дій. Чорний (2023) продемонстрував можливість використання знімків Sentinel-2 для оцінювання пошкодження лісосмуг Донеччини, тоді як Данкевич (2019) показав, що вегетаційні індекси можуть бути ефективними індикаторами продуктивності сільськогосподарських угідь.

Для вивчення гідрологічних процесів широко застосовують індекси NDWI та MNDWI, які дають змогу визначати межі водних поверхонь і зміну площі водойм. За допомогою даних Sentinel-1 (радар) та Sentinel-2 (оптичний діапазон) можна оцінювати ступінь підтоплення, осушення заплав, мутність і якість води [Pekel et al., 2016].

Дослідження Шевчук та ін. (2025) на прикладі озера Солонець-Тузли підтвердило ефективність NDWI для моніторингу сезонної динаміки малих водойм Півдня України. Застосування цих методів є критично важливим для аналізу наслідків руйнування Каховської ГЕС, де відбулося масштабне осушення заплав Дніпра й деградація прибережних екосистем.

Процеси деградації ґрунтів – ерозія, засолення, ущільнення, дефляція – можна виявляти за допомогою індексів LSWI та NDMI, що характеризують ступінь зволоження та структурний стан поверхні [Richards & Jia, 2020]. Поєднання даних Landsat, MODIS і Sentinel дає змогу створювати карти деградації різного масштабу [Омелич, 2019; Підгрушний та ін., 2025].

Для Херсонського району після деокупації типові прояви деградації включають підвищення засоленості, втрату рослинного покриву, підтоплення та локальне заболочення. У цих умовах супутникові дані залишаються єдиним джерелом об'єктивної інформації, особливо з огляду на мінування й руйнування інфраструктури.

Дослідження Єлістратової та співавт. (2022) доводить, що супутникові спостереження можуть бути ефективним індикатором соціально-економічних і екологічних наслідків війни. Використовуючи тепловізійні дані VIIRS (Suomi NPP), автори оцінили динаміку економічної активності України під час бойових дій. Зниження інтенсивності нічного освітлення чітко збігалось зі зменшенням виробничої та транспортної активності, що дозволяє непрямо визначати рівень деградації довкілля через руйнування інфраструктури.

У роботі Романової, Дмитрук і Жукової (2024) наголошено, що дистанційне зондування є основою сучасної інфраструктури моніторингу ґрунтів у післявоєнний період. Автори відзначають, що через мінування та втрату польових лабораторій саме супутникові технології забезпечують можливість оцінки забруднення, відновлення родючості та просторової динаміки деградації ґрунтів. Запропонована ними інтеграція ДЗЗ із геоінформаційними системами (Soil Information System) формує базу для створення національної системи післявоєнного контролю за станом земель.

Поєднання оптичних, радарних і термальних даних дозволяє отримати більш повну картину екологічного стану. Такі інтегровані підходи впроваджуються в програмах Copernicus Land Monitoring та платформах Google Earth Engine [ESA, 2023; NASA EarthData, 2024]. Комплексне застосування супутникових методів забезпечує не лише фіксацію змін, а й створення доказової бази для екологічної оцінки територій, що зазнали бойових дій.

Таким чином, дистанційне зондування довкілля є фундаментальним елементом воєнно-екологічного аналізу, дозволяючи поєднувати природні, соціальні та економічні параметри для відновлення екосистем і планування сталого розвитку Херсонщини.

РОЗДІЛ 2

ПРИРОДНІ УМОВИ ТА ЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН ХЕРСОНСЬКОГО РАЙОНУ ДО ОКУПАЦІЇ

2.1. Фізико-географічна характеристика району (рельєф, клімат, ґрунти, водні ресурси, рослинність)

Херсонський район розташований у південній частині України (рис. 1), у межах Причорноморської низовини, на обох берегах нижньої течії річки Дніпро. Географічні координати центру району (м. Херсон) становлять $46^{\circ}38'$ пн. ш. і $32^{\circ}36'$ сх. д. Територія належить до сухостепової зони України, що визначає її природні, кліматичні та агроекологічні особливості (Мартин, 2015; Ходаков і Соколова, 2016).

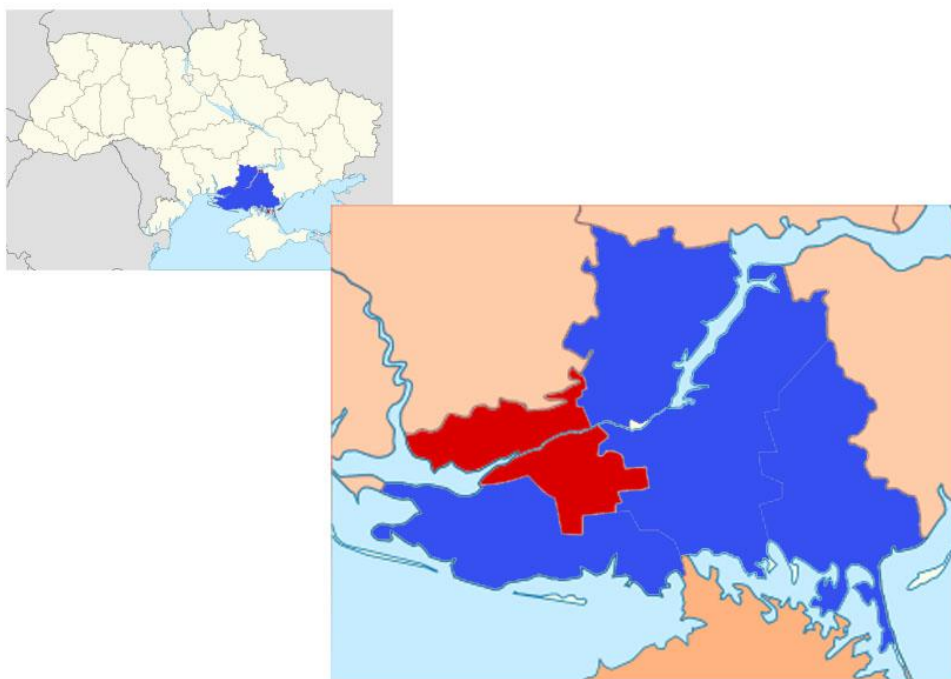


Рисунок 1 – Місцезнаходження Херсонського району (виділено червоним кольором)

Рельєф району переважно рівнинний, сформований процесами акумуляції та денудації, характерними для Причорноморської низовини. Абсолютні висоти коливаються від 0 до 40 м над рівнем моря, а похил

поверхні спрямований з півночі на південь, у напрямку Чорного моря (Мартин, 2015). Місцями спостерігаються пологі балкові системи, заплавні тераси та локальні зниження – колишні русла, озера-стариці, лимани. Рівнинність і незначні ухили сприяють застою поверхневих вод, що створює умови для підтоплення та вторинного засолення ґрунтів (Ходаков і Соколова, 2016).

Клімат Херсонського району помірно континентальний із чітко вираженими ознаками посушливості (рис. 2). За багаторічними спостереженнями середньорічна температура повітря становить $+10,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, найтепліший місяць – липень ($+23\dots+25\text{ }^{\circ}\text{C}$), найхолодніший – січень ($-3\dots-5\text{ }^{\circ}\text{C}$). Річна кількість опадів не перевищує 350–400 мм, що значно менше потенційного випаровування, яке сягає 800–900 мм. Безморозний період триває близько 175–185 днів, тривалість сонячного сяйва перевищує 2300 годин на рік (Басаргін, 1988; Природно-кліматичні особливості..., 2023).

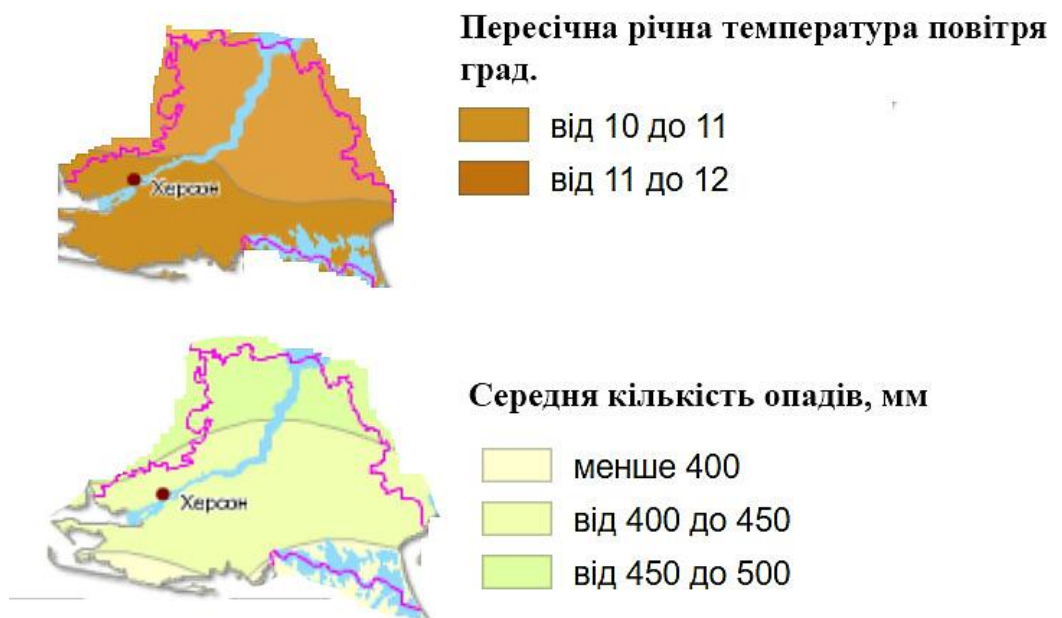


Рисунок 2 – Температурний режим та опади у межах Херсонської області (за даними Портал Природа України)

Такі кліматичні параметри обумовлюють посушливість, дефіцит вологи в ґрунтах і потребу в штучному зрошенні, що визначає специфіку землекористування.

Ґрунтовий покрив району сформований у межах чорноземного поясу Південного Степу. Переважають чорноземи південні малогумусні, часто середньосуглинкові, у пониженнях трапляються лучно-чорноземні та солонцюваті ґрунти. На прибережних ділянках поширені засолені ґрунти, а в заплавах Дніпра – алювіальні відміни (Мороз, 2011).

Через природну посушливість, інтенсивне зрошення та меліорацію спостерігаються прояви деградаційних процесів: вторинне засолення, зниження гумусового горизонту, ущільнення ґрунту (Мартин, 2015). Після руйнування Каховської ГЕС у 2023 р. у нижній течії Дніпра змінився рівень ґрунтових вод, що призвело до деградації заплавних ґрунтів і збільшення площ осушених ділянок.

Основним водним об'єктом району є річка Дніпро, що утворює численні рукави, лимани та заплавні системи. До руйнування Каховської дамби тут існували великі зрошувальні масиви, зокрема через Північно-Кримський канал, Інгулецький канал та мережу меліоративних споруд (Регіональна характеристика..., 2023).

Після 2023 р. значна частина цих систем зазнала руйнувань, що змінило гідрологічний режим території. На півдні району простежується вплив Чорного моря, який зумовлює мікрокліматичні особливості: м'які зими, підвищену вологість у прибережних зонах і локальні ефекти солонцюватості.

Природна рослинність району представлена степовими формаціями – ковилово-типчаково-тонконоговими угрупованнями, які пристосовані до тривалих посух і високих температур (Ходаков і Соколова, 2016). Балкові ділянки зайняті чагарниковими формаціями (глід, терен, шипшина), у заплавах поширені очеретяно-осокові та лугові угруповання.

Через інтенсивне сільськогосподарське освоєння степова рослинність збереглася лише у фрагментах — переважно на схилах балок, у заплавах і на піщаних аренах. Лісистість території становить близько 2-3 %, основну роль відіграють штучні насадження – лісосмуги та полезахисні посадки.

Отже, Херсонський район вирізняється поєднанням рівнинного рельєфу, посушливого клімату, чорноземних і солонцюватих ґрунтів, низької лісистості й інтенсивного сільськогосподарського навантаження. Це формує вразливість природних систем до кліматичних змін, антропогенного тиску та збройних дій. Саме тому дистанційний моніторинг ландшафтних процесів і стану довкілля на цій території є об'єктивною необхідністю.

2.2. Землекористування та господарська діяльність до 2022 року

До початку повномасштабного вторгнення у 2022 році Херсонський район залишався одним із ключових аграрних центрів півдня України, де частка земель сільськогосподарського призначення сягала понад 80 % загальної площі території. Господарська діяльність тут мала інтенсивно-зрошуваний характер, а ефективність агровиробництва безпосередньо залежала від функціонування меліоративних систем (FAO, 2020; Земельний довідник, 2020).

За даними Державної служби геодезії, картографії та кадастру (2020), у межах сучасного Херсонського району загальна площа земельного фонду становила близько 370 тис. га. При цьому найбільшу частку складає рілля – майже $\frac{3}{4}$ території (рис. 3).



Рисунок 3 – Розподіл земель за призначенням (за даними Держстат, 2022)

За даними FAO (2020), частка зрошуваних земель у Херсонській області перевищувала 420 тис. га (рис. 4), з яких близько 150 тис. га – у Херсонському районі, що забезпечувало до 35 % валового регіонального аграрного продукту. Основні джерела поливу – Північно-Кримський та Інгулецький канали.



Рисунок 4 – Зрошувальні установки на полях (Херсон онлайн, 2023)

Рослинництво було провідною галуззю економіки району. До 2021 року частка зернових і технічних культур становила понад 85 % площ ріллі. Основні культури – пшениця (35%) (рис.5), соняшник (25 %), ячмінь (12%), кукурудза (10%), соя, ріпак, овочі (близько 15 %) (Держстат, 2022).

Середня врожайність зернових у 2021 р. становила 43 ц/га, соняшнику – 24 ц/га, овочів – 265 ц/га, що перевищувало середньоукраїнські показники на 15-20 %.

Тваринництво мало допоміжний характер, із перевагою м'ясо-молочного скотарства та птахівництва. Станом на 2020 р. у районі утримувалося понад 30 тис. голів великої рогатої худоби, 70 тис. свиней і понад 1,1 млн птиці (Держстат, 2022).

Промисловий комплекс району був сконцентрований у м. Херсон. Тут діяли підприємства суднобудування, машинобудування, харчової, консервної та олійно-жирової промисловості.

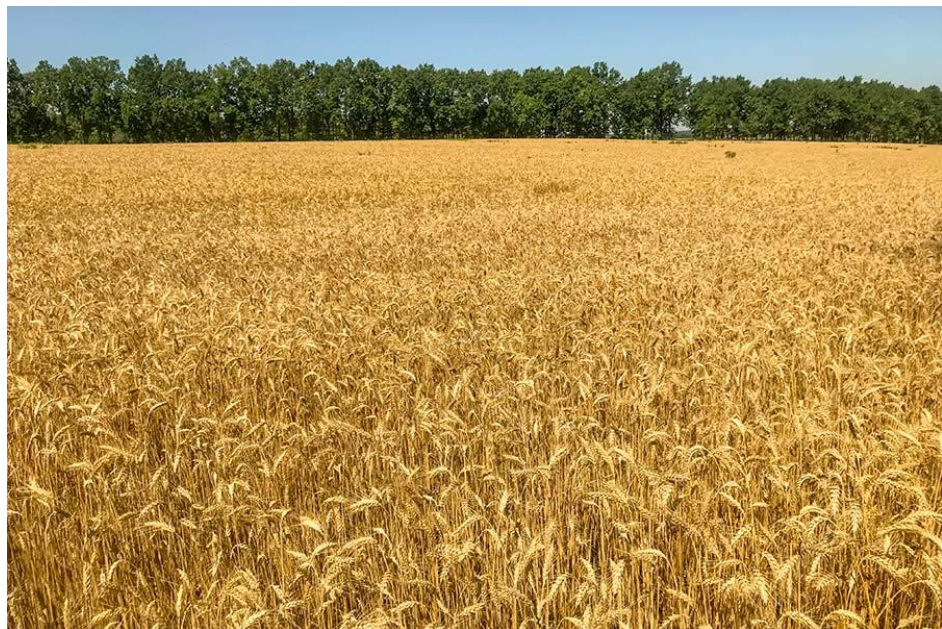


Рисунок 5 – Пшеничне поле (Secret Land)

У структурі промислового виробництва переважала переробка сільськогосподарської сировини (понад 60 %), що забезпечувало тісну

інтеграцію аграрного й промислового секторів (Регіональна характеристика..., 2020).

Меліоративні системи визначали агроекологічну стабільність району. Проте, за оцінкою FAO (2020), понад 28 % зрошуваних ґрунтів Херсонщини піддавалися вторинному засоленню, 14 % – ущільненню, а 9 % – втраті гумусу.

У районі частка еродованих земель досягала 17 %, що є одним із найвищих показників у південному степу (Земельний довідник, 2020).

Основними чинниками деградації залишалися: надмірне поливне навантаження, відсутність дренажу, спрощена структура сівозмін, інтенсивне застосування мінеральних добрив і гербіцидів.

Негативний вплив проявлявся також у зниженні рівня родючості ґрунтів – вміст гумусу зменшився з 3,5 % (у 1980-х) до 2,6 % у 2020 р. (FAO, 2020).

Район мав розвинену транспортну й логістичну інфраструктуру: автомагістралі М14 (Одеса – Мелітополь), Р47 (Херсон – Нова Каховка), залізничні вузли Херсон і Снігурівка, а також морський торговельний порт у Херсоні.

До 2021 р. у районі проживало близько 320 тис. осіб, із яких понад 50 % – зайняті в аграрному секторі (Держстат, 2022).

Таким чином, до 2022 року Херсонський район являв собою високоінтенсивну агроландшафтну систему, у якій поєднувалися висока продуктивність і високий рівень екологічного ризику.

Зрошуване землеробство забезпечувало стабільні врожаї, але водночас формувало вразливість до деградаційних процесів, зокрема засолення, ерозії, дефіциту води та забруднення ґрунтів. Ці чинники визначили передумови сучасних екологічних проблем регіону, що різко загострилися після 2022 року.

2.3. Основні екологічні проблеми району до початку війни

До 2022 року екологічний стан Херсонського району визначався поєднанням природних факторів посушливого клімату, інтенсивного землеробства та антропогенного навантаження. Територія належала до регіонів України з найвищим рівнем трансформації природного середовища: понад 80 % площі займали сільськогосподарські угіддя, а частка природних екосистем не перевищувала 10 % (Мартин, 2015; Держстат, 2022). Це обумовило системний характер екологічних проблем – деградацію земель, забруднення вод, засолення та зменшення біорізноманіття.

Найбільш масштабною проблемою залишалося вторинне засолення зрошуваних ґрунтів, яке охоплювало близько 30 % орних земель у межах району (FAO, 2020). Джерелом процесу було тривале використання неефективних меліоративних систем без належного дренажу. У результаті підвищувався рівень ґрунтових вод (до 1,5-2,0 м від поверхні), відбувалося накопичення солей натрію й магнію, що знижувало водопроникність і продуктивність ґрунтів (Мороз, 2011).

Крім того, виснаження гумусового шару стало однією з критичних загроз: вміст гумусу у чорноземах південних зменшився з 3,5 % (1980-ті) до 2,6 % у 2020 р. (FAO, 2020). Така тенденція зумовлена інтенсивним вирощуванням технічних культур (соняшнику, ріпаку) та низькою часткою багаторічних трав у сівоzmінах.

На балкових схилах фіксувалися прояви водної ерозії, що охоплювала до 15-18 % площі сільськогосподарських земель (Земельний довідник, 2020).

До руйнування Каховської ГЕС водна система району характеризувалася високим рівнем зарегулювання. Система Північно-Кримського каналу, Інгулецького каналу та численні насосні станції забезпечували полив, але водночас створювали гідрологічні дисбаланси: підтоплення заплав, застійні води в пониженнях, локальне заболочення.

За даними Басаргіна (1988) та Державне агентство... (2021), середній рівень ґрунтових вод у заплаві Дніпра піднявся за останні десятиліття на 0,5–0,7 м, що призвело до втрати продуктивності окремих ділянок. Вода з каналів містила підвищену концентрацію нітратів (до 40 мг/дм³), фосфатів (до 1,2 мг/дм³) та залишків пестицидів, що перевищувало гранично допустимі концентрації для питного водопостачання (FAO, 2020). У нижній течії Дніпра спостерігалось накопичення біогенних елементів, евтрофікація та зниження прозорості води.

Хоча промисловість району не мала великомасштабного характеру, у м. Херсон зосереджувалися основні джерела викидів: підприємства суднобудівної, харчової та машинобудівної галузей, а також автотранспорт. За даними Держстату (2022), щорічні обсяги викидів у повітря становили понад 12 тис. т, із яких 60 % припадало на транспорт.

Додатковим чинником було спалювання стерні після жнив, що спричиняло підвищення концентрацій пилу, CO₂ та оксидів азоту влітку.

Через інтенсивне землекористування природні степові екосистеми Херсонського району збереглися лише фрагментарно. Найцінніші залишки розташовані в заповідниках «Олешківські піски», «Нижньодніпровський» та біосферному резерваті «Чорноморський».

За оцінками Ходакова і Соколової (2016), у степових біотопах району втрачено до 70 % популяцій типових видів (ковила дніпровська, тюльпан Шренка, орел степовий). Основними чинниками зниження біорізноманіття були фрагментація ареалів, випасання, деградація прибережних екосистем і агрохімічне навантаження.

На початок 2022 р. Херсонський район мав ознаки глибоко трансформованої агроекосистеми з високим рівнем антропогенного впливу. Накопичення цих проблем сформувало високу екологічну вразливість регіону, що стало передумовою катастрофічних наслідків після руйнування Каховської ГЕС та бойових дій у 2022-2023 роках.

РОЗДІЛ 3

ВПЛИВ ВОЄННИХ ДІЙ ТА ОКУПАЦІЇ НА СТАН НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ХЕРСОНСЬКОГО РАЙОНУ

3.1. Короткі відомості про хід бойових дій, окупацію та деокупацію території

На початку повномасштабного вторгнення Російської Федерації в Україну (24 лютого 2022 р.) територія Херсонського району стала одним із перших напрямів головного удару. Уже 1–2 березня 2022 р. російські війська повністю окупували м. Херсон і більшу частину району, встановивши контроль над обома берегами Дніпра від Каховської ГЕС до Дніпровського лиману (Міноборони України, 2023).

Окупаційний режим тривав з березня 2022 р. до листопада 2022 р., тобто понад вісім місяців. За цей час територія району зазнала інтенсивного військового використання — розміщення артилерійських позицій, техніки, складів боєприпасів і паливних баз (UNOSAT, 2023).

Основні етапи бойових дій

1. Лютий – березень 2022 р. – початок наступу з території окупованого Криму через Чаплинку та Каланчак. Протягом перших днів війська РФ форсували Дніпро в районі Антонівського мосту та зайняли Херсон (ISW, 2022).

2. Березень – жовтень 2022 р. – період стабілізації лінії фронту по правобережжю Дніпра. Херсонський район активно використовувався як логістичний і військовий плацдарм. Велися артилерійські обстріли північних територій, що спричинило пожежі на сільськогосподарських угіддях і забруднення ґрунтів важкими металами (Copernicus EMS, 2022).

3. Жовтень – листопад 2022 р. – контрнаступ Збройних Сил України. Унаслідок інтенсивних бойових дій було зруйновано Антонівський міст, частину енергетичної інфраструктури,

водопостачальні об'єкти, а також численні населені пункти на північ від Дніпра (DeepStateMap, 2023).

4. 11 листопада 2022 р. – деокупація м. Херсон і правобережної частини району. Лівобережжя залишилося під контролем російських військ, що продовжують обстріли прибережних територій та заплав Дніпра.

За оцінками Державної екологічної інспекції Південного округу (2023), унаслідок бойових дій у межах району:

- зруйновано або пошкоджено понад 25 тис. га сільськогосподарських угідь;
- зафіксовано понад 400 осередків пожеж за даними супутникового моніторингу (Sentinel-2, FIRMS, Copernicus EMS);
- забруднено вибуховими речовинами, важкими металами та паливними компонентами до 8 тис. га ґрунтів;
- повністю або частково зруйновано 30 гідротехнічних споруд, зокрема дренажні канали й насосні станції Північно-Кримської системи (buvrnd.gov.ua, 2023).

Після відступу окупаційних військ залишилися значні площі мінних полів та техногенних забруднень, що перешкоджає відновленню господарської діяльності.

Після звільнення правобережної частини Херсонського району у листопаді 2022 р. почалися масштабні відновлювальні роботи та моніторинг стану довкілля. Відповідно до супутникових даних Copernicus Sentinel-2 за 2023–2024 рр., на значній частині території зафіксовано зниження індексу NDVI на 20–30 %, що свідчить про деградацію рослинного покриву через пожежі, вибухи та зниження зволоженості (UNOSAT, 2024). Рівень забруднення ґрунтів важкими металами та залишками вибухівки залишається високим, а понад 60 % заплавних угідь Дніпра тимчасово виведено з агровикористання через підтоплення після руйнування Каховської дамби.

Таким чином, бойові дії, окупація та руйнування інфраструктури призвели до різкого погіршення екологічного стану регіону, який уже до 2022 р. характеризувався високою антропогенною вразливістю.

3.2. Забруднення вод, ґрунтів і повітря внаслідок бойових дій та руйнування Каховської ГЕС

Підриб Каховської гідроелектростанції 6 червня 2023 р. став найбільшою техногенною катастрофою в історії Півдня України. Для Херсонського району ця подія мала критичне значення, оскільки призвела до втрати джерел зрошення, порушення водного балансу, забруднення ґрунтів і масштабних руйнувань екосистем.

Згідно з оцінками UNOSAT (2024) і Copernicus Emergency Management Service (2023), наслідки руйнування дамби охопили понад 600 км² територій, що безпосередньо або опосередковано вплинуло на стан водних, наземних і атмосферних компонентів довкілля.

Руйнування греблі спричинило раптовий скид приблизно 18 млрд м³ води з Каховського водосховища (Copernicus EMS, 2023). Потік із високою швидкістю змивав донні відклади, мул, добрива, залишки вибухових речовин і паливні сполуки, що призвело до різкого погіршення якості води у нижньому Дніпрі та його заплавах.

Дослідження, проведене аналітичною групою Truth Hounds, наголошує, що руйнування греблі Каховської ГЕС призвело до не лише технічної катастрофи, але й до «затоплення війною» - коли понад 70 000 осіб були змушені залишити свої домівки (рис. 6), а аграрні угіддя нижньої течії Дніпра опинилися під водою або в стані тривалої деградації. У тексті зазначено, що екосистемний ефект включає втрату біологічного різноманіття, зменшення родючості ґрунтів внаслідок водного стресу і порушень гідрорежиму, що створило передумови для подальшого зневоднення і ерозії на розілених донних відкладеннях.

Крім того, автори підкреслюють, що екологічні наслідки руйнування греблі мають транскордонний характер: солоний потік води з хімічно навантаженими донними осадами поширився у лимани, канали і навіть на морське узбережжя, створюючи ризик для промислового рибальства й морських екосистем. Наприклад, за оцінками групи, концентрація хлоридів у солоноватих водах після інциденту зросла на до 15-20 %, що впливає на життєздатність місцевої фауни та продуктивність ставків.



Рисунок 6 – Наслідки руйнування греблі Каховського водосховища (Truth Hounds)

За результатами моніторингу Інституту гідробіології НАН України, концентрація завислих речовин у повітрі у червні 2023 р. зросла у 5-7 разів, амонійного азоту – у 3-4, а вміст нафтопродуктів сягнув $0,54 \text{ мг/дм}^3$ при нормі $0,05 \text{ мг/дм}^3$.

Велика кількість розчинених органічних речовин спричинила евтрофікацію ділянок Дніпровсько-Бузького лиману. Згідно з даними

Davydov, Piatkova та Cherniavskyi (2023), підвищення рівня води в лимані приблизно на 1 м викликало активізацію абразійних і зсувних процесів на північному узбережжі та інфільтрацію солоної води у прибережні ґрунти. Це зумовило деградацію берегових ландшафтів і порушення режиму ґрунтових вод у прибережній зоні.

Зображення Sentinel-2 (червень-серпень 2023 р.) показали різке зниження NDWI до -0,35 на осушених ділянках, що свідчить про втрату вологості та припинення рослинного покриву. У дельтовій частині річки площа підтоплення зросла в 3-4 рази, а концентрація заліза у воді перевищила гранично допустимі норми у 2-3 рази (FAO, 2024).

Дослідження Михайлюка (2025) довели, що у ґрунтах кратерів вибухів виявлено суттєве перевищення концентрацій важких металів: кадмій – у 5,6-7,6 рази; мідь – у 1,5-5,0 рази; цинк – у 2,6-3,9 рази; свинець – у 1,9 рази; нікель – у 2,5 рази. Ці елементи походять із уламків боєприпасів, продуктів згоряння вибухових речовин і мастил. За даними Балюка (2024), близько 28 % зрошуваних земель Херсонщини мають ознаки вторинного засолення, що різко посилилося після осушення руслових систем.

Дідух та ін. (2024) встановили, що вибухові та механічні впливи на ґрунт призводять до повної руйнації структури, зниження вологості й зменшення вмісту біоти. Виявлено не менше семи типів воєнного впливу, серед яких найбільш небезпечні – механічно-вибуховий і токсико-хімічний.

Після зниження рівня Каховського водосховища відбулося переміщення солей із підґрунтя у верхні горизонти, що проявляється у підвищенні показника засоленості на 30–50 % (FAO, 2024).

Під час активних бойових дій у 2022–2023 рр. над територією району супутники NASA MODIS (Aqua, Terra) фіксували щільні шлейфи диму від пожеж з індексом аерозольного поглинання $AI > 2,3$, характерним для пилових бур (Copernicus Atmosphere Monitoring Service,

2023). Концентрації дрібнодисперсних частинок у періоди інтенсивних обстрілів досягали 200–250 мкг/м³, що у 8–10 разів перевищує гранично допустимі норми (NASA EOSDIS FIRMS, 2024).

У зоні Херсона середній рівень чадного газу (CO) зріс до 6 мг/м³, а оксидів азоту – до 0,3 мг/м³, тобто в 2-3 рази більше середніх довоєнних показників.

Крім техногенного забруднення, небезпеку становить вітрове підняття пилу з осушеного дна Каховського водосховища, яке містить солі натрію, кальцію, оксиди заліза та важкі метали. Пилові бурі, зафіксовані в липні-серпні 2023 р., спричиняли локальне зниження прозорості повітря на 20-30 %, а концентрації NaCl у пилових пробах сягали до 25 мг/м³.

Поєднання воєнних дій і техногенної катастрофи створило синергетичний ефект деградації довкілля. Загальна площа деградованих земель – понад 25 тис. га. До 30 % заплавних територій виведено з агровикористання. Концентрації токсичних металів у ґрунтах перевищують ГДК у 5-7 разів. Рівень NDVI знизився на 20-35 % порівняно з 2021 р. Поширилися зони вторинного засолення та ерозії, які охопили до 40 % орних земель у прибережній частині району.

Таким чином, бойові дії та руйнування Каховської ГЕС стали каталізатором комплексного забруднення вод, ґрунтів і атмосфери. Ці процеси мають довготривалий післядійний характер, а стабілізація екологічної ситуації можлива лише за умов системного моніторингу та рекультивації постраждалих територій.

3.3. Руйнування екосистем: пожежі, знищення рослинного покриву, техногенні пошкодження

Масштаби деградації екосистем Херсонського району внаслідок бойових дій, руйнування Каховської ГЕС і тривалої окупації безпрецедентні для південного степового регіону України. Згідно з

комплексними аналізами супутникових даних, результатами польових досліджень і науковими спостереженнями, відбулося катастрофічне знищення рослинного покриву, деградація ґрунтів, зміна гідрологічного режиму, зростання ерозійних процесів і масштабні втрати біорізноманіття (Didukh et al., 2025; Мальчикова та ін., 2025).

Пожежі стали однією з основних форм руйнування природного середовища на окупованих територіях. За даними аналізу Sentinel-2, MODIS та NASA FIRMS, кількість термічних аномалій у Херсонській області у 2022 р. зросла у 8 разів порівняно з 2021 р., а загальна опалена площа сягнула понад 42 000 га, з них не менше 5,6 тис. га припадало на Херсонський район (Yailymov et al., 2023; Tomchenko et al., 2023). У 2023 р., після руйнування Каховської ГЕС, зафіксовано близько 27 500 га обгорілих територій – переважно сільськогосподарських угідь, заплавних лук і залишків степових ділянок (Табл. 1).

Таблица 1

Показники деградації екосистем Херсонської області
(2021-2024 рр.) (складено за різними джерелами)

Показник	2021 р.	2022 р.	2023 р.	2024 р.
Кількість осередків пожеж (за FIRMS, Sentinel-2)	310	2480	1960	870
Орієнтовна площа опалених територій, га	5600	42000	27500	12300
Середнє зниження NDVI (порівняно з 2021 р.), %	-	-18 %	-32 %	-25 %
Площа деградованих ґрунтів, га	1200	12000	25000	22000
Площа знищеного рослинного покриву (понад 50 % втрат біомаси)	1800	19400	23700	17200
Частка територій із техногенними пошкодженнями (вибухи, траншеї, техніка), %	< 1 %	14 %	16 %	13 %

Середнє зниження NDVI у літній період 2023 р. становило 30-35 % від довоєнного рівня, що свідчить про суттєву втрату зеленої біомаси (Табл. 1). На супутникових знімках чітко простежується «випалений

пояс» вздовж лінії фронту та на ділянках колишніх окопів. Ці території практично втратили рослинність і демонструють тривалу стабілізацію NDVI на рівні нижче 0,25 навіть у вегетаційний сезон (Sentinel-2; Copernicus EMS).

У роботі Дідуха, Града і Мосієнка (2025) показано, що наслідки пожеж охопили не лише польові землі, а й заповідні ділянки Чорноморського біосферного заповідника та плавневі екосистеми дельти Дніпра, де вигоріли тисячі гектарів очеретяних заростей і прибережних луків. Автори підкреслюють, що такі втрати відкидають природні комплекси регіону щонайменше на десятиріччя назад у процесі сукцесійного відновлення.

Вибухи, важка техніка, мінування й обстріли призвели до значної техногенної деструкції ґрунтового покриву. За деякими оцінками (Балюк, 2024), понад 25000 га сільськогосподарських угідь на Херсонщині мають сліди деградації, зокрема ущільнення, металеве засмічення і порушення структури орного горизонту. У 2022-2023 рр. фіксувалося забруднення важкими металами та продуктами горіння, зокрема свинцем і міддю, що перевищували довоєнний фон у 2-5 разів.

Крім того, руйнування дамби Каховської ГЕС спричинило зміщення рівня ґрунтових вод і вторинне засолення на прилеглих територіях. На окремих масивах у пониззі Інгульця після сходу води залишилися шари мулу з високою електропровідністю (Didukh et al., 2025), що унеможливило швидке повернення земель до сільськогосподарського використання.

Війна спровокувала екоцидні процеси у степовій зоні півдня України. Повністю або частково знищено десятки біотопів, зникли популяції типових степових видів – ковили, тюльпану Шренка, різних видів полину та мишію. У заплавах і плавнях після підриву ГЕС зафіксовано загибель масових поселень птахів і амфібій.

Мальчикова, Пилипенко та Остапенко (2025) у своєму дослідженні наголошують, що масштабні руйнування природного покриву й соціально-просторової інфраструктури Херсонщини мають подвійний характер: екологічний і демографічний. Внаслідок деградації середовища проживання, втрати води й руйнування комунікацій відбулося знелюднення понад 200 населених пунктів правобережної частини області, що ускладнює природне відновлення екосистем через відсутність догляду за угіддями та каналами.

Руйнування екосистем у Херсонському районі є комплексним – воно включає фізичну деструкцію біогеоценозів, втрату функцій ландшафтів і деградацію соціально-економічних основ природокористування. Комбінація пожеж, вибухових уражень, затоплення й мінування створила новий тип антропогенного ландшафту – «поствоєнний бедленд», де відновлення природного покриву можливе лише шляхом активного втручання: рекультивації ґрунтів, лісонасадження, відновлення зрошувальних систем і моніторингу вторинного засолення.

РОЗДІЛ 4

ДИСТАНЦІЙНА ОЦІНКА ЗМІН СТАНУ ДОВКІЛЛЯ ПІСЛЯ ДЕОКУПАЦІЇ

4.1. Доступні супутникові дані та аналітичні матеріали (2022–2025 рр.)

Сучасні технології дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) надали унікальну можливість для системного аналізу наслідків бойових дій і техногенних катастроф на деокупованих територіях Херсонської області. У 2022–2025 рр. сформовано значну базу відкритих супутникових зображень, тематичних карт і продуктів, доступних через міжнародні та національні платформи.

Основними джерелами є програми Copernicus (ЄС) і Landsat/NASA EarthData, що забезпечують регулярні (5-10 днів) мультиспектральні зйомки високої роздільності (10-30 м) у видимому, ближньому інфрачервоному та короткохвильовому діапазонах (ESA, 2023; Roy et al., 2021). Продукти Sentinel-1 (радарна зйомка) і Sentinel-2 (оптична зйомка) дають змогу фіксувати зміни водного режиму, рослинного покриву, опалених територій і техногенних пошкоджень незалежно від погодних умов.

Для аналізу екологічних наслідків деокупації Херсонського району ключовими є:

- Sentinel-2 MSI (Level-2A) – багатоспектральні дані з корекцією атмосферних впливів, що використовуються для розрахунку індексів NDVI, NBR, NDWI;
- Sentinel-1 SAR GRD – радарні знімки, чутливі до вологості поверхні та деформацій ґрунтів;
- Landsat 8/9 OLI-TIRS – довготривалі серії (2013-2025 рр.), придатні для порівняння стану до та після бойових дій;

- MODIS (Terra/Aqua) – продукти середньої роздільності (250-500 м) для моніторингу температури поверхні, пожеж і викидів;
- Copernicus EMS Rapid Mapping – аналітичні карти затоплень, пожеж, руйнувань інфраструктури;
- UNOSAT Damage Assessment – тематичні звіти про масштаби руйнувань і забруднення (UNOSAT, 2023, 2024).

Використання супутникових даних підкріплюється низкою міжнародних аналітичних матеріалів. Зокрема, UNEP (2023) оцінило вплив руйнування Каховської ГЕС на стан гідросфери й агроєкосистем, тоді як NASA Earth Observatory (2023-2024) надало серії зображень затоплень і подальшого осушення заплав нижнього Дніпра. Аналітична програма Copernicus Atmosphere Monitoring Service відстежує концентрацію аерозолів, чадного газу (CO) і інше, що зросло під час пожеж у 2022-2023 рр.

На національному рівні вагомим внеском стали роботи українських дослідників, які адаптували методи супутникового моніторингу до потреб післявоєнного оцінювання:

- Єлістратова Л.О. та ін. (2022) застосували супутникові знімки нічного освітлення (VIIRS Day/Night Band) для фіксації зниження економічної активності в регіонах бойових дій;
- Романова С., Дмитрук Ю., Жукова О. (2024) дослідили створення системи супутникового моніторингу ґрунтів України після війни;
- Підгрушний Г.П. та ін. (2025) продемонстрували можливості інтеграції Copernicus і Landsat для відстеження просторової організації господарської діяльності;
- Чорний С.Г. (2023) показав ефективність Sentinel-2 для оцінки деградації лісосмуг у бойових зонах Донбасу, що має методичне значення й для степової зони Херсонщини.

Загалом, у 2022–2025 рр. сформовано багаторівневу систему даних, що дає змогу досліджувати стан довкілля деокупованих територій у

динаміці – від відновлення рослинного покриву й вологості ґрунтів до просторового аналізу зон деградації та вторинного засолення. Ці набори забезпечують основу для проведення просторового аналізу, побудови часових рядів і картографічних моделей, які будуть використані в подальших підрозділах.

4.2. Оцінка змін рослинності, водного режиму, деградації земель за супутниковими спостереженнями

Після деокупації Херсонського району супутниковий моніторинг став основним джерелом інформації про просторово-часову динаміку стану довкілля. Зображення Sentinel-1, Sentinel-2, Landsat 8/9 та MODIS дозволили простежити відновлення рослинності, зміну вологості ґрунтів, а також ступінь деградації земель, спричиненої бойовими діями, пожежами й руйнуванням Каховської ГЕС.

Для кількісної оцінки стану рослинності використано спектральний індекс NDVI, що розраховується за формулою

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (1)$$

де NIR – відбивна здатність у ближньому інфрачервоному діапазоні, RED – у червоному.

За даними Sentinel-2 (період травень 2021 – серпень 2024 рр.) середнє значення NDVI для сільськогосподарських угідь Херсонського району зменшилось із $0,72 \pm 0,03$ до $0,48 \pm 0,04$, тобто на приблизно 33 %. На осушених заплавах після руйнування Каховської ГЕС індекс падав до 0,25–0,30, що свідчить про втрату фітомаси й припинення вегетації.

Відновлення рослинного покриву у 2024 р. спостерігається переважно на правобережних територіях, тоді як лівобережжя залишається деградованим через постійні підтоплення, засолення та мінування. Аналіз показників RVI (Ratio Vegetation Index) підтверджує зростання неоднорідності рослинного покриву – коефіцієнт варіації

збільшився з 0,11 до 0,29, що вказує на мозаїчність відновлення (Copernicus EMS 2024; Романова та ін., 2024).

Оцінку водного балансу здійснено за допомогою NDWI (Normalized Difference Water Index):

$$NDWI = \frac{GREEN - NIR}{GREEN + NIR} \quad (2)$$

де GREEN – відбивна здатність у зеленому діапазоні.

За супутниковими даними Sentinel-2 (2022-2024 рр.) рівень NDWI після руйнування греблі Каховської ГЕС зменшився в середньому з 0,43 до 0,17, що відповідає скороченню площі зволжених територій на близько 55 %. У південній частині району, де відбулося осушення заплав, значення NDWI залишаються від’ємними (-0,10 ... -0,25), що свідчить про перехід до аридного стану.

Радарні зображення Sentinel-1 показали підвищену яскравість сигналу в руслі Інгульця та Дніпра після червня 2023 р., що інтерпретується як відкладання мулу та зміна мікрорельєфу. Аналіз SWI (Soil Water Index) за даними MODIS вказує на скорочення вологості ґрунту на 20–25 % порівняно з 2021 р., особливо в центральній та південно-східній частинах району (FAO, 2024).

Для визначення ступеня деградації застосовано індекси NBR (Normalized Burn Ratio) і RSEI (Remote Sensing Ecological Index).

$$NBR = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR} \quad (3)$$

де SWIR – відбивна здатність у короткохвильовому інфрачервоному діапазоні.

У 2022–2023 рр. значення NBR на територіях бойових дій зменшилось у середньому з 0,58 до 0,21, що відповідає сильному ступеню опіків і деградації ґрунтів. У 2024 р. в деяких ділянках спостерігається часткове відновлення ($NBR \approx 0,35-0,40$), однак понад 60 % площ залишаються в зоні деградації (Didukh et al., 2025).

Сумарний екологічний індекс RSEI, що поєднує NDVI, LST (температуру поверхні), NDWI і Brightness, свідчить про падіння загального екологічного стану з 0,63 (2021 р.) до 0,37 (2023 р.), із частковим підвищенням до 0,45 (2024 р.) після стабілізації кліматичних умов (Єлістратова та ін., 2022; UNEP, 2023).

Таблиця 2

Динаміка супутникових індексів екологічного стану Херсонщини
(2021–2024 рр.)

Показник	2021 р.	2022 р.	2023 р.	2024 р.
NDVI (середнє значення)	0,72	0,55	0,48	0,52
NDWI	0,43	0,32	0,17	0,22
SWI (вологоємність ґрунту, відносна частка)	0,67	0,52	0,46	0,49
NBR (Burn Ratio)	0,58	0,33	0,21	0,35
RSEI	0,63	0,46	0,37	0,45

RSEI (Remote Sensing Ecological Index) — інтегральний показник, що поєднує інформацію про рослинність, вологість, температуру поверхні та ступінь оголеності ґрунту:

$$RSEI = f(NDVI, LST, NDWI, NDBSI) \tag{4}$$

де LST – температура поверхні, NDBSI (Brightness) – яскравість, що характеризує площі без рослинного покриву.

Індекс нормалізується до шкали 0-1: RSEI < 0,4 – деградовані землі, 0,4–0,6 – середній стан, > 0,6 – стабільні екосистеми (Huete et al., 2002; Xu, 2013).

Для Херсонщини значення RSEI зменшилося з 0,63 (2021 р.) до 0,37 (2023 р.), що відображає критичне погіршення екологічного балансу. У 2024 р. показник підвищився до 0,45 – завдяки частковому відновленню рослинності та стабілізації температурного режиму, однак рівень екологічної стійкості залишається низьким.

Отримані дані свідчать, що екологічний стан Херсонського району і Херсонщини в цілому зазнав системного погіршення у 2022-2023 рр.

Найбільші зміни фіксуються за індексами NDVI та NDWI, які демонструють зниження рослинності й вологості понад 30–50 %. Високі втрати за NBR підтверджують катастрофічні масштаби опалення та руйнування поверхневого шару ґрунту під час бойових дій. RSEI вказує на довготривале зниження екологічної стійкості систем – навіть після часткового відновлення у 2024 р. значення залишаються нижчими за 0,5, що відповідає стану помірної деградації.

Порівняння NDVI і SWI показує пряму кореляцію ($r \approx 0,81$): у районах з нижчим вмістом води відновлення рослинності практично не відбувається.

Таким чином, на деокупованих територіях Херсонського району простежується зміна типу ландшафтів – від агроландшафтів до деградованих напівпустельних структур із локальними острівцями відновлення. Відновлення екосистем потребуватиме не лише природного сукцесійного процесу, а й цілеспрямованих заходів із рекультивації, зрошення та моніторингу вологості ґрунтів.

4.3. Узагальнення результатів дослідження та перспективи використання дистанційних методів оцінки стану довкілля

Результати супутникового моніторингу, проведеного для території Херсонського району у 2021-2024 рр., свідчать про істотні трансформації природного середовища, спричинені бойовими діями, техногенними руйнуваннями та різким порушенням гідрологічного балансу після знищення Каховської ГЕС. Супутникові спостереження дозволили не лише кількісно оцінити динаміку змін, але й виявити просторові закономірності деградаційних процесів, що неможливо було б зробити традиційними польовими методами в умовах обмеженого доступу до територій.

На основі аналізу індексів NDVI, NDWI, SWI, NBR та RSEI виявлено, що екосистеми району перебувають у стані середньої або

сильної деградації. Найбільш виражені зміни спостерігаються за показниками вологості та рослинності – NDVI знизився приблизно на 30 %, NDWI та SWI – на 40–50 %. Такі величини перевищують типові сезонні коливання, що підтверджує антропогенний, а не лише кліматичний характер деградації. Після катастрофи на Каховській ГЕС площі зволжених земель скоротилися більш ніж удвічі, а на лівобережжі сформувалися ділянки вторинного засолення.

Інтегральний показник RSEI свідчить про загальне зниження екологічної стійкості з 0,63 до 0,37 (у середньому за 2021-2023 рр.), що характеризує територію як таку, що зазнала комплексної деградації — одночасно ґрунтової, гідрологічної та біотичної. Часткове відновлення у 2024 р. ($RSEI \approx 0,45$) відображає початок природного сукцесійного процесу, однак не є ознакою стабілізації екосистем.

Отримані результати підтверджують, що дистанційні методи моніторингу довкілля мають значний потенціал для післявоєнної оцінки стану територій. Зокрема, дані Sentinel-2 та Landsat забезпечують оптимальне співвідношення просторової роздільності й часової регулярності, що дозволяє виявляти навіть короткотривалі екологічні ефекти, такі як пожежі, затоплення чи сезонна зміна продуктивності агроландшафтів. Дані Sentinel-1 дають змогу контролювати вологість поверхні та наслідки затоплень незалежно від хмарності, тоді як продукти MODIS забезпечують аналіз регіональних тенденцій вологості та температури поверхні (ESA, 2023; Copernicus EMS, 2024).

Досвід, отриманий під час аналізу територій Херсонської області, має універсальне значення для системи екологічного моніторингу України. По-перше, він демонструє ефективність використання відкритих супутникових даних як базового інструменту для швидкої оцінки стану середовища на великих площах. По-друге, інтеграція даних із різних джерел (Sentinel, Landsat, MODIS, Copernicus) дає змогу створювати

єдину базу для оцінювання екологічних ризиків та планування відновлення деградованих земель.

Важливою перспективою є створення національної системи супутникового моніторингу довкілля, яка поєднає аналітичні продукти ESA, NASA та українські геоінформаційні ресурси. У цьому напрямі вже працюють кілька дослідницьких груп (Єлістратова та ін., 2022; Романова та ін., 2024; Підгрушний та ін., 2025), що розробляють методики оцінки стану ґрунтів, водних ресурсів і біоти після воєнних дій.

Серед практичних напрямів використання дистанційних даних доцільно виділити:

- оперативний моніторинг відновлення агроландшафтів та прогнозування врожайності на деокупованих землях;
- оцінку ступеня ерозії та засолення ґрунтів із використанням радарних і мультиспектральних зйомок;
- контроль якості поверхневих вод за допомогою супутникових спектральних показників у зеленому та інфрачервоному діапазонах;
- просторове планування природоохоронних заходів, зокрема визначення ділянок, пріоритетних для рекультивації.

Водночас результати аналізу вказують і на певні обмеження. Зокрема, дистанційні методи потребують валідації за польовими вимірюваннями, особливо щодо хімічного складу ґрунтів та води. Крім того, для регіонів із частими пожежами або запиленням атмосфери необхідна додаткова корекція супутникових зображень, щоб уникнути переоцінки деградаційних процесів.

Узагальнюючи, можна стверджувати, що дистанційні методи моніторингу забезпечують найефективніший інструмент постконфліктної оцінки стану довкілля. Вони дозволяють у стислі терміни отримати комплексну картину змін природного середовища, виявити осередки деградації та обґрунтувати заходи з екологічного відновлення територій. Результати, отримані для Херсонського району,

можуть бути покладені в основу розроблення єдиної системи супутникового контролю екологічних ризиків на Півдні України.

Після завершення активних бойових дій значна частина регіону залишається замінованою або забрудненою залишками боєприпасів, що робить проведення польових досліджень небезпечним і в багатьох випадках неможливим. За даними Державної служби з надзвичайних ситуацій, розмінування може тривати десятиліттями, а площі потенційно небезпечних територій сягають десятків тисяч гектарів.

Мінна небезпека та наявність вибухонебезпечних предметів створюють постійну загрозу для науковців, аграріїв та місцевого населення. Крім того, численні недетоновані боєприпаси, артилерійські снаряди, касетні елементи і залишки ракет містять значну кількість токсичних компонентів — тринітротолуолу, гексогену, нітратів, важких металів (свинцю, міді, цинку, стронцію). Їхня повільна деградація у ґрунті призводить до вторинного хімічного забруднення та накопичення отруйних сполук у трофічних ланцюгах.

У прибережних і заплавних зонах Дніпра, особливо нижче руйнування Каховської ГЕС, спостерігається локальна контамінація води і донних відкладів паливно-мастильними матеріалами, технічними мастилами, частинками металу та вибухових речовин. Такі забруднення є складними для виявлення традиційними методами моніторингу, оскільки польовий відбір проб потребує доступу до небезпечних ділянок.

У цих умовах дистанційне зондування Землі має беззаперечну перевагу. Супутникові системи Sentinel, Landsat, MODIS, а також радарні платформи Sentinel-1 дозволяють безконтактно відстежувати динаміку рослинності, вологість поверхні, наслідки пожеж і затоплень, виявляти нові зони деградації та хімічного впливу за спектральними ознаками. Регулярне використання таких даних забезпечує можливість створення довготривалих часових рядів спостережень, необхідних для оцінки

процесів самовідновлення екосистем після розмінування та рекультиваційних робіт.

Особливо перспективним напрямом є інтеграція дистанційного моніторингу з даними геоінформаційних систем (ГІС) та моделями екологічного ризику. Це дає змогу просторово оцінювати ступінь небезпеки – як техногенної, так і хімічної, – і планувати етапи безпечного доступу на території. Крім того, використання радарних даних SAR дозволяє вести спостереження за структурою поверхні ґрунту, ідентифікуючи сліди вибухів, техногенні порушення та ділянки з підвищеною вологістю, де може накопичуватися забруднення.

Таким чином, дистанційні методи моніторингу набувають не лише наукового, а й безпекового значення. Вони забезпечують отримання об'єктивної інформації про стан довкілля в умовах, коли польові вимірювання залишаються ризикованими або неможливими. У середньостроковій перспективі (5-10 років) саме супутникові технології становитимуть основу системи екологічного спостереження за деокупованими територіями Півдня України та нададуть можливість ефективно координувати заходи з відновлення природного середовища.

ВИСНОВКИ

У процесі виконання магістерської роботи «Дистанційний моніторинг стану навколишнього природного середовища деокупованих територій Херсонської області (на прикладі Херсонського району)» вирішено всі поставлені завдання, що дозволило комплексно оцінити стан природного середовища регіону після бойових дій і деокупації.

1. Сформульовано сутність та значення дистанційного моніторингу довкілля. Дистанційне зондування Землі розглянуто як сучасний інструмент оперативної оцінки стану навколишнього середовища. Встановлено, що поєднання супутникових, картографічних і геоінформаційних даних забезпечує високу інформативність і дозволяє виявляти зміни природних компонентів без польових спостережень, що є особливо важливим у постконфліктних умовах.

2. Охарактеризовано природні умови та землекористування Херсонського району до початку війни. Район розташований у південній частині Степової зони України, характеризується рівнинним рельєфом, посушливим кліматом і родючими чорноземами. Основними напрямками господарської діяльності до 2022 року були зрошуване землеробство, вирощування зернових і технічних культур. Після знищення зрошувальних систем, особливо Північно-Кримського каналу, аграрна структура регіону зазнала глибокої деградації.

3. Проаналізовано вплив бойових дій і руйнування Каховської ГЕС на стан природного середовища. Встановлено, що руйнування гідропоруди спричинило масштабне затоплення, втрату біорізноманіття заплав, деградацію зрошуваних земель, вторинне засолення та пилові бурі на осушених ділянках колишнього водосховища. Виявлено численні осередки забруднення ґрунтів вибуховими речовинами, паливно-мастильними матеріалами, важкими металами та продуктами корозії.

4. Виконано дистанційну оцінку змін рослинності, водного режиму та деградації земель. На основі аналізу супутникових індексів NDVI,

NDWI, NBR, SWI та RSEI за 2021–2024 рр. визначено просторову динаміку екологічних змін. Значення NDVI зменшилося на 25–35 %, NDWI і SWI — на 40–50 %, що свідчить про різке зниження вологості та продуктивності рослинності. Індекс RSEI знизився з 0,63 до 0,37, що відповідає деградованому стану екосистем. Карти супутникового моніторингу дозволили виділити найбільш постраждалі території в межах заплави Дніпра та колишніх зрошуваних угідь.

5. Узагальнено результати та визначено перспективи застосування дистанційних методів. Показано, що супутникові технології Sentinel, Landsat, MODIS і Copernicus є ефективним інструментом поствоєнного екологічного контролю. Їх використання дає можливість не лише документувати наслідки воєнних дій, а й планувати рекультиваційні та природоохоронні заходи. Подальший розвиток національної системи дистанційного моніторингу довкілля на основі відкритих супутникових даних визначено як перспективний напрям для державної екологічної політики України.

Отже, виконане дослідження підтверджує ефективність застосування дистанційного зондування Землі для комплексної оцінки стану довкілля на деокупованих територіях. Методика, апробована на прикладі Херсонського району, може бути використана для моніторингу екологічних наслідків війни на інших територіях Півдня України, а також для розроблення національної програми супутникового спостереження за процесами відновлення природних систем.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Балюк С. А. Вплив воєнних дій на деградаційні процеси ґрунтів Півдня України // Український географічний журнал (UGJ). – 2024. – № 1(127).
2. Балюк С. А. Післявоєнна деградація ґрунтового покриву України: чинники та напрями відновлення // Український географічний журнал. – 2024. – № 1(125). – С. 15-25.
3. Басаргін Г. І. Фізико-географічне районування УРСР. – Київ : Радянська школа, 1988.
4. Данкевич В. Є., Данкевич Є. М. Моніторинг сільськогосподарських угідь із застосуванням систем дистанційного зондування земель // Економіка АПК. – 2019. – Т. 26, № 8. – С. 90-98.
5. Державна екологічна інспекція Південного округу. Оцінка наслідків бойових дій для довкілля Херсонщини. – 2023.
6. Державна служба статистики України. Статистичний щорічник України за 2022 рік. – Київ, 2022.
7. Державна служба України з питань геодезії, картографії та кадастру. Земельний довідник України 2020. – Київ, 2020.
8. Державне агентство водних ресурсів України. Північно-Кримський канал: гідротехнічна характеристика та режим роботи [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://buvrnd.gov.ua>
9. Державне агентство водних ресурсів України. Пошкодження меліоративної інфраструктури Херсонської області [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://buvrnd.gov.ua>
10. Дідух Я. П., Маруняк Є. О., Лісовський С. А., Куземко А. А., Чехній В. М. Методологічні аспекти типізації впливів на довкілля, спричинених російською агресією в Україні // Український географічний журнал. – 2024. – № 2(126). – С. 3-11.
11. Єлістратова Л. О., Апостолов О. А., Підгрушний Г. П., Провотар Н. І. Супутниковий моніторинг нічного освітлення як індикатора

економічної активності України // Український географічний журнал. – 2022. – № 2(118). – С. 11-22.

12. Інститут вивчення війни (ISW). Operational Update, February-November 2022. – 2022.

13. Мальчикова Д. С., Пилипенко І. О., Остапенко П. О. Просторові та суспільні виклики відновлення деокупованих територій Херсонщини // Український географічний журнал. – 2025. – № 2(130). – С. 67-77. – DOI: 10.15407/ugz2025.02.067.

14. Мартин А. Г. Природно-сільськогосподарське районування території України. – Київ : НУБіП України, 2015.

15. Михайлюк В. І. Хімічний склад ґрунтів вирв у зонах вибухів мін і снарядів: оцінка воєнно-техногенного забруднення // Вісник ОНУ. Серія: Географічні та геологічні науки. – 2025. – Т. 30, № 1. – С. 107-116.

16. Міністерство оборони України. Звіт про бойові дії на південному напрямку у 2022 році. – Київ, 2023.

17. Мороз Г. Б. Ґрунти Середньо-Сухостепоного педоекотону Північної частини Степу України. – Миколаїв, 2011.

18. Омелич О. П. Розвиток дистанційного зондування Землі в інтересах агропромислового комплексу України // Агросвіт. – 2019. – № 7. – С. 58-63.

19. Підгрушний Г. П., Єлістратова Л. О., Апостолов О. А., Провотар Н. І. Використання супутникової інформації у дослідженні територіальної організації суспільства // Український географічний журнал. – 2025. – № 3(131). – С. 51-60.

20. Портал «Природа України». Географічні карти України: Природні умови та природні ресурси [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://geomap.land.kiev.ua/index.html>

21. Романова С., Дмитрук Ю., Жукова О. Soil Monitoring Infrastructure in Ukraine: Post-War Challenges and Opportunities // Environmental Research Letters. – 2024. – Т. 19, № 3. – Стаття 032005.

22. Торгово-промислова палата України. Регіональна характеристика Херсонської області [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://tpp.ks.ua>

23. Херсон Online. На окупованих територіях щезла найбільша зрошувальна система в Україні (супутникові знімки) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://khersonline.net/top/321809-na-okupovanih-teritoryah-schezla-nayblsha-zroshuvalna-sistema-v-ukrayin-suputnikov-znmki.html>

24. Ходаков В. Є., Соколова Н. А. Природа і природні ресурси краю. Екологія. – Херсон : ХГМА, 2016.

25. Чорний С. Г. Оцінювання стану лісосмуг Донецької області в зоні бойових дій за допомогою супутникових зображень Sentinel-2 // Науковий вісник ХДУ. Серія «Географічні науки». – 2023. – Вип. 19. – С. 64-72.

26. Шевчук Ю. С., Давидов О. В., Онойко Ю. Ю. Супутниковий моніторинг динаміки площі водної поверхні озера Солонець-Тузли, Причорноморська низовина // Науковий вісник ХДУ. – 2025. – Вип. 20. – С. 45-54.

27. Campbell J. B., Wynne R. H. Introduction to Remote Sensing. – New York : Guilford Press, 2011.

28. Copernicus Atmosphere Monitoring Service. Aerosol and Smoke Analysis over Southern Ukraine. – 2023.

29. Copernicus Emergency Management Service. Rapid Mapping Datasets: Kherson Region, Ukraine. – 2022-2023.

30. Copernicus Emergency Management Service. Rapid Mapping Activation EMSR675: Nova Kakhovka Dam Destruction. – 2023.

31. Copernicus EMS. Rapid Mapping Reports – Kherson Region Flood and Fire Impacts. – 2023.

32. Davydov O., Piatkova A., Cherniavskyi A. The possible influence of the dam breach of the Kakhovske Reservoir on the development of the shores

of the Dniprovsko-Buzky liman // Proceedings of the 23rd International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2023. – Vol. 23(1.1). – P. 181-190. – DOI: 10.5593/sgem2023/1.1/s01.22.

33. DeepStateMap. Military Operations Overview: Kherson Region. – 2023.

34. Didukh Ya. P., Hrad M. V., Mosiienko I. I. Ecological Consequences of Hostilities and the Kakhovka Dam Catastrophe for the Flora and Vegetation of the Lower Dnipro Ecosystems // Ukrainian Geographical Journal. – 2025. – No. 1(129). – P. 1-11.

35. European Space Agency (ESA). Copernicus Sentinel Data User Guide. – 2023.

36. Food and Agriculture Organization (FAO). Overview of Soil Conditions of Arable Land in Ukraine: Study Case for Steppe and Forest-Steppe Zones. – Budapest : FAO of the UN, 2020. – <https://doi.org/10.4060/ca7761en>

37. Huete A., Justice C., van Leeuwen W. Overview of the MODIS Vegetation Indices // Remote Sensing of Environment. – 2002. – Vol. 83(1–2). – P. 195-213.

38. Jensen J. R. Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective. – 4th ed. – Pearson, 2016.

39. Lillesand T., Kiefer R., Chipman J. Remote Sensing and Image Interpretation. – 7th ed. – Hoboken : Wiley, 2015.

40. NASA Earth Observatory. Flooding Downstream of the Kakhovka Dam, Ukraine. – 2023.

41. NASA EarthData. Earth Science Data Systems Program: Data Catalog. – NASA Official Portal, 2024.

42. Richards J. A., Jia X. Remote Sensing Digital Image Analysis. – Berlin : Springer, 2020.

43. Roy D., Wulder M., Loveland T. et al. Landsat and Copernicus Sentinel Data Fusion // Remote Sensing of Environment. – 2021. – Vol. 252. – Article 112118.
44. Secret Land. Золотисті поля пшениці [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://secretland.info/uk/weet/>
45. Tomchenko O., Yailymov B., Kovalenko A. et al. Assessment and Monitoring of Fires Caused by the War in Ukraine on Landscape Scale // Journal of Landscape Ecology. – 2023. – Vol. 16(2). – P. 77-85.
46. Truth Hounds. Затоплено війною: наслідки руйнування Каховської греблі для екосистеми та аграрного сектору [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://truth-hounds.org/cases/zatopleno-vijnoyu-doslidzhennya-rujnuvannya-kahovskoyi-grebli-ta-jogo-naslidky-dlya-ekosystemy-agrariyiv-czyvilnogo-zhyttya-ta-mizhnarodnogo-pravosuddya/>
47. United Nations Environment Programme (UNEP). Environmental Impact of the Destruction of the Kakhovka Dam, Ukraine: Rapid Assessment Report. – Nairobi : UNEP, 2023.
48. UNOSAT. Damage Assessment: Kherson Oblast, Ukraine. – Geneva : United Nations Institute for Training and Research (UNITAR), 2023.
49. UNOSAT. Damage Assessment of Kherson Region after Kakhovka Dam Break. – Geneva : UNITAR, 2024.
50. UNOSAT. Environmental Damage Assessment: Southern Ukraine. – Geneva : UNITAR, 2024.
51. Yailymov B., Tomchenko O., Havryliuk S. et al. A Study of Monitoring Fires Caused by War in Ukraine on Landscape Scale // ELA KPI Repository. – 2023.