

**Міронов І.В.**, аспірант кафедри екології та технологій захисту навколишнього середовища

**Наукові керівники:** Колесник В.Є., д.т.н., професор кафедри екології та технологій захисту навколишнього середовища; Бучавий Ю.В., к.б.н., доцент кафедри екології та технологій захисту навколишнього середовища

(Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна)

## ЕКОЛОГІЧНІ НАСЛІДКИ ВІЙСЬКОВИХ ДІЙ ДЛЯ ЗЕМЕЛЬНОГО ФОНДУ УКРАЇНИ

Земельні ресурси є стратегічною основою економічного розвитку будь-якої країни, забезпечуючи продовольчу безпеку та стійкість екосистем. В умовах воєнного конфлікту стан ґрунтів зазнає значних змін, що зумовлені як прямими руйнуваннями, так і забрудненням небезпечними речовинами. Тому дослідження впливу військових дій на земельний фонд України є критично важливим для оцінки екологічних ризиків та розробки ефективних заходів з їхньої мінімізації.

Детальний аналіз масштабів забруднення земельного фонду України зараз ускладнений через бойові дії та відсутність безпечного доступу до багатьох територій. Водночас, потрібно збирати дані, які дозволять оцінити рівень деградації ґрунтів та розробити стратегії для їх відновлення після завершення конфлікту. Моніторинг екологічного стану сільськогосподарських угідь є важливим етапом у процесі подальшої рекультивациі земель та відновлення їхньої продуктивності.

Одним із найпомітніших наслідків обстрілів є утворення вирв різних розмірів, що змінюють топографію місцевості та водний баланс ґрунтів. Оцінити параметри таких утворень можна двома основними методами. Контактні геодезичні вимірювання забезпечують високу точність, проте їх використання є обмеженим через високий рівень небезпеки. Альтернативою є методи дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), які дозволяють визначати площу та об'єм вирв на великих територіях. Однак у період активних бойових дій доступність цих даних може бути частково обмежена [1].

Застосування геоінформаційних технологій (ГІС) для оцінки екологічних наслідків воєнного конфлікту відіграє ключову роль у визначенні масштабів завданої шкоди. Завдяки ГІС можна не лише картографувати пошкоджені ділянки, а й відстежувати динаміку змін, що є важливим для розробки стратегії відновлення земельного фонду України [2].

Для дослідження впливу військових дій на земельні ресурси Запорізької області було застосовано сучасні геоінформаційні технології та супутникові дані. Зокрема, використано програмне забезпечення SAS.Planet. Програма надає доступ до супутникових знімків високої роздільної здатності, дозволяючи проводити їх аналіз та картографічну інтерпретацію. На отриманих знімках прифронтових територій чітко простежуються наслідки бойових дій. Видно зони забруднення ґрунтів хімічними речовинами, нафтопродуктами, а також численні вирви, утворені внаслідок артилерійських обстрілів.

Картографічний матеріал, що відображає пошкоджені ділянки та їх характеристики, було розроблено в середовищі QGIS. Для оцінки змін у рослинному покриві застосовано багатоспектральні супутникові знімки Sentinel-2. На їх основі створено цифрові карти розподілу вегетаційних індексів (NDVI) за літні періоди 2021 та 2023 років.

Аналіз зображень 2021 року (рис. 1) свідчить про наявність чітко окреслених сільськогосподарських угідь з високою активністю фотосинтезу. Окремі ділянки, де вже зібрали врожай, мають ознаки відкритого ґрунту згідно з NDVI-класифікацією. На мапі

також видно території, які перебували під паром або відновлювалися після збору врожаю. Вони позначені на мапі змішаними класами щільності рослинності, характерними для природних ландшафтів, зокрема степів і луків.

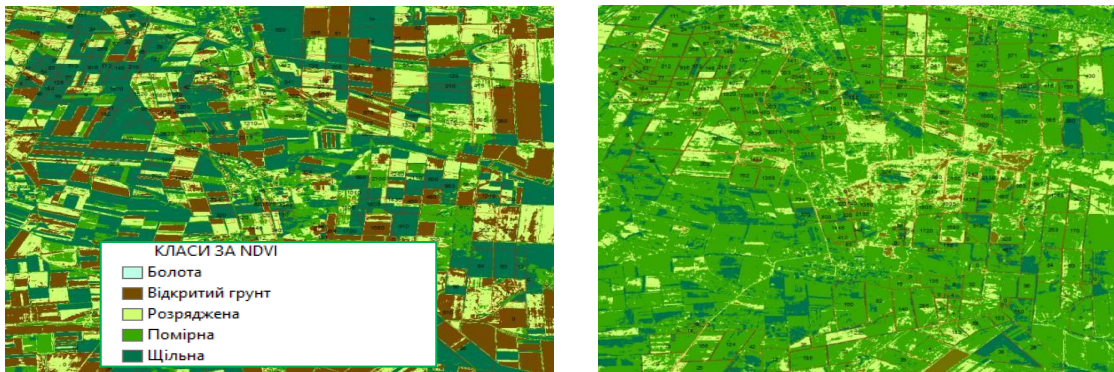


Рисунок 1 – Характеристики рослинного покриву в літній період 2021 року (ліворуч) та 2023 року

У порівнянні з 2021 роком, літні знімки 2023 року відображають значне зниження індексу NDVI на більшості сільськогосподарських ділянок. Такий результат свідчить про зменшення використання земель за прямим призначенням унаслідок бойових дій. Більшість угідь демонструють змішані класи щільності рослинності, що вказує на процес природного відновлення без активного сільськогосподарського використання.

Окрім оптичних даних Sentinel-2, для аналізу змін рельєфу застосовано радарні знімки Sentinel-1. Вони дозволяють створювати цифрові 3D-моделі поверхні із середньою просторовою роздільною здатністю 10 м/піксель. Дані радарної зйомки оновлюються кожні 6–12 днів та доступні через платформу Copernicus Open Hub Access [3].

Результатом порівняння цифрових моделей висот 2022 та 2024 років є растр змін земної поверхні (рис. 2). На растрі відображено вертикальні деформації рельєфу, зокрема зони просідання та підняття. Візуалізація цих змін дає змогу оцінити наслідки двох років активних бойових дій (лютий 2022 – лютий 2024) та визначити території, що зазнали найбільшого впливу військових факторів.



Рисунок 2 – Аналіз змін висоти земної поверхні в період з 2022 до 2024 року

Для оцінки змін рельєфу на території сільськогосподарських угідь було проведено зонально-статистичний аналіз, який дозволив визначити розподіл площ за класами деформації (рис. 3).

Окрім військових дій, на трансформацію земної поверхні можуть впливати природні фактори. Наприклад, природні явища, такі як зсуви, підтоплення та ерозія ґрунтів, також відіграють важливу роль.

Номер ділянки	Вирви	Вирв на га	Макс. просідання поверхні	Макс. підвищення поверхні, м	Діапазон деформації, м	Середня деформація, м	Відхилення деформації, м	Частка площі з просіданням поверхні більше 0.5 м, %	Частка площі з просіданням поверхні від 0.2 до 0.5 м, %	Частка площі з деформацією поверхні від 0.2 до 0.2 м, %	Частка площі з підвищенням поверхні від 0.2 до 0.5 м, %	Частка площі з підвищенням поверхні більше 0.5 м, %
0	28	0,165	-0,496	0,494	0,990	-0,030	0,141	0,000	8,186	88,981	2,833	0,000
1	38	0,228	-0,494	0,486	0,980	0,009	0,137	0,000	3,779	90,691	5,530	0,000
2	103	3,383	-0,477	0,666	1,143	0,099	0,154	0,000	2,204	78,810	18,214	0,772
3	58	0,765	-0,470	0,652	1,123	0,110	0,159	0,000	1,509	75,227	22,565	0,699
4	183	1,696	-0,487	0,661	1,148	0,096	0,172	0,000	2,430	74,646	21,623	1,301
5	5	0,049	-0,331	0,657	0,988	0,095	0,150	0,000	2,434	78,057	19,220	0,288
6	39	0,404	-0,335	0,666	1,001	0,072	0,153	0,000	1,656	81,318	16,853	0,174
7	81	0,639	-0,334	0,477	0,811	0,021	0,106	0,000	0,875	97,116	2,009	0,000
8	4	0,468	0,000	0,643	0,643	0,199	0,113	0,000	0,000	60,098	38,439	1,463
9	16	0,385	-0,431	0,331	0,762	-0,058	0,112	0,000	4,860	94,457	0,683	0,000
10	9	0,441	-0,646	0,170	0,816	-0,178	0,120	0,617	35,321	64,063	0,000	0,000

Рисунок 3 – Зональна статистика деформації земної поверхні (перші 10 ділянок)

Однак, зважаючи на рівнинний характер досліджуваних територій та відносно короткий часовий проміжок у два роки між аналізованими знімками, найбільш ймовірною причиною зафіксованих деформацій є саме бойові дії.

Значний обсяг отриманих даних було інтегровано до ГІС у вигляді атрибутивних характеристик, пов'язаних із контурами досліджених земельних ділянок. У результаті, в поєднанні з іншими картографічними матеріалами, було створено електронну карту у форматі Leaflet, доступну для перегляду та аналізу на веб-геопорталі за посиланням: [http://deter.info/Mironov/ECOGIS\\_ZP\\_200524/index.html](http://deter.info/Mironov/ECOGIS_ZP_200524/index.html)

Публікація результатів досліджень у вигляді інтерактивних карт на веб-платформах (наприклад, за допомогою Leaflet чи ArcGIS Online) сприятиме доступності інформації для дослідників, державних органів і громадськості.

Сучасні цифрові ГІС-технології відкривають нові можливості для картографування змін у земельних ресурсах, забезпечуючи швидку й точну обробку великих масивів даних, отриманих із супутникових знімків. Вони дають змогу не лише оцінювати масштаби пошкоджень, а й визначити пріоритетні території для відновлення. Завдяки ГІС можна визначити території, які залишаються придатними для аграрного використання, а також ділянки, що потребують ремедіації або консервації. Такі дані важливі для планування відновлення аграрного сектору після завершення бойових дій.

ГІС дозволяє не тільки картографувати пошкодження земель, а й автоматизувати процес аналізу великих масивів даних. Використання алгоритмів класифікації супутникових знімків, просторової статистики може значно підвищити точність оцінки стану ґрунтів. Активне використання методів дистанційного зондування свідчить про їхню ефективність і перспективність. Незабаром вони можуть витіснити традиційні підходи до моніторингу земель.

Розвиток цифрових методів картографування сприяє впровадженню нових інструментів для управління земельними ресурсами, що особливо важливо в умовах екологічних викликів. Такий підхід відіграє ключову роль у збереженні довкілля та забезпеченні сталого розвитку країни.

#### Список використаних джерел:

1. HORELYK, S.; NECHAUSOV, A.; YANKIN, O.. Визначення геометричних характеристик вибухових вирв на землях сільськогосподарського призначення дистанційними методами. Землеустрій, кадастр і моніторинг земель, [S.l.], n. 4, p. 118–128, січ. 2023. ISSN 2518-7325.
2. United Nations Environment Program, Report of the Working Group of Experts on Liability and Compensation for Environmental Damage Arising from Military Activities (May 17, 1996). URL: <https://digitallibrary.un.org/record/491458>
3. Copernicus Open Access Hub. URL: <https://scihub.copernicus.eu/>
4. eДорада. Земельні ресурси України. URL: <https://edorada.org/uk/articles/159>