

Міронов І.В., аспірант кафедри екології та технології навколишнього середовища
Науковий керівник: Бучавий Ю.В., к.б.н., доцент кафедри екології та технології навколишнього середовища

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

ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНИХ НАСЛІДКІВ ВІЙСЬКОВИХ ДІЙ ДЛЯ ЗЕМЕЛЬНОГО ФОНДУ УКРАЇНИ: ГЕОІНФОРМАЦІЙНИЙ ПІДХІД

У розвитку країни велику роль відіграє стан її земельного фонду. Земельні ресурси є основою економіки та забезпечують життєво важливі потреби населення. Аналіз впливу військових дій на земельні ресурси та екологічну безпеку стає все більш актуальним через зростання екологічних загроз, таких як забруднення ґрунту хімічними речовинами, знищення природних середовищ.

Повноцінна оцінка масштабу та рівня забруднення сільськогосподарських земель в Україні наразі неможлива через бойові дії. Проте, це не означає, що ми не можемо вживати заходів для мінімізації шкоди та планування майбутнього відновлення. Важливо вже зараз збирати дані про стан ґрунтів на пошкоджених територіях, щоб краще зрозуміти масштаби проблеми та визначити пріоритетні напрямки для подальших дій.

Інтенсивні артилерійські обстріли неминуче призводять до деформації земної поверхні через значну кількість вирв, різного розміру. Існує дві групи методів для знаходження площі та об'єму вирв. Перша група – контактні геодезичні дослідження, які дозволяють точно визначити параметри вирв, але їх не можливо застосувати із-за вибухонебезпечності території й великої кількості ушкоджених ділянок. Інші методи пов'язані з визначенням геометричних характеристик за даними дистанційного зондування Землі (ДЗЗ). Вони дозволяють оперативно виявляти місцезнаходження вибухових вирв, але у військовий час не доступні у повному обсязі [1].

Використання геоінформаційних технологій та систем (ГІС) для аналізу екологічних збитків внаслідок військового конфлікту є ключовим для визначення масштабів завданої шкоди земельним ресурсам України, дозволяючи отримувати детальну інформацію про стан ґрунтів, відстежувати зміни та ідентифікувати ділянки, які потребують відновлення [2].

Для аналізу і візуалізації наслідків війни в Запорізькій області використовувалось програмне забезпечення *SAS.Planet*, яке надає можливість отримувати, опрацьовувати супутникові знімки та картографічні дані високої роздільної здатності для подальшого використання у дослідженнях. На знімках досліджуваної прифронтової території Запорізької області, отриманих у *SAS.Planet*, помітні наслідки військових дій. Забруднення ґрунту хімічними речовинами, паливом та мастильними матеріалами видно на зображеннях у вигляді плям різного кольору. Численні вирви від снарядів та іншого військового озброєння чітко спостерігаються на знімках з високою роздільною здатністю.

У програмі *QGIS* було створено карту, на якій відображено пошкоджені ділянки землі у Запорізькій області, а також надано характеристики цих ділянок. На основі багатоспектральних аерофотознімків від супутника *Sentinel-2* були побудовані цифрові мапи розподілу вегетаційних індексів за літні періоди 2021 та 2023 років. Оцінка характеристик рослинності влітку 2021 за класами нормалізованого вегетаційного індексу *NDVI* наведено на рис. 1.

Як бачимо на зображенні за 2021 рік можна достатньо чітко відрізнити однорідні сільгосп ділянки з щільною рослинністю, що характеризуються високим індексом фотосинтетично активної фітомаси, та ділянки на яких вже відбулися жнива для яких є

притаманні «відкриті ґрунти» відповідно до класифікації поверхні за NDVI. Подекуди зустрічаються й ділянки з «паром», тобто землі що на той період що не використовувалися за призначенням або відновлювалися після минулорічного врожаю – вони представлені на мапі змішаними класами щільності рослин, який зазвичай є характерним для природних територій, зокрема степів та луків.

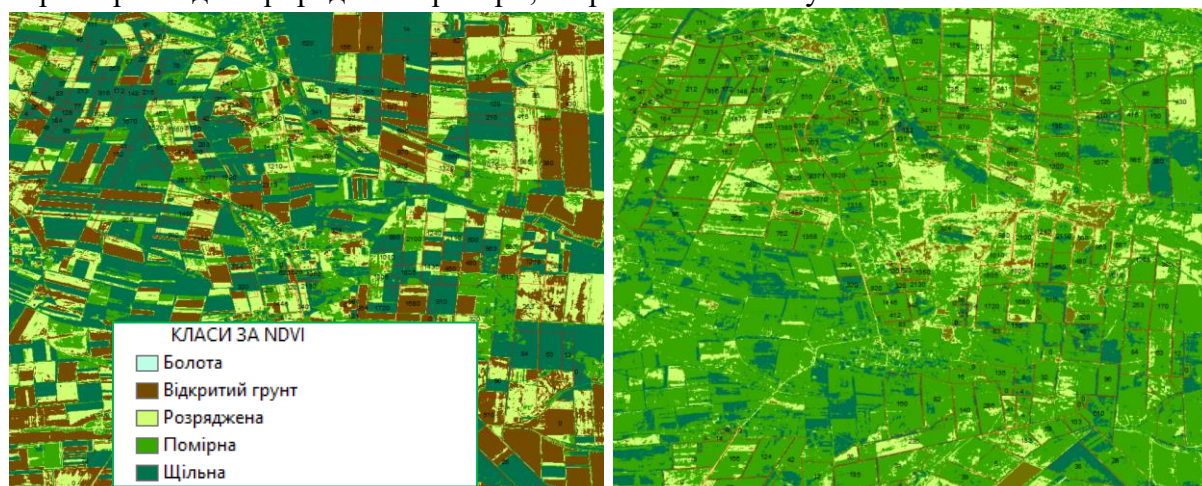


Рисунок 1 – Оцінка характеристик рослинності влітку 2021 (ліворуч) та 2023 року

На рисунку 3 наведено характеристики рослинності влітку 2023 за класами нормалізованого вегетаційного індексу *NDVI*. Як бачимо, станом на літо 2023 р. переважна більшість сільгосп ділянок мали змішані класи щільності рослин відповідно, відповідно до класифікації поверхні за *NDVI*. Що вказує на те що ці ділянки хоч і мають рослинний покрив проте не використовуються за призначенням через бойові дії.

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

Дані радарної зйомки супутника *Sentinel-1* оновлюються у середньому раз на 6–12 днів для більшості території суходолу Земної кулі, включаючи територію досліджень, і є доступними у вигляді архівів на ресурсі *Copernicus Open Hub Access* за посиланням <https://scihub.copernicus.eu/> [3].

На основі двох цифрових моделей висот дослідженої території, побудованих за 2022 та 2024 роки, було сформовано растр деформацій земної поверхні, який наведено на рисунку 2.



Рисунок 2 – Оцінка деформацій земної поверхні з 2022 до 2024 р.

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

Для статистичного порівняння змін деформації земної поверхні на територіях сільгосп ділянок, було проведено зонально-статистичний аналіз розподілу площ за класами деформації, рисунок 3.

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 – Фрагмент електронної таблиці із зональною статистикою щодо деформації земної поверхні для перших 10 ділянок

Варто зауважити, що окрім бойових дій на зміни деформації території з часом мають вплив і природні процеси, зокрема зсуви, підтоплення, ерозія ґрунтів тощо. Натомість рівнинна місцевість на якій розташуються досліджені сільгосп ділянки та відносно невеликий період у 2 роки між знімками, вказує що деформація поверхні зумовлена радше за все інтенсивними бойовими діями.

У зв'язку зі значним об'ємом отриманих даних та їх візуалізації, вони були інтегровані у якості атрибутів до шару ГІС, що містив контури досліджених сільгосп ділянок. У поєднанні з іншими картографічними матеріалами було експортовано результати дослідження у вигляді електронної мапи у форматі *Leaflet*, доступної для роботи на веб-геопорталі за посиланням:

http://detep.info/Mironov/ECOGIS_ZP_200524/index.html

Використання цифрових методів ГІС для картографування змін має потенціал покращити точність та швидкість аналізу великих обсягів даних, отриманих за допомогою дистанційного зондування, застосовуватися для оцінки масштабів пошкоджень земельних ресурсів та визначення пріоритетів для відновлення. Впровадження методів дистанційного зондування для аналізу земельних ресурсів свідчить про перспективність такого підходу. У найближчому майбутньому ці методи можуть замінити традиційні способи отримання інформації про земельні ресурси.

Дослідження в галузі цифрових методів картографування відкриває перспективи для розвитку нових інструментів та підходів у землекористуванні. Цей напрямок досліджень є важливим у контексті забезпечення екологічної стійкості та сталого розвитку нашої 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>