

УДК 631.4

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.137.29>

ІДЕНТИФІКАТОРИ ВПЛИВУ ВОЄННИХ ДІЙ НА ҐРУНТОВИЙ ПОКРИВ ЗА СУПУТНИКОВИМИ ДАНИМИ

Солоха М.О. – д.с.-г.н.,

завідувач лабораторії, старший науковий співробітник,
Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського
Національної академії аграрних наук України

Коньшин Р.В. – аспірант кафедри ґрунтознавства,
Державний біотехнологічний університет

Дежгарьов В.В. – д.с.-г.н., професор,
завідувач кафедри ґрунтознавства,

Державний біотехнологічний університет

У статті показано результати аналізу супутникових даних Sentinel 2 L2A оптичного діапазону з приводу ідентифікації впливу воєнних дій на ґрунтовий покрив. Актуальність проведення такого дослідження ґрунтується на необхідності забезпечення продовольством населення країн, що розвиваються та необхідністю забезпечення продовольчої безпеки безпосередньо самої України. Тому надано аналіз останніх публікацій з цієї тематики, які дозволяють оцінити ступінь зацікавленості тематикою та надано низку нормативних актів, якими зараз керується країна для виконання цієї задачі. Введено поняття ідентифікатори військового впливу на ґрунтовий покрив – або будь який антропогенний вплив на ґрунтовий покрив, який є аномальним після початку воєнних дій 24 лютого 2022 року. Проведено систематизацію ідентифікаторів різного впливу на ґрунтовий покрив (фізичний, механічний, абіотичних, хімічний тощо) та наведено приклади такого впливу на основі супутникових даних. Фізичний вплив також має інші прояви на киталт розміщення різного роду оборонних споруд на с.-г. полях: бетонних споруд («зубів дракона»), траншей, протитанкових ровів тощо. Механічний вплив ґрунті відбувається, коли після уражень вивертається прилеглий ґрунт та складається або розкидається навколо. Під абіотичним впливом розуміється випалювання будь-якої рослинності на полі (-ях) внаслідок потрапляння на них запалюючих сумішей, військового втручання, підпалу внаслідок вибухів снарядів тощо. Хімічний вплив проявляються внаслідок вибухів, спалахів, згоряння будь-якої техніки на сільськогосподарських площах. Автори проводили польові виїзди з верифікації різного впливу на ґрунтовий покрив на території Харківської та Донецької областей з початку війни. Результати перевірочних фото супутникових даних наведено у статті. Показано прямі та дотичні ідентифікатори воєнного впливу на ґрунтовий покрив, їх залежність від прямих ідентифікаторів. Надано авторських погляд на тривалість впливу на основі супутникових даних.

Ключові слова: ідентифікатори впливу, ґрунтовий покрив, механічний, фізичний, абіотичний, хімічний вплив на ґрунтовий покрив.

Solokha M.O., Konshyn R.V., Dehtiarov V.V. Identifiers of the influence of military actions on land cover according to satellite data

The article shows the results of the analysis of Sentinel 2 L2A satellite data of the optical range regarding the identification of the impact of military actions on the soil cover. The urgency of conducting such a study is based on the need to provide food for the population of developing countries and the need to ensure food security in Ukraine itself. Therefore, an analysis of the latest publications on this topic is provided, which allows you to assess the degree of interest in the topic, and a number of normative acts that are currently governed by the country to fulfill this task are provided. Introduced the concept of identifiers of military impact on land cover – or any anthropogenic impact on land cover that is anomalous after the start of hostilities on February 24, 2022. Systematization of the identifiers of various impacts on the soil cover (physical, mechanical, abiotic, chemical, etc.) is carried out and examples of such impacts based on satellite data are given. The physical impact also has other manifestations, such as the placement of various types

of defensive structures on rural areas. fields: concrete structures ("dragon's teeth"), trenches, anti-tank ditches, etc. The mechanical impact of soils occurs when, after damage, the adjacent soil is turned over and piled up or scattered around. Abiotic influence means the burning of any vegetation on the field(s) as a result of incendiary mixtures falling on them, military intervention, arson due to shell explosions, etc. Chemical effects are manifested as a result of explosions, flares, burning of any equipment on agricultural areas. The authors conducted field trips to verify various impacts on the soil cover in the territory of Kharkiv and Donetsk regions since the beginning of the war. The results of verification photos of satellite data are given in the article. The direct and tangential identifiers of the military influence on the soil cover, their dependence on the direct identifiers, are shown. The author's view on the duration of exposure based on satellite data is provided.

Key words: impact identifiers, soil cover, mechanical, physical, abiotic, chemical impact on soil cover.

Постановка проблеми: Актуальність проведення оцінювання впливу на ґрунтовий покрив України впливає з необхідності постачання продовольства понад 400 млн. населення країн, яке в даний момент забезпечує Україна. Об'єктивно, після початку воєнних дій ґрунтовий покрив України зазнав та продовжує зазнавати безпрецедентний вплив. Виходячи з того, що воєнні дії продовжуються, а більшість деокупованої території заміновано, використання супутникових даних стають в пріоритеті проведення наукових досліджень та наступного оцінювання. Станом на 2024 рік державою Україна створено низку нормативних документів з оцінки шкоди, а саме: постанова Кабінету Міністрів України від 20 березня 2022 року №326 «Про затвердження Порядку визначення шкоди та збитків завданих Україні внаслідок збройної агресії російської федерації». Одним з розділів методики оцінки збитків (розділ III) передбачено серед іншого використання даних дистанційного зондування Землі. Використання космічних знімків також передбачається Наказом Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України №414 від 05 жовтня 2022 року (пункт 8). Тобто вже визначено пріоритетний напрям використання даних, але ще не створено відповідної методології. Опис впливу на ґрунтовий покрив на базі супутникових даних наразі частковий та фрагментарний. Через це автори вводять поняття – *ідентифікатори військового впливу на ґрунтовий покрив* – або будь-який антропогенний вплив на ґрунтовий покрив, який є аномальним після початку воєнних дій 24 лютого 2022 року.

Серед основних ідентифікаторів впливу: фізичний вплив (вирви, кратери різного походження, ущільнення ґрунту на сільськогосподарських землях, вивертання ґрунту внаслідок будови споруд оборонного характеру – взводних, ротних опорних пунктів, траншей, бліндажів, тощо), додавання аномальних для сільськогосподарських земель об'єктів (бетонних укриттів, конусних пірамід «зубів дракону»), абіологічного впливу – спалення врожаю, рослинності, в тому числі польової на сільськогосподарських землях. У разі використання високоякісних супутникових знімків показана можливість встановлення хімічного впливу на ґрунтовий покрив внаслідок підриву різного роду бронетехніки на сільськогосподарських землях, як найбільш токсичної для останнього. Показано відображення кожного з цих ідентифікаторів, так й короткий опис щодо кожного.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Історія досліджень впливу військових дій на ґрунтовий покрив постійно непокоїло людство, яке проявляло неабиякий інтерес до наслідків цього впливу [2, 3, 5, 7, 9]. Різні аспекти цього впливу чітко простежуються в роботах [10], де автори аналізують термічні (пірогенні) аномалії на супутникових знімках після початку повномасштабного вторгнення та таким чином показують на супутникових даних місця зіткнення. Авторами [13] оцінюється стан досліджень, спрямованих на віддалений моніторинг збройних

конфліктів, і висвітлюються можливості посилення позитивного суспільного впливу майбутніх дослідницьких зусиль. Обмежений доступ до об'єктів дослідження в зонах конфлікту може бути нівельований завдяки дистанційному зондуванню, що дозволяє успішно проводити моніторинг ходу військових дій [1]. Дистанційний моніторинг використовували для вирішення різних наукових задач та напрямків в умовах військових дій: моніторингу водних ресурсів та інфраструктури [12], моніторингу та змін земельного покриття в умовах війни з використанням машинного навчання [8]. Загалом дистанційні дослідження використовувалися достатньо широко при аналізі будь яких збройних конфліктів по всьому світу [4, 6, 11]. Але комплексний аналіз переліку всіх видів впливу на ґрунтовий покрив досі є фрагментарним, та потребує відповідної систематизації.

Мета статті. Навести ідентифікатори впливу воєнних дій на ґрунтовий покрив за супутниковими даними.

Методи та методика досліджень. Дистанційні дослідження базувалися на безкоштовних супутникових даних Sentinel-2 L2A, які методично порівнювалися за різночасовими періодами. Як правило, до початку повномасштабного вторгнення РФ та після ідентифікації впливу РФ за супутниковими даними. В польовій частині дослідження проводилися виїзди на ті об'єкти дослідження, які було ідентифіковано з наступним фотографуванням цих об'єктів.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів: В результаті аналізу супутникових знімків встановлено, що найбільший вплив на ґрунтовий покрив (фізичний вплив) має саме вивертання ґрунту внаслідок появи вирв, які добре аналізуються на основі супутникових даних, завдяки масовій появі кратерів на знімках. Поява вирв (кратерів) різного походження через просідання ґрунту в майбутньому призведе до появи та розвитку ерозійних процесів на с.-г. землях. Фізичний вплив також має інші прояви на кшталт розміщення різного роду оборонних споруд на с.-г. полях: бетонних споруд («зубів дракона»), траншей, протитанкових ровів тощо.

Фізична деградація. Ідентифікатори фізичного впливу воєнних дій на ґрунтовий покрив на основі супутниковій інформації поділяються за своїми візуальними ознаками. Військові дороги, які прокладені на полях або інших сільськогосподарських землях відокремлюються за допомогою різночасових супутникових даних, які порівнюються між собою (рис. 1).

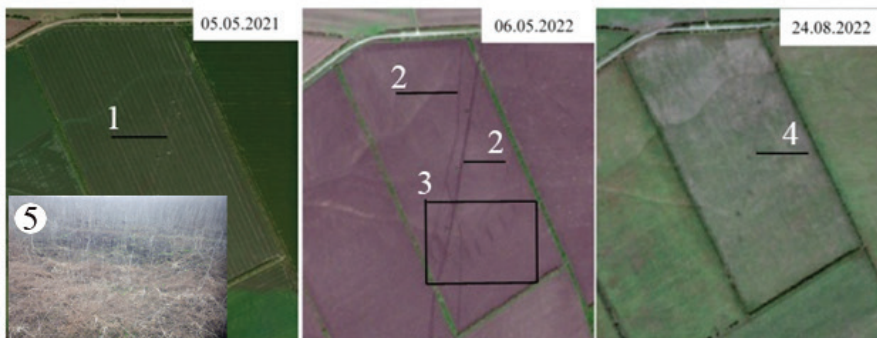


Рис. 1. Різночасове порівняння появи військової дороги на с.-г. полі, дотичні ідентифікації, які пов'язані з військовими дорогами

Вони виглядають як ниткоподібні волокна на об'єкті дослідження, які можуть бути подвоєними, потроєними або одинарними (рис. 1. 06.05.2022, (2)). Різномасштабне порівняння супутникових знімків між собою дає уявлення про приблизний час появи цього впливу, напрямок розповсюдження, час зникання тощо (рис. 1, 24.08.2022, (4)). Побічний (дотичний) механічний вплив на ґрунтовий покрив від появи військових доріг дозволяє ідентифікувати засмічення (у разі аномального закінчення дороги у найближчій лісосмузі), розміщення різного роду озброєння (як на рис. 1, дата 06.05.2022 р. середній знімок – розміщення батареї РСЗВ (3) у прямокутнику). Перевірочне фото 5 на рис. 1 зроблено вже наприкінці 2022 року на цьому об'єкті дослідження.

За візуальними спостереженнями появи такого роду доріг на супутникових знімках було встановлено, що у разі їх появи та нетривалого використання, польова рослинність (бур'яни) поглинають її приблизно за три місяці (рис. 1, 24.08.2022 р.), але ущільненні ґрунтового покриву ще залишається тривалий час.

Ідентифікація авіаційних та артилерійських вирв на супутникових даних нескладна, що призвело вже до бурхливого використання супутникових даних для підрахунків саме цього виду деградації ґрунтів. Візуально фізична деградація визначається аномальним більш освітленим кольором по відношенню до фону (рис. 2, мітка – 1). Довготривалий обстріл с.-г. полів призводить до хаотичної появи кіл неправильної форми на супутникових знімках у візуальному діапазоні з характерним освітленим кольором (рис. 2, мітка – 2).



Рис. 2. Супутникові знімки, результати польової перевірки кратерів

На супутникових знімках показано результат порівняння до початку обстрілів. Супутникові знімки ліворуч (від 26.06.2021 р. – до початку воєнних дій, 05.06.2022 р. – після обстрілу). Праворуч на рис. 2 показано результати польової перевірки цих місць на супутникових знімках. Кратери внаслідок механічного вивертання ґрунту (1 – місце влучання авіабомби, 2 – артилерії 152 калібру). Але вивертання глибинних шарів зустрічаються не у стовідсоткових випадках, що залежить від калібру артилерійських або авіаційних снарядів. Чим менше калібр та кількість вибухової речовини, тим менше кратер, який утворюється після вибуху. А також це призводить до зменшення об'єму ґрунту, що вивертається. Як наслідок, при аналізі супутникових даних, різкої відмінності від фону не спостерігається, тому що не вивертаються підстилаючі шари ґрунту. Дворічне спостереження за кратерами дозволяє зробити висновок, що невеликі кратери з часом

поглинає польова рослинність й їх ідентифікація на знімках ускладнюється. Різномасштабні супутникові дані дозволяють сумувати кількість кратерів та проводити підрахунки стосовно об'ємів рекультивації за допомогою супутникових даних. Кратер (вирва), ідентифікується саме як кратер, бо немає шляхів під'їзду та підходу до цього об'єкту як капоніру або траншеї.

В цілому аналізування артилерійських та авіаційних кратерів (або прикладів механічної деградації ґрунтів) ускладнюється для ідентифікації, аналізу та моніторингу приблизно через два роки. Причому сам кратер залишається, а його «маскування» відбувається за рахунок польової рослинності, яка відсутня восени та взимку, але в цей час отримання супутникових даних без хмарності проблематично.

Механічна деградація. Інші укріплення, на кшталт протитанкового рову та траншей для особового складу, також відносяться до механічної деградації, бо призводять до руйнування ґрунтового профілю або до деформації морфологічної будови профілю. Польові виїзди (рис. 3) дозволили підтвердити раніше встановлені залежності на супутникових знімках.



а



б

Рис. 3. Польові укріплення а – протитанковий рів, б – траншеї для особового складу з перекриттям для бліндажа

На супутникових знімках високої якості траншеї особового складу можуть ідентифікуватися (рис. 4) за вивернутими шарами ґрунту у вигляді витягнутої та ламаної аморфної структури на ґрунтовому покриві, що можуть простягатися на десятки кілометрів.



Рис. 4. Супутниковий знімок. Траншея для особового складу, довжиною біля 40 м з бліндажем (ліворуч, нижня частина знімку)

На супутникових знімках за попередніми дослідженнями можна встановлювати інший вид фізичної деградації ґрунтів – захисні споруди на кшталт бетонних, дерев'яних надолбів («зубів дракона» тощо), ескарпів, бетонних укріплень, які встановлюються поверх ґрунту, не заглиблюючись в нього, тощо (рис. 5).



Рис. 5. Різномасштабні супутникові знімки появи суцільної смуги надолбів, бетонних споруд (1), ґрунтових доріг (2) після невдалої деокупації 03.05.2023, 02.05.2024 рр., та одразу після окупації (08.05.2022 р.)

Перемішування шарів ґрунту внаслідок механічної деградації ґрунту має довготривалі наслідки зменшення родючості, початок водної ерозії тощо. Такого роду деградація має проходити етапи рекультивациі. Основна візуальна відмінність фізичної деградації ґрунтів від механічної – локальність впливу.

Спостереження впродовж двох років за змінами механічної деградації ґрунтового покриву дозволили встановити наступні тенденції: – переміщення ґрунтового профілю та його перевертання біля рову, траншеї, надовбу тощо призводить до довготривалих змін, як добре ідентифікуються на супутникових знімках; – за два роки можливість ідентифікації знижується не суттєво (рис. 5), але зміни з погіршення ідентифікації невідворотні за рахунок «маскування» польовою рослинністю; – при оцінці шкоди та ідентифікації механічної деградації ґрунтів їх систематизація та ідентифікація повинна відбуватися якомога раніше для достовірної оцінки. За експертною оцінкою не більше ніж півроку (6 місяців) після початку змін, або їх встановлення. Вирішальну роль при оцінці шкоди відіграє саме ідентифікація впливу, бо за спостереженнями суттєвого та довготривалого впливу на ґрунтовий покрив окрім порушення морфології профілю саме такий вид впливу не завдає. Це експертна оцінка, яка базується на результаті дворічних лабораторних спостережень за такого роду впливу.

Абіотичний вплив. Під абіотичним впливом розуміється випалювання будь-якої рослинності на полі (-ях) внаслідок потрапляння на них запалюючих сумішей, підпалу внаслідок вибухів снарядів тощо. З наступною дефоліацією та зниженням мікробіологічної та ферментативної активності. Ідентифікація абіотичного впливу на супутникових даних виглядає як різка зміна кольору рослин до інтенсивного чорного кольору на полі. Поступово абіотичний вплив змінює колір на більш освітлений після розкладення залишків згоряння, як правило впродовж

від декількох тижнів до місяців в залежності від температури та біологічної активності (рис. 6).

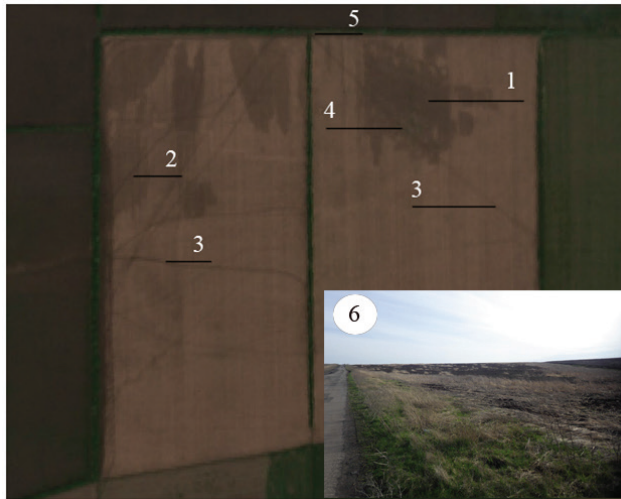


Рис. 6. Приклади абіотичного впливу на залишки рослинності на полі

Поле, яке наведено в якості прикладу, мало абіотичний вплив в декілька етапів: 1 – більш затемнений колір, це випалювання стерні, більш освітлений (2), те ж саме, але випалення відбулося за декілька тижнів до попередніх подій. Можна зробити припущення, виходячи з аналізу супутникових даних, що поле було підпалено внаслідок активного або випуску, або потрапляння реактивних снарядів, про свідчать ґрунтові дороги (3) вздовж яких випалення відокремлюється дуже суттєво (4). З іншого боку ґрунтові дороги мають закінчення в лісомузі, де скоріше за все розташоване Вздвоний Опорний Пункт (ВОП) (5) тому логічно, що обстріли прилеглих територій мають таку щільність. Перевірочне фото (6) показано праворуч у нижній частині рисунка 6. У разі постійних інтенсивних обстрілів абіотична деградація має великий територіальний вплив. Який може по своїй потужності впливати одночасно на декілька десятків полів, що одразу відображаються на супутникових знімках. Застосування супутникових даних для ідентифікації абіотичного впливу мають певні переваги для підрахунків збитків та площ впливу та дозволяють це зробити оперативно. Встановлено, що абіотичний вплив на ґрунтовий покрив ідентифікуються на супутникових даних у вигляді чорного кольору спалених площ (рис. 6).

Хімічний вплив. Аналіз супутникових даних прямо не дозволяє встановити хімічний вплив на ґрунтовий покрив, через відсутність якісних супутникових даних з просторовою здатністю більш ніж 1 м/піксель. Однак дотично це можна зробити через наявність фізичного впливу на ґрунтовий покрив, а саме появи аномальних ґрунтових доріг (мережі) на сільськогосподарських полях в межах їх початку та кінця. На якісних супутникових знімках добре ідентифікуються аномальні місця де техніка вибухала та горіла за рахунок диму, який потрапляє в атмосферу (рис. 7).



Рис. 7. Приклад хімічного впливу на ґрунтовий покрив в місці горіння техніки, промислових об'єктів

Вплив воєнних дій на ґрунтовий покрив відбувається практично одночасно за різними видами деградації, що одразу відображається на супутникових даних (рис. 8).

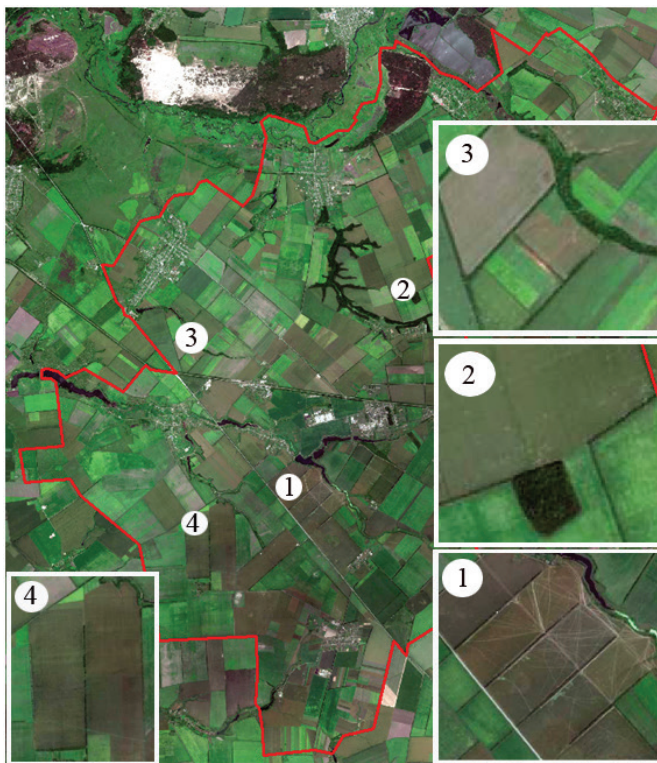


Рис. 8. Сумарне визначення різних видів деградації на території Чкаловської ОТГ Чугуївського району, вересень 2022 р.

На рис. 8 показано місця ідентифікації фізичної деградації (1) або мережа воєнних ґрунтових доріг, дотично на цієї локації можна ідентифікувати розташування ворожих ВОПів та позиції гаубиць, які несуть з собою хімічне забруднення та засмічення. Механічна деградація (2) ідентифікується скупченням кратерів та вирв від артилерійських обстрілів позицій на території с.-г. полів. Абіотичний вплив (3) ідентифікується за рахунок різнокольорового забарвлення від залишків стерні, а стерня та польові культури, які мають однотипний колір (4) на полях свідчить про замінованість даної території.

Висновки.

1. Фізична деградація на супутникових знімках може ідентифікуватись до трьох місяців, у разі короткочасного впливу. До неї відносяться військові польові дороги на с.-г. полях. Ознаками її на с.-г. полях є ниткоподібні лінії на с.-г. полях, які були відсутні до початку військових дій.

2. Механічна деградація на супутникових даних має аномальні кольорові ознаки (округлі форми – кратери), або витягнутої та ломаної аморфні структури на ґрунтовому покриві – траншеї особового складу, рови тощо. Їх ідентифікація повинна відбуватися якомога раніше для достовірної оцінки. За експертною оцінкою не більше ніж півроку (6 місяців) після початку змін, або їх встановлення буде ускладнено за рахунок «маскування» останніх польовою рослинністю.

3. Абіотичний вплив ідентифікується як різка зміна кольору рослин (решток рослин) до інтенсивного чорного кольору на полі. Поступово абіотичний вплив змінює колір на більш освітлений після розкладення залишків згорання, тому ідентифікація може відбуватися від тижнів до місяця від моменту впливу.

4. Хімічний вплив, ідентифікується у разі потрапляння горіння техніки на супутникові дані, що має випадковий характер. Супроводжується появою чорного диму на знімку та дає різку зміну кольору останнього на чорний колір. Тривалість впливу досі не визначена.

Публікація містить результати дослідження, одержані в процесі виконання проєкту «Оцінювання впливу збройної агресії на стан чорноземів і розроблення заходів для прискореного відновлення родючості ґрунтів у контексті забезпечення продовольчої безпеки» № 2022.01/0031 конкурсу «Наука для відбудови України в воєнний та повоєнний періоди» за грантової підтримки Національного фонду досліджень України.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Bennett, M.M., Van Den Hoek, J., Zhao, B., Prishchepov, A.V. Improving satellite monitoring of armed conflicts. *Earth's Future* 10 (9). 2022.e2022EF002904. <https://doi.org/10.1029/2022EF002904>.

2. Bonchkovskyi, O.S., Ostapenko, P.O., Shvaiko, V.M., Bonchkovskyi, A.S. Remote sensing as a key tool for assessing war-induced damage to soil cover in Ukraine (the case study of Kyivska territorial hromada). 2023. *Journal of Geology Geography and Geoecology*, 32(3), 474–487. DOI:10.15421/112342

3. Demissie, B., Nyssen, J., Annys, S., Negash, E., Gebrehiwet, T., Abay, F., Wolff, E. Geospatial solutions for evaluating the impact of the Tigray conflict on farming. *Acta Geophys.* 2022.70 (3), 1285–1299. <https://doi.org/10.1007/s11600-022-00779-7>.

4. Eniang, E.A., Haile, A., Yihdego, T., Impacts of landmines on the environment and biodiversity. *Envtl. Pol'y & L.* 37. 2007.501.

5. Harada, K.H., Soleman, S.R., Ang, J.S.M., Trzcinski, A.P. Conflict-related environmental damages on health: lessons learned from the past wars and ongoing

Russian invasion of Ukraine. *Environmental Health and Preventive Medicine*. 2022. 27:35. <https://doi.org/10.1265/ehpm.22-00122>

6. Kwarteng, A.Y. Multitemporal Remote Sensing Data Analysis of Kuwait's Oil Lakes. *Environ. Int.*, 2009. 24 (1/2), 121–137.

7. Mannion, A.M. The environmental impact of war and terrorism. The University of Reading, White knights. 2003. <https://www.reading.ac.uk/web/files/geographyandenvironmentalscience/GP169.pdf>

8. Mhanna, S., Halloran, L.J., Zwahlen, F., Asaad, A.H., Brunner, P., Using machine learning and remote sensing to track land use/land cover changes due to armed conflict. *Sci. Total Environ.* 2023. 898, 165600 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165600>.

9. Pereira P., Zhao W., Symochko L., Inacio M., Bogunovic I., Barcelo D. The Russian-Ukrainian armed conflict will push back the sustainable development goals. *Geography and Sustainability*. 2022. 3(3). P. 277–287.

10. Serhii, A.S., Vyshnevskiy, V.I., Olena, P.B.. The use of remote sensing data for investigation of environmental consequences of Russia-Ukraine war. *Journal of Landscape Ecology* 15 (3), 2022. 36–53. <https://doi.org/10.2478/jlecol-2022-0017>

11. Solomon, N., Birhane, E., Gordon, C., Haile, M., Taheri, F., Azadi, H., Scheffran, J., Environmental impacts and causes of conflict in the Horn of Africa: a review. *Earth Sci. Rev.* 177, 2018. 284–290. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.11.016>.

12. Shumilova, O., Tockner, K., Sukhodolov, A., Khilchevskiy, V., De Meester, L., Stepanenko, S., et al. Impact of the Russia–Ukraine armed conflict on water resources and water infrastructure. *Nat. Sustain.* 6 (5), 2023. 578–586. <https://doi.org/10.1038/s41893-023-01068-x>.

13. Sticher, V., Wegner, J.D., Pfeifle, B. Toward the remote monitoring of armed conflicts. *PNAS Nexus* 2 (6), 2023. pgad181. <https://doi.org/10.1093/pnasnexus/p.181>.