

УДК 504.062+556:528.8

Oleksandr Trofymchuk¹, Corresponding member of the National Academy of Sciences of Ukraine, doctor of technical sciences, professor, Director of the Institute
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3358-6274>

Snizhana Zahorodnia^{1,2}, PhD, Senior Research Scientist
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4332-4211> *e-mail*: zagorodnya.s@gmail.com

Viacheslav Vishnyakov¹, PhD, Senior Research part-time work
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2057-0505> *e-mail*: wishnya_dzz@ukr.net

Viktoriya Klymenko¹, PhD, Senior Researcher, Scientific Secretary
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8911-5773>

Natalia Sheviakina¹, PhD, Senior Research Scientist
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5984-5580> *e-mail*: n.a.sheviakina@gmail.com

Ihor Radchuk^{1,2}, PhD, Senior Research Scientist
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4999-1258> *e-mail*: igor.radchuk.v@gmail.com

Olha Tomchenko³, PhD, Senior Research Scientist
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6975-9099> *e-mail*: olhatomch@gmail.com

Serhii Slastin⁴, Chief of the Satellite Data Processing Group
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4173-265X> *e-mail*: sergeyslastin@gmail.com

¹Institute of Telecommunications and Global Information Space of the NASU, Kyiv, Ukraine

²Academic Visiting Department of Geography in the University of Cambridge, Cambridge, Great Britain

³State Institution "Scientific Centre for Aerospace Research of the Earth of the Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine", Kyiv, Ukraine

⁴Information and Analytical Center of the National Space Facilities Control and Test Center, Kyiv, Ukraine

SPACE MONITORING OF VIOLATION OF THE ECOSYSTEM CONDITION OF THE BLACK SEA BIOSPHERE RESERVE AS A RESULT OF MILITARY ACTIONS

***Abstract.** This work is devoted to the study of the impact of military actions on the environment of Ukraine based on the materials of remote sensing of the Earth. The authors proposed a methodology for determining the scale of fires and the degree of damage to nature conservation objects using the example of the Black Sea Biosphere Reserve. In particular, fires are identified with the help of the FIRMS service, which subsequently allows establishing the causes of their occurrence and predicting their direction of spread, as well as estimating the affected areas. The paper presents the results of satellite monitoring of the determination of thermal anomaly centers, their dynamics and extent of damage; a study of the areas flooded due to the lowering of the reservoir is presented; an approach to comprehensive monitoring of the disturbance of the state of ecosystems of nature-protected territories of Ukraine is proposed. The research was conducted in the period from February 2022 to February 2023. Temperature activity was determined in the Black Sea Biosphere Reserve and its adjacent territories, and areas of disturbance of the*

surface layer of the soil as a result of military operations were identified. The facts of fires, the presence of enemy military equipment, the construction of various fortification structures (trenches, trenches, shelters for equipment), the presence of firing positions, the location and movement of automobiles and other large vehicles have been proven. The proposed research can be used to monitor and document environmental crimes caused by military actions. The obtained results provide information to state authorities for decision-making regarding the preservation and restoration of valuable natural reserves and objects, and also allows forecasting changes in environmental risk due to military actions.

Keywords: impact of war; nature-protected areas; russian invasion; fires; remote sensing data.

О. Трофимчук¹, С. Загородня^{1,2}, В. Вишняков¹, В. Клименко¹, Н. Шевякіна¹, І. Радчук^{1,2}, О. Томченко³, С. Сластін⁴

¹Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАНУ, Київ, Україна

²Факультет географії Кембриджського університету, Кембридж, Великобританія

³Державна установа «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук Національної академії наук України», Київ, Україна

⁴Національний центр управління та випробувань космічних засобів, Київ, Україна

КОСМІЧНИЙ МОНІТОРИНГ ПОРУШЕННЯ СТАНУ ЕКОСИСТЕМИ ЧОРНОМОРСЬКОГО БІОСФЕРНОГО ЗАПОВІДНИКА ВНАСЛІДОК ВІЙСЬКОВИХ ДІЙ

Анотація. Дана робота присвячена вивченню впливу військових дій на навколишнє середовище України на основі матеріалів дистанційного зондування Землі. Авторами запропоновано методіку визначення масштабів пожеж та ступеня шкоди природоохоронним об'єктам на прикладі Чорноморського біосферного заповідника. Зокрема, пожежі ідентифікуються за допомогою сервісу FIRMS, що в подальшому дозволяє встановити причини їх виникнення та спрогнозувати їх напрям поширення, і оцінити площі ураження. У роботі представлено результати супутникового моніторингу визначення осередків теплових аномалій, їх динаміку та масштаби ураження; представлено дослідження території затоплень внаслідок спуску водосховища; запропоновано підхід до комплексного моніторингу порушення стану екосистем природоохоронних територій України. Дослідження проводились в період з лютого 2022 року по лютий 2023 року. Визначено температурну активність у Чорноморському біосферному заповіднику та його прилеглих територіях, виявлено ділянки порушення поверхневого шару ґрунту внаслідок військових дій. Доведено факти пожеж, присутності ворожої військової техніки, будівництва різноманітних фортифікаційних споруд (траншей, окопів, укриття для техніки), наявності воєнних позицій, знаходження і пересування автомобільних та інших габаритних транспортних засобів. Запропоновані дослідження можуть бути використані для моніторингу та документування злочинів проти довкілля, спричинених військовими діями. Отримані результати надають інформацію державним органам для прийняття рішень щодо збереження та відновлення цінних природних заповідників і об'єктів, а також дозволяють прогнозувати зміни екологічного ризику внаслідок військових дій.

Ключові слова: вплив війни; природоохоронні території; російське вторгнення; пожежі; дані дистанційного зондування.

<https://doi.org/10.32347/2411-4049.2023.3.94-112>

Вступ

Війна, яка триває в Україні, стала найбільшим збройним конфліктом у світі за останнє десятиліття, що спричинив безпрецедентні руйнування та спустошення природних ландшафтів країни. Використання важкої артилерії, авіаційного бомбардування та іншої зброї під час інтенсивних боїв призвело до знищення цінних природних заповідників і середовищ існування. Наразі, на території України є потенційні глобальні екологічні катастрофи, які можуть мати довготривалі наслідки та призвести до погіршення стану навколишнього середовища в майбутньому та знищення цінних унікальних екосистем, які відіграють вирішальну роль у функціонуванні природних систем.

Війна в Перській затоці між Іраком і Кувейтом була однією з перших великомасштабних екологічних катастроф, які ретельно спостерігалися за допомогою технологій дистанційного зондування, таких як AVHRR, Landsat і дані SPOT, щоб оцінити вплив розвитку міст, рослинності, прибережних водно-болотних угідь і піску, зміни дюни. У світлі цього, дослідження екологічних наслідків поточного конфлікту в Україні та винесення уроків з війни в Перській затоці є надзвичайно важливими для запобігання майбутнім екологічним катастрофам, спричиненим збройними конфліктами [1]. Одним з найбільш помітних наслідків збройного конфлікту є раптові зміни земного покриву. Розвиток ерозійних процесів внаслідок впливу лісових пожеж на природоохоронних територіях викликає велике занепокоєння. Такі зміни можуть призвести до зменшення біорізноманіття та втрати природних ресурсів. Крім того, збройний конфлікт може мати негативний вплив на здоров'я людей та тварин, а також на стан ґрунту та якість води. Зважаючи на це, необхідно приділяти більше уваги екологічним наслідкам збройних конфліктів та розробляти стратегії запобігання майбутнім екологічним катастрофам на світовому рівні. Це можна зробити шляхом збільшення уваги до екологічних проблем в процесі прийняття рішень з питань національної безпеки та розробки міжнародних договорів, спрямованих на зменшення впливу збройних конфліктів на навколишнє середовище. Внаслідок збройних конфліктів раптові зміни земного покриву є одними з найрізкіших повторюваних потрясінь в міжнародному масштабі.

Огляд літературних джерел. Згубний вплив лісових пожеж на більшість екосистемних послуг висвітлено в публікації [2]. В публікації [3] досліджено тему питання збереження біорізноманіття в зонах бойових дій, потенціал наукової та природоохоронної діяльності для зменшення негативного впливу на нього. За офіційними даними Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів [4] через військові дії 900 заповідних територій України сьогодні перебувають в небезпеці. Сюди увійшли 1,2 млн га або близько 30% площі всіх природоохоронних територій України. Під загрозою знищення наразі знаходяться 14 Рамсарських об'єктів площею 397,7 тис. га, близько 200 територій Смарагдової мережі площею 2,9 млн га, біосферні заповідники [5]. Особливою природоохоронною територією, яка зазнає впливу війни, є Чорноморський біосферний заповідник, що є унікальною надморською територією та найбільшим природним об'єктом, який перебуває під охороною в Україні. У 2014 році росія анексувала Крим, що призвело до зміни території Чорноморського біосферного заповідника. Космічний моніторинг змін території заповідника внаслідок військових дій проводили різні наукові

організації та установи. Міжнародний союз охорони природи (IUCN) провів оцінку стану Чорноморського біосферного заповідника, в якій було зазначено, що територія заповідника зазнала значних змін внаслідок військових дій та незаконної забудови [6]. З початком повномасштабного вторгнення росії на територію України Чорноморський біосферний заповідник зазнає ще більших руйнувань від війни. Близько 86% території заповідника знаходиться в акваторії Чорного моря, яка також зазнає негативних наслідків війни. У статті [7] авторами зазначено, що війна має серйозний вплив на природоохоронні об'єкти України, включаючи Чорноморський заповідник, зокрема, вони наводять приклади забруднення водних ресурсів та зниження рівня ґрунтових вод у зоні конфлікту.

Публікація [8] висвітлює результати соціально-екологічного моніторингу під час бойових дій в Україні з використанням супутникової інформації. У публікації [9] наведено використання даних ДЗЗ для вивчення екологічних наслідків російського вторгнення в Україну у 2022 році. Пожежі, що виникають у природних системах, є явищем з певними властивостями, серед яких підвищення температури поверхні та наявність (у більшості випадків) диму. Такі температурні аномалії можна відстежувати за допомогою методів дистанційного зондування [10]. Наприклад, точне виявлення активної пожежі і її картографування на супутникових зображеннях все ще є складним завданням для спільноти дистанційного зондування, яка в основному використовує традиційні методи. Методи глибокого навчання дали потужні результати в застосуванні дистанційного зондування [11].

Отже, метою роботи є дослідження екологічного стану територій Чорноморського біосферного заповідника, за допомогою супутникового моніторингу з використанням оптичних та радіолокаційних даних дистанційного зондування Землі. Основним завданням дослідження є отримання високоякісних тематичних карт, які дозволять оцінити екологічний стан природно-заповідних територій, ідентифікувати можливі загрози та розробити рекомендації щодо їх збереження та відновлення. Авторами запропоновано використання геоінформаційних технологій. Також пропонується використовувати інструменти ArcGIS ArcMap з модулями Spatial Analyst. Ефективним є врахування статистичних атрибутивних даних у табличному і текстовому форматах на досліджуваній області. Результати дослідження можуть бути використані для планування та прийняття рішень щодо управління природними ресурсами та охорони довкілля.

Територія досліджень. Автори досліджують територію Чорноморського біосферного заповідника (далі ЧБЗ), який розташований на території Херсонської та частково Миколаївської областей та акваторії Чорного моря. ЧБЗ є одним з найбільших та найважливіших заповідників України, що знаходиться в зоні конфлікту. Це найбільший морський заповідник України, один із найстаріших і найцінніших в нашій державі, який має статус біосферного і включений до Всесвітньої мережі біосферних резерватів ЮНЕСКО. Чорноморський заповідник був створений у 1927 році з метою вивчення та охорони природного середовища, зокрема масового гніздування та міграції птахів. На момент створення заповідник займав площу 27 тис. га. До 1976 року площа зросла до 64 806 га. Наразі, загальна площа складає 109 254 га [13, 14]. Територія заповідника охоплює північне узбережжя

Чорного моря, деякі острови та акваторію та складається з трьох ділянок: лісостепової, прибережної та острівної. Невеликі острови в Тендрівській та Ягорлицькій затоках, такі як Орлов, Смалений, Бабин, Довгий та інші, утворюють унікальні водно-болотні угіддя (рис. 1). На території ЧБЗ знаходяться водно-болотні угіддя міжнародного значення «Тендрівська затока», «Ягорлицька затока», а також території Смарагдової мережі Європи UA0000017 «Чорноморський біосферний заповідник», UA0000097 Національний природний парк «Білобережжя Святослава» та UA0000215 «Кінбурнська коса». Окрім зазначених природоохоронних об'єктів, в межах ЧБЗ розташовано ботанічні заказники, загальнозоологічний заказник, Національний історико-археологічний заповідник, ландшафтні заказники, лісові заказники, орнітологічний заказник. На рисунку 2 позначено розташування всіх об'єктів ПЗФ в межах ЧБЗ та на прилеглих територіях.



Рис. 1. Функціональне зонування Чорноморського біосферного заповідника

ЧБЗ – унікальний природоохоронний об'єкт, що є межею степу і моря, де знаходяться піщані кучугури, праліси та найбільші солончаки. Вздовж південного узбережжя зруйнованої війною країни, у колись захищеному місці, відомому як Біосфера Чорного моря, екологічні втрати війни вважаються приголомшливими та, можливо, найгіршими. Багато видів флори та фауни знаходяться під загрозою зникнення. У ЧБЗ мешкає понад 3 тис. видів безхребетних, близько 80 видів риб та більш як 60 видів тварин. Особливу роль заповідник відіграє у збереженні птахів, яких 306 видів. Заповідник не тільки значний пункт на шляху міграції, але й місце гніздування для таких унікальних видів, як дрохва, орлан-білохвіст, хохітва та інші.



Рис. 2. Карта розташування об'єктів ПЗФ в межах ЧБЗ та на прилеглих територіях. Цифрами на карті позначені наступні об'єкти ПЗФ:

1. Ботанічний заказник «Шаби»
2. Ботанічний заказник «Хрестова Сага»
3. Ботанічний заказник «Широка балка»
4. Ботанічний заказник «Софіївський»
5. Загальнозоологічний заказник «Бакайський жолоб»
6. Національний історико-археологічний заповідник «Ольвія»
7. Ландшафтний заказник «Боброве озеро»
8. Ландшафтний заказник «Станіславський»
9. Ландшафтний заказник «Олександрівський»
10. Лісовий заказник загальнодержавного значення «Березові колки»
11. Лісовий заказник «Бакайський»
12. Орнітологічний заказник «Ягорлицький»
13. Національний природний парк «Білобережжя Святослава»

Військові дії можуть мати широкий спектр негативних наслідків, які стосуються як прямого, так і непрямого впливу на екосистему заповідника. Прямий вплив війни на ЧБЗ включає пошкодження природних територій, втрату рослинності, знищення життєвих просторів для тварин та руйнування екосистем. Активні бойові дії можуть призвести до безпосереднього знищення різноманітних форм життя та природних біотопів, що є невід'ємною частиною біосферного заповідника. Непрямий вплив війни може включати забруднення навколишнього середовища через виливи нафти, хімічних речовин або інших небезпечних речовин. Це може призвести до серйозного забруднення ґрунту, водних джерел та морського середовища. Крім того, військові дії можуть спричинити переривання природних процесів, таких як міграція птахів та морських ссавців, порушення балансу харчування, зруйнування гніздових місць та місць розмноження різних видів. Через російську окупацію ЧБЗ найбільше страждає від пожеж, що впливають на гніздування птахів в тому числі. Птахи змушені шукати інші місця для проживання і гніздування, а це призводить до суттєвих екосистемних змін. Іншою вразливою групою птахів

від військових дій є види, що гніздяться в лісах. Найбільшими ризиками в таких екосистемах для птахів є розлякування в результаті бойових дій, вирубування лісу, пожежі (внаслідок обстрілів та свідоме підпалювання) тощо. Внаслідок обстрілів у 2022 році на території Кінбурнської коси періодично виникали пожежі. За період з березня по червень 2022 року вогонь знищив 1640 гектарів насаджень у межах Національного природного парку «Білобережжя Святослава» та 200 гектарів на території Регіонального ландшафтного парку «Кінбурнська коса» [14]. Через підлив росіянами 6 червня 2023 року Каховської ГЕС під удар потрапили території, що мають міжнародні природоохоронні статуси, зокрема Рамсарські угіддя, об'єкти Смарагдової мережі. Окрім ЧБЗ, постраждали три національні природні парки – Нижньодніпровський, «Білобережжя Святослава» та Олешківські піски. У біді й велика кількість малих об'єктів: заказники, пам'ятки природи й садово-паркового мистецтва, регіональний ландшафтний парк «Кінбурнська коса» [15]. Дослідження [9, 16] підтверджують той факт, що військові дії мають значний вплив на територію Чорноморського біосферного заповідника та природні ресурси в цілому. Для здійснення якісного моніторингу, контролю та оперативного прийняття рішень необхідно мати достовірну, точну та своєчасну інформацію про виникнення надзвичайних ситуацій. З точки зору отримання уніфікованої та базової інформації, найбільш перспективним та ефективним є спостереження за природними територіями з космосу. Картографічне моделювання та геоінформаційні інструменти дозволяють не лише відображати вже відомі просторові закономірності, але й проводити аналіз, виявляти та візуалізувати взаємозв'язки між джерелами забруднення та якістю ґрунтів і вод, визначати джерела забруднення, здійснювати поділ територій за факторами їх забруднення, в тому числі в умовах недостатньої кількості даних [17].

Методи досліджень. Супутникові зображення широко використовуються для активного виявлення пожеж через їх глобальне покриття. Проте точне виявлення початку локалізації активної пожежі під час її картографування на супутникових зображеннях все ще є складним завданням для науковців/дослідників, які в основному використовують традиційні методи. У світі найбільш ефективним є моніторинг температурних явищ [18] на основі даних про місцезнаходження пожеж, отриманих за допомогою сервісу FIRMS (Fire Information for Resource Management System), розробленого в Університеті Меріленда і підтримуваного Національним управлінням з авіонавтики і дослідження космічного простору США (NASA). Ця система (<https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/>) надає дані про пожежі, виявлені супутниковими датчиками MODIS та VIIRS за поточну добу або за останні 24 години, на вибір користувача, для будь-якої частини світу. Вищезазначені системи зазвичай використовують інформацію з космічних апаратів: Sentinel-2 (MSI), NOAA (AVHRR), TERRA/AQUA (MODIS), SUOMI NPP(VIIRS), Landsat (TIR) [19–20]. Супутники проходять над кожною точкою земної поверхні двічі на день, і їхні інфрачервоні датчики можуть виявити джерела тепла на площі приблизно 400 на 400 метрів. Дані можна отримати в різних форматах, включаючи формат KML, який є найпростішим для більшості користувачів. Оперативні та архівні дані з 2000 року представлені на сайті і доступні для завантаження в різних форматах, їх також можна отримати через електронну пошту [19]. Дані багатоспектрального приладу Sentinel-2 (MSI)

демонструють великий потенціал розширеного просторового і часового покриття для моніторингу горіння біомаси, що може доповнити інші грубі продукти активного виявлення пожеж. Таким чином, супутниковий моніторинг території ЧБЗ здійснювався з використанням оптичних даних дистанційного зондування Землі високої та надвисокої просторової розрізненості – Sentinel-2A (10 м), SkySat (0,5 м), WorldView 01-03 (0,5 м), радіолокаційних даних ДЗЗ – Sentinel-1A, Capella, CSM, RCM1, ICEYE.

Методи детектування пожеж базуються на використанні аномальних теплових характеристик поверхні, які визначено рівнянням (1). Тому, методи детектування за даними ДЗЗ мають базуватися на аналізі температур яскравості в окремих спектральних каналах. Температура поверхні, відповідно до калібрувальних умов більшості супутникових сенсорів, визначається з виразу [21]:

$$T = \frac{hc}{k\lambda} \cdot \frac{1}{\ln(2hc^2\lambda^{-5}L^{-1}+1)c_1}, \quad (1)$$

де h – постійна Планка (Дж·с);

c – швидкість світла у вакуумі (м/с);

k – газова константа Больцмана (Дж/К);

λ – довжина хвилі (м);

T – яскравісна температура (К);

L – яскравість ділянки ($\text{Вт}\cdot\text{м}^{-2}\text{стер}^{-1}\text{м}^{-1}$), яка визначається коефіцієнтом відбиття r_λ .

Важливим показником для обробки даних ДЗЗ є температура насичення, що є максимально можливою температурою, яку можна практично зафіксувати на певній довжині хвилі. Не менш важливим чинником є температура яскравості, яка відповідає умовам горіння і може бути зафіксована в окремих спектральних каналах.

Для обробки даних ДЗЗ використовують наступні методи визначення показників температурних явищ з метою визначення осередків пожеж [21, 22]:

1) Кауфмана (1991 рік):

$$T_3 > 316, T_3 - T_4 > 10, T_4 > 250, \quad (2)$$

де T_3, T_4, T_5 – яскравісна температура в 3-, 4- і 5-му каналах апаратури AVHRR відповідно;

2) Франса (1993 рік):

$$T_3 > 320, T_3 - T_4 > 15,0 < (T_3 - T_4) < 5, A_1 > 9\%, \quad (3)$$

де A_1 – значення альbedo в 1-му каналі;

3) Кеннеді (1994 рік):

$$T_3 > 320, T_3 - T_4 > 10, A_2 < 16\%, \quad (4)$$

де A_2 – значення альbedo в 2-му каналі.

Алгоритм виявлення пожежі базується на значній різниці температур між поверхнею землі (зазвичай не вище 10–25°C) і джерелом пожежі (300–900°C) [22].

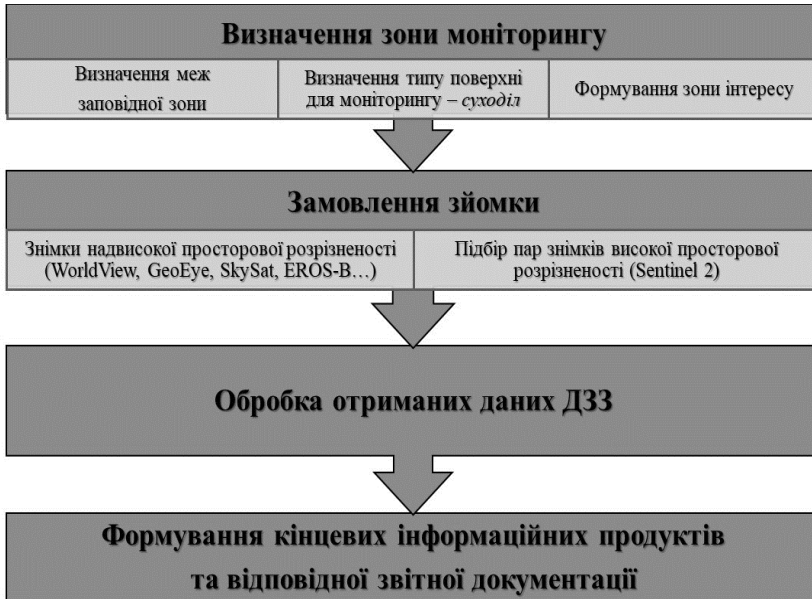


Рис. 3. Схема методології дослідження

Таким чином, у дослідженні щодо виявлення порушень стану екосистеми ЧБЗ внаслідок військових дій було залучено методи космічного моніторингу за методологією, що представлена на рисунку 3. Авторами було проведено моніторинг стану підстильної поверхні та виявлено зони порушення поверхневого шару ґрунту внаслідок військових дій на території заповідних зон за наступною методологією:

1. Визначити зону моніторингу:
 - визначення меж заповідної зони таких природоохоронних об'єктів, як ЧБЗ та НПП «Білобережжя Святослава»;
 - визначення типу поверхні для моніторингу – суходіл;
 - формування зони інтересу.
2. Замовлення зйомки:
 - надвисокої просторової розрізненості (WorldView, GeoEye, SkySat, EROS-B...);
 - підбір пар знімків високої просторової розрізненості (Sentinel-2).
3. Оброблення даних ДЗЗ.
4. Формування кінцевих інформаційних продуктів та відповідної звітної документації.

Використана методологія надає змогу аналізувати природоохоронні території, які постраждали від військових дій. Вона забезпечить можливість отримання даних ДЗЗ із низькою та середньою просторовою дисперсією з певними температурними аномаліями та негайної їх обробки. Отримані інформаційні результати надаються користувачам в зручних форматах та забезпечують можливість отримання детальних даних ДЗЗ. За їх допомогою

можна фіксувати чи ідентифікувати зміни у лісових насадженнях, пов'язані з пожежами, виявити ділянки порушення поверхні ґрунту внаслідок бойових дій та створити тематичні карти.

Результати та їх обговорення

Для дослідження температурної активності на території України за описаною вище методикою авторами були використані дані FIRMS за період з лютого 2022 року по лютий 2023 року. Супутниковий моніторинг здійснювався з використанням оптичних даних ДЗЗ високої та надвисокої просторової розрізненості – Sentinel-2A (10 м), SkySat (0,5 м), WorldView 01-03 (0,5 м), радіолокаційних даних ДЗЗ – Sentinel-1A, Capella, CSM, RCM1, ICEYE. За результатами проведеної роботи було сформовано 2 тематичних карти та 38 ситуаційних карт. Наявність такої кількості ситуаційних карт надає можливість проводити якісний моніторинг та визначити стан зазначених територій, при цьому довести факти порушень екосистеми ЧЗБ внаслідок військових дій.

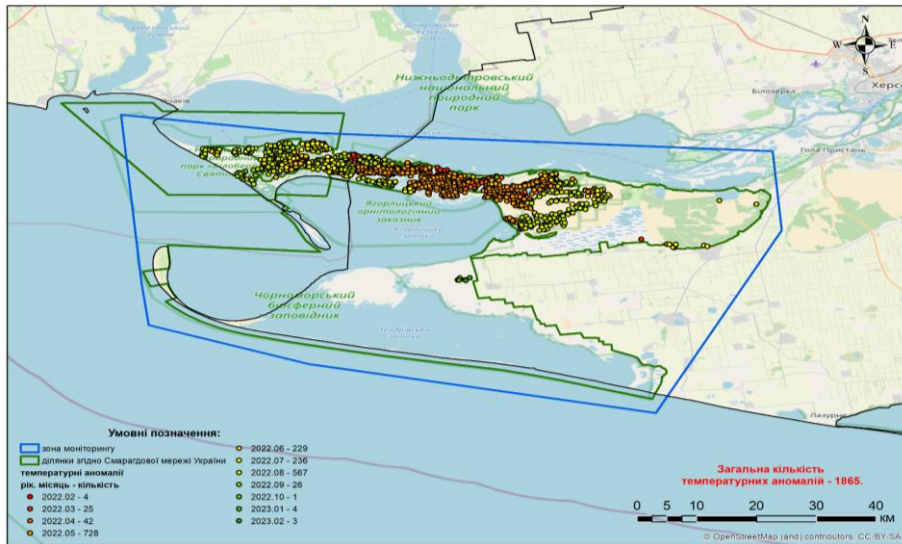


Рис. 4. Тематична карта температурних аномалій на території зони моніторингу в Херсонській та Миколаївській областях у період з 02.2022 по 02.2023

На рисунку 4 представлено розташування виявлених температурних аномалій на території дослідження, а саме природоохоронних територіях та акваторії Чорноморського біосферного заповідника та Національного природного парку «Білобережжя Святослава» у Херсонській та Миколаївській областях. Визначено місця виникнення пожеж, зокрема в межах заповідної зони на території Кінбурнського півострова, центральна частина якої була у вогні перші місяці повномасштабного вторгнення. У травні 2022 року було виявлено наймасштабніші пожежі та найбільша їх кількість, а саме – 728 теплових аномалій. Протягом літа та осені 2022 року територіальний розподіл температурних аномалій був рівномірним по всій території дослідження.

За даними системи моніторингу температурних аномалій з використанням даних ДЗЗ на території України в зоні моніторингу (рис. 4) за період з лютого 2022 року по лютий 2023 року всього було зафіксовано 1865 температурних аномалій і визначено їх кількості відповідно по місяцях. Діаграма виявлених ймовірних пожеж (рис. 5) показує розподіл теплових аномалій за місяцями з лютого 2022 року по лютий 2023 року, максимальна кількість яких була зафіксована у період з травня по серпень 2022 року. Так, у травні 2022 року зафіксовано 728 теплових аномалій, у червні – 229, у липні – 236 та у серпні відповідно 567 теплових аномалій. Це свідчить про активні бойові дії на території дослідження саме в період з травня по серпень 2022 року. Літній період сприяв масштабному поширенню пожеж, заблокований доступ до осередків вогню та неможливість вчасно зупинити поширення пожежі відповідними службами катастрофічно вплинули на стан екосистеми досліджуваної території. В результаті втрачено осередки рідкісних екосистем, під загрозою знищення знаходиться велика кількість рідкісних видів рослин і тварин, що населяють заповідник.



Рис. 5. Діаграма теплових аномалій в зоні моніторингу за даними FIRMS з лютого 2022 року по лютий 2023 року

Всі виявлені теплові аномалії проаналізовано та встановлено їхні координати. Отримано KML-файл активних пожеж, знайдено та завантажено супутникові знімки (Sentinel-2, WorldView 03 та Landsat 9) на територію за встановленими координатами теплових аномалій, що зроблені у визначені дати. Наступним кроком було опрацювання отриманих космічних зображень.

Так, для визначення динаміки поширення наймасштабнішої пожежі у травні 2022 року на території Чорноморського біосферного заповідника було проаналізовано космічні знімки Landsat 9 за 5.05.2022, Sentinel-2 за 9.05.2022, Sentinel-2 за 12.08.2022, Sentinel-2 за 23.06.2023, зображення яких представлено на рисунку 6. В результаті обробки зазначених космічних знімків проведено оцінку постраждалих територій Солоозерної ділянки Чорноморського біосферного заповідника. Внаслідок пожежі, яка сталася 5-9 травня 2022 року, на ділянці «Солоозерний» Чорноморського біосферного

заповідника згоріло 12 км² рідкісної степової рослинності. Серед вигорілої рослинності дуб звичайний, береза дніпровська ендемічна, груша звичайна, зарості степових чагарників. Загалом у транскордонній зоні заказника втрачено близько 35 км² лісу.

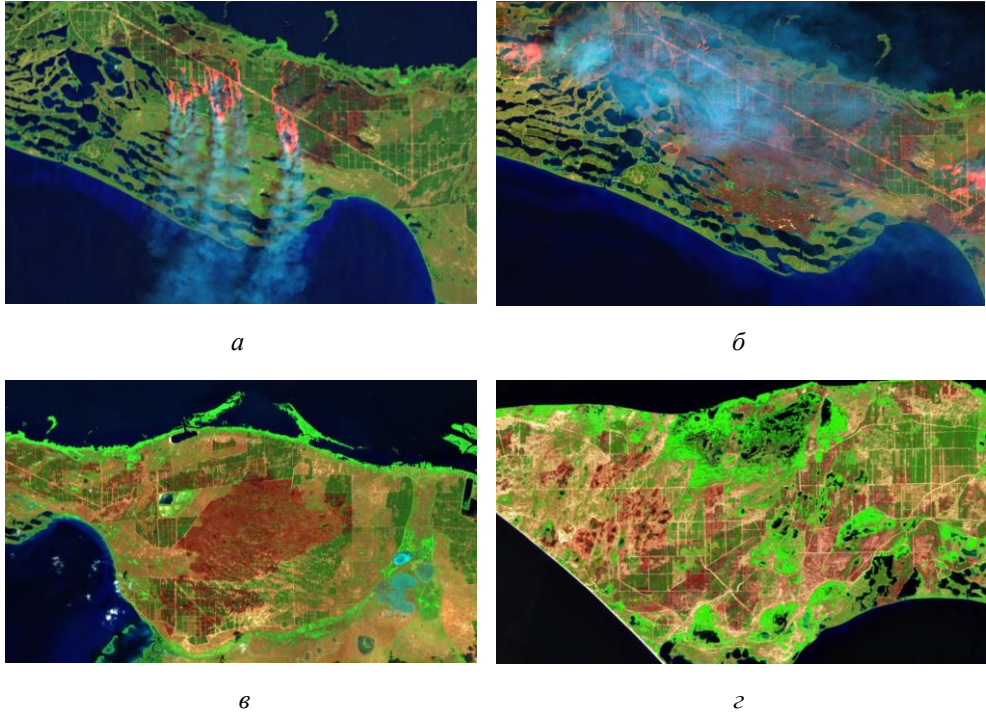


Рис. 6. Приклади поширення пожежі на території Чорноморського біосферного заповідника, де свіжовигоріла степова рослинність має коричневий колір, на фрагментах космічних знімків: *а* – Landsat 9 за 5.05.2022; *б* – K3 Sentinel-2 за 9.05.2022; *в* – Sentinel-2 за 12.08.2022; *г* – Sentinel-2 за 23.06.2023

Окрім виявлення теплових аномалій на супутникових знімках, що свідчить про численні пожежі, авторами було проаналізовано космічні зображення для виявлення присутності ворожої військової техніки, будівництва різноманітних фортифікаційних споруд (траншей, окопів, укриття для техніки), наявності вогневих позицій, знаходження і пересування автомобільних та інших габаритних транспортних засобів, а також надводних та затоплених плавзасобів для встановлення доказів впливу військових дій на природно-заповідну територію ЧБЗ.

Так, було проаналізовано дані супутникової зйомки з космічного апарату WorldView 03 станом на 14:41 год. (за київським часом) 3 червня 2022 року на ділянку території Кінбурнського півострова (рис. 7). В зоні зйомки ідентифіковано більше 2100 га знищеної поверхні природно-заповідної зони внаслідок будівництва різноманітних фортифікаційних споруд (траншей, окопів, укриття для техніки), вогневих позицій, вирв, зруйнованих будівель та згарищ. В результаті обробки даних дистанційного зондування Землі були виявлені факти присутності військової (499 од.) та автомобільної (45 од.) техніки та численні ознаки її пересування по пересіченій місцевості.

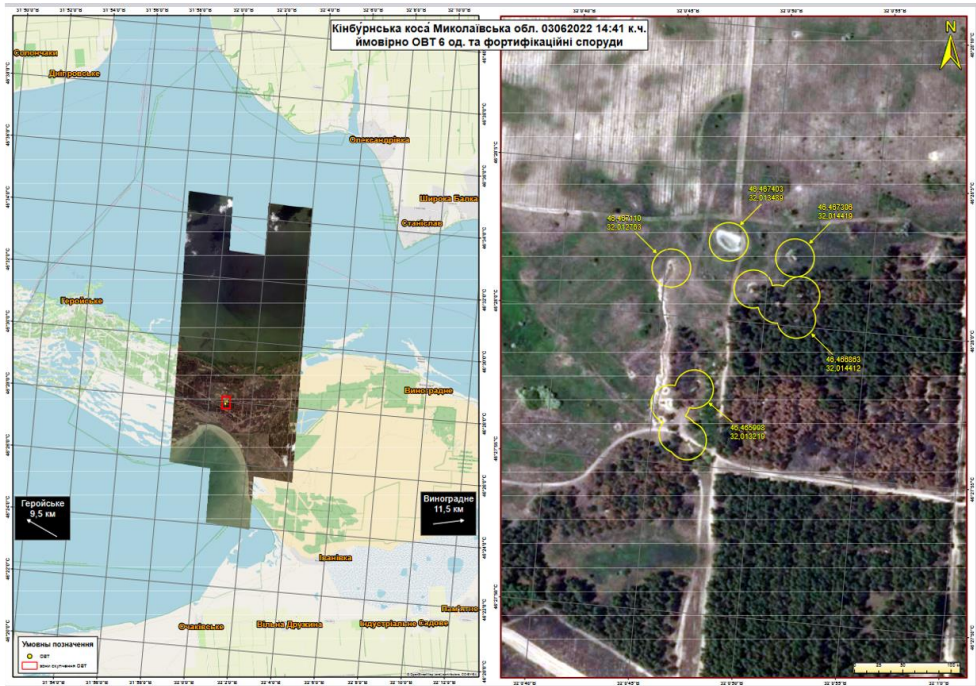


Рис. 7. Виявлення фортифікаційних споруд і військової техніки на території Кінбурнського півострова. Супутникові знімки WorldView 03, станом на 14:41 год. (за київським часом) 3 червня 2022 року

Для визначення динаміки військового впливу та виявлення змін на досліджуваній території було проаналізовано космічні знімки, зроблені у березні 2023 року. За даними супутникової зйомки з космічного апарату WorldView 03 станом на 10:58 (за київським часом) 13.03.2023 в зоні зйомки було ідентифіковано 22,2 км траншей, 21 км² згарищ, 159 вирв від снарядів загальною площею 6 406 м² та 60 од. військових транспортних засобів. Загалом, за наявними даними супутникової зйомки поблизу території суходолу Чорноморського біосферного заповідника було виявлено розташування 1751 од. різноманітних військових об'єктів, з них: зразків ОіВТ – 499 од., фортифікаційних споруд обладнання місцевості – 1189 од., засобів автомобільної та габаритної техніки – 45 од., вогневих позицій ОіВТ і, зокрема, РСЗВ – 11 од.

Розташування значної кількості окупаційної військової техніки та особового складу військ у природно-заповідних зонах веде до призупинення гніздування рідкісних видів птахів, призводить до порушення місць їх оселення, знищення причорноморських ландшафтів і, як наслідок, кормової бази для рідкісних та червонокнижних видів тварин, комах, паукоподібних тощо.

Окупаційними силами російської федерації близько 2:50 ночі (за київським часом) 6 червня 2023 року було здійснений черговий акт екоциду, а саме знищення греблі Каховської гідроелектростанції [15]. В зоні підтоплення опинилося м. Гола Пристань, де знаходиться адміністрація ЧБЗ. Площа з підвищеним рівнем води в межах Кінбурнської коси на 9 травня становила близько 23 км² (рис. 8), зокрема техногенного впливу зазнала природоохоронна ділянка ЧБЗ «Волжин ліс».

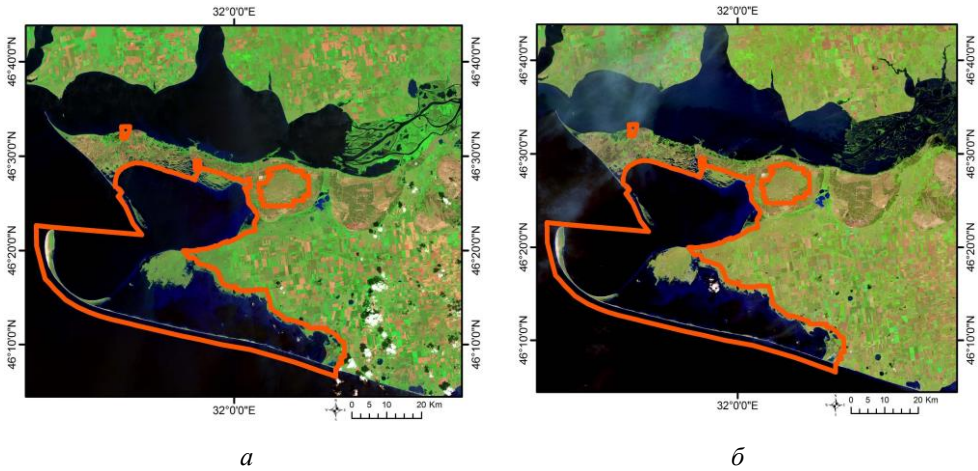


Рис. 8. Вигляд Чорноморського біосферного заповідника на космічних знімках Landsat-8-9 до, за 01.06.2023 (а), та під час, за 09.06.2023 (б), спуску Каховського водосховища

Підрив Каховської греблі матиме негативні наслідки і для Чорного моря. В море потрапляє велика кількість прісної води, забрудненої паливно-мастильними матеріалами, добривами, стічними водами із затоплених населених пунктів та полів. Додатково джерелом вторинного забруднення можуть стати і донні відклади Каховського водосховища, де десятиліттями накопичувалися викиди промислових підприємств [22]. Все це негативно впливатиме на всі живі організми в Чорноморському регіоні, змінюючи екосистеми і порушуючи харчові ланцюги. Нижче за течією знаходяться території і акваторії, що охороняються на національному рівні та є територіями міжнародного значення: Дніпровсько-Бузький лиман, Кінбурнська коса, національні природні парки «Білобережжя Святослава», «Олешківські піски» та інші.

На основі отриманих у статті результатів авторами доведено ефективність застосування методів дистанційного зондування Землі для проведення моніторингових досліджень з виявлення ділянок порушення поверхневого шару ґрунту внаслідок військових дій. Подібні дослідження вказують на необхідність збільшити періодичність дослідження зазначених територій. Постійний моніторинг буде сприяти якісному аналізу впливу військових дій та доводить факти присутності ворожої військової техніки, будівництва різноманітних фортифікаційних споруд, наявності вогневих позицій, знаходження і пересування автомобільних та інших габаритних транспортних засобів. У представленій публікації особливу увагу приділено дослідженню природно-заповідних комплексів з урахуванням цінності заповідної території. Авторами було досліджено територію одного з постраждалих заповідних регіонів України. А саме, досліджено території та акваторії Чорноморського біосферного заповідника та Національного природного парку «Білобережжя Святослава» у Херсонській та Миколаївській областях.

Висновки

Вплив війни, яка триває в Україні, на цінні природоохоронні об'єкти, такі як Чорноморський біосферний заповідник, викликає серйозні занепокоєння щодо можливості збереження природи та біологічного різноманіття. За результатами супутникового моніторингу заповідних територій Чорноморського біосферного заповідника та національного природного парку «Білобережжя Святослава» у Херсонській та Миколаївській областях, у період з лютого 2022 року по лютий 2023 року зафіксовано 1865 температурних аномалій, максимальна кількість яких зафіксована у травні, влітку та на початку осені 2022 року. Загалом в зоні моніторингу за наявними супутниковими знімками встановлено місцезнаходження 1751 одиниці різноманітних військових об'єктів, у тому числі: зразків озброєння та військової техніки – 499 одиниць, фортифікацій місцевої техніки – 1189 одиниць, транспортної та великогабаритної техніки – 45 одиниць, вогневих позицій озброєння та військової техніки і, зокрема, РСЗВ – 11 одиниць. Доведено, що розв'язана росією війна завдає великої шкоди природоохоронним територіям України. Дослідження підтверджує необхідність вжиття невідкладних заходів для захисту Чорноморського біосферного заповідника від військових дій. Важливими є моніторинг стану природних територій та біорізноманіття, встановлення заходів контролю за забрудненням та реконструкція пошкоджених екосистем. Оцінки супутникових спостережень свідчать про те, що ситуація з цих питань змінюється на гірше. Оскільки в Україні триває війна, проведення космічного моніторингу для виявлення порушень стану екосистеми ЧБЗ внаслідок військових дій є надзвичайно актуальним та вкрай необхідним. Надважливо оцінювати шкоду, яку завдала і продовжує завдавати російська армія внаслідок повномасштабної війни на території України. Представлені результати дослідження сприяють ефективному плануванню відповідних заходів для оцінки змін у навколишньому середовищі та прийняття рішень щодо його захисту та відновлення. В майбутньому ці дані будуть необхідні для рекреаційної та пов'язаної з нею додаткової діяльності зі збереження довкілля.

Acknowledgments. The authors S. Zahorodnia, I. Radchuk express their gratitude to the Department of Geography of the University of Cambridge for their support in continuing research with the aim of improving academic qualifications.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Stephens, George, and Michael Matson. "Monitoring the Persian Gulf War with NOAA AVHRR Data." *International Journal of Remote Sensing* 14.7 (1993): 1423-429. DOI: 10.1080/01431169308953976
2. Pereira, Paulo, Igor Bogunovic, Wenwu Zhao, and Damia Barcelo. "Short-term Effect of Wildfires and Prescribed Fires on Ecosystem Services." *Current Opinion in Environmental Science & Health* 22 (2021): 100266. DOI: 10.1016/j.coesh.2021.100266
3. Hanson, Thor "Biodiversity Conservation and Armed Conflict: A Warfare Ecology Perspective." *Annals of the New York Academy of Sciences* 1429.1 (2018): 50-65. DOI: 10.1111/nyas.13689

4. Дайджест ключових наслідків російської агресії для українського довкілля 20 травня 2022 р. Офіційний портал Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України 2022 р. <https://mepr.gov.ua/news/39218.html>
5. Шкода довкіллю від війни. <https://mepr.gov.ua/topics/novyny/zbytky-dovkillyu-vid-vijny/> [дата звернення 10.06.23].
6. Війна між Росією та Україною – екологічна катастрофа. <https://www.iucn.org/news/commission-environmental-economic-and-social-policy/202203/war-between-russia-and-ukraine-environmental-disaster> [дата звернення 04.05.23].
7. Rawtani, Deepak, Gunjan Gupta, Nitasha Khatri, Piyush K. Rao, and Chaudhery Mustansar Hussain. "Environmental Damages Due to War in Ukraine: A Perspective." *The Science of the Total Environment* 850 (2022): 157932. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157932>
8. Yelistratova, L.O., O.A. Apostolov, A.Ya. Khodorovskiy, A.V. Khyzhniak, O.V. Tomchenko, and V.I. Lialko. "Use of satellite information for evaluation of socio-economic consequences of the war in Ukraine." *Ukrainian Geographical Journal* 2022.2 (2022): 11-18. DOI: 10.15407/ugz2022.02.011
9. Trofymchuk, Oleksandr, Vyacheslav Vishnyakov, Natalia Sheviakina, Viktoriia Klymenko, and Olha Tomchenko. "Detection of thermal anomalies as a result of military actions in Ukraine by remote sensing methods." *International Multidisciplinary Scientific GeoConference : SGEM 22.2* (2022): 303-13. DOI: 10.5593/sgem2022/2.1/s10.35
10. Belenok, Vadym, Liliia Hebryn-Baidy, Nataliia Bielousova, Valeriy Gladilin, Sergiy Kryachok, Andrii Tereshchenko, Sofiia Alpert, and Sergii Bodnar. "Machine Learning Based Combinatorial Analysis for Land Use and Land Cover Assessment in Kyiv City (Ukraine)." *Journal of Applied Remote Sensing*, 17.1 (2023): 014506. DOI: 10.1117/1.JRS.17.014506
11. Kaplan, Gordana, Tatjana Rashid, Mateo Gasparovic, Andrea Pietrelli, and Vincenzo Ferrara. "Monitoring War-generated Environmental Security Using Remote Sensing: A Review." *Land Degradation & Development* 33.10 (2022): 1513-526. DOI: 10.1002/ldr.4249
12. Serhii, A. Shevchuk, Viktor I. Vyshnevskiy, and Olena P. Bilous. "The Use of Remote Sensing Data for Investigation of Environmental Consequences of Russia-Ukraine War." *Journal of Landscape Ecology (Berlin, Germany)* 15.3 (2022): 36-53. DOI:10.21203/rs.3.rs-1770802/v1
13. Чорноморський біосферний резерват. <https://wownature.in.ua/oberihaymo/biosferni-rezervaty-v-ukraini/chornomorskuu-biosfernyu-rezervat/> [дата звернення 04.05.23].
14. Чорноморський біосферний заповідник. Перлина Північного Причорномор'я: науково-популярне видання. – Херсон: Наддніпряночка, 2013. 148 с.
15. Підriv Каховської ГЕС. https://uk.wikipedia.org/wiki/Підriv_Каховської_ГЕС#cite_note-24 [дата звернення 10.06.23].
16. <https://wownature.in.ua/u-berezni-vykraly-odnoho-pratsivnyka-mynuloho-tyzhnia-shchednoho-iak-pratsiuie-natsionalnyu-ptyrodnyu-park-biloberezhzhia-sviatoslava-pid-chas-viyny/> [дата звернення 04.06.23].
17. Trofymchuk O., Zahorodnya S., Sheviakina N., Radchuk I., Tomchenko O. "Remote Sensing Monitoring of Biotopes Distribution within Nature Reserve Area". *Journal of Environmental Research, Engineering and Management*. Vol. 76. No. 3. p. 109-120, 2020. DOI: 10.5755/j01.ere.m.76.3.25204
18. Belenok, Vadim, Tomasz Noszczyk, Liliia Hebryn-Baidy, and Sergiy Kryachok. "Investigating Anthropogenically Transformed Landscapes with Remote Sensing." *Remote Sensing Applications* 24 (2021): 100635. DOI: 10.1016/j.rsase.2021.100635
19. Scorched Earth: Using NASA Fire Data to Monitor War Zones 2022. <https://www.bellingcat.com/resources/2022/10/04/scorched-earth-using-nasa-fire-data-to-monitor-war-zones/> [accessed 04.06.23].
20. Overview. ESA Sentinel Online. <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-%20msi/overview> [дата звернення 04.06.23].

21. Kostyuchenko Yu.V., Yushchenko M.V., Kopachevskiy I.M., Levynsky S. A procedure for integrated assessment of landscape fire risk using remote sensing data. *Space science and technology*, 17(6), 30–44, 2011. DOI: 10.15407/knit2011.06.030
22. Justice, C. O., L. Giglio, S. Korontzi, J. Owens, J. T. Morisette, D. Roy, J. Descloitres, S. Alleaume, F. Petitcolin, and Y. Kaufman. "The MODIS Fire Products". *Remote Sensing of Environment* 83.1-2 (2002): 244-62. DOI: 10.1016/S0034-4257(02)00076-7
23. <https://ecoaction.org.ua/vplyv-viiny-na-moria.html> [дата звернення 10.06.23].

Стаття надійшла до редакції 16.05.2023 і прийнята до друку після рецензування 01.09.2023

REFERENCES

1. Stephens, G., & Matson M. (1993). Monitoring the Persian Gulf War with NOAA AVHRR Data. *International Journal of Remote Sensing*, 14.7, 1423-429. <https://doi.org/10.1080/01431169308953976>
2. Pereira, P., Bogunovic, I., Zhao, W., & Barcelo, D. (2021). Short-term Effect of Wildfires and Prescribed Fires on Ecosystem Services. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 22, 100266. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2021.100266>
3. Hanson, T. (2018). Biodiversity Conservation and Armed Conflict: A Warfare Ecology Perspective. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1429.1, 50-65. <https://doi.org/10.1111/nyas.13689>
4. Digest of the key consequences of Russian aggression for the Ukrainian environment. (May 20, 2022). Official portal of the Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine 2022. Retrieved from: <https://mepr.gov.ua/news/39218.html>
5. Damage to the environment from war. Retrieved June, 10, 2023 from: <https://mepr.gov.ua/topics/novyny/zbytky-dovkillyu-vid-vijny/>
6. The war between Russia and Ukraine is an ecological disaster. Retrieved May, 04, 2023 from: <https://www.iucn.org/news/commission-environmental-economic-and-social-policy/202203/war-between-russia-and-ukraine-environmental-disaster>
7. Rawtani, Deepak, Gunjan Gupta, Nitasha Khatri, Piyush K. Rao, & Chaudhery Mustansar Hussain. (2022). Environmental Damages Due to War in Ukraine: A Perspective. *The Science of the Total Environment*, 850, 157932. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157932>
8. Yelistratova, L.O., Apostolov, O.A., Khodorovskiy, A.Ya., Khyzhniak, A.V., Tomchenko, O.V., & Lialko, V.I. (2022). Use of satellite information for evaluation of socio-economic consequences of the war in Ukraine. *Ukrainian Geographical Journal*, 2, 11-18. <https://doi.org/10.15407/ugz2022.02.011>
9. Trofymchuk, Oleksandr, Vyacheslav Vishnyakov, Natalia Sheviakina, Viktoriia Klymenko, and Olha Tomchenko. "Detection of thermal anomalies as a result of military actions in Ukraine by remote sensing methods." *International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM 22.2* (2022): 303-13. <https://doi.org/10.5593/sgem2022/2.1/s10.35>
10. Belenok, V., Hebryn-Baidy, L., Bielousova, N., Gladilin, V., Kryachok, S., Tereshchenko, A., Alpert, S., & Bodnar, S. (2023). Machine Learning Based Combinatorial Analysis for Land Use and Land Cover Assessment in Kyiv City (Ukraine). *Journal of Applied Remote Sensing*, 17.1, 014506. <https://doi.org/10.1117/1.JRS.17.014506>
11. Kaplan, G., Rashid, T., Gasparovic, M., Pietrelli, A., & Ferrara, V. (2022). Monitoring War-generated Environmental Security Using Remote Sensing: A Review. *Land Degradation & Development*, 33.10, 1513-526. <https://doi.org/10.1002/ldr.4249>
12. Shevchuk, S.A., Vyshnevskiy, V.I., & Bilous O.P. (2022). The Use of Remote Sensing Data for Investigation of Environmental Consequences of Russia-Ukraine War. *Journal of Landscape Ecology (Berlin, Germany)*, 15.3, 36-53. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1770802/v1>

13. Black Sea Biosphere Reserve. Retrieved May, 04, 2023 from: <https://wownature.in.ua/oberihaymo/biosferni-rezervaty-v-ukraini/chornomorskyi-biosfernyi-rezervat/>
14. Black Sea Biosphere Reserve. Pearl of the Northern Black Sea: popular science publication. (2013). Kherson: Naddniproianochka.
15. Undermining Kakhovskaya HPP. Retrieved June, 10, 2023 from: https://uk.wikipedia.org/wiki/Підрив_Каховської_ГЕС#citenote-24
16. Retrieved May, 04, 2023 from: <https://wownature.in.ua/u-berezni-vykraly-odnoho-pratsivnyka-mynuloho-tyzhnia-shche-odnoho-iaak-pratsiuie-natsionalnyy-pryrodnyy-park-biloberezhzhia-sviatoslava-pid-chas-viyny/>
17. Trofymchuk, O., Zahorodnya, S., Sheviakina, N., Radchuk, I., & Tomchenko, O. (2020). Remote Sensing Monitoring of Biotopes Distribution within Nature Reserve Area. *Journal of Environmental Research, Engineering and Management*, 76 (3), 109-120. <https://doi.org/10.5755/j01.irem.76.3.25204>
18. Belenok, V., Noszczyk, T., Hebryn-Baidy, L., & Kryachok, S. (2021). Investigating Anthropogenically Transformed Landscapes with Remote Sensing. *Remote Sensing Applications*, 24, 100635. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100635>
19. Scorched Earth: Using NASA Fire Data to Monitor War Zones. (2022). Retrieved June, 4, 2023 from: <https://www.bellingcat.com/resources/2022/10/04/scorched-earth-using-nasa-fire-data-to-monitor-war-zones/>
20. Overview. ESA Sentinel Online. Retrieved June, 4, 2023 from: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-%20msi/overview>
21. Kostyuchenko, Yu.V., Yushchenko, M.V., Kopachevskyi, I.M., & Levynsky, S. (2011). A procedure for integrated assessment of landscape fire risk using remote sensing data. *Space science and technology*, 17(6), 30–44. <https://doi.org/10.15407/knit2011.06.030>
22. Justice, C.O., Giglio, L., Korontzi, S., Owens, J., Morisette, J. T., Roy, D., Descloitres, J., Alleaume, S., Petitcolin, F., & Kaufman, Y. (2002). The MODIS Fire Products. *Remote Sensing of Environment*, 83.1-2, 244-62. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00076-7](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00076-7)
23. Retrieved June, 10, 2023 from: <https://ecoaction.org.ua/vplyv-viyny-na-moria.html>

The article was received 16.05.2023 and was accepted after revision 01.09.2023

Трофимчук Олександр Миколайович

член-кореспондент Національної академії наук України, доктор технічних наук, професор, Директор Інституту телекомунікацій та глобального інформаційного простору НАН України

Адреса робоча: 03186 Україна, м. Київ, Чоколівський бульвар, 13

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3358-6274>

Загородня Сніжана Анатоліївна

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник Інституту телекомунікацій та глобального інформаційного простору НАН України, Академічний факультет географії Кембриджського університету, Кембридж, Великобританія

Адреса робоча: 03186 Україна, м. Київ, Чоколівський бульвар, 13

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4332-4211> **e-mail:** zagorodnya.s@gmail.com

Вишняков В'ячеслав Юрійович

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник за сумісництвом відділу досліджень навколишнього середовища Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України

Адреса робоча: 03186 Україна, м. Київ, Чоколівський бульвар, 13

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2057-0505> **e-mail:** wishnya_dzz@ukr.net

Клименко Вікторія Ігорівна

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, Учений секретар Інституту телекомунікацій та глобального інформаційного простору НАН України

Адреса робоча: 03186 Україна, м. Київ, Чоколівський бульвар, 13

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8911-5773>

Шевякіна Наталя Анатоліївна

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник відділу досліджень навколишнього середовища Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України

Адреса робоча: 03186 Україна, м. Київ, Чоколівський бульвар, 13

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5984-5580> **e-mail:** n.a.sheviakina@gmail.com

Радчук Ігор Валентинович

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник Інституту телекомунікацій та глобального інформаційного простору НАН України, Академічний факультет географії Кембриджського університету, Кембридж, Великобританія

Адреса робоча: 03186 Україна, м. Київ, Чоколівський бульвар, 13

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4999-1258> **e-mail:** igor.radchuk.v@gmail.com

Томченко Ольга Володимирівна

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник ДУ «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук НАН України»

Адреса робоча: вул. О. Гончара 55-б, 01601 Київ 54, Україна

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6975-9099> **e-mail:** olhatomch@gmail.com

Сластін Сергій Олександрович

начальник групи обробки супутникової інформації Інформаційно-аналітичного центру Національного центру управління та випробувань космічної техніки

Адреса робоча: вул. Князів Острозьких, 8, 02000 Київ, Україна

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4173-265X> **e-mail:** sergeyslazin@gmail.com