

С. М. Бабійчук,
Т. В. Васинюк

МОЖЛИВІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ СУПУТНИКОВИХ ЗНІМКІВ У ДОСЛІДНИЦЬКІЙ ДІЯЛЬНОСТІ УЧНІВ МАЛОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ В УМОВАХ РОСІЙСЬКО-УКРАЇНСЬКОЇ ВІЙНИ

Анотація. Технології супутникового моніторингу Землі як джерело об'єктивної інформації відіграють важливу роль в освітньому процесі. У Національному центрі «Мала академія наук України» із 2017 р. працює лабораторія «Геоінформаційні системи та дистанційне зондування Землі» (далі — «ГІС та ДЗЗ»), яка забезпечує науковий, методичний та процесуальний супровід діяльності 14-ти відповідних секцій у регіональній мережі відділень. Із 2022 р. секція «ГІС та ДЗЗ» функціонує на III етапі Всеукраїнського конкурсу-захисту науково-дослідницьких робіт учнів — членів Малої академії наук України. У статті розглянуто два підходи до використання даних супутникового моніторингу Землі в освіті: теоретичний (на прикладі актуальних ситуацій щодо моніторингу наслідків російсько-української війни) і практичний (розглянуто дослідження двох учасниць III етапу Всеукраїнського конкурсу-захисту науково-дослідницьких робіт учнів — членів Малої академії наук України в секції «ГІС та ДЗЗ» у 2023 р. і їх результату). Супутникові технології є важливим інструментом для оцінки деструктивного впливу воєнних дій на навколишнє середовище. Аналіз супутникових зображень дає змогу швидко отримувати об'єктивні дані про зміни в ландшафті, руйнування інфраструктурних об'єктів та забруднення атмосферного повітря без фізичної присутності дослідника на території активних бойових дій, а отже, без ризику для його життя і здоров'я. Такий вид моніторингу уможливорює отримання актуальної інформації, необхідної для прийняття рішень щодо надання невідкладної гуманітарної допомоги, первинної оцінки потреб у відновленні інфраструктури і природних ресурсів. Вивчення катастрофічних наслідків російсько-української війни із застосуванням інструментів супутникового моніторингу Землі дає змогу провести фахову експертизу завданої шкоди та збитків унаслідок збройної агресії російської федерації, здійснити оцінювання необхідних ресурсів та засобів для подальшого відновлення нашої країни. У статті розглянуто три важливі події, що трапилися від початку повномасштабного вторгнення, і продемонстровано, як можна з використанням супутникових знімків проводити моніторинг театру бойових дій: навколо Гостомельського військового аеродрому, на території розливу р. Дніпро внаслідок підриву Каховської ГЕС, у зоні забруднення атмосферного повітря через пожежі на Лисичанському нафтопереробному заводі після авіаційного обстрілу, здійсненого російськими військами.

Ключові слова: супутникові знімки, російсько-українська війна, дистанційне зондування Землі.

Постановка проблеми. Російсько-українська війна, яка триває на території нашої країни вже 10 років, завдала значної шкоди її екосистемі,

цивільній інфраструктурі, культурній спадщині і матиме далекосяжні трагічні наслідки для цивільного населення. Аналіз супутникових знімків дає змогу отримувати інформацію про стан довкілля, не перебуваючи безпосередньо

на небезпечних територіях, що робить його корисним доповненням до традиційних методів навчання в умовах воєнного стану. Результати таких досліджень мають значну цінність для науки, оскільки надають об'єктивні дані з тих ділянок, де неможливо провести збір даних польовим способом, наприклад, на прифронтових або тимчасово окупованих територіях, або таких, що перебувають у стадії розмінування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Оскільки воєнні дії відбуваються на тлі зростаючого глобального занепокоєння прискоренням кліматичної кризи [1] і загрожують не лише навколишньому середовищу України, а й до всьому Європи, світова наукова спільнота неабияк стурбована екологічною ситуацією в нашій країні і пильно стежить за перебігом подій у цьому безпрецедентному військовому конфлікті. Ситуаційні звіти та брифінги, що містять актуальні супутникові дані, надаються на регулярній основі від таких моніторингових організацій, як Управління ООН з координації гуманітарних питань (ОСНА), Всесвітня служба моніторингу навколишнього середовища ООН (UNOSAT), Координаційна група ООН із питань гуманітарної допомоги в Україні (UNCT), Проєкт аналізу конфліктних подій і ситуацій (ACAPS), Партнерство для дій у кризових ситуаціях (PAX) та Ініціатива REACH. Водночас інструменти супутникового спостереження активно використовуються для фіксування негативного впливу воєнних дій на довкілля і на теренах України, а саме у проєкті Національного екологічного центру України щодо оцінки екологічних наслідків війни для громад [2]. Супутникові знімки також стали звичним атрибутом, що супроводжує регулярні новинні випуски, численні публіцистичні та наукові статті тощо.

Метою статті є ознайомлення з практичними прикладами використання супутникових знімків у дослідницьких проєктах вихованців МАНУ і для дослідження наслідків російсько-української війни із застосуванням технологій дистанційного зондування Землі.

Виклад основного матеріалу. Супутниковий моніторинг Землі — технологія, яка надає можливість отримати інформацію про стан навколишнього середовища без фізичного контакту з об'єктом дослідження. У час повномасштабної фази російсько-української війни супутникові знімки — результат супутникового моніторингу

Землі — стали популярним у засобах масової інформації джерелом даних і частиною доказової бази про злочини російської федерації проти нашої країни.

У статті розглянуто декілька практичних прикладів аналізу супутникових даних, що перебувають у вільному доступі і безпечливо засвідчують нищівний вплив бойових дій на екосистему нашої країни.

Моніторинг театру бойових дій. На початку повномасштабної фази війни наступ російських загарбників на м. Київ розгортався переважно з північно-західного напрямку: з боку Чорнобильської зони відчуження та лісів природно-заповідного фонду, які межують із Білоруссю [3]. Намагаючись оточити українську столицю, російські війська мали намір взяти під контроль найближчі міста: Бучу, Ірпінь та Гостомель. Через високу інтенсивність бойових дій 2 березня 2022 р. Київська обласна державна адміністрація назвала територію цих населених пунктів найнебезпечнішими місцями Київської області [4]. Бої за контроль над стратегічно важливим аеропортом «Антонов» біля Гостомеля розпочалися 24 лютого 2022 р. Саме тоді було пошкоджено найбільший у світі літак АН-225 «Мрія», що перебував в ангарі летовища. 27 лютого командування українських сил повідомило, що російські сухопутні війська просунулися до Бучі, в такий спосіб розпочавши бій за місто.

Як свідчать супутникові знімки місії «Sentinel» Європейського космічного агентства за 26 лютого 2024 р. у комбінації SWIR (композит короткохвильового інфрачервоного діапазону), на території аеродрому можна спостерігати ділянки активного горіння, більшість з яких локалізовані безпосередньо біля злітних смуг аеродрому. Це є додатковим свідченням того, що саме летовище в Гостомелі мало стати опорним плацдармом для російського наступу на столицю.

Супутникові дані свідчать про те, що 26 лютого на території аеродрому відбувалися активні бойові дії. Враховуючи те, що роздільна здатність цих супутникових знімків становить 10 метрів на піксель, зони відкритого вогню займають значні площі на місцевості.

Моніторинг наслідків екоциду. Гребля Каховського водосховища, що утримувала близько 18 млрд кубометрів води, була підірвана російськими військовими уночі 6 червня 2023 р. Це спричинило масштабну повінь, яка завдала



Рис. 1. Супутникові знімки території Гостомельського аеропорту із Sentinel-2: а — 14 лютого 2022 р., у комбінації природних кольорів; б — 26 лютого 2022 р., у комбінації SWIR

величезної екологічної та економічної шкоди і, що найстрашніше, призвела до загибелі людей. Супутникові знімки дають нам унікальну можливість оцінити масштаб руйнувань, а також визначити зону затоплення.

Водний індекс (NDWI), або нормалізований диференційний індекс води, використовується для картографування водних об'єктів. Такі об'єкти відображаються блакитним і синім кольорами, рослинність — відтінками зеленого, а всі інші об'єкти (пісок, відкритий ґрунт, каміння тощо) мають біле забарвлення [5].

Як можемо бачити із супутникових знімків, підрив Каховської дамби спричинив затоплення значної частини лівобережжя Херсонщини, найбільше постраждали населені пункти: Нова Каховка, села Дніпряни, Кринки, Козачі Лагері, Корсунка. Оскільки територія є тимчасово окупованою, ми не маємо достовірних даних про кількість постраждалих унаслідок цього екоциду.

Забруднення атмосферного повітря. Одними з найважливіших об'єктів промислової інфраструктури, які російські військові намагалися знищити насамперед, стали нафтопереробні заводи. Розташовані в різних регіонах України, вони стали об'єктами навмисних і цілеспрямованих обстрілів від самого початку повномасштабного вторгнення [6]. Зумисне вогневе ураження промислового підприємства нафтопереробки становить найвищу категорію техногенної небезпеки, оскільки призводить до масштабних пожеж, які спричиняють додаткове забруднення повітря, ґрунту та води. З початком повномасштабної збройної агресії російської федерації в Україні від бомбардувань постраждало щонайменше 30 нафтобаз та складів паливно-мастильних матеріалів, без урахування АЗС. За даними інформаційного ресурсу «ЕкоЗагроза» Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України, за час війни згоріло 84 979 т нафтопродуктів, у результаті чого утворилося



Рис. 2. Супутникові знімки території греблі Каховського водосховища із Sentinel-2 (індекс NDWI): а — 5 червня 2023 р.; б — 18 червня 2023 р.

294 242 т викидів шкідливих речовин в атмосферу [7].

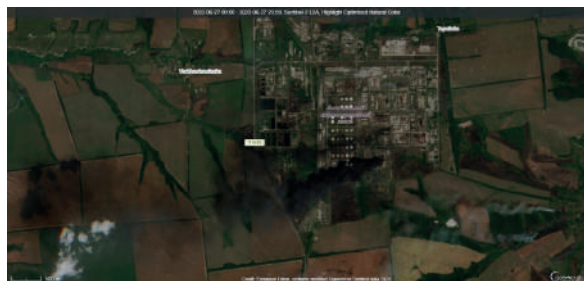
Розглянемо наслідки забруднення атмосферного повітря на прикладі пожежі на Лисичанському нафтопереробному заводі, яка відбулася наприкінці червня 2022 р. на території, що нині є тимчасово окупованою. Для цього ми використовуємо супутникові знімки в композиціях: природних кольорів (на знімку (рис. 3, а) чітко простежується чорний дим, що є характерною ознакою горіння паливно-мастильних речовин); комбінації SWIR, яка дає можливість ідентифікувати відкритий вогонь (рис. 3, б), а також на знімку чітко простежується дим від згорання паливно-мастильних речовин; автоматична класифікаційна сцена (рис. 3, в) дає можливість розпізнати об'єкти за еталонними ділянками, а також бачимо, що площу задимлення віднесено до класу «некласифіковані об'єкти», що підтверджує наявність диму саме від паливно-мастильних речовин; концентрація діоксиду азоту за даними супутника Sentinel 5P (рис. 3, г), де жовтим та помаранчевим кольором позначено ті території, на яких концентрація цієї шкідливої речовини перевищує норму.

Авіаційний обстріл Лисичанського нафтопереробного заводу був початковим етапом

наступу російських військ на Верхньокам'янку Луганської області. Цей населений пункт, що розташований приблизно за 10 км на південний захід від Лисичанська, був повністю окупований російськими військами на початку липня. Нині відстань від Верхньокам'янки до лінії фронту скоротилася до 2–3 км.

Приклади учнівських досліджень. На сьогодні у Малій академії наук України освітні програми з вивчення форм та методів використання супутникових даних у наукових дослідженнях активно застосовуються з метою модернізації освітнього процесу як для учнів старшого шкільного віку [8], так і для педагогічних працівників [9]. Та пріоритетним напрямом діяльності лабораторії «ГІС та ДЗЗ» залишається робота з юними науковцями: підвищення рівня знань слухачів, розвиток їхніх дослідницьких компетенцій, всебічна підтримка і науково-методичний супровід на конкурсах та олімпіадах [10].

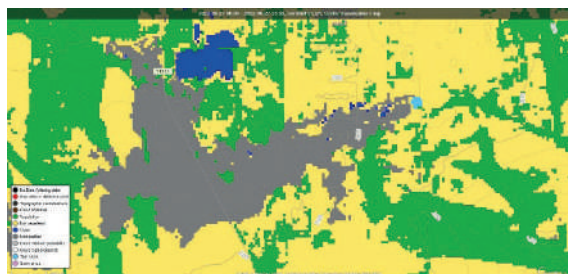
Розглянемо, до прикладу, роботу Семнюк Мілани Анатоліївни, вихованки секції «ГІС та ДЗЗ», з якою вона брала участь у III етапі Всеукраїнського конкурсу-захисту науково-дослідницьких робіт учнів — членів Малої академії наук України.



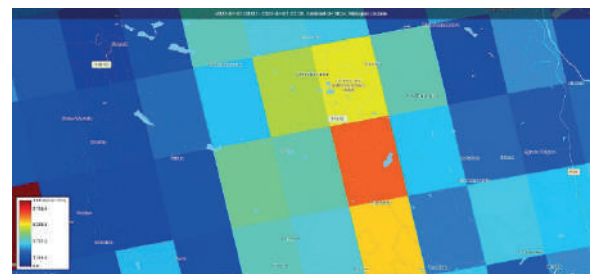
а



б



в



г

Рис. 3. Супутникові знімки із Sentinel-2 і Sentinel 5P на території Лисичанського нафтопереробного заводу: а — 27 червня 2023 р., у комбінації природних кольорів Sentinel-2; б — 27 червня 2023 р., у комбінації SWIR Sentinel-2; в — 27 червня 2023 р., автоматична класифікаційна сцена Sentinel-2; г — 1 липня 2022 р., концентрація діоксиду азоту за даними супутника Sentinel 5P

У 2023 р. Семенюк Мілана перемогла на I і II етапах конкурсу-захисту в секції «ГІС та ДЗЗ» у Волинському територіальному відділенні МАНУ і посіла I місце на III етапі в секції «ГІС та ДЗЗ» з роботою на тему «Порівняльна оцінка змін у землекористуванні прикордоння України та Польщі засобами ДЗЗ». Педагогічний керівник: Кошелюк Марія Василівна, учителька географії ліцею № 1 смт Ратне ім. В. Газіна Ратнівської селищної ради; науковий керівник: Федонюк Микола Ананійович, доцент Луцького національного технічного університету, керівник секції географії Комунальної установи «Волинська обласна Мала академія наук», кандидат географічних наук.

У роботі об'єктом дослідження стали земельні ресурси Ратнівської ТГ та Ленчинського повіту, предметом — особливості землекористування і тенденції структурних змін земельних ресурсів на досліджуваних територіях, закономірності впливу чинників, що їх визначають. Метою дослідження було виявити зміни в землекористуванні прикордоння України і Польщі з 1930 р. по 2020 р. за даними ДЗЗ, обґрунтувати

їх причини, тенденції, можливості застосування для потреб моніторингу. Завдання дослідження: визначити особливості ГІС та ДЗЗ-технологій, що зумовлюють ефективність їх використання у вивченні питань землекористування і територіального планування; проаналізувати теоретичні та методологічні засади застосування методів ДЗЗ для виявлення динаміки землекористування; розробити алгоритм використання даних ГІС та ДЗЗ для моніторингу стану земель досліджуваних територій; дослідити особливості зміни структури земельних ресурсів у розрізі типових ділянок та проаналізувати її наслідки.

Ученицею було досліджено зміни в розподілі земельних ресурсів на досліджуваних територіях у 1930-х рр. За допомогою сайту *igrek.amzp.pl*, на якому було зібрано польські топографічні карти за різні періоди, Мілана використала великомасштабні карти 1:100000, скріпила чотири квадрати (Малорита, Дивин, Кримне, Ратне) для створення карти території Ратнівської ТГ 1930-х рр., а також три квадрати (Łęczna, Rejowiec, Lublin) для створення

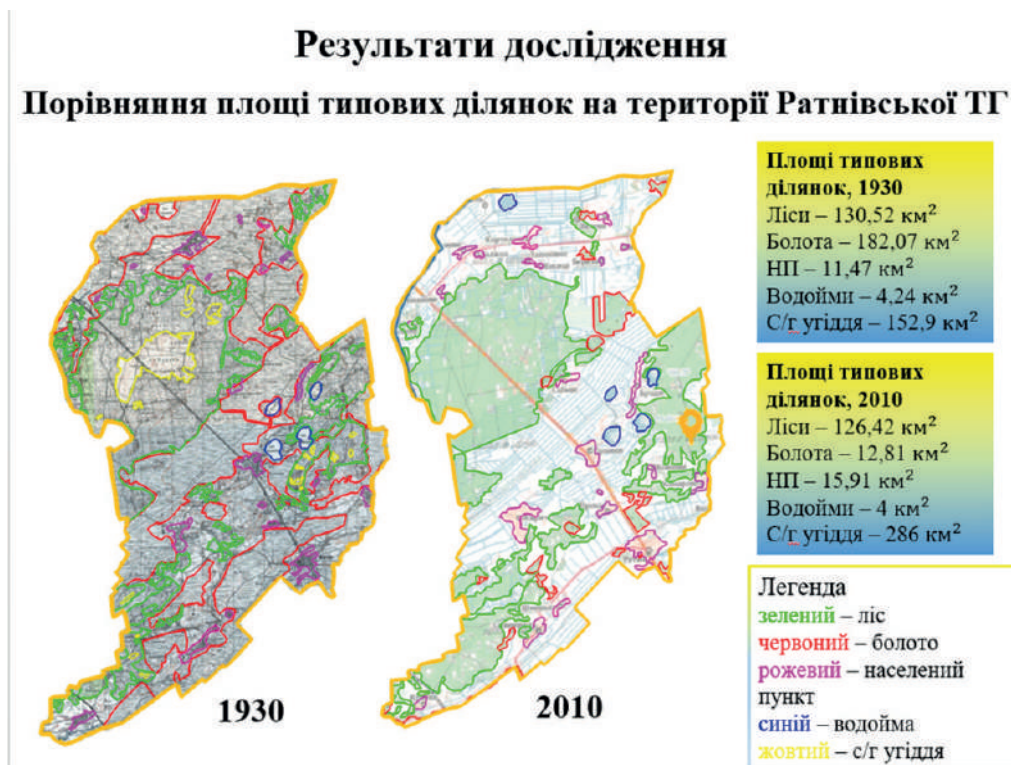


Рис. 4. Картографічне представлення класифікованих ландшафтів Ратнівської територіальної громади у 1930 і 2010 рр.

Авторка: Семенюк Мілана Анатоліївна

карти Ленчинського повіту 1930-х рр. Учениця створила контури досліджуваних територій у програмі «Google Earth Pro»; на сайті *igrek.amzr.pl* вона знайшла ті карти, що підходили за роками, умовними позначеннями та місцезнаходженням об'єкта дослідження (це карти аркушів Малорита 1933 1:100000, Дивин 1931 1:100000, Кримне 1933 1:100000, Ратне 1931 1:100000, Łęczna 1938 1:100000, Rejowiec 1938 1:100000, Lublin 1936 1:100000). Мілана схематично розкреслила порядок їх розміщення на папері й записала координати кожного квадрата. Для накладання цих карт у програмі «Google Earth Pro» їх було обрізано по контуру в онлайн-редакторі; після цього розпочато роботу з аналізу геоданих у цій програмі. Для початку юна дослідниця визначила й локалізувала потрібну область розташування там, де було накладено шари карт; усі додані карти відображала в «Мітках» ліворуч; для обчислення площі типових ділянок досліджуваних територій використала інструмент «Лінійка»; кожен об'єкт, виміряний за допомогою інструмента «Лінійка», зберігався ученицею як мітка; за допомогою математичного методу в програмі «Excel» нею було обчислено загальну площу кожної типової ділянки на досліджуваній території. У такий спосіб було обчислено площу с/г угідь, заболочених територій, водойм, лісів і населених пунктів прикордоння України та Польщі. Для обчислення території Ратнівщини було використано топографічні карти 1931 р. і 1933 р., а для території Ленчини — 1936 р. і 1938 р.

Мілана також порівняла зміни в землекористуванні на досліджуваних територіях у період із 2010 по 2020 рр. Для цього вона використала онлайн-сервіси з автоматичною класифікацією: «OSM Landuse Landcover», «Global Land Cover», «ArcGIS Online (Esri Land Cover)», програму «Google Earth Pro» та публічну кадастрову карту України.

Для кількісної оцінки земельних ресурсів на території Ленчинського повіту застосовано онлайн-сервіс «OSM Landuse Landcover». Зокрема, Ленчинський повіт було поділено на сім частин (центральна, північна, південна, північно-східна, південно-східна, північно-західна, південно-західна) і проведено дослідження окремо за кожною з них; учениця порахувала площу земельних угідь за відсотковим складом від загальної площі досліджуваної частини

для кожної із семи частин; за допомогою математичного методу в програмі «Excel» нею було обчислено загальну площу кожної типової ділянки на території всього повіту.

Оскільки детального розподілу земельних угідь на території України в сервісі «OSM Landuse Landcover» не відображено, то для кількісної оцінки землекористування на території Ратнівської ТГ було використано програму «Google Earth Pro» і знімки публічної кадастрової карти: створено рамки на знімку публічної кадастрової карти; накладено знімок у вигляді шару в цій самій програмі за допомогою стандартного алгоритму прив'язки за координатами; накладено контур Ратнівської ТГ на цей шар; для обчислення площі типових ділянок досліджуваних територій використано інструменти «Лінійка» і «Полігон»; за допомогою інструментів MS Excel обчислено загальну площу кожної типової ділянки на території всієї громади. Для порівняння змін на території Ратнівської громади із 2015 р. по 2019 р. Мілана використала онлайн-сервіс автоматичної класифікації «Global Land Cover»: у налаштуваннях сервісу обрала параметр Single class forest, прозорість шару, рік; зберегла зображення для кожного з років; за допомогою порівняльного методу провела оцінку змін структури земельних ресурсів за цей період.

Учениця також використала онлайн-сервіс автоматичної класифікації «ArcGIS Online (Esri Land Cover)»: у програмі «Google Earth Pro» зберегла контури Ратнівської ТГ і Ленчинського повіту у форматі kml; на сторінці <https://livingatlas.arcgis.com/landcover/> відкрила карту землекористування у MapViewer і знайшла потрібну територію; у сервісі «ArcGIS Online» додала шар «Sentinel-2 10m Land Use/Land Cover Change from 2018 to 2021»; додала власні контури досліджуваної території у форматі kml; зберегла отримані зображення і провела оцінку змін у землекористуванні за цей період за допомогою порівняльного методу. Школярка узагальнила і систематизувала всі дані, створила відповідні таблиці та діаграми.

Окрім того, що Семенюк Мілана Анатоліївна перемогла на Всеукраїнському етапі конкурсу-захисту науково-дослідницьких робіт учнів — членів Малої академії наук України у секції «ГІС та ДЗЗ», вона є призеркою і переможницею Всеукраїнського конкурсу екологічних проєктів

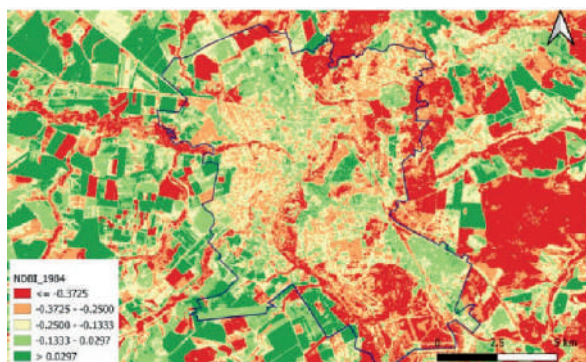
«Екопогляд», брала участь в учнівських олімпіадах з географії та математики, Всеукраїнському конкурсі екскурсиводів музеїв навчальних закладів «Край, в якому я живу», Міжнародному конкурсі наукових проектів екологічного спрямування «Genius Olympiad». Згідно з наказом Міністерства освіти і науки України № 1312 «Про призначення стипендій Президента України 2023 року переможцям Всеукраїнських учнівських олімпіад з навчальних предметів та переможцям Всеукраїнського конкурсу-захисту науково-дослідницьких робіт учнів-членів Малої академії наук України» від 26 жовтня 2023 р., Мілана удостоєна стипендії Президента України.

Розглянемо результати ще одного дослідження, яке проводила школярка із Сумщини Борисенко Олександра Валентинівна. У 2023 р. вона захищала дослідницьку роботу за темою «Динаміка зміни забудови міста Суми (за даними різночасових дистанційних знімків)». Педагогічні керівники: Вязова Тетяна Василівна, вчителька географії Лебединського закладу загальної середньої освіти I–III ступенів № 7 Лебединської міської ради Сумської області; Авраменко Віта Василівна, керівниця гуртка Комунального закладу Сумської обласної ради — обласного центру позашкільної освіти та роботи з талановитою молоддю.

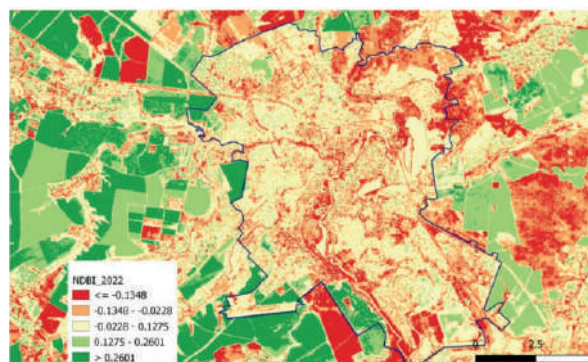
У роботі об'єктом дослідження стало м. Суми Сумської області, а предметом — забудова м. Суми і його приміської зони. Метою дослідження визначено вивчення особливостей забудови м. Суми і приміської зони з використанням

різночасових супутникових знімків та геоінформаційних систем.

Для дослідження урбанізаційних процесів міста Олександра використала ресурси: «Google Earth Pro (Google Планета Земля)», «OpenStreetMap (OSM)», «Google My Maps», «EO Browser», для аналізу світлового забруднення зони міста та прилеглих територій — сервіси «Light Pollution Map», «QGIS Desktop 3.26.3», дані Global Human Settlement Layer — European Union. У процесі виконання дослідження було проаналізовано низку космічних знімків Landsat 4–5 та Sentinel-2 L2A з фільтром хмарності 10 %. Найбільш репрезентативними виявилися: космічний знімок Landsat 4–5 за 5 червня 1984 р. у комбінації каналів B5-B4-B3 і супутниковий знімок Sentinel-2 за 6 травня 2022 р. Учениця провела комплексну оцінку міської забудови в період з 1984 р. по 2022 р. з використанням даних дистанційного зондування Землі та геоінформаційних технологій. Виокремила території найбільш інтенсивної багатоповерхової забудови і створила відповідні картосхеми. Визначила, що основні масиви забудови розташовані на лівому березі р. Псел і довкола о. Чеха. Так, у період 1985–2022 рр. площа забудови у м. Суми збільшилася на 3,65 км². У процесі наукового дослідження було проаналізовано низку індексів, що дало змогу оцінити динаміку й особливості забудови міста. Зокрема, визначено Normalized Difference Built-up Index для картографування міських земель; на основі скрипту City Highlights Script із використанням програмного забезпечення QGIS Desktop 3.26.3 було проаналізовано



а



б

Рис. 5. Супутникові знімки території м. Суми, аналіз у середовищі QGIS:
а — Normalized Difference Built-up Index (NDBI-індекс) Landsat, 5 червня 1984 р.;
б — Normalized Difference Built-up Index (NDBI-індекс) Sentinel-2, 6 травня 2022 р.

Авторка: Борисенко Олександра Валентинівна

землекористування дослідженої території, класифіковано селітебну зону, дахи будинків, зону вегетації та інші урбанізовані території.

У 2023 р. Борисенко Олександра посіла III місце на III етапі Всеукраїнського конкурсу-захисту науково-дослідницьких робіт учнів — членів Малої академії наук України у секції «ГІС та ДЗЗ», у 2022 і 2023 рр. — III місце на Всеукраїнському етапі конкурсу «Екопогляд» і вийшла до фіналу Всеукраїнського конкурсу «Save Спадок». Також у 2022 р. за результатами міжнародного фіналу «Genius Olympiad» вона виборола срібло в секції «Креативне письмо» за темою «Зникаюча перлина Лебединщини».

Висновки. У теоретичній частині статті продемонстровано приклади використання супутникових знімків як джерела даних про зміни стану навколишнього середовища під час повномасштабної фази російсько-української війни. Розглянуто конкретні приклади, зокрема моніторинг театру бойових дій навколо Гостомельського військового летовища 26 лютого 2022 р., розлив р. Дніпро в результаті підриву Каховської ГЕС 6 червня 2023 р. та наслідки авіаційного обстрілу Лисичанського нафтопереробного заводу, що обумовило початок наступу російських військ на Верхньокам'янку Луганської області. А також у практичній частині представлено два дослідження учасниць III етапу Всеукраїнського конкурсу-захисту науково-дослідницьких робіт учнів — членів Малої академії наук України в секції «ГІС та ДЗЗ» у 2023 р.

Отже, супутникові дані — це потужний і важливий інструментарій для підвищення ефективності освітнього процесу, що активно використовується у Малій академії наук України. Вони дають виняткову можливість оцінити актуальний стан екосистеми і розглянути його аспекти в ретроспективі або спрогнозувати майбутній розвиток. Саме так на сьогодні і здійснюється дослідження масштабів та реального об'єму завданої шкоди від збройної агресії росіян на території нашої країни. Такі дані становлять значну цінність для науковців, оскільки можуть стати підґрунтям для компенсацій і репарацій, які має відшкодувати агресор, а також змоделювати оптимальні шляхи подальшого природоорієнтованого відновлення екосистем до безпечного стану та їх збереження в майбутньому.

Список використаних джерел

1. Protection of the environment in relation to armed conflicts. UN General Assembly, International Law Commission. URL: https://legal.un.org/ilc/sessions/73/pdfs/english/poe_unep.pdf (дата звернення: 20.02.2024).
2. Оцінка екологічних наслідків війни для громад. URL: <https://necu.org.ua/proyekty/wedua/> (дата звернення: 21.02.2024).
3. Parkinson S., Cottrell L. Estimating the Military's Global Greenhouse Gas Emissions. *Scientists for Global Responsibility / The Conflict and Environment Observatory*. 2022. Vol. 5. 13 p. URL: <https://www.sgr.org.uk/publications/estimating-military-s-global-greenhouse-gas-emissions> (дата звернення: 20.02.2024).
4. Омельчук О., Садогурська С. Природа та війна: як військове вторгнення росії впливає на довкілля України. URL: <https://ecoaction.org.ua/pryrodata-vijna.html> (дата звернення: 20.02.2024).
5. Основи дистанційного зондування Землі: історія та практичне застосування : метод. посіб. / С. О. Довгий та ін. Київ : Інститут обдарованої дитини НАПН України, 2019. 316 с.
6. Shevchuk S. A., Vyshnevskiy V. I., Bilous O. P. The Use of Remote Sensing Data for Investigation of Environmental Consequences of Russia-Ukraine War. *Journal of Landscape Ecology*. 2022. Vol. 15. Pp. 36–53.
7. 100 днів війни: наслідки для українського довкілля. USAID, ГО «Діксі Груп», 2022. 23 с. URL: <https://dixigroup.org/wp-content/uploads/2022/06/100days.pdf> (дата звернення: 21.02.2024).
8. Hodam H., Rienow A., Jurgens C. Bringing Earth Observation to Schools with Digital Integrated Learning Environments. *Remote Sensing*. 2020. Vol. 12. 345. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs12030345>.
9. Dovgyi S. O., Babiichuk S. M., Tomchenko O. V. Experience of Using Planet Earth Observation Data in Retraining Courses for Educators in the Junior Academy of Sciences of Ukraine. *Information Technologies and Learning Tools*. 2023. Vol. 95. № 3. Pp. 197–214. DOI: <https://doi.org/10.33407/itlt.v95i3.5191>.
10. Бабійчук С. М. Геоінформаційні системи та дистанційне зондування Землі як засоби інформатизації дисциплін природничого циклу в Малій академії наук України. *Педагогічні науки: теорія, історія, інноваційні технології*. 2018. Вип. 75. Ч. 1. С. 3–11. URL: <https://pedscience.sspu.edu.ua/wp-content/uploads/2018/05/3.pdf> (дата звернення: 21.02.2024).

References

1. Protection of the environment in relation to armed conflicts. (2020). UN General Assembly, International Law Commission. Retrieved from https://legal.un.org/ilc/sessions/73/pdfs/english/poe_unep.pdf.
2. Otsinka ekologichnykh naslidkiv viiny dlia громад [Assessment of the environmental consequences of war for communities]. *necu.org.ua*. Retrieved from <https://necu.org.ua/proyekty/wedua/> [in Ukrainian].
3. Parkinson S., & Cottrell L. (2022). Estimating the Military's Global Greenhouse Gas Emissions. *Scientists for Global Responsibility / The Conflict and Environment Observatory*, 5. Retrieved from <https://www.sgr.org.uk/publications/estimating-military-global-greenhouse-gas-emissions>.
4. Omelchuk, O., & Sadohurska, S. Pryroda ta viina: yak viiskove vtorgnennia rosii vplyvaie na dovkillia Ukrainy [Nature and War: How the Russian Military Invasion Affects the Environment of Ukraine]. *ecoaction.org.ua*. Retrieved from <https://ecoaction.org.ua/pryroda-ta-vijna.html> [in Ukrainian].
5. Dovhyi, S. O., Lialko, V. I., Babiichuk, S. M., Kuchma, T. L., Tomchenko, O. V., & Yurkiv, L. Ya. (2019). *Osnovy dystanciinogo zonduvannia Zemli: istoriia ta praktychne zastosuvannia [Fundamental of remote sensing: history and practice]*. Kyiv : Instytut obdarovanoi dytyny NAPN Ukrainy [in Ukrainian].
6. 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*, 15, 36–53.
7. 100 dniv viiny: naslidky dlia ukrainskoho dovkillia [100 days of war: environmental consequences for Ukraine]. (2022). Retrieved from <https://dixigroup.org/wp-content/uploads/2022/06/100days.pdf> [in Ukrainian].
8. Hodam, H., Rienow, A., & Jurgens C. (2020). Bringing Earth Observation to Schools with Digital Integrated Learning Environments. *Remote Sensing*, 12, 345. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs12030345>.
9. Dovgyi, S. O., Babiichuk, S. M., & Tomchenko, O. V. (2023). Experience of using planet Earth observation data in retraining courses for educators in the Junior academy of sciences of Ukraine. *Information Technologies and Learning Tools*, 95 (3), 197–214. DOI: <https://doi.org/10.33407/itlt.v95i3.5191>.
10. Babiichuk, S. M. (2018). Geoinformaciini systemy ta dystantsiine zonduvannia Zemli yak zasoby informatyzatsii dystsyplin pryrodnychogo tsykladu v Malii akademii nauk Ukrainy [Geoinformation Systems and Remote Sensing as the Means for Informatization of the Natural Science Disciplines of the Junior Academy of Sciences of Ukraine]. *Pedahohichni nauky: teoriia, istoriia, innovatsiini tekhnologii — Pedagogical Sciences: Theory, History, Innovative Technologies*, 75, (1), 3–11. Retrieved from <https://pedscience.sspu.edu.ua/wp-content/uploads/2018/05/3.pdf> [in Ukrainian].

S. M. Babiichuk,
T. V. Vasyniuk

POTENTIAL USES OF SATELLITE IMAGERY IN JUNIOR ACADEMY OF SCIENCES STUDENTS' RESEARCH WORK DURING THE RUSSIAN-UKRAINIAN WAR

Abstract. Remote sensing technologies play a significant role in education as a credible and objective source of information. Since 2017, the National Center “Junior Academy of Sciences of Ukraine” has been supervising the “GIS and Earth Remote Sensing” laboratory, which provides scientific, methodological, and procedural support for the 14 “GIS and Earth Remote Sensing” regional branches’ academic activities. In 2022 a corresponding section has been launched for the III stage of the nationwide Contest-Presentation of Scientific Research Projects held by the Junior Academy of Sciences of Ukraine. This article examines two approaches to using remote sensing data in education: theoretical (based on current situation with monitoring the consequences of the russian-ukrainian war) and practical (considering the research process and results of two runners-up among the final stage participants of the 2023 JASU Contest-Presentation of Scientific Research Projects in the “GIS and Earth Remote Sensing” section). Remote sensing technologies can be a critical tool for exploring the devastating impact of high scale military actions on the environment and infrastructure. Satellite imagery analysis provides access to the most precise data on landscape changes, infrastructure destruction and air pollution levels without the need of researcher’s physical presence in the military action zone, and therefore, without risk to life and health. This monitoring approach allows obtaining up-to-date information crucial for decision making on providing emergency humanitarian assistance, identifying resource requirements for potential infrastructure restoration and environmental renewal. Studying the catastrophic consequences of the russian-ukrainian war using remote sensing tools makes it possible to conduct a professional expertise of the damage and losses inflicted on Ukraine as a result of the russian aggression, and to assess the

necessary resources and means for the further restoration of our country. The article reveals three significant events that took place since the beginning of the full-scale invasion and demonstrates how satellite imagery can be used to monitor the battlegrounds around the Gostomel military airfield, the territory of the Dnipro river overflow caused by the undermining of the Kakhovska HPP, and the zone heavily affected by air pollution as a result of an intentional arson at the Lysychansk oil refinery after the russian airstrike.

Keywords: *satellite imagery, russian-ukrainian war, remote sensing.*

ІНФОРМАЦІЯ ПРО АВТОРІВ

Бабійчук Світлана Миколаївна — канд. пед. наук, доцентка кафедри ЮНЕСКО, Український державний університет імені Михайла Драгоманова, м. Київ, Україна, brevus.lana@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6556-9351>

Васинюк Тетяна Володимирівна — магістрантка кафедри ЮНЕСКО, Український державний університет імені Михайла Драгоманова, м. Київ, Україна, xdptmdrx@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0001-8186-9925>

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Babiichuk S. M. — PhD in Pedagogy, Associate Professor of the UNESCO Chair, Mykhailo Drahomanov Ukrainian State University, Kyiv, Ukraine, brevus.lana@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6556-9351>

Vasyniuk T. V. — Master's Degree Student of the UNESCO Chair, Mykhailo Drahomanov Ukrainian State University, Kyiv, Ukraine, xdptmdrx@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0001-8186-9925>

Стаття надійшла до редакції / Received 26.02.2024