

ЕКОЛОГІЧНІ ВИКЛИКИ ВОЄННОГО ЧАСУ: ОЦІНКА ВПЛИВУ НА ДОВКІЛЛЯ КОСМІЧНИМИ СИСТЕМАМИ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ТА GPS-НАВІГАЦІЇ

Бондар О.І., Фінін Г.С., Шевченко Р.Ю.

Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, корп. 2, 03035, м. Київ
mapjar@ukr.net

Досліджені питання щодо застосування матеріалів дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) для оцінки накопичених екологічних збитків територій внаслідок російсько-української війни. Доведено, що за допомогою аерокосмічних знімків можна ефективно відстежувати та оцінювати патогенний вплив на довкілля, наслідки руйнації господарської діяльності у видобувній, гірничодобувній, збагачувальній, обробній та інших галузях промисловості; визначати кількісні та якісні показники забруднень та розміщення бойових (ракетних) відходів. Визначені особливості методів дистанційного зондування Землі, дешифрування, що використовуються для ідентифікації нафтового забруднення, шляхів стоку забруднених вод, водних об'єктів – берегових ліній та русел, згарищ та вирубок (ступеня їх відновлення), аварійного стану лінійних та майданових об'єктів, небезпечних геоморфологічних процесів, підтоплення доріг, заболочувань, викликаних ракетними ударами та масштабними бойовими діями.

Розглянуто геоінформаційне моделювання та управління в забезпеченні ефективної та обґрунтованої управлінської діяльності у сфері екологічної безпеки під час надзвичайної ситуації воєнного характеру за інтенсивного застосування БПЛА/ДЗЗ-даних. Зазначена актуальність застосування технологій космосфери (ближнього космосу) для документування екологічних злочинів окупаційними російськими військами та подальшого планування ревіталізації (рекультивациі) природоохоронних територій, знищених або частково видозмінених внаслідок будівництва земляних фортифікаційних споруд.

Здійснено аналіз сучасної нормативної термінології екологічного геоінформаційного картографування під час бойових дій. За його результатами запропоновано поняття природно-ресурсної геоінформаційної моделі інтерпретації даних ДЗЗ окупованої території. Охарактеризовані її властивості та основні структурні елементи. Підкреслено значення ДЗЗ для природно-ресурсної геоінформаційної моделі як інструмента екологічного моніторингу екологічних ризиків та викликів, а також інтеграції різномірних ДЗЗ та геодезичних даних про трансформовані війною природні ресурси України.

Наведені розрахунки вартості даних дистанційного зондування Землі (аерофото та космічні знімки), що застосовуються в екологічному моніторингу військових дій. Зроблено висновок щодо доцільності застосування обох типів знімків для визначення локалізації об'єктів накопиченої екологічної шкоди, завданих війною. Зазначено, що для масштабних досліджень (у ціновому вимірі під час калькуляційних розрахунків бізнес-плану), застосування аерофотознімків може бути ефективнішим за рентабельністю. *Ключові слова:* екологічні ризики та виклики, спеціалізована ГІС, спеціалізована аерофотозйомка, космічна зйомка, дистанційне зондування в цілях моніторингу, накопичені екологічні збитки, дешифрування, оцінка сучасного стану довкілля, природно-ресурсна геоінформаційна модель, репарації.

Environmental challenges of wartime: environmental impact assessment by Space Remote Sensing Systems and GPS-navigation. Bondar O., Finin G., Shevchenko R.

The study is devoted to the use of Earth remote sensing (remote sensing) materials to assess the accumulated environmental damage of territories due to the russian-Ukrainian war. It is proved that with the help of aerospace images it is possible to effectively detect and assess the pathogenic impact on the environment, the destruction of economic activity in the mining, mining, concentrating and manufacturing industries; identify quantitative and qualitative indicators of pollution and disposal of combat (missile) waste. There are also special methods of remote sensing of the Earth, decryption, which are used to identify oil pollution, contaminated water runoff, pollution of water bodies – shorelines and channels, fires and felling (degree of recovery), the emergency state of linear and area objects, dangerous geomorphological processes, flooding of roads, waterlogging caused by missile strikes or large-scale hostilities.

The role of geoinformation modeling and management in ensuring effective and sound management activities in the field of environmental security during a military emergency with intensive use of UAVs / remote sensing data is considered. The relevance of the use of space technology (Middle Space) for documenting environmental crimes by the russian occupation forces and further planning of revitalization (reclamation) of protected areas, which are destroyed or partially transformed due to the construction of earthen fortifications.

A summary of the analysis of modern normative terminology of ecological geoinformation mapping during hostilities is given. Based on the results of the analysis, the concept of natural resource geoinformation model of interpretation of remote sensing data of the occupied territory is proposed. Its properties and basic structural elements are characterized. The importance of remote sensing for the natural resource geoinformation model as a tool for environmental monitoring of environmental risks and challenges, as well as the integration of disparate remote sensing and geodetic data on war-transformed natural resources of Ukraine is emphasized.

The article presents calculations of the cost of remote sensing data of the Earth (aerial and space images), which are used in environmental monitoring of hostilities. The conclusion is made about the expediency of using both types of images to determine the location of the objects of accumulated environmental damage caused by the war. However, for large-scale research, in terms of price in the calculation of the business plan, the use of aerial photographs may be better in terms of profitability.

Key words: environmental risks and challenges, specialized GIS, specialized aerial photography, space photography, remote sensing for monitoring purposes, accumulated environmental damage, decryption, assessment of the current state of the environment, natural resource geoinformation model, reparations.

Постановка проблеми. Розвиток та вдосконалення ГІС/ДЗЗ-технологій значно розширює можливості отримання просторової інформації, особливо під час надзвичайної ситуації воєнного характеру. Її цінність полягає в отриманні точної координатної прив'язки об'єктів в системі «воєнний об'єкт – військова технологія – вплив на довкілля».

Активна фаза російсько-української війни, що почалася 24 лютого 2022 р. призвела до формування нового науково-технічного напрямку досліджень – геоінформаційного моделювання та управління екологічними викликами воєнного часу. Це дозволяє вивчати та аналізувати зміст та взаємозв'язки різних складових ландшафтного простору, явищ в екосистемах, що виникають під впливом бойових дій шляхом укладання багатопланових (мультитематичних) цифрових картографічних моделей, що можуть бути реалізовані як у двомірному, так й у трьох- та багатомірному представленні (візуалізації). Базовою інформаційною основою відповідної серії тематичних карт є матеріали БПЛА та космічної зйомки.

Актуальність дослідження. Під час проведення інженерно-екологічних досліджень для оцінки сучасного стану довкілля, що зазнає патогенного впливу внаслідок бойових дій приділяється увага, зокрема, питанням відходів від активних ракетних обстрілів, польових наступальних операцій та, як наслідок, питанням накопичення екологічних збитків.

Екологічні збитки (шкода) внаслідок бойових дій – негативні наслідки військово-технічного втручання, що викликає забруднення довкілля, втрату та виснаження природних ресурсів, руйнуванням екосистем, що створюють реальну загрозу для здоров'я людини, рослинного та тваринного світу, а також для матеріальних цінностей нації.

Дані про бойові відходи можуть бути потрібні при прийнятті управлінських рішень, наприклад, при відновленні житлових об'єктів та оцінки стану зруйнованого підприємства або території у межах реалізації екологічного аудиту. Крім інформаційної функції, наприклад, про факт наявності забруднення, подібні матеріали можуть бути впроваджені в моделі систем підтримки прийняття управлінських рішень, у тому числі за допомогою когнітивного ГІС-моделювання.

Геоінформаційне управління та моделювання екологічних викликів воєнного часу виступає як міцний інструмент для розв'язання різноманітних адміністративних завдань у сфері планування еколого-безпечної роботи різних галузей національної економіки під час війни. Ефективним прикладом цього є робота Світлодарської ТЕЦ, яка безпечно працювала, як стратегічний об'єкт критичної інфраструктури під час важких боїв протягом 2014–2015 рр.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Всі наукові дослідження та програми вишукування у галузі оцінки впливу на довкілля під час бойових дій, а також визначення територіальних особливостей екологічних викликів воєнного часу картографічними методами дослідження регламентуються Указом Президента України № 64/2022 «Про запровадження військового стану на території України», Законами України та нормативно-правовими актами відповідних галузевих міністерств, а також директивами центральних органів виконавчої влади. Для виконання відповідного дослідження були проаналізовані розпорядчі акти Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів, Державного космічного агентства України та Національного центру управління та випробування космічних засобів у контексті застосування ДЗЗ-систем для потреб звільнення території України від російських загрозників та запровадження системного аерокосмічного моніторингу за станом природних ресурсів засобами ГІС-технологій [<https://www.kmu.gov.ua/news/mindovkillya-ukrayina-otrimaye-dostup-doyevropejskih-program-life-ta-copernicus>].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Сучасні державні та галузеві стандарти, що регламентують фотограмметричні, геодезичні та картографічні роботи не спрацьовують під час надзвичайної ситуації воєнного характеру. Вони не містять чіткого та однозначного визначення роботи ДЗЗ-копонентів в екологічних ГІС під час реалізації екологічного моніторингу в умовах війни. В них сформульовані тільки поняття просторової моделі місцевості, трансформованого під впливом природного та антропогенного впливу. В них відсутня військова складова впливу надзвичайної ситуації воєнного характеру на стан довкілля. Деякі аспекти застосування ДЗЗ у складанні екологічних ГІС під час війни виявлені в працях військових екологів: проф. А.П. Карпика, Л.М. Залісного та Я. Правди [9].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячена означена стаття. Не достатньо досліджено питання щодо доцільності та доступності застосування даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) для оцінки накопиченого збитків під час надзвичайного стану воєнного характеру (війни). Постає необхідність процедури допроектних вишукувань, що передують геоінформаційному моделюванню – розроблення алгоритму управління аерокосмічними базами даних, як основи природно-ресурсної геоінформаційної моделі визначення екологічних ризиків на окупованих та звільнених територіях України. Розробка зосереджувальної когнітивної моделі

ДЗЗ-даних передбачатиме просторово розподілені дані про обсяги отруйних речовин, що потрапляють до геосфер від бойових машин, використанні природних ресурсів окупантом, стан водних, земельних, мінеральних, рослинних та фауністичних ресурсах. Це формує геоінформаційний базис для аналізу та оцінки сучасного мілітарного та постмілітарного стану природних ресурсів, планування їх перспективного використання.

Новизна. У сучасних умовах військового стану на всій території України, початок якого можна вважати 20 квітня 2014 р. з моменту оголошення Антитерористичної операції в окремих районах Донецької та Луганської області, спостерігається патогенний вплив конфлікту на стан природних ресурсів, посилення факторів його забруднення та навіть дефіциту. Наприклад, можна констатувати факт зникнення з роздрібною торгівлю міст України побутової солі (місце видобутку місто Соледар).

Застосування наземних та навколомесних методів дистанційного зондування Землі в оцінці екологічних викликів збройного конфлікту зараз постає як одна із найбільш актуальних сфер використання геоінформаційного моделювання на основі аерокосмічних баз просторових даних. Кінцевою метою якої є ревіталізаційне планування відновлення раціонального ресурсо- та природокористування та управління природними ресурсами на звільнених територіях, моніторинг екологічних злочинів на окупованих природно-територіальних комплексах, вишукування економічних та ефективних методів використання природно-ресурсного потенціалу для потреб подальшого відновлення конкурентоздатності України в умовах глобальної світової кризи, спричиненої російсько-українською війною.

Методологічне або загальнонаукове значення. Впровадження ГІС/ДЗЗ-моделювання у повсякденну практику управлінської діяльності у сфері екологічної безпеки під час війни, яка має тенденції до затягування та перетворення тактики дій воюючих сторін до «окопного» конфлікту, значно підвищує обґрунтованість екологічних рішень, що оперативно приймаються. При цьому планування, наприклад, природо-захисних заходів, можливе під час форс-мажорних обставин за рахунок використання більш широких та сучасних масивів вихідних ДЗЗ-даних та ГІС-аналізу перспективних наслідків проектних рішень.

Виклад основного матеріалу. Під час гібридної війни, її активної фази, дані ДЗЗ все частіше є джерелом інформації про місця розміщення бойових відходів (збитих літаків та крилатих ракет, підбитих самохідних гаубиць та танків, локалізація та розташування мінних полів тощо). Застосування дистанційного зондування Землі здійснюється у практичній діяльності Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів у належному масштабі. З усього різноманіття даних ДЗЗ під час проведення робіт для оцінки впливу на довкілля внаслідок воєнних дій,

переважно, застосовуються аеро- (БПЛА) та космічні знімки [4].

Моніторинговою (розвідувальною) аерофотозйомкою називається вид спеціалізованої зйомки, що проводиться з літальних апаратів – літаків, гелікоптерів, БПЛА. Стеля висоти знімання визначається від сотень метрів до десятків кілометрів. Особливості розвідувальної БПЛА-зйомки полягають у наступному [9]:

- фотографування бойової техніки, в тому числі знищеної ворожої, проводиться у польоті із автоматизованою документальною телевізійною онлайн-зйомкою;

- знімки зазвичай мають невелике відхилення від надира, що пов'язано із постійним механізмом інтелектуального уникнення від потраплення снаряду протиповітряної оборони противника;

- зйомкою покривається значна ділянка місцевості без «мертвих зон» деяким накладанням знімків один на одного для подальшого монтажу фотосхеми без збереження подовжнього та поперечного перекриття, яке застосовується в цивільних інженерно-фотограмметричних зніманнях.

У зв'язку з цим для БПЛА-зйомки наслідків впливу бойових дій на довкілля необхідні спеціальні фотоапарати – сенсорні аерофотоапарати із модулем геоінтелектуальної прив'язки до державної геодезичної мережі. Це забезпечуватиме здатність компенсувати зсув зображення та забезпечити достатню для дешифрування різкість цифрового знімку, а також це потрібне для реалізації технологічного функціонування спеціальних пристроїв, які забезпечують строго горизонтальне положення БПЛА у процесі фотографування [2]. Цифрові сенсорні фотокамери зазвичай застосовуються з борту легких літаків (RV-7, Теспат р2002, X та ін.), обладнаних модульним фотолюком та ресорною стерео аерофотоапаратурою [1].

Широкоформатні аерофотознімки військової тематики – високоінформативні дистанційні матеріали. За їх допомогою можна отримати достовірну інформацію про трансформацію рельєфу та геоморфологічні процеси, зміни у рослинному покриві, гідрографії, техногенних порушеннях території внаслідок активної фази бойових дій в онлайн режимі. При автоматизованій обробці стереопари аерофотознімків за допомогою спеціальних оптичних пристроїв для отримання об'ємного зображення можна оцінювати глибину траншейних занурень танкових частин противника або висоту деревостою, що використовується, як маскувальні чинники. Паралельно також фіксуються зміни біогеоценозів та знищення біоти. Відповідна технологія БПЛА-аерофотозйомки є надійною основою екологічного геоінформаційного картографування районів бойових дій. Як будь-яке геофотографічне зображення, такий БПЛА-аерофотознімок має дуже високу достовірність, проте вимагає актуалізації щодня або навіть щогодини. Це пов'язано із швидкоплинністю змін

довкілля під час активної фази війни із застосування калібрувальної артилерії.

За неможливості проведення або отримання готової цифрової аерофотозйомки на територію для якої проводиться моніторинг екологічних наслідків бойових дій, вдаються до аерофотозйомки з аерокосмічних лабораторій (метеорологічних повітряних куль-зондів) із GPS/GSM-трекерами та цифровою фотокамерою високої роздільної здатності [11]. Подібною зйомкою можливо покрити локальні території – ключові (типові) ділянки фонових територій, рідкісні спільноти або об'єкти, техногенно-порушені ділянки (точкові та лінійні).

Спеціальна топографо-екологічна зйомка виконується БПЛА з фіксованої висоти (оптимально в діапазоні 300–400 м) наскільки можна суворо вертикально. Вертикальність положення камери можна перевірити за допомогою прикріпленого до неї гірокомпасу або

геодезичного рівня. Подібна зйомка та її функціональна складова повинна перевищувати точність технічних показників цивільної професійної цифрової фотограмметричної зйомки у рази. Знімки, отримані в такий спосіб, вважаються панорамними, оскільки вручну неможливо забезпечити строго горизонтальне положення камери. В більшості випадків за такими знімками автоматично точно визначається масштаб зйомки [10]. Вона може визначатися в залежності від висоти за допомогою технології супутникової альтиметрії. Найзручніше це реалізовується при дешифруванні результатів зйомки об'єктів критичної інфраструктури з відомими розмірами, як правило, за другорядними геотопологічними ознаками, наприклад, природними та техногенними локаціями – балкам, скупченням бойових машин (рис. 1). На рис. 2 показаний знімок палаючого складу ПММ в аеропорту м. Гостомель (Київська область).



Рис. 1. Зруйнований міст через р. Ірпінь (1) та скупчення бойової техніки окупантів (2). (Знімок Махар, березень 2022 р.)



Рис. 2. Палають склади палива аеродрому Гостомель (Київська область). (Знімок Махар, березень 2022 р.)

Космічні технології знімання Махаг або технології Космосфери (Ближнього госмосу) – це результат зйомки із військових розвідувальних супутників Землі. Науково-дослідницькі сателіти для відповідних цілей є малофункціональними. Військово-розвідувальні супутники є одним з головних джерел геоінформації про територію під час бойових дій і застосовуються також для вивчення виснаження природних ресурсів, вирішення безлічі завдань топографічного та еколого-природоохоронного картографування, а також моніторингу навколишнього середовища в контексті оцінки впливу на довкілля внаслідок бойових дій.

Космічні знімки, що використовуються у військово-екологічному моніторингу (оцінці впливу на довкілля, локалізації джерел екологічних ризиків та ареали впливу екологічних викликів) відрізняються за:

- спектральним діапазоном знімків: оптичної, інфрачервоної, радіолокаційної складової зйомки;
- просторовою роздільною здатністю: від верхнього рівня (менше 1 м) до низького дозволу (більше 1 км);
- набором та кількістю спектральних діапазонів, у яких ведеться зйомка: одноканальна (панхроматична), мультиспектральна (зйомка в кількох діапазонах), гіперспектральна (більше сотні діапазонів).

Від типу зйомки залежить кількість та якість отриманої просторової топографо-екологічної інформації про природні та техногенні об'єкти, що зазнали ракетних обстрілів, що можна отримати при дешифруванні та інтерпретації, а також від цього залежить швидкість та якість ідентифікації потенційно небезпечних об'єктів довкілля воєнного призначення [5]. На рис. 3 показана світлина автоматизованої станції дешифрування БПЛА та космічної зйомки ДЗЗ.



Рис. 3. Цифрова камера та станція дешифрування 3-DAS-1, що використовується для потреб військової фотограмметрії

Космічна зйомка при оцінці екологічних викликів воєнного часу здебільшого є головною основою екологічного проблемно-орієнтованого ГІС-картографування та проектування спеціалізованої геоінформаційної системи на територію об'єкта (територію ландшафту) [6]. Її функціональність є важливою інформаційною основою дистанційного екологічного моніторингу, для будь-яких, але особливо – для важкодоступних, маловивчених з точки зору оцінки впливу на довкілля окупованих територій України. Під час російсько-української війни космічна зйомка – єдиний спосіб оперативного проведення аналізу природної, техногенної та військово-оперативно-тактичної ситуації на досить великій території. На рис. 4 представлено сузір'я супутників,

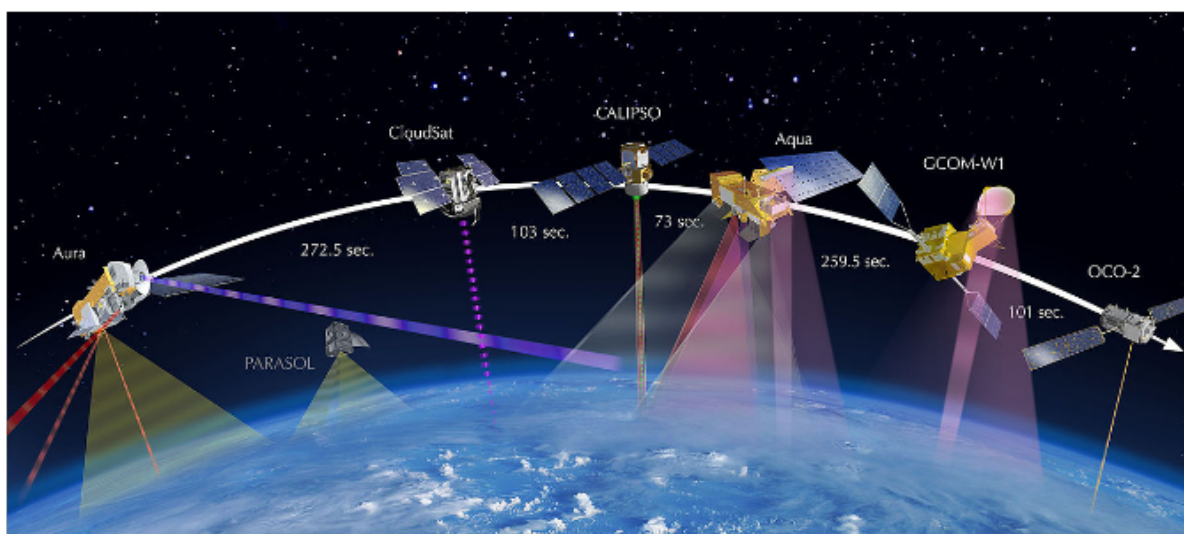


Рис. 4. Орбітальні супутники гібридного призначення, що виконують похідну функцію оцінки впливу на довкілля

що використовується для потреб військової екології та моніторингу довкілля в Україні: Aura, Parosol, CloudSat, Calipso, Aqua, Gcom-W1, Oco-2.

Незважаючи на високу інформативність космічних знімків, вони потребують у воєнний час особливого підходу до дешифрування та залучення додаткових інформативних геопросторових матеріалів: результатів польових робіт військових геодезистів, що входять до підрозділів бойових частин у складі топографо-геодезичного та картографічного забезпечення Українського Війська (польове ландшафтне дешифрування, комплексні військово-географічні та природознавчі описи). Вони забезпечуються похідні фондовими картографічними (е-архівними) та іншими геоінформаційними матеріалами, розміщених у «хмарах баз даних». Використовується сучасна цифрова геодезія, така, як цифровий фото тахеометр (рис. 5).



Рис. 5. Фототахеометр Topcon, модифікації військового призначення: IS-305 / IS-303 / IS-301

Порівняння різночасових космічних знімків, обробка їх за допомогою спеціальних ГІС-програм (ENVI, Erdas, Digital) [7], допомагає зіставити їх контент із довоєнною топографічною основою, що дає можливість досить повно оцінити поточний зруйнований або пошкоджений екологічний стан та визначити динаміку небезпечних процесів на окупованих територіях. На рис. 6 показаний алгоритм проєктування природно-ресурсної геоінформаційної моделі інтерпретації ДЗЗ-даних окупованої території в контексті виявлення екологічних ризиків та визначення ареалів впливу екологічних викликів та небезпек.

Визначений комплекс роботи моделі спрямований також на вироблення екологічних рішень щодо оптимізації проєктування, будівництва та облаштування природозахисних об'єктів на досліджуваних територіях після закінчення бойових дій: відновлення дамб, моніторинг об'єктів ПЗФ України, захисні екологічні фортифікації із захисту природних ексклюзивів.

Наявні зруйновані потенційно небезпечні техногенні об'єкти та інженерні порушення за матеріалами ДЗЗ виявляються при дешифруванні [8]. В результаті можна отримати еколого-природоохорону геоінформацію про наявність:

- небезпечних техногенних територій: промислових майданчиків, шляхів сполучення, баз зберігання пального противником;
- поширення плям нафтового забруднення у Кременчуцькому водосховищі, внаслідок руйнування Кременчуцького нафтопереробного заводу, шляхи забруднених стічних вод при бомбардуванні водогонів та каналізації м. Одеса;
- визначення стану водних об'єктів: ступені небезпечності забруднення, зміна берегової лінії та русла річок внаслідок руйнування мостів, знищення флори та фауни;

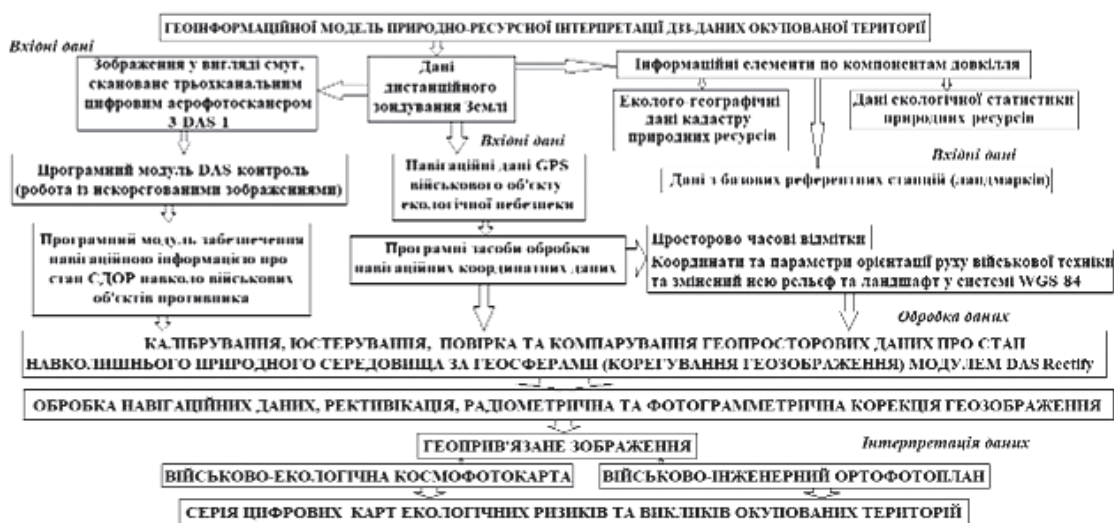


Рис. 6. Функціональна схема роботи проєктування природно-ресурсної геоінформаційної моделі інтерпретації ДЗЗ-даних окупованої території (укладач – Шевченко Р.Ю.)

- пожежі в лісах та несанкціоновані вирубки урощиц противником, оцінка ступеня їх відновлення;
- інженерна оцінка стану аварійності лінійних та майданових об'єктів, підтоплення залізничних доріг, руйнування терміналів аеропортів та станцій зберігання пального;
- активізації термокарстових процесів на Західному Донбасі, заболочуванні поліської частини Київської, Житомирської та Чернігівських областей;
- небезпечні геоморфологічні процеси – дефляції, ерозії, а також криогенні та гідрологічні процеси, що активізуються під час великих вибухів (мікроземлетрусів);
- виявлення потенційно небезпечних ділянок навколо АЕС, ТЕС, ГЕС.

При дешифруванні техногенних та порушених війною природно-територіальних комплексів застосовуються як методи автоматичного, так і візуального дешифрування, з використанням тих самих дешифрувальних ознак як колір, тон зображення, форма об'єктів та їх геотопологічне розташування.

При геоінформаційній обробці матеріалів зйомки у різних комбінаціях каналів можлива оцінка віку вирубок у національних природних парках та заповідниках, при побудові та розміщенні в них командних об'єктів протиповітряної оборони, і як наслідок, наявність військово-промислових відходів. Наприклад, подібні методи, спрямовані на виявлення несанкціонованих місць розміщення відходів успішно застосовані при ревіталізації, регенерації, розмінуванні та рекультивативній території Бучанського лісу Київської області.

Використання результатів дешифрування матеріалів космічної зйомки та БПЛА-аерофотозйомки на попередньому етапі оцінки впливу на довкілля виявляє суттєві відмінності в стані місцевості, порівняння стану із архівними топографічними абрисами, планами та картами у мобільних (Gadget) ГС-застосунках. Це дозволяє дослідити трансформацію, руйнування, поточний стан та дає можливість оверлейного порівняльного аналізу топографії природно-техногенних ландшафтів із їхніми попередніми картографо-геодезичними задокументованими станами, який показують актуальні космічні фотографії, а також геотегінгові світлини й фототодолітні знімки.

Таким чином, за матеріалами ДЗЗ, ще до реалізації проведення уточнювального цільового польового (полігонного) топографо-геодезичного обстеження, можна скласти загальну (оглядову) карту порушення екологічної рівноваги території під час війни та виявити основні природні та техногенні об'єкти, що додаються до проєктних рішень ревіталізації та відновлення екосистеми після закінчення бойових дій. Ці дані дозволяють оптимізувати програми процесу відновлення лінійних об'єктів, поновлення розташування метеорологічних майданчиків та референтних станцій (ландмарків) тощо. Це засто-

совується як в інженерно-геодезичному, так і в екологічному аспектах польового обстеження демілітаризованих територій. Надалі результати дешифрування доцільно використовувати у проєктних природоохоронних та відновлювальних екорішеннях, оскільки ці дані дозволяють оптимізувати відновлення постраждалих об'єктів ПЗФ України, а також відбудові інженерної інфраструктури, облаштування рятувальних гелікоптерних майданчиків тощо. Це актуально в інженерному та екологічних аспектах оцінки впливу війни на промислові та природно-територіальні комплекси України.

Розробимо методу оцінки накопичених екологічних збитків внаслідок російсько-української війни. Під час бойових дій в Україні віднесення об'єктів до накопичених екологічних збитків законодавчо встановлено.

Екологічні виклики воєнного часу визначаються геохронологічним порівняльним геоінформаційним моніторингом з урахуванням історії минулих екологічних збитків, що були в Україні під час Першої та Другої світових війн. Актуалізуються векторні історичні топографічні карти, що відображають ретроспективні забруднення – наслідки військово-господарської діяльності окупантів у місцях дислокації воєнних гарнізонів у минулому. Із урахуванням минулого досвіду, визначаються поточні аспекти, що зумовлюють нинішнє забруднення територій під час сучасного збройного конфлікту, який завдає неминучої шкоди навколишньому середовищу та перешкоджає використанню природних ресурсів у комерційних та господарських цілях держави.

Підсумком впливу на довкілля російсько-української війни є зниження якості життя української нації, підвищення захворюваності та смертності населення. Територіальний розподіл накопичених екологічних збитків в Україні зумовлено поєднанням географічних та природно-ресурсних аспектів, що впливають на розміщення гірничодобувної, важкої та переробної промисловості, військово-промислового комплексу, який, в переважній більшості, є деіндустріалізований та зруйнований ворогом.

Відповідні типи екологічних викликів військового часу можуть бути виявлені за допомогою матеріалів ДЗЗ, а саме:

- результати «господарської» діяльності тилових частин противника, знищення об'єктів видобувної, гірничодобувної та збагачувальної промисловості на території Донбасу;
- нафтовмістні забруднення Азовського та Чорного морів в районі затоплення знищеного крейсера «Москва», патогенні фактори впливу на біоту в акваторії о. Зміїний;
- вплив частково відновлювальної (динамічної, пересувної) промисловості з ремонту військової техніки, що забезпечує окупаційний режим;
- локалізації (кладовища) знищеної техніки.

Методика оцінки накопичених екологічних збитків внаслідок бойових дій в Україні, активно реалізується на звільнених від окупантів територіях (Київської, Житомирської, Чернігівської, Сумської та частині Харківської областях). Наукоємним завданням ДЗЗ-моніторингу є оцінка впливу на довкілля та наслідки окупації Чорнобильської зони відчуження. За допомогою матеріалів ДЗЗ ефективно виявляються основні джерела накопичених екологічних збитків, проте вартість даних матеріалів, їх обробка, отримання бази даних для використання у ГІС, розрахунках збитків досить велика. Витрати на створення відповідного спеціалізованого кадастру екологічних збитків за накопиченими екологічними збитками за матеріалами ДЗЗ, а також порівняльні цінові характеристики матеріалів ДЗЗ за відкритими джерелами наведені у таблицях бізнес-плану 1 та 2.

З наведених авторських розрахунків (бізнес-калькуляції) випливає, що організація БПЛА-зйомки у кілька разів дорожча, ніж покупка космічних знімків. Ймовірно, використання БПЛА-аерофотозйомки може бути доцільним для районів, для яких недоступні космічні знімки, а також для невеликих промислових майданчиків (ЧАЕС). Ще більш економічним методом може вважатися фотографування за

допомогою технологій цифрового наземного фотодолитного знімання або застосування геотегінгових Gadget-девайсів.

Вартість даних аерофотозйомки та технології Космосфери, створення ГІС на основі створених баз даних, поки що не дозволяє окремим науковцям чи групі дослідників з громадських екологічних організацій використовувати таку технологічну схему. Через високу вартість даних БПЛА-аерофотозйомки та космічної зйомки в умовах поточної війни в країні багато моніторингових організацій не готові фінансувати подібні методи оцінки накопичених екологічних збитків. На сьогодні нормативно-методичного рубрикатора завдань екологічного моніторингу під час військового стану не розроблено.

Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління має досвід відповідних робіт із партнерами: Державним космічним агентством, Національним центром управління та випробування космічних засобів, які акумулюють відповідну інформацію, що надають союзники України у війні: НАТО, США та ЄС. Серед останніх результатів досліджень – оглядова карта України окупованих територій, складних природних та техногенних систем (рис. 7).

Таблиця 1

Витрати на проведення БПЛА-зйомки для оцінки впливу на довкілля внаслідок бойових дій (ціни вказані на кінець травня 2022 р.)

| Технологічний прийом | Витрати, грн. | Джерело комерційної геоінформації |
|--|---------------|---|
| Оренда БПЛА. | 120 000,00 | Мінімальна ставка за 10 годин роботи та зйомки 10 км ² (може варіюватися в залежності від регіону та типу БПЛА). |
| Цифрова аерофотозйомка. | 50 000,00 | Розцінки прийняті за кон'юнктурою, що складаються у картографо-геодезичній галузі під час воєнного стану. |
| Роботи з дешифрування цифрових аерофотознімків | 80 000,00 | |
| Роботи зі створення ГІС. | 80 000,00 | |
| Оформлення картографічних матеріалів | 30 000,00 | |
| Загальна калькуляція | 253 000,00 | |

Таблиця 2

Витрати на проведення космічного знімання та створення спеціальної військово-екологічної моніторингової ГІС (ціни вказані на кінець травня 2022 р.)

| Технологічний прийом | Витрати, грн. | Джерело комерційної геоінформації |
|--|---------------|---|
| Придбання космічних знімків району | 17 000,00 | 3 розрахунку на 10 км ² по відкритому джерелу даних 25–87 доларів США за км ² (компанії TVIS Ukraine) |
| Роботи з дешифрування цифрових реляційних космічних знімків | 85 000,00 | Розцінки прийняті за кон'юнктурою, що склалася в галузі під час бойових дій |
| Роботи зі створення ГІС | 85 000,00 | |
| Оформлення картографічних матеріалів (укладання цифрових абрисів, планів, карт, серії карт, атласів та е-глобусів (геопорталу) за методикою викладеною на рис. 6 | 13 000,00 | |
| Загальна калькуляція | 200 000,00 | |

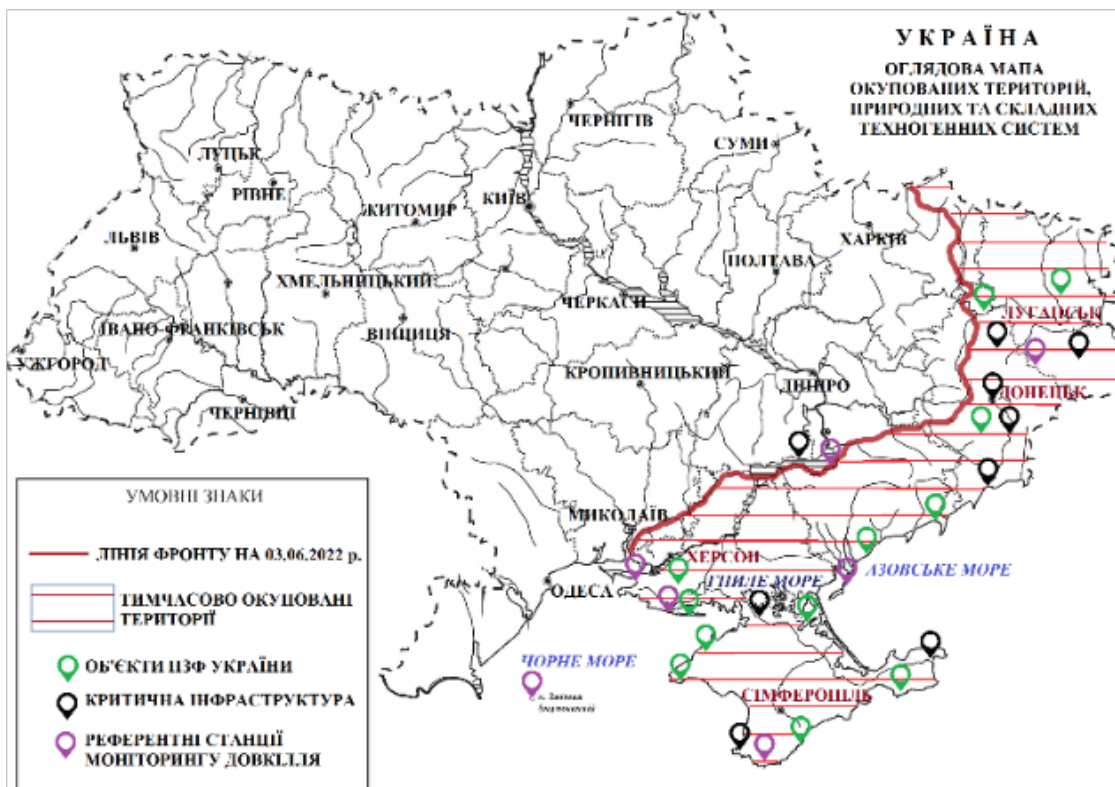


Рис. 7. ГІС-модель окупованих територій та природно-техногенної системи (укладач – Шевченко Р.Ю.)

Висновки. Доведена необхідність та доцільність створення оперативного єдиного (уніфікованого) інструментарію відкритої бази даних наслідків бойових дій в Україні (в обсязі, в якому це не суперечить вимогам законодавства про державну таємницю в частині публікації картографічних матеріалів та документації для окупованих територій). Відповідний геопортал акумулює та розміщує по тематичним директоріям результати ДЗЗ-аудитів. Інфраструктура геопросторових даних екологічних викликів скоротить час прийняття управлінських рішень в результаті ГІС-аналізу екологічних аудитів, а також дозволить значно деталізувати деякі розділи проектів заходів щодо ревіталізації навколишнього середовища середовища після завершення війни. Пропонується це застосовувати при моніторингу атмосферного повітря, у частині впливу постійно тліючих торф'яних полів навколо Києва, попередження пожеж у лісах, вибухів на об'єктах нафтопереробної промисловості. Спеціалізована база ДЗЗ/ГІС-даних може бути створена лише за активної державної підтримки у прийнятті нормативних актів щодо її створення.

Практичне значення функціонування відповідного геопорталу даних сприятиме використанню даних ДЗЗ (аеро- та космічних знімків) при ефективній оцінці накопичених збитків під час активних бойових дій так й після їх завершення.

Перспективи використання результатів дослідження. Відповідний алгоритм опрацювання даних ДЗЗ-моніторингу для виявлення джерел екологічних ризиків та викликів можна перевтілити (перепрограмувати) до аерокосмічної природно-ресурсної геоінформаційної системи моніторингу довкілля під час бойових дій, як цифрове представлення впорядкованої сукупності просторово розподілених даних про пошкоджені та знищені природно-ресурсні об'єкти територій, отриманих із БПЛА/ДЗЗ-джерел для здійснення геоінформаційного (картографічного) документування екологічних злочинів російської окупаційної влади, що будуть візуалізовані на екологічних космофотокартах та спеціальних ортофотопланах з метою формування правових основ виплати компенсаційних виплат й репарацій.

Література

1. GPS Status & Toolbox PRO v 7.1.142 (Android) URL: <http://4pda.info/news/18397/>
2. Бондар О.І., Фінін Г.С., Унгурян П.Я., Шевченко Р.Ю. Дистанційні методи моніторингу довкілля : навч. посіб. Київ. 2019. 298 с.
3. Довідка: Мої Карти. URL: <https://support.google.com/mymaps#topic=3188329>
4. Кохан С.С., Востоков А.Б. Дистанційне зондування Землі: теоретичні основи. К. : Вища школа, 2009. 511 с.
5. Крижановський С.М. Геоінформаційні системи в екології / під ате. Крижановського С.М. Вінниця : ВНТУ, 2014. 192, с. 28.

6. Мкртчян О.С. Геоінформаційне моделювання в конструктивній географії. Львів : Видавничий центр ЛНУ ат. І. Франка, 2010. 119 с.
7. Моніторинг довкілля [Боголюбов В.М., Клименко М.О., Мокін В.Б. та ат.]; під ате. В.М. Боголюбова. Вінниця : ВНТУ, 2010. 232, с. 30.
8. Моніторинг довкілля [Клименко М.О., Бондар О.І., Пилипенко Ю.В. та ат.]. Херсон : Олді-плюс, 2010. 208 с.
9. Пинаев В.Е., Михеева А.И. Оценка отходов и атериалам экологического ущерба по материалам дистанционного зондирования Земли при проведении оценки современного состояния окружающей среды. Науковедение. Т. 9. № 1. 2017. С. 25–35.
10. Шевченко Р.Ю. Діджиталізація захисту довкілля: геоінформаційний простір та технології Космосфери. Проблеми цивільного захисту населення та безпеки життєдіяльності: сучасні реалії України: тези доп. VIII всеукр. заоч. наук.-практ. конф. (Київ, 28.04.2022 р.). Київ. 2022. С. 153–154.
11. Шевченко Р.Ю. Інновінг-інструментарій екологічного моніторингу довкілля-простору. Екологічні науки. 2020. № 1(28). С. 115–121.