

DOI: 10.32347/2786-7269.2025.11.629-641

УДК 528.85:332.3

к.т.н., доцент **Нестеренко С.В.**,

NesterenkoS2208@gmail.com, ORCID: 0000-0002-2288-3524,

Бас Д.О.,

daniilbas2006@gmail.com, ORCID: 0009-0002-2985-2461,

Національний університет

«Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

МЕТОДИ ДИСТАНЦІЙНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ РУЙНУВАНЬ УРБОЛАНДШАФТІВ

Використання сучасних методів дослідження території є особливо важливим елементом відслідковування змін урболандшафтів. Наявність супутникових знімків надає можливість детального визначення динаміки змін дистанційним методом, виявлення особливостей цих змін, чинників, наслідків утворених змін за певний період. Процес збирання, отримання, опрацювання та поширення даних досліджень є основою для виділення цього методу як окремого виду моніторингу. Є базою для створення кадастру зруйнованих територій та їх змін. Подальшим використанням цього кадастру є встановлення закономірностей, варіантів рішення проблем, плану щодо відновлення та зменшення загальних втрат тощо.

В науковій роботі за допомогою дистанційного зондування Землі визначено динаміку урбанізації прикордонних міст Харківщини до лютого 2022 року. За допомогою радарних даних виявлено зони руйнувань урболандшафтів від впливу військових дій в період 2022-2024 років. Виконана оцінка наслідків руйнувань урболандшафтів. Метою цього дослідження також є створення певного пласту вчення для майбутнього започаткування системи автоматичного аналізу територій та їх класифікації за певними ознаками. Можливе створення особливого реєстру системи для збирання даних та їх обробки для полегшення праці у вибраній темі дослідження. Глибокі, систематичні та адаптовані дані сприятимуть зростанню інформативності, правильності, правдоподібності створених моделей в результаті характеристики отриманих матеріалів. Правильна інтерпретація та уміле вирішення перелічених проблем допоможе у загальній систематизації методу дистанційного дослідження.

Ключові слова: дистанційні методи; супутникові спостереження; радарні дані; урболандшафти; руйнування; прикордонні території.

Постановка проблеми. Дистанційні методи дослідження поверхні земного еліпсоїду залишаються одним з головних напрямів практичних досліджень, що здійснюються у космічній галузі України. Приділяючи увагу розвитку цієї сфери, було сформовано важливі науково-технічні установи зі своїми методами використання цих даних. Спеціалістів цієї галузі на даний час не так багато, тому у багатьох сучасних навчальних закладах було прийнято рішення про створення основи щодо надання знань майбутнім спеціалістам, які допоможуть в подальшому у вивченні дистанційних методів та особливостей їх використання. Наявність більшої кількості залучених спеціалістів стане полегшенням в опрацюванні та дослідженні аспектів ландшафтно-дистанційних методів. Існує гостра необхідність у вирішенні питання розпізнавання, класифікації вибірки, яка на даний момент не є досконалою та є причиною неправильного сприйняття інформації, що призводить до некоректних результатів досліджень.

Нестача спеціалістів не є єдиною причиною недосконалості цього методу у подібному способі використання. Присутнє значення фізичного обмеження кількості та якості отриманих даних супутникових знімків, яке залежить від швидкості руху по орбіті Землі та способу збирання інформації з датчиків та сенсорів її поверхні. Через це метод не набув повного інтегрування у сучасну наукову діяльність та сферу моніторингу за змінами урболандшафтів країни. Але навіть такий набір інформації, які надають супутникові знімки, є достатніми для їх використання та отримання результатів.

Мета роботи – практичне використання методів дистанційного дослідження урболандшафтів та аналіз існуючого законодавчого поля, у якому зазначається план моніторингу щодо оцінки руйнувань урболандшафтів для подальшого їх відновлення.

Виклад основного матеріалу. Війна, яка відбувається на території України, призвела до використання нового вектору використання методів дистанційного дослідження. Набір даних, які можна отримати таким чином, підходить для класифікації типу руйнувань та міри пошкоджень території. Згідно одних з таких досліджень було визначено, що на момент 24 лютого 2024 року було зруйновано понад 213 тисяч об'єктів на території України під час війни [1]. Найбільшої шкоди було нанесено житловому, торгівельному та промисловому секторам. Також існує такий тип впливу, який може виникнути при руйнуванні або пошкодженні одного виду урболандшафтів і викликати зміну інших. Такими об'єктами можна назвати техногенно-навантаженні території з інженерними спорудами типу дамби, електростанції, промисловість з використанням хімікатів тощо. Масштаб ураження від пошкоджень цих об'єктів може бути катастрофічним та сильно вплинути на всі сфери життя в

Україні. Тому існують державні органи, які виконують функції та задачі по моніторингу загальних змін територій та екології. З основних можна виділити Міндовкілля, МНС, МОЗ, Мінагрополітики, Мінжитлокомунгосп, Держводгосп, Держкомлісгосп, Держгеокадастр. Усі вони вже використовують методи дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), але у покритті своїх потреб.

Так як до війни використання супутникових спостережень показало ефективність та перспективність розвитку, тож і в активних військових умовах використання дистанційних методів дослідження стало сучасним напрямом у розвитку загального моніторингу змін урболандшафтів [2].

Прикордонні території на Півночі і Сході України зазнали найбільшого нищівного удару від ворожої агресії. Харківщина протягом періоду ведення війни постійно потерпає від обстрілів. Протягом березня 2022 року 22 територіальні громади Харківської області були окуповані, значна частина з них деокуповані у вересні-жовтні того ж року. Лінія фронту продовжує проходити в Куп'янському районі, а також у Вовчанському і Липецькому напрямках (рис. 1). Харків – четверте за кількістю населення місто в Україні, в 2021 році складало близько 1,5 млн осіб. Найбільші міста Харківської області – Лозова, Чугуїв, Ізюм, Куп'янськ, Вовчанськ. В результаті війни з них три останніх постраждали найбільше і майже повністю були зруйновані. Тож додатковими об'єктами дослідження змін територій будуть ці міста.

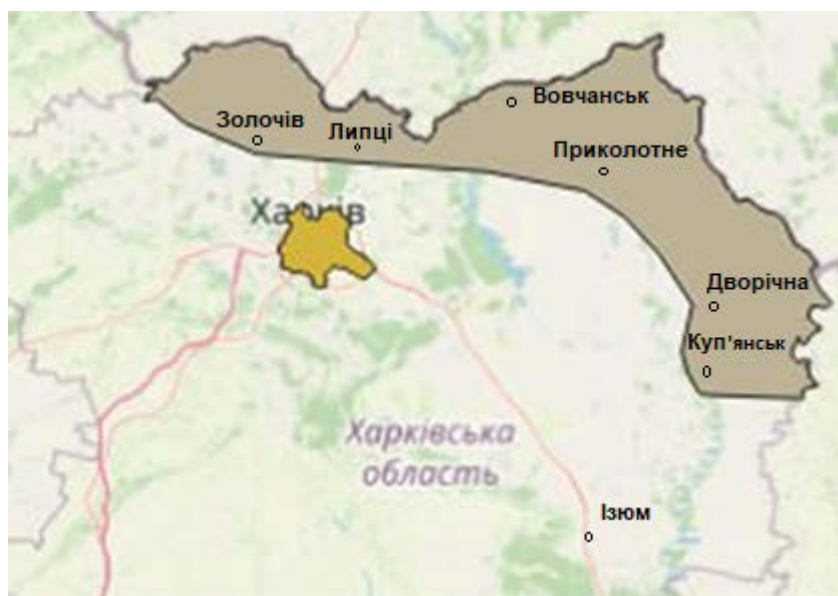


Рис. 1. Прикордонні території Харківської області із зазначеними територіями, які зазнають найбільшого руйнування

Почнемо з огляду історичного формування урбанізованої території на північному сході України (на прикладі міста Харків). Для дослідження динаміки змін на території міста отримано набір знімків з 1985 року до

2020 року за допомогою функції «зображення в часі» додатку Google Earth Pro [3].

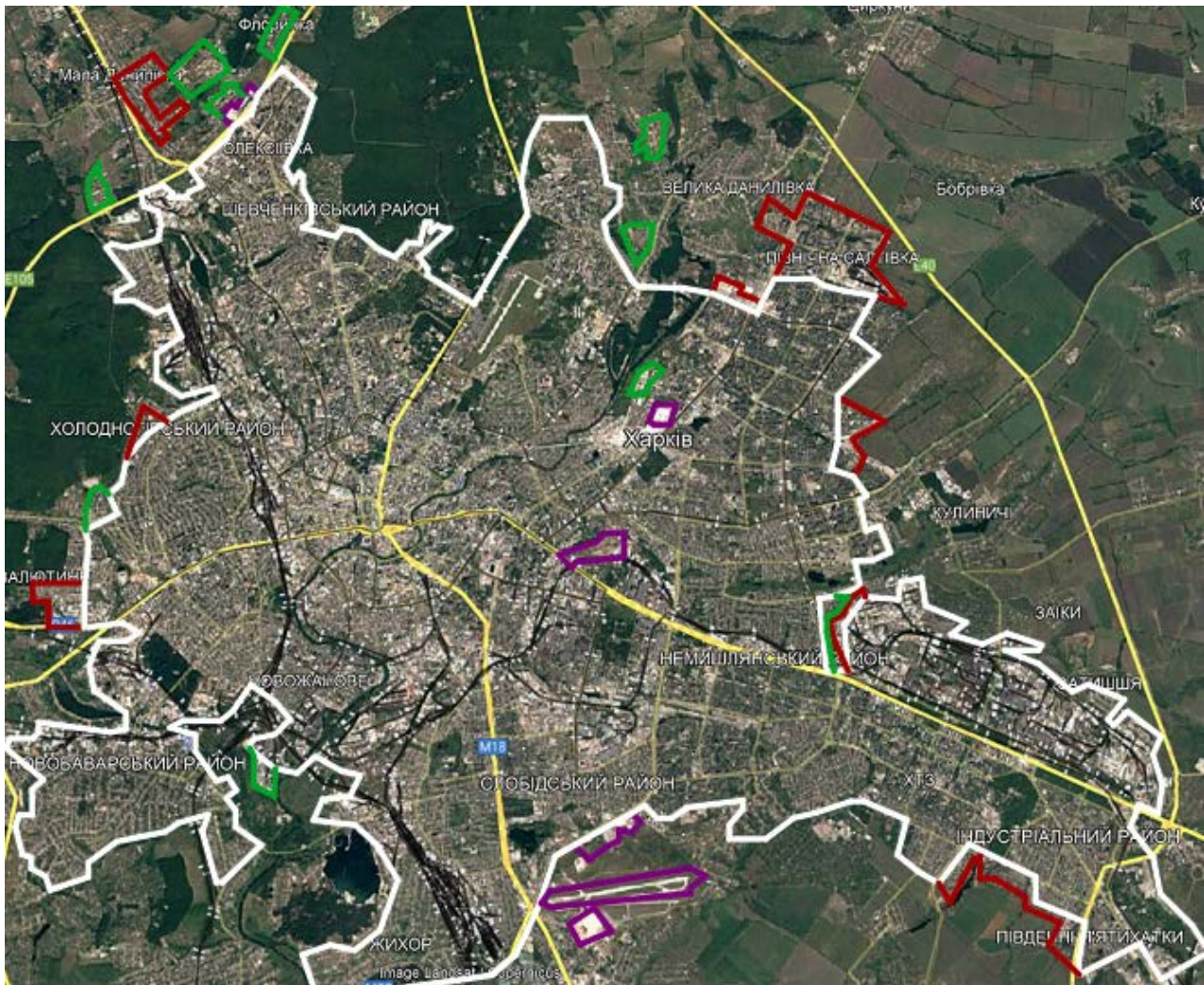


Рис. 2. Урбанізація м. Харкова за період з 1985 по 2020 роки

На рис. 2 динаміка урбанізації виділена кольором: з 1985 р. до 2000 р. – червоним, з 2000 р. до 2010 р. – фіолетовим, з 2010 р. до 2020 р. – зеленим. Можна помітити активні зміни на території таких районів, як Північна Салтівка, Мала Данилівка, Олексіївка, Південна П'ятихатка, Велика Данилівка.

Процес визначення впливу військових дій на територію, особливо на прикордонних територіях, дозволяє детальніше дізнатися про ситуацію та масштаб уражень і втрат від них. За допомогою сучасних технологій обробки супутникових знімків руйнівний вплив на урболандшафти можна визначати дистанційно, навіть з дому. Так, використовуючи дані отримані з супутників, маємо можливість детально дослідити всі зміни за певний час із використанням програм для обробки даних цього виду.

Супутникові знімки, які були використані для подальшої роботи, були завантажені за допомогою ресурсу Alaska Satellite Facility [4]. Подальша

обробка була виконана в ПЗ SNAP [5] за певним алгоритмом. Радіометрична калібровка перетворює цифрові числа у фізичні одиниці супутникової зйомки: Radiometric – Calibrate – Run. Визначення коефіцієнту зворотного розсіювання при кожній поляризації прибирає лишній шум з знімків та нормалізує яскравість: Radar – SAR – Utilities – Multilooking (багатопотоковість для прискорення процесу обробки) – Run. Корекція місцевості компенсує вплив топографічних змін території зйомки та нахилу супутникового датчика: Radar – Geometric – Terrain Correction – Range – Doppler Terrain Correction – Run. Спільна реєстрація зображень є фундаментальною для отримання зображень інтерферометрії SAR (InSAR) і її застосувань, таких як створення та аналіз карти DEM. Щоб отримати високоякісне зображення InSAR, окремі складні зображення потрібно об'єднати з точністю до субпікселя. Для цього використовуємо інструмент Coregistering, Radar – Coregistration – Coregistration – Run [6-7]. Далі для аналізу змін територій було застосовано інструмент класифікації Random Forest: Raster – Classification – Supervised Classification – Random Forest Classification. У SNAP цей алгоритм часто використовується для класифікації типів земельного покриття, наприклад, для розрізнення лісів, водойм, сільськогосподарських угідь або міських територій.

Готові знімки з розширенням *.kmz для візуалізації завантажили в додатку Google Earth Pro, результат наклали на поверхню Землі з відповідною геоприв'язкою (рис. 3).

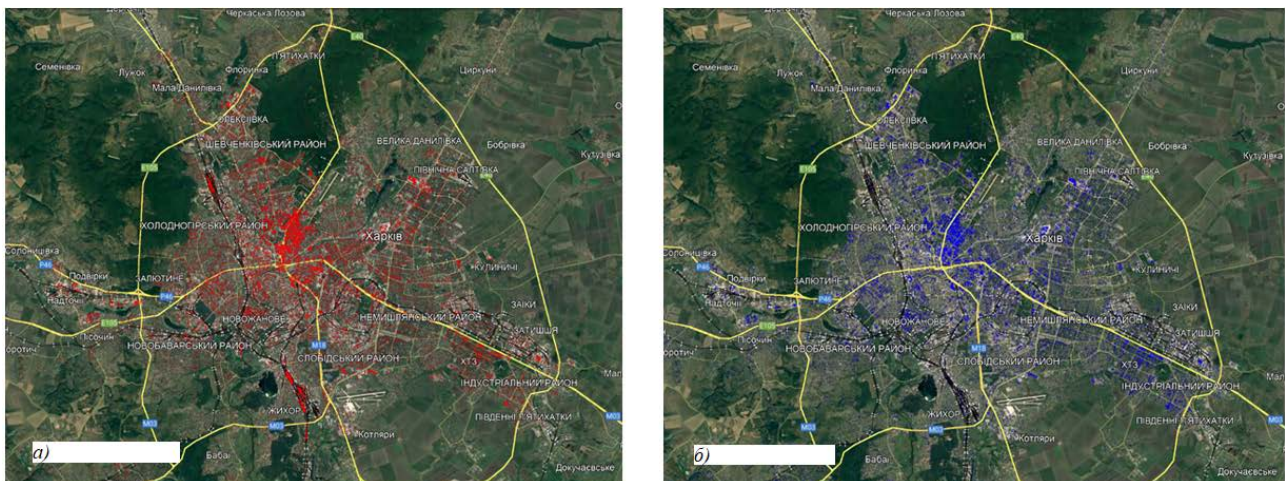


Рис. 3. Забудова м. Харкова на 2021 рік (червоним), на 2024 рік (синім)

На основі обробки знімків за 2021 (рис. 3, а) та 2024 (рис. 3, б) роки, можна зробити висновок, що відбувається поступовий процес руйнації на даній території, відсоток забудованої території зменшився з 6.2 % до 5.1 %. При накладанні знімків добре спостерігаються території, де червоний колір не перекриває синій, отже, ці території були зруйновані або пошкоджені (рис. 4).

Ці зміни вказують на значний вплив військових дій на територію міста. Зміна відсотку забудови на 1,1 % є суттєвим показником зменшення рівня інфраструктури та рівня урбанізації в цілому.

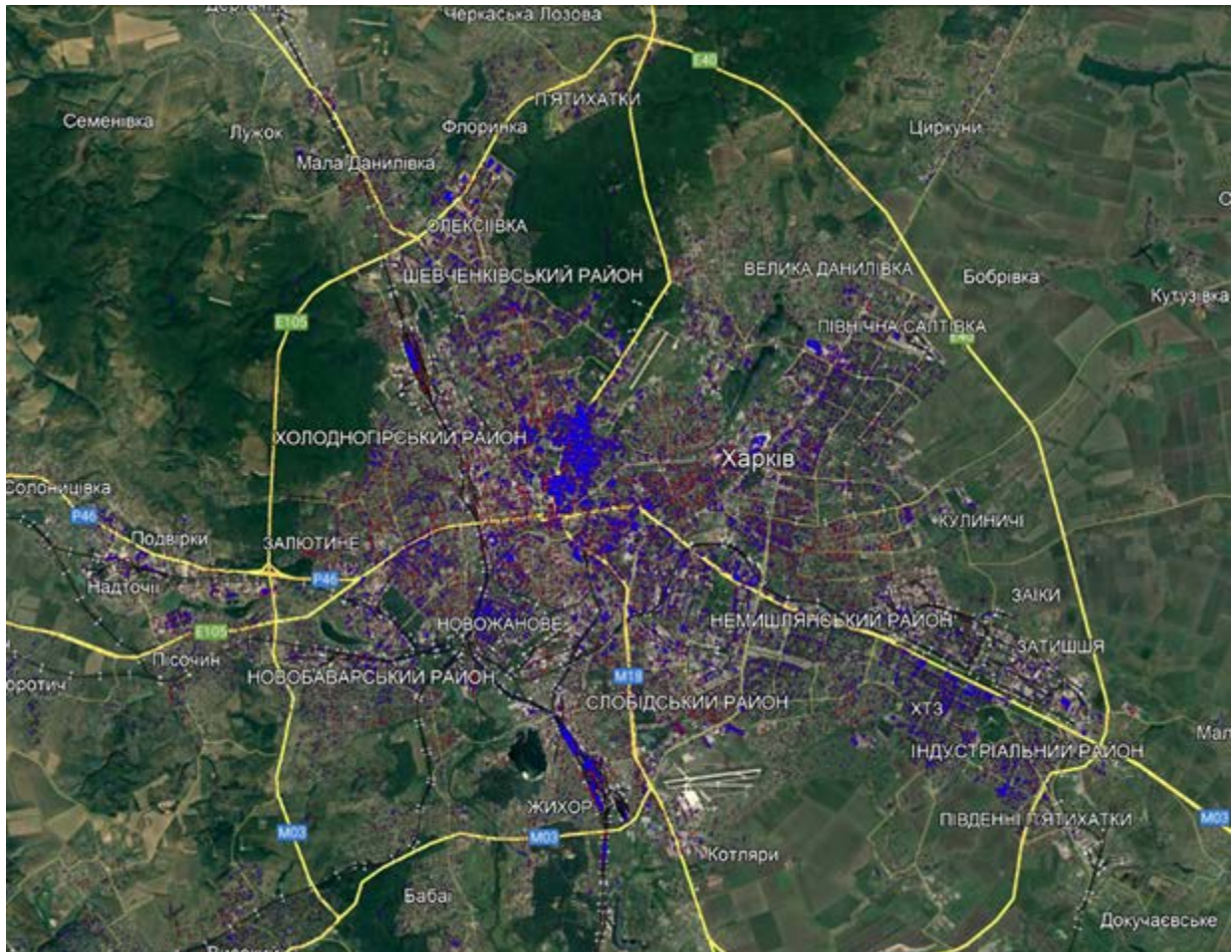


Рис. 4. Накладання шарів забудови м. Харкова: синій (за 2024 рік) на червоний (2021 рік)

Також було досконало досліджено рівень руйнації міста Ізюм Харківської області. Знімки були завантажені на сайті Copernicus [8]. На початок війни м. Ізюм одне з найперших стало в числі тих, що було майже повністю зруйновано. На рис. 5 можна побачити ступінь руйнації і пошкодження самого міста та територій біля нього (близько 85 %).

Додатково були завантажені знімки інших міст Харківської області і порівняні зі знімками за 2021 рік. Найбільших втрат зазнало місто Вовчанськ, яке повністю зруйноване. Інші знімки теж показують повне або часткове руйнування міст унаслідок війни.

Радарні дані можуть збирати сигнали з різною поляризацією, збираючи і контролюючи поляризацію під час передачі та прийому. Таку здатність можна використати для визначення масштабів руйнації. Таким чином в ПЗ SNAP за радарними даними можна визначити не тільки урбанізовані території, а й

порушені ділянки. На прикладі міста Попасне Харківської області з населенням 20 600 людей було досліджено територію на наявність порушених ділянок. За липень-травень 2022 року місто було майже повністю зруйноване, а згодом окуповане.

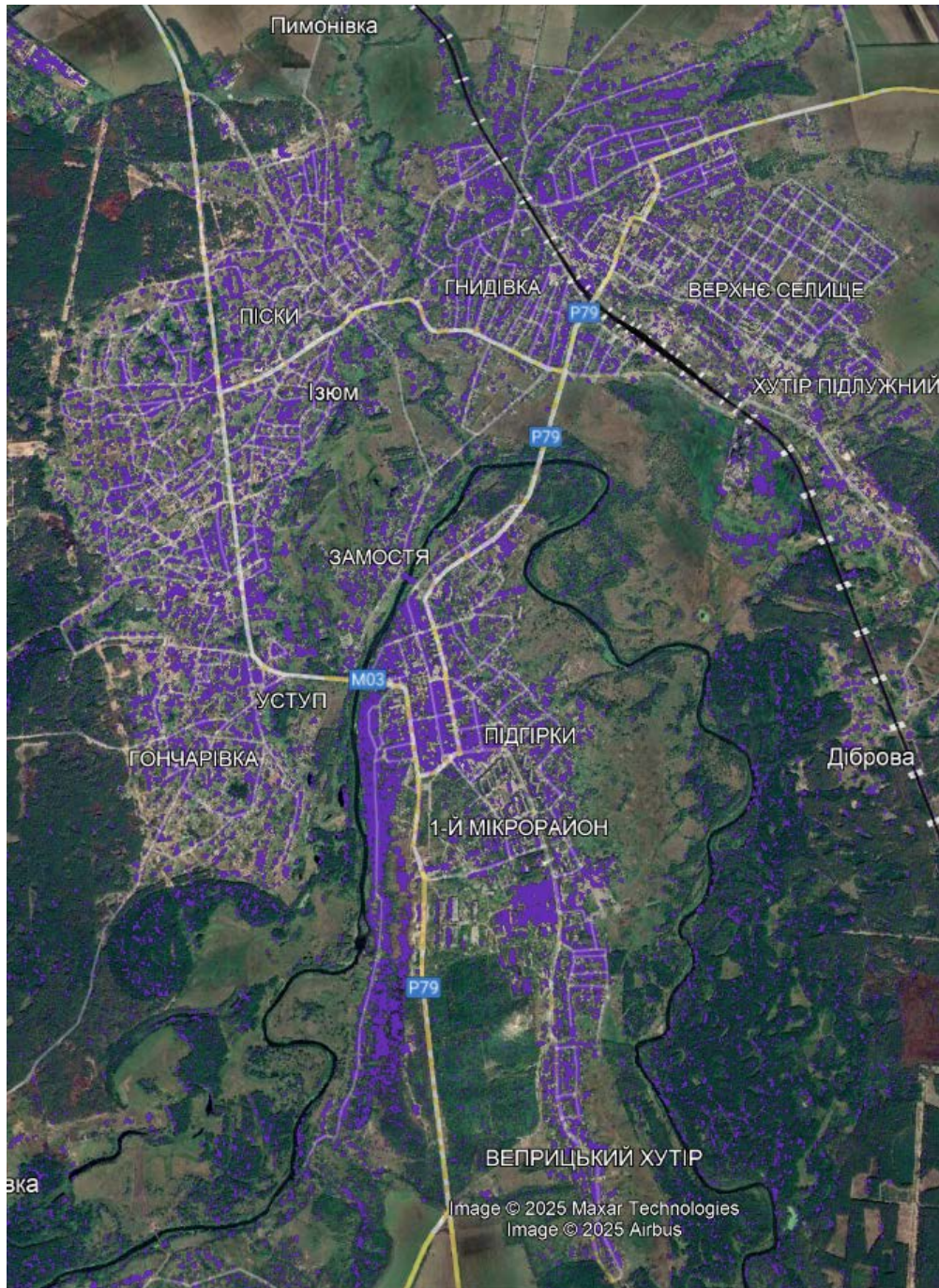


Рис. 5. Місто Ізюм Харківської області на 29 квітня 2022 року (фіолетовим зазначено зони часткового або повного руйнування)

На рис. 6, а) червоним кольором показано масштаб руйнування міста Попасне. На рис. 6, б) в результаті обробки космічних знімків Sentinel-1 показано ступінь руйнації міста Куп'янськ Харківської області.

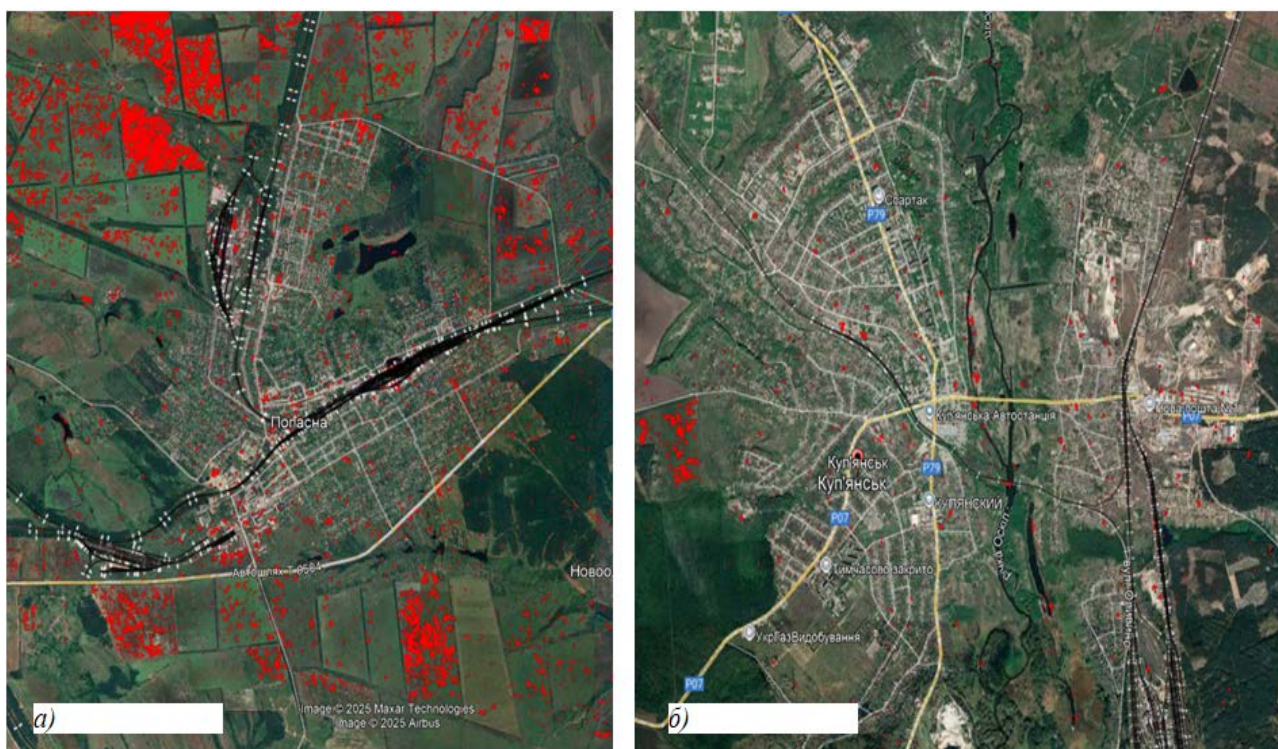


Рис. 6. Виявлення порушених ділянок дистанційним методом:
а) м. Попасне, б) м. Куп'янськ
(червоним - зруйновані або сильно пошкоджені території)

Оцінка наслідків руйнування урболандшафтів є складним процесом, що охоплює екологічні, соціальні, економічні та інфраструктурні аспекти. Руйнування міських екосистем та природних процесів може спричинити погіршення якості повітря через зменшення зелених зон, забруднення водних ресурсів внаслідок руйнування водовідведення, а також збільшення шумового і світлового забруднення. Крім того, деградація ґрунтів та зниження біорізноманіття створюють додаткові екологічні проблеми.

Соціальні наслідки руйнування урболандшафтів проявляються у втраті житла, що залишає людей без домівок і збільшує кількість внутрішньо переміщених осіб. Психологічний стрес, спричинений зміною звичного середовища, впливає на якість життя мешканців. Втрата культурної спадщини через руйнування історичних пам'яток позбавляє громаду її ідентичності. Крім того, залишені руїни знижують рівень безпеки та можуть стати місцем антисоціальної діяльності.

Економічні наслідки включають значні витрати на відновлення зруйнованих будівель, доріг і зелених зон. Руйнування підприємств та інфраструктури призводить до втрати робочих місць, зниження інвестиційної привабливості міста та збільшення витрат на соціальну підтримку постраждалих мешканців, погіршуються умови для бізнесу.

Інфраструктурні проблеми, які виникають через руйнування, включають порушення транспортної системи, що ускладнює мобільність населення. Проблеми з водо- та енергопостачанням залишають мешканців без доступу до основних ресурсів. Руйнування комунікаційних систем ускладнює зв'язок і координацію дій у кризових ситуаціях.

Для мінімізації наслідків руйнування та створення стійких міських систем необхідно вжити низку заходів. По-перше, варто створювати зелені насадження, які сприяють відновленню екологічної рівноваги. По-друге, при відновленні інфраструктури необхідно використовувати сучасні матеріали та технології, щоб зробити її більш стійкою до можливого майбутнього руйнування. Не менш важливою є соціальна підтримка постраждалих мешканців, зокрема надання тимчасового житла, а також психологічної та медичної допомоги. У довгостроковій перспективі необхідно розробити плани сталого розвитку, які враховують можливі руйнування та спрямовані на зменшення їх наслідків у майбутньому. Тому оцінка наслідків руйнування міського ландшафту є складним завданням, яке потребує системного підходу та залучення фахівців різних галузей. Це не тільки дозволить нам зрозуміти масштаби проблеми, а й розробити ефективні стратегії відновлення та сталого розвитку майбутніх міських територій.

З початку повномасштабного вторгнення на територію України в законодавчому полі було закладено початок формування документів щодо характеристики та класифікації зруйнованих або пошкоджених об'єктів. Акт Міністрів України від 20 березня 2022 року № 326 «Про затвердження Порядку визначення шкоди та збитків, завданих Україні внаслідок збройної агресії Російської Федерації» [9] можна вважати першим з таких. В Постанові зазначено напрями, за якими потрібно визначити параметри та тип ушкоджень та на підставі цього встановити відповідального за визначення типу ушкоджень та відповідального за проведення методики по відновленню. Для конкретного прикладу візьмемо план дій щодо об'єктів житлового, комунального господарства (об'єкти у сфері теплопостачання, об'єкти водопостачання і водовідведення і решта об'єктів житлово-комунального господарств). Згідно цього типу об'єктів параметрами оцінки є: вартість знищених або пошкоджених об'єктів житлового та комунального господарства, фактичні витрати для відновлення об'єктів житлового комунального господарства, витрати на демонтаж зруйнованих споруд, їх утилізацію, інші показники та параметри. Відповідальним за проведення оцінки та проведення методики зазначено Мінрегіон. На прикладі такої оцінки можна зробити висновок про необхідність створення переліку характеристик для класифікації видів ушкоджень.

На початку реалізації проєкту були затверджені не всі акти. Але аналіз затверджених і проєктних документів дав змогу сформулювати достатньо повний перелік типів пошкоджених і зруйнованих об'єктів, інформація щодо яких має бути в базі даних руйнувань територіальної громади й може бути використана під час майбутнього розроблення документів стратегічного і просторового планування територіальної громади (програми комплексного відновлення, стратегії розвитку, комплексного плану просторового розвитку тощо).

Спочатку, за відсутності переліку пошкоджених або зруйнованих об'єктів, існувала нестача інформації про порядок проведення та послідовність дій у таких обставинах. При формуванні переліку було визначено, що у складі бази пошкоджених і зруйнованих об'єктів мають бути усі об'єкти, а не тільки житлового та соціального сектору. Виникла необхідність у створенні бази про земельні ділянки, об'єкти навколишнього середовища, промислового та виробничого сектору. За результатами аналізу було сформовано перелік із шести категорій: цивільні будівлі та споруди, виробничі будівлі та споруди, транспортні будівлі, інженерні мережі, землекористування, об'єкти навколишнього середовища. Створення детального списку класифікованих споруд, поділених на класи та типи, є необхідним для аналізу ступені руйнування та для подальшого планування процесу відновлення. Також такий список дозволить класифікувати характер пошкоджень і використовувати їх у документах стратегічного та просторового планування відновлення.

На сьогоднішній день вже існує певний порядок дій та процесів, які проводяться залежно від класу пошкоджень та ступені руйнувань. Існує певний список критеріїв, за яким наведена будова відноситься до ступеню руйнування. Наявність такого виду інформації надає змогу точнішого прогнозування переліку завдань та розрахунку втрат на відновлення та виконання робіт.

Також існує необхідність у визначенні оптимального способу дослідження певних територій або надання інформації про найкращий метод визначення характеру та виду руйнувань певних територій. Вибір методу може залежати від розміру територій руйнувань, кількості та масштабу пошкоджень, особливостей території та місцевості. Для загального виду ідентифікації руйнувань необхідне використання ресурсів дистанційного дослідження. До них відносяться зазначені супутникові знімки, аерофотознімки, матеріали отримані з БПЛА (безпілотних літальних апаратів), матеріали наземних способів збору. Їх використання значною мірою полегшить завдання створення бази даних про руйнування та пошкодження. Початком процесу її створення можна вважати появу постанов про внесення змін у чинні закони щодо моніторингу довкілля, прийняття законів щодо збору, обробки та обліку

інформації про пошкоджені території, створення порядку проведення робіт по ліквідації наслідків ушкоджень.

Висновки та пропозиції. Застосування радарних технологій з подвійною поляризацією через різницю їх даних надало змогу визначити конкретні зони руйнувань та оцінити масштаб уражень міст прикордонних областей, побачити зруйновані території та інші пошкоджені населені пункти. Проведена оцінка наслідків руйнувань також підтверджує важливість дистанційних методів моніторингу для подальшого відновлення та планування післявоєнної реконструкції. Розроблені методики готові для використання та для подальшого відслідковування змін, загального масштабу впливу на довкілля та формування стратегії по відновленню цих територій. Для розвитку існує потреба у корегуванні правового та законодавчого процесу до методів ДЗЗ у визначенні зруйнованих територій. Необхідна характеристика для визначення найкращих дистанційних методів у різних задачах, виходячи з особливостей місцевості або процесу зйомки та дослідження. Це дозволить інтегрувати його як сучасний та досконалий процес у майбутньому відновленні країни.

Список використаних джерел:

1. Внаслідок війни на Хмельниччині пошкоджено й зруйновано понад 6 тисяч об'єктів - дослідження - ХМ-ІНСАЙД. *ХМ-ІНСАЙД*. URL: <https://www.xm-inside.com/news/vnaslidok-vijny-na-hmelnychchyni-poshkodzheno-j-zrujnovano-ponad-6-tysyach-obyektiv-doslidzhennya/>.
2. Geomatic monitoring of environmental hazards in technogenic-loaded territories / S. Nesterenko et al. *Zemleustriy, kadastr i monitoring zemel'*. 2023. Vol. 2023, no. 2. URL: DOI:10.31548/zemleustriy2023.02.03.
3. Google Earth Pro. https://www.google.com/intl/ru_ALL/earth/versions/.
4. Alaska Satellite Facility. <https://asf.alaska.edu/>.
5. SNAP. https://step.esa.int/downloads/6.0/installers/esa-snap_all_unix_6_0.sh.
6. Gabriele M., Previtali M. A GIS and Remote Sensing Approach for Desertification Sensitivity Assessment in Basilicata Region (Italy). Conference: ICGDA 2020: 2020 3rd International Conference on Geoinformatics. April 2020. DOI:10.1145/3397056.3397079.
7. InSAR Technology: An effective tool for ground deformation monitoring. Home - insar. space. Retrieved from <https://insar.space/>.
8. Copernicus. <https://browser.dataspace.copernicus.eu/>.
9. Про затвердження Порядку визначення шкоди та збитків, завданих Україні внаслідок збройної агресії Російської Федерації: Постанова Каб.

Міністрів України від 20.03.2022 № 326: станом на 20 груд. 2024 р.
URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/326-2022-п#Text>.

PhD, Associate Professor **Nesterenko Svitlana**, Student **Bas Daniil**,
National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic»

APPLICATION OF REMOTE SENSING METHODS RESEARCHED FOR PREDICTION OF POST-WAR RECOVERY OF URBOLANDSCAPES

The use of modern methods of territorial research is a particularly important element of tracking changes in urban landscapes. The availability of satellite images makes it possible to determine in detail the dynamics of changes remotely, identify the features of these changes, factors, and consequences of the changes formed over a certain period of time. The process of collecting, receiving, processing and disseminating research data is the basis for identifying this method as a separate type of monitoring. It is the basis for creating a cadastre of destroyed territories and their changes. Further use of this cadastre is to establish patterns, options for solving problems, a plan for restoration and reducing overall losses.

In a scientific paper, using remote sensing of the Earth, the dynamics of urbanization of border cities in the Kharkiv region until February 2022 was determined. Using radar data, zones of urban landscape destruction due to military actions in the period 2022-2024 were detected. The consequences of urban landscape destruction were assessed. The purpose of this study is also to create a certain layer of teaching for the future creation of a system for automatic analysis of territories and their classification by certain characteristics. It is possible to create a special register of the system for data collection and processing to facilitate work in the selected research topic. Deep, systematic and adapted data will contribute to the growth of information content, correctness, plausibility of the created models as a result of the characteristics of the obtained materials. Correct interpretation and skillful solution of the listed problems will help in the general systematization of the remote sensing method.

Keywords: remote sensing methods; satellite observations; radar data; urban landscapes; destruction; border areas.

REFERENCES

1. As a result of the war in the Khmelnytskyi region, more than 6 thousand objects were damaged and destroyed - research - XM-INSaid. *XM-INSaid*. URL: <https://www.xm-inside.com/news/vnaslidok-vijny-na-hmelnychchyni->

poshkodzheno-j-zrujnovano-ponad-6-tysyach-obyektiv-doslidzhennya/. {in Ukrainian}

2. Geomatic monitoring of environmental hazards in technogenic-loaded territories / S. Nesterenko et al. *Zemleustriy, kadastr i monìtorìng zemel'*. 2023. Vol. 2023, no. 2. URL: DOI:10.31548/zemleustriy2023.02.03. {in Ukrainian}

3. Google Earth Pro. https://www.google.com/intl/ru_ALL/earth/versions/. {in English}

4. Alaska Satellite Facility. <https://asf.alaska.edu/>. {in English}

5. SNAP. https://step.esa.int/downloads/6.0/installers/esa-snap_all_unix_6_0.sh. {in English}

6. Gabriele M., Previtali M.A. GIS and Remote Sensing Approach for Desertification Sensitivity Assessment in Basilicata Region (Italy). Conference: ICGDA 2020: 2020 3rd International Conference on Geoinformatics. April 2020. DOI:10.1145/3397056.3397079. {in English}

7. InSAR Technology: An effective tool for ground deformation monitoring. Home - insar. space. Retrieved from <https://insar.space/>. {in English}

8. Copernicus. <https://browser.dataspace.copernicus.eu/>. {in English}

9. On approval of the Procedure for determining damage and losses caused to Ukraine as a result of the armed aggression of the Russian Federation: Postanova Kab. Ministriv Ukrainy vid 20.03.2022 № 326. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/326-2022-п#Text>. {in Ukrainian}