

ПРОСТОРОВА ОЦІНКА ВРАЗЛИВОСТІ ДЕРГАЧІВСЬКОЇ ГРОМАДИ ДО ЕКСТРЕМАЛЬНИХ ТЕМПЕРАТУР І ПОСУХ В УМОВАХ ЗМІНИ КЛІМАТУ

Хандогіна О.В., Дядін Д.В., Дрозд О.М.

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

вул. Чорноглазівська, 17, 61002, Харків

olga.khandogina@kname.edu.ua, dmytro.diadin@kname.edu.ua, Olena.Drozd@kname.edu.ua

У статті представлені результати просторового аналізу кліматичної вразливості Дергачівської міської територіальної громади Харківської області до екстремальних температур і посушливих умов, зумовлених зміною клімату. Громада розташована у північній частині Харківської агломерації та характеризується поєднанням сільських і приміських ландшафтів, значною часткою сільськогосподарських угідь та лісів. Зважаючи на розташування в зоні активних бойових дій, територія громади зазнає додаткового антропогенного навантаження, що ускладнює адаптацію до зміни клімату. Для дослідження застосовано відкриті супутникові дані Sentinel-2, цифрову модель рельєфу SRTM та глобальний продукт земного покриття ESA WorldCover 2021. Виконано просторовий аналіз змін індексу вологості між липнем та серпнем 2024 року, на основі чого визначено ділянки зі зниженням вологозабезпечення. Додатково побудовано класифіковану карту експозиції схилів, що дозволяє враховувати мікрокліматичні умови території. На основі даних про типи землекористування визначено найменш екологічно стійкі (найбільш уразливі) категорії земель (сільськогосподарські угіддя, оголені поверхні, трав'яниста рослинність). У результаті проведеної перекласифікації трьох ключових просторових шарів (землекористування, експозиція, зміни вологості) розроблено підхід до оцінки комплексного індексу вразливості території. Отримані результати дозволили визначити пріоритетні зони для впровадження адаптаційних заходів, спрямованих на зменшення ризиків деградації земель і втрати продуктивності агроєкосистем. Запропоновану методiku може бути адаптовано до інших територіальних громад України, зокрема в умовах обмеженої доступності польових досліджень та потреби в оперативному екологічному моніторингу. Дослідження сприяє реалізації завдань різних видів екологічних оцінок, зокрема стратегічної екологічної оцінки, в контексті розробки інструментів для екологічного планування та оцінки впливу змін клімату, що є важливою складовою для адаптації територій до кліматичних ризиків та зменшення їх вразливості. *Ключові слова:* просторовий аналіз, моделювання, зміна клімату, екологічні оцінки, територіальна громада, сталий розвиток, екологічна стійкість, індекс вразливості

Spatial Assessment of the Vulnerability of the Derhachi Community to Extreme Temperatures and Drought under Climate Change Conditions. Khandogina O., Diadin D., Drozd O.

The article presents the results of a spatial analysis of the climate vulnerability of the Derhachi Urban Territorial Community in Kharkiv Oblast to extreme temperatures and drought conditions driven by climate change. The community is located in the northern part of the Kharkiv agglomeration and is characterized by a mix of rural and peri-urban landscapes, with a significant share of agricultural land and forests. Due to its location in an area of active military operations, the territory experiences additional anthropogenic pressure, which complicates climate adaptation. The study utilizes open-access satellite data from Sentinel-2, the SRTM digital elevation model, and the ESA WorldCover 2021 global land cover product. A spatial analysis of changes in the moisture index between July and August 2024 was conducted to identify areas with declining moisture availability. Additionally, a classified slope aspect map was developed to account for the territory's microclimatic conditions. Based on land use data, the least environmentally resilient (most vulnerable) land categories were identified, including agricultural land, bare surfaces, and herbaceous vegetation. As a result of the reclassification of three key spatial layers (land use, slope aspect, and moisture change), an approach was developed for assessing a composite vulnerability index of the territory. The obtained results allowed the identification of priority zones for implementing adaptation measures aimed at reducing the risks of land degradation and agroecosystem productivity loss. The proposed methodology can be adapted to other territorial communities in Ukraine, particularly under conditions of limited access to field surveys and the need for rapid environmental monitoring. The study supports the implementation of various types of environmental assessments, including Strategic Environmental Assessment, in the context of developing tools for environmental planning and assessing the impacts of climate change – a crucial component for adapting territories to climate risks and reducing their vulnerability. *Key words:* spatial analysis, modelling, climate change, environmental assessments, territorial community, sustainable development, environmental resilience, vulnerability index.

Постановка проблеми. Зміна клімату є одним з ключових викликів для сталого розвитку територій, особливо в умовах зростання частоти та інтенсивності екстремальних погодних явищ. За даними Шостого оціночного звіту Міжурядової групи експертів зі зміни клімату (МГЕЗК) [1], у Східній Європі очікується посилення середньорічних температур, зменшення кількості атмосферних опадів у літній період та зростання тривалості періодів без

дощу. Ці зміни мають значний вплив на сільське господарство, стан довкілля, здоров'я населення та інфраструктуру, особливо в невеликих громадах з обмеженими адаптаційними можливостями.

У національному контексті зміна клімату для України вже призводить до відчутних наслідків. За спостереженнями, середня річна температура повітря в країні зросла на 1,2–1,6 °C у порівнянні з кліматичною нормою другої половини XX століття,

а в літні періоди значно частіше фіксуються дні з температурою понад +30 °С [2]. Східні області України, включно з Харківською, належать до регіонів, найбільш уразливих до посух, зростання температури поверхні ґрунту та дефіциту вологи влітку [3]. Зміни у режимі атмосферних опадів та посилення теплового навантаження можуть мати серйозні наслідки для водного балансу, якості ґрунтів і стану екосистем у цих регіонах.

Зміна клімату призводить до зростання ризиків для соціально-економічних систем і екосистем на локальному рівні. Для впровадження належної адаптації та підвищення стійкості громад до означених кліматичних загроз, МГЕЗК [1], GIZ [4] та інші провідні експерти рекомендують проводити оцінку ризиків і вразливості територій до зміни клімату, метою якої є визначення найбільш вразливих секторів (об'єктів). Така оцінка є важливою складовою стратегій сталого розвитку територій, стратегічної екологічної оцінки (CEO), оцінки впливу на довкілля (ОВД) та інших видів екологічних оцінок у документах державного планування різного рівня, оскільки є основою для ефективної пріоритезації та впровадження заходів з адаптації.

Актуальність дослідження. Дергачівська міська територіальна громада, розташована в Харківській області, є типовим прикладом малих міських і сільських територій, що стикаються з комбінованим впливом зміни клімату, урбанізаційного тиску та наслідків війни. У зв'язку з цим актуальним є визначення зон, які найбільш чутливі до перегріву, втрати вологи, зниження екологічного комфорту та ризику деградації довкілля.

Як і багато інших громад України, Дергачівська громада є підписантом Угоди мерів, у рамках якої громади беруть на себе зобов'язання зменшення викидів парникових газів та досягнення кліматичної нейтральності. Обов'язковою частиною Плану дій енергетичного сталого розвитку і клімату, який розробляють і впроваджують підписанти, є проведення оцінки ризиків і вразливості до зміни клімату. Рекомендації Угоди мерів пропонують оцінювати ризики і вразливість на основі двох підходів – індикаторного та просторового, які передбачають, відповідно, оцінювання кількісних індикаторів вразливості та проведення просторового аналізу з виділенням зон найбільшої вразливості [5].

Рамкові підходи та методологічні засади проведення оцінки ризиків і вразливості визначені в оціночних звітах МГЕЗК, настановах провідних експертних груп, та адаптовані на національному рівні в методичних рекомендаціях Міндовкілля України [6]. Проте, методична підтримка та апробація оцінки на локальному рівні для територіальних громад досі має певні прогалини [7].

Вразливість територій до кліматичних екстремумів значною мірою залежить від просторових характеристик середовища – типу землекористу-

вання, щільності забудови, наявності зелених зон, водних об'єктів, рельєфу, експозиції схилів тощо. Просторовий аналіз цих чинників дозволяє виявити зони потенційно підвищеної кліматичної вразливості та сформулювати практичні рекомендації для адаптації. У цьому контексті важливим є комплексне оцінювання як природних, так і антропогенних детермінант вразливості з використанням геоінформаційних технологій.

Метою дослідження є просторове оцінювання вразливості території Дергачівської громади до екстремальних температур і посух в умовах зміни клімату на основі багатокритеріального аналізу геопросторових даних. У роботі застосовано відкриті супутникові дані, методи просторової класифікації та картографування, що дозволяють обґрунтувати пріоритетні зони для заходів адаптації та планування зеленої інфраструктури.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Дослідження спрямоване на вирішення актуального наукового та прикладного завдання – просторової оцінки вразливості територій до кліматичних стресів на локальному рівні. Робота сприяє реалізації ключових положень державно-кліматичної політики, сталого розвитку (Ціль 13 – Боротьба зі зміною клімату), кліматичної стійкості та розробки інструментів місцевої політики з урахуванням екологічної безпеки, що безпосередньо відповідає завданням Стратегії екологічної безпеки та адаптації до зміни клімату на період до 2030 року [8] та Закону України «Про основні засади державної кліматичної політики» [9].

Запропонований підхід, що базується на використанні відкритих супутникових даних, геоінформаційних технологій і просторового аналізу, дозволяє оперативно і масштабовано оцінювати рівень уразливості різних ландшафтних компонентів. Це створює наукову основу для прийняття практичних рішень щодо зонування території, управління земельними ресурсами, протидії деградації довкілля та планування адаптаційних заходів у громадах, що зазнали воєнного та кліматичного навантаження. Результати оцінки вразливості соціально-економічних секторів громади, проведеної за запропонованою методикою, можуть бути враховані в документах державного планування, які розробляються громадою, а також під час здійснення CEO та ОВД відповідно до рекомендацій Міндовкілля України [10].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Оцінка кліматичної вразливості територій дедалі частіше здійснюється за допомогою інтегральних індексів, що поєднують показники перебування під дією, чутливості та адаптивної спроможності. Численні дослідження науковців присвячені питанням розробки індексів вразливості для різних територій з залученням різних просторових та непросторових параметрів. У просторових оцінках часто

пропонуються індекси вразливості, що характеризують окремі кліматичні загрози, зокрема спеку [11]. Оскільки вразливість територій є величиною багатфакторною, успішною практикою є застосування підходів багатокритеріальної просторової оцінки [12, 13], яка враховує просторовий розподіл даних землекористування, транспорту, забруднення повітря, зелених зон, соціально-економічні, гідрологічні показники, тощо. Ці дослідження підтверджують ефективність комплексного просторового аналізу для визначення кліматично вразливих територій і формування адаптаційної політики [14].

На території України досвід просторової оцінки впливу кліматичних загроз та вразливості в основному базується на аналізі ландшафтних зон або їх компонентів у регіональному або національному масштабах [15]. Завдяки доступності даних регіональних кліматичних моделей, наразі проводяться оцінки кліматичних впливів на рівні областей у рамках розробки стратегій адаптації соціально-економічних секторів до зміни клімату [16]. Разом з тим, досвід оцінки вразливості територій громад та населених пунктів, як правило, зосереджений лише на індикаторному підході, без кількісного оцінювання просторової мінливості індикаторів вразливості [17, 18].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Попри зростаючу увагу до проблем кліматичної вразливості територій, більшість досліджень залишають поза увагою особливості локальних територіальних громад. Недостатньо опрацьованими залишаються питання інтегрованої оцінки просторової вразливості громад до впливу екстремальних температур та літньої аридизації, зокрема на основі відкритих супутникових даних і адаптованих під місцевий контекст методик. Особливо актуальним залишається вивчення змін стану ландшафтних систем за впливу як кліматичних, так і воєнних чинників, що призводять до деградації екосистем і зниження адаптивного потенціалу громад. На сьогодні відсутні комплексні дослідження, що дозволяють одночасно враховувати типи землекористування, показники вологості, покриття рослинності та потенційну чутливість до кліматичних екстремумів у межах конкретної громади. Запропоноване в статті дослідження дозволяє частково заповнити цю прогалину, демонструючи можливості просторового аналізу як інструменту підтримки прийняття рішень для екологічного управління в умовах зміни клімату та післявоєнної відбудови.

Новизна роботи полягає у використанні супутникових даних та геоінформаційного моделювання для визначення просторової вразливості Дергачівської громади до літніх кліматичних екстремумів. Отримані результати дозволяють деталізувати рівень вразливості для різних ландшафтних категорій з урахуванням індексу вологості поверхні та інтегрованої класифікації зон ризику.

Методологічне або загальнонаукове значення полягає у впровадженні інтегрованого просторово-аналітичного підходу до оцінки кліматичної вразливості територіальних громад. Поєднання даних дистанційного зондування Землі, типів земного покриву та геоінформаційного аналізу дозволяє проводити деталізовану просторову діагностику вразливості ландшафтів до кліматичних екстремумів. Такий підхід є універсальним і може бути адаптований для інших територій, зокрема для обґрунтування природоохоронних, планувальних та адаптаційних рішень на локальному рівні.

Загальнонаукове значення дослідження полягає в уточненні та апробації індикаторного підходу до просторової оцінки вразливості територій до зміни клімату. Робота розширює можливості використання ГІС і супутникових даних у регіональних екологічних дослідженнях, зокрема для потреб стратегічного планування, просторового розвитку, управління природними ресурсами та адаптації до кліматичних ризиків.

Викладення основного матеріалу. Дергачівська міська територіальна громада розташована на півночі Харківської області, в межах Харківського району, та входить до приміської зони м. Харкова. Загальна площа громади становить 544 км². До її складу входять місто Дергачі, три селища міського типу, три селища та 31 село. Частина населених пунктів розташована у безпосередній близькості до державного кордону та зони бойових дій, що зумовлює додаткові ризики та виклики для сталого розвитку.

За оцінками середини 2024 року фактичне населення скоротилося приблизно до 22 тис. осіб. Економіка громади базується переважно на сільському господарстві, а також на харчовій, легкій промисловості та машинобудуванні. Громада зазнала значних руйнувань внаслідок повномасштабного вторгнення у 2022–2024 рр. Окрім безпекових ризиків, територія демонструє ознаки кліматичної вразливості, зокрема щодо посух і зростання екстремальних температур.

Клімат району – вологий континентальний, із середньорічною кількістю опадів близько 600 мм. Останні десятиліття характеризуються сталим потеплінням: середньорічна температура в Дергачах зросла з 6–8 °C у середині ХХ ст. до понад 10,5 °C у 2022 році. Паралельно з цим фіксується збільшення частоти кліматичних екстремумів.

Територія громади розташована в межах Середньоросійської височини і належить до зони лісостепу. Основні ґрунти – чорноземи, сірі та дерново-підзолисті. Гідрографічну сітку формує річка Лопань (притока р. Уди) та численні дрібні водні об'єкти. Значну роль у забезпеченні водного балансу відіграють атмосферні опади, з яких більша частина повертається до атмосфери через випаровування та транспірацію. У сукупності ці фактори створюють передумови для формування локальних осередків

підвищеної вразливості до зміни клімату, зокрема щодо дефіциту вологи, що й зумовило необхідність проведення просторового аналізу в межах цієї території.

Для проведення оцінки вразливості території Дергачівської міської територіальної громади до кліматичних екстремумів використано методи просторового аналізу в середовищі QGIS (версія 3.28.5-Firenze). Просторовий аналіз охоплював обробку відкритих супутникових геоданих та розрахунок показників, що визначають потенційну вразливість до теплових хвиль і посух.

Для виявлення просторових чинників кліматичної вразливості території було здійснено аналіз типів покриття земної поверхні в межах Дергачівської міської територіальної громади на основі глобального растрового набору даних ESA WorldCover 10m [19] за 2021 рік (рис. 1).

Такий аналіз дозволив визначити просторову структуру території за типами покриття, з подальшим обчисленням частки кожного класу у загальній площі. Аналіз показав, що найбільшу частку території громади займають сільськогосподарські угіддя – близько 49,4 %, що свідчить про переважно аграрний характер землекористування. Деревна рослинність (ліси) займає близько 29,2 % площі, переважно у вигляді лісових масивів та лісосмуг, що є важливим буфером для пом'якшення кліматич-

них екстремумів. Трав'яниста рослинність охоплює 18,0 % території та, ймовірно, включає як природні луки, так і неактивні сільськогосподарські угіддя. Інші категорії займають незначні частки: забудовані території – лише 1,8 %, що свідчить про обмежений масштаб урбанізованої зони; постійні водні об'єкти – 1,1 %, трав'янисті заболочені ділянки – 0,4 %, а оголені поверхні або розріджена рослинність – 0,1 %.

Структура земного покриву свідчить про відносно, високу потенційну буферність території до змін мікроклімату завдяки наявності лісових масивів, хоча висока частка орних земель вимагає додаткового аналізу з точки зору вразливості до деградації, перегріву та втрати вологи. Урбанізовані ділянки, попри їх незначну частку, можуть становити осередки локального перегріву, особливо в умовах щільної забудови без належного озеленення.

Для оцінки кліматичної вразливості території громади застосовано підхід, що передбачає побудову індексу просторової вразливості на основі типів покриття земної поверхні. Методологія базується на припущенні, що різні категорії землекористування мають різну здатність протистояти негативним наслідкам екстремальних температур і посух.

Кожному типу покриття надано умовну оціночну вагу вразливості у шкалі від 1 (найменша вразливість) до 3 (найвища вразливість), на основі даних щодо їх здатності до збереження вологості ґрунту,

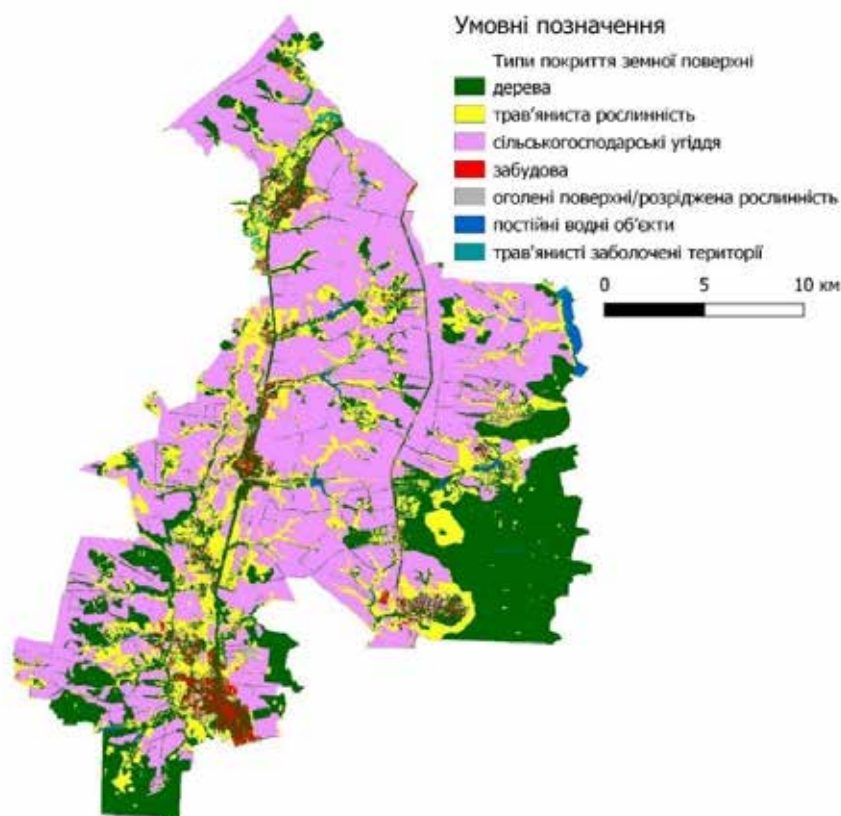


Рис. 1. Карта типів покритті земної поверхні території Дергачівської громади

зниження температури поверхні, забезпечення екосистемних послуг у періоди кліматичних екстремумів. Розподіл оцінок наведено в таблиці 1.

Іншим важливим фізико-географічним фактором, що впливає на мікроклімат та умови зволоження, є експозиція схилів. В дослідженні на основі цифрової моделі рельєфу SRTM [20] було побудовано карту експозиції території Дергачівської громади (рис. 2).

Експозиція безпосередньо впливає на мікроклімат схилу: південні, південно-західні та західні

схили в умовах Північної півкулі зазвичай отримують більше сонячного випромінювання, отже, швидше прогріваються, більше втрачають вологу та сильніше висихають, особливо в умовах літніх посух. Це чинить додатковий тиск на сільськогосподарські угіддя, які переважно розміщені саме на відкритих ділянках.

Натомість північні та північно-східні схили є прохолоднішими, вологішими, менш вразливими до перегріву та тривалих періодів без опадів.

Таблиця 1

Ранжування вразливості типів покриття земної поверхні до зміни клімату

Тип покриття	Вразливість	Пояснення
Дерева	1	Знижують температуру, зберігають вологу, пом'якшують клімат
Трав'яниста рослинність	2	Частково стабілізує мікроклімат, але схильна до висихання
Сільськогосподарські угіддя	3	Схильні до перегріву, втрати вологи, ерозії, залежать від типу обробки
Забудова (штучні поверхні)	3	Поглиблюють ефект «острова тепла», не утримують вологу
Оголені поверхні / розрізана рослинність	3	Погано захищені, перегріваються, легко деградують
Постійні водні об'єкти	1	Пом'якшують локальний мікроклімат, стабілізують температуру
Трав'янисті заболочені території	2	Зволожують локальне середовище, мають буферний ефект

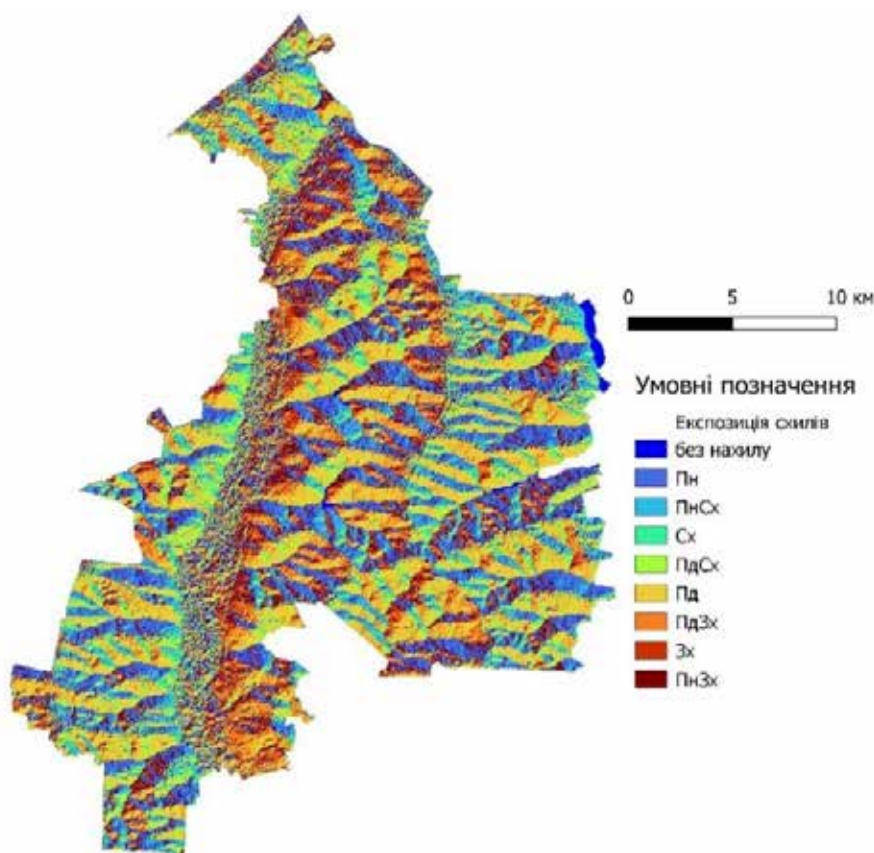


Рис. 2. Карта експозиції схилів території Дергачівської громади

Таблиця 2

Шкала для перекласифікації растру зміни індексу вологості

$\Delta NDMI$	Інтерпретація
< -0.2	Сильне висихання
-0.2 до -0.05	Слабке висихання
-0.05 до $+0.05$	Незначні або відсутні зміни
$+0.05$ до $+0.2$	Слабке зволоження
$> +0.2$	Сильне зволоження

Рекласифікація карти експозиції за шкалою від 1 (північні, північно-східні та північно-західні схили) до 3 (південно-східні, південні та південно-західні схили) дозволяє інтегрувати цей фактор у комплексну оцінку вразливості, поєднуючи його з іншими екологічними і ландшафтними змінними.

Для виявлення просторових змін у стані покриття Дергачівської територіальної громади було здійснено аналіз супутникових даних Sentinel-2A за літній період 2024 року. Зображення за 9 липня 2024 р. та 18 серпня 2024 р. було отримано з ресурсу EO Browser [20] на основі комбінації каналів B08 (NIR, 842 нм) та B11 (SWIR, 1610 нм). Ці канали були обрані для розрахунку нормалізованого індексу вологості (NDMI), що є чутливим до змін у водному вмісті рослинної біомаси. На кожному із знімків (відповідно до обраних дат) було створено NDMI-растр за стандартною формулою:

$$NDMI = \frac{B08 - B11}{B08 + B11}$$

Надалі для оцінки змін вологості впродовж літнього періоду було розраховано растр різниці NDMI ($\Delta NDMI$) за формулою:

$$\Delta NDMI = NDMI_{18.08.2024} - NDMI_{09.07.2024}$$

Результуючий шар був підданий перекласифікації за п'ятьма класами змін вологості (табл. 2).

Отримані результати свідчать про переважне зменшення вмісту вологості на території громади в аналізований період (рис. 3). Так, сильне висихання охопило 28,0% території; слабе висихання – 36,5%; стабільність у вологості спостерігалася на 25,9% площі; лише 7,8% території зазнали слабого зволоження, і менше 2% – сильного зволоження.

Домінування зон висихання вказує на переважання посушливих умов у серпні 2024 року порівняно з першою половиною літа, що може бути пов'язано з високими температурами, зменшенням кількості опадів, а також з потенційним впливом на рослинне покриття (особливо трав'янисту рослинність і сільськогосподарські угіддя).

Було проведено зіставлення типів покриття за даними ESA WorldCover [19] та просторового роз-

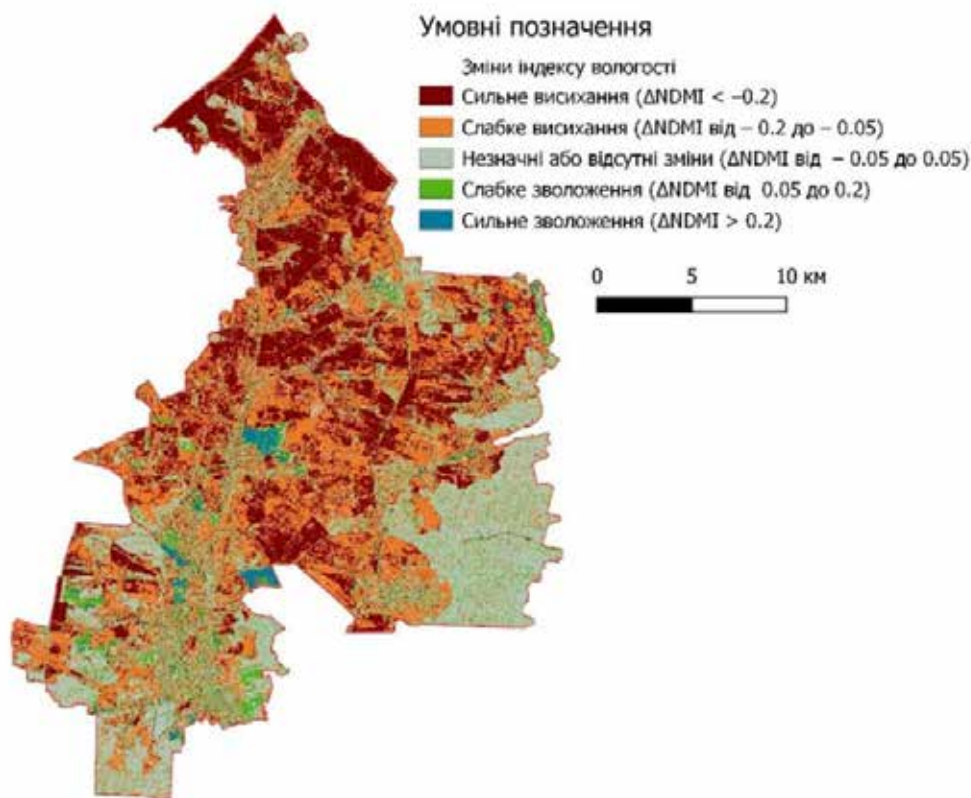


Рис. 3. Просторовий розподіл змін індексу вологості NDMI між 9 липня та 18 серпня 2024 року на території Дергачівської громади

поділу значень індексу вологості, що дозволило оцінити вразливість різних ландшафтних категорій до літнього висихання та кліматичних стресів (табл. 3). Найбільші площі сильного висихання зафіксовано в межах сільськогосподарських угідь (121,8 км²), що підтверджує їх високу чутливість до кліматичних стресів. Значна частина територій із слабким висиханням представлена також трав'янистою рослинністю (50,2 км²) та лісами (36,0 км²), що вказує на поширеність легких порушень водного балансу навіть у стійкіших екосистемах. Водночас ліси демонструють домінування стабільного режиму

вологості (93,7 км²), що свідчить про їхню буферну роль у ландшафтній системі громади.

З метою просторової ідентифікації вразливих до посухових явищ територій, було побудовано карту поєднання типів покриття з високим рівнем чутливості до кліматичних стресів (сільськогосподарські угіддя, трав'яниста рослинність, заболочені території) із зонами, де зафіксовано істотне зниження індексу вологості. Такий підхід дозволив виділити потенційно критичні ділянки, які потребують пріоритетного моніторингу або адаптаційних заходів в умовах зміни клімату (рис. 4).

Таблиця 3

Розподіл змін індексу вологості за категоріями типів покриття в межах Дергачівської громади

	Сильне висихання	Слабке висихання	Незначні або відсутні зміни	Слабке зволоження	Сильне зволоження
Дерева	6%	23%	59%	11%	1%
Трав'яниста рослинність	20%	51%	19%	8%	2%
Сільськогосподарські угіддя	45%	40%	8%	4%	2%
Забудова	6%	30%	36%	23%	5%
Оголені поверхні / розріджена рослинність	3%	21%	53%	21%	2%
Постійні водні об'єкти	15%	15%	26%	27%	17%
Трав'янисті заболочені території	8%	36%	37%	16%	3%

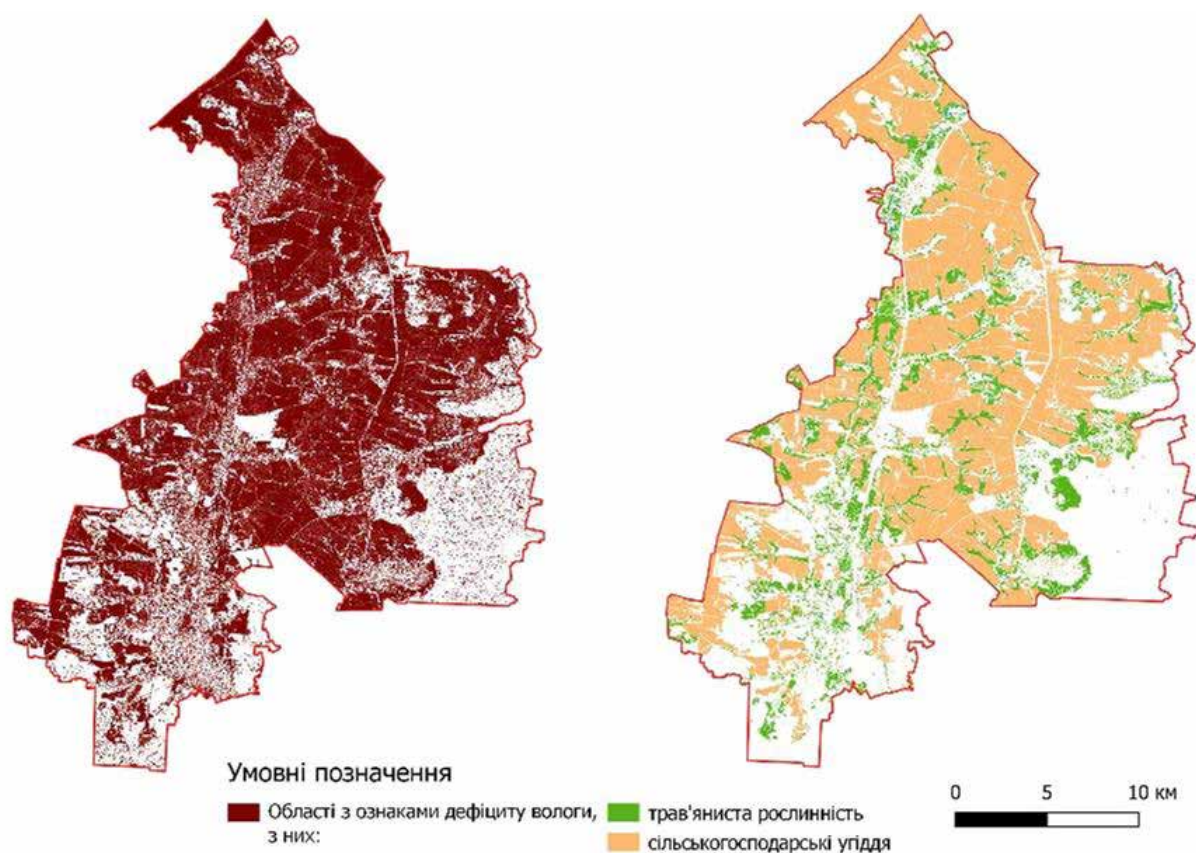


Рис. 4. Карта поєднання типів покриття з високим рівнем чутливості до кліматичних стресів з областями з ознаками дефіциту води

Для комплексної оцінки просторової вразливості території Дергачівської громади до кліматичних ризиків, зокрема до посух і екстремальних температур у літній період, запропоновано використати інтегрований індекс вразливості, який поєднує кілька просторових факторів, що можуть суттєво впливати на чутливість екосистем та землекористування до кліматичних екстремумів: експозицію схилів, тип землекористування, а також динаміку вологості ґрунту, визначену за допомогою індексу NDMI.

Для кожного із шарів використовувалась трибальна шкала (1 – низька вразливість, 2 – середня, 3 – висока), згідно з наступною логікою:

- південні, південно-східні та південно-західні експозиції класифікувались як найбільш вразливі (3), західні та східні – як середньо вразливі (2), а північні та плоскі ділянки – як найменш вразливі (1), враховуючи вплив сонячної радіації на пересихання ґрунту в літній період,

- сільськогосподарські угіддя, розріджена рослинність та оголені площі віднесені до найбільш чутливих (3), трав'яниста рослинність і заболочені ділянки – до середньої вразливості (2), а лісові масиви та забудовані території – до менш вразливих (1),

- зони з сильним висиханням (від'ємні значення, що перевищують поріг -0.2) класифікувались як вразливі (3), слабе висихання (від -0.2 до -0.05) – як середньо вразливі (2), стабільні або зволожені ділянки – як менш вразливі (1) (рис. 5).

Об'єднання трьох факторів здійснювалося за формулою:

$$I = (W_1 \times \text{експозиція} + W_2 \times \text{покриття} + W_3 \times \text{MI})$$

де W_1 – W_3 – вагові коефіцієнти кожного шару.

В нашому дослідженні ваги були прийняті рівними ($W_1 = W_2 = W_3 = 1$), однак модель дозволяє адаптацію ваг відповідно до конкретних дослідницьких цілей (наприклад, посилення впливу показника вологості у посушливих регіонах).

Результуючий растр було перекласифіковано на 3 градації вразливості: низька, середня, висока. Карта індексу вразливості дозволяє виявити території, які потенційно зазнають найбільшого впливу кліматичних екстремумів, та оцінити співвідношення категорій землекористування в межах цих зон (рис. 6).

Одержані результати варто інтерпретувати з урахуванням низки факторів, які могли вплинути на точність оцінки просторової вразливості території Дергачівської громади до висихання у літній період 2024 року.

По-перше, аналіз ґрунтувався на супутникових даних Sentinel-2 за дві дати (09.07.2024 та 18.08.2024), що не дозволяє повністю врахувати динаміку сезонних змін. Частина виявлених змін NDMI, особливо на сільськогосподарських угіддях, може відображати не лише кліматичні фактори, а й типову для регіону агросезонну динаміку, зокрема завершення вегетації сільськогосподарських культур у серпні. Для більш

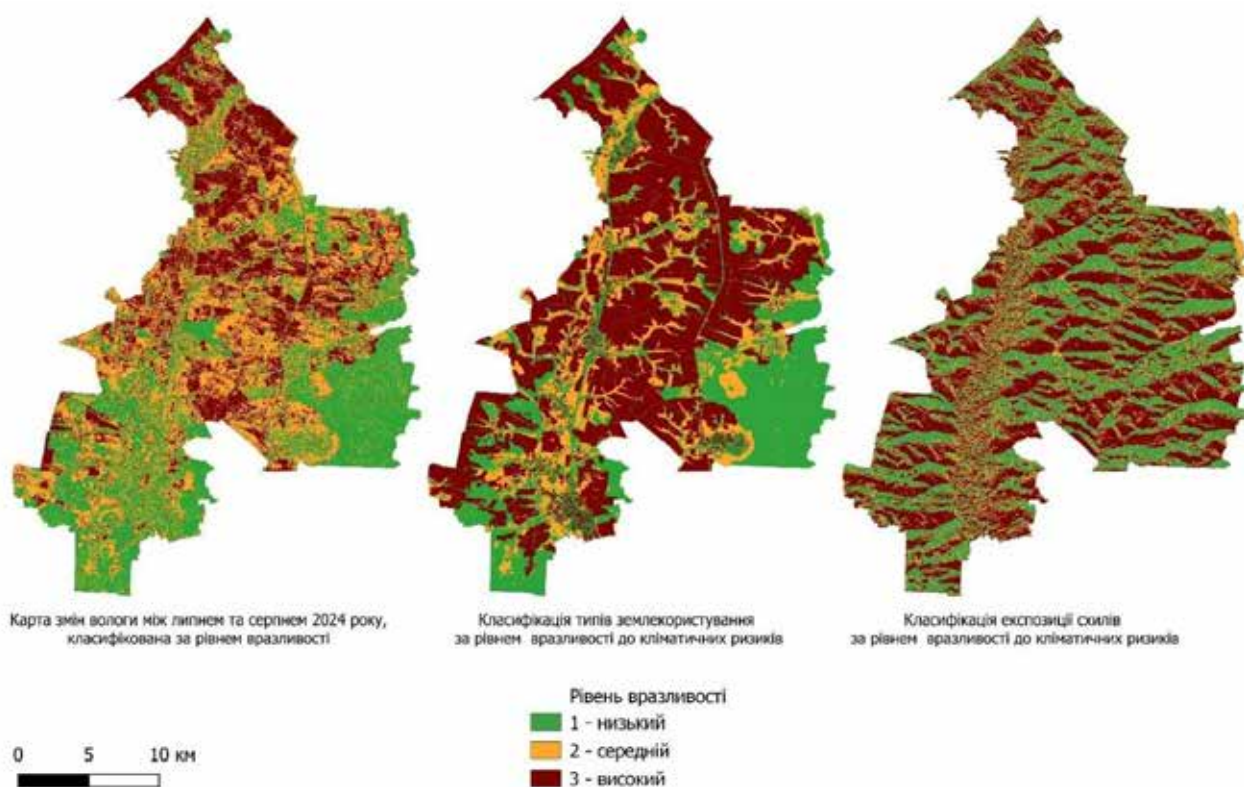


Рис. 5. Перекласифіковані шари

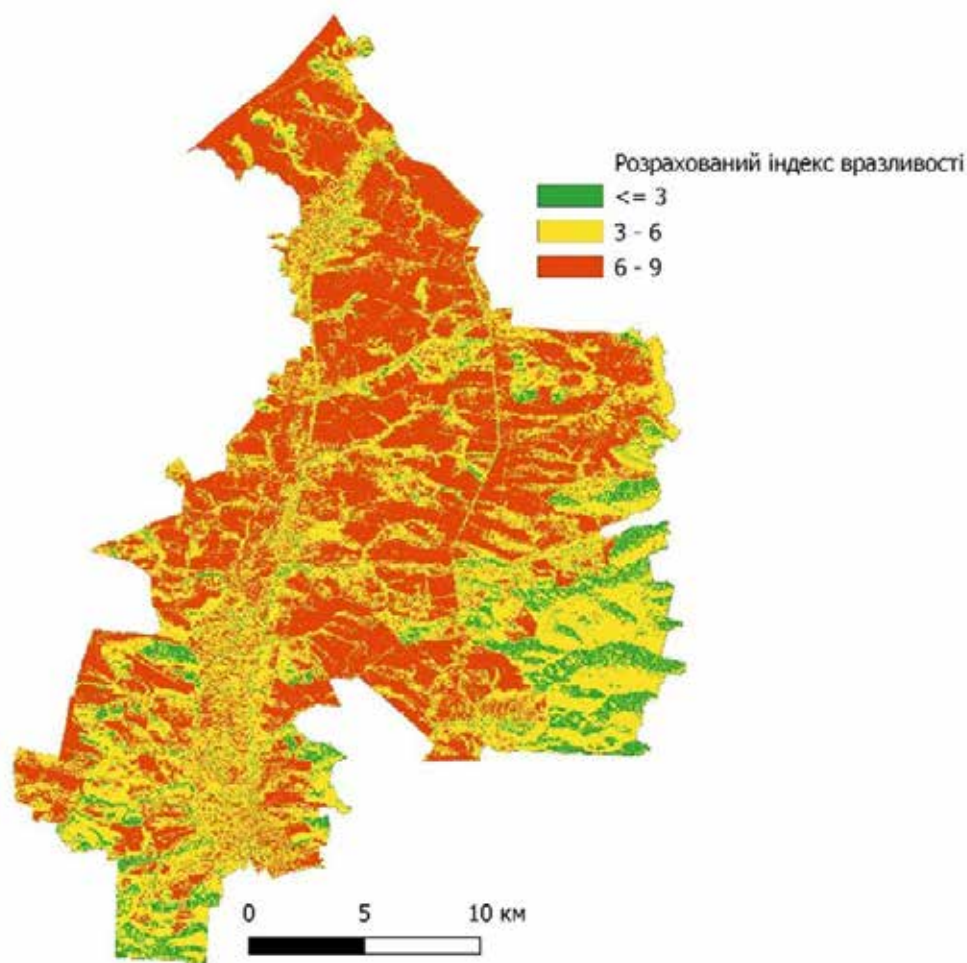


Рис. 6. Результуючий растр розрахунку комплексного індексу вразливості території Дергачівської громади до кліматичних ризиків

достовірної оцінки вразливості рослинного покриву до кліматичних стресів доцільно використовувати багаторічні дані або порівняння значень індексу в межах одного вегетаційного періоду між роками з різною агрокліматичною ситуацією.

По-друге, використані для аналізу сільськогосподарські угіддя становлять значну частину території громади, проте у зв'язку з воєнними діями, що тривають у регіоні з 2022 року, частина цих земель могла бути не оброблена у 2024 році. У таких випадках спостерігається зміна характеру землекористування: на полях, які не засівались, могли розвиватися процеси вторинної сукцесії – тобто природного відновлення трав'янистої чи чагарникової рослинності. Це могло зумовити відносно високі значення індексу вологості (NDMI) навіть у серпні, коли зазвичай на оброблених полях відбувається зниження вегетаційної активності через збір урожаю.

Крім того, в умовах війни спостерігається просторово неоднорідна мозаїка землекористування, з чергуванням ділянок, які залишаються активними в агровиробництві, з покинутими або мінованими територіями. Така гетерогенність ускладнює автома-

тизовану інтерпретацію індексів і вимагає локальної верифікації або інтеграції з додатковими джерелами інформації (зокрема, польовими даними, класифікацією типів покриття, даними моніторингу посівних площ тощо).

З огляду на вищезазначене, отримані результати варто розглядати як пілотну оцінку вразливості території до літнього висихання, яка потребує подальшого поглиблення у наступних дослідженнях.

Висновки. У рамках цього дослідження було здійснено комплексну просторову оцінку вразливості Дергачівської міської територіальної громади до екстремальних температур і посушливих умов, спричинених змінами клімату. Проведено класифікацію землекористування на основі даних ESA WorldCover, що дозволило виявити домінування сільськогосподарських угідь (майже 50 % площі) та лісових масивів (понад 29 %), які є критично важливими з точки зору впливу кліматичних чинників. Аналіз змін індексу вологості, побудованого за супутниковими знімками Sentinel-2 за липень і серпень 2024 року, показав, що понад 60 % території громади зазнали висихання різного ступеня, з них

28 % – сильного висихання. Особливо вразливими виявилися сільськогосподарські угіддя, трав'яниста рослинність і частково забудовані території. Карта експозиції схилів на основі даних SRTM дала змогу врахувати мікрокліматичні особливості території. На основі перекласифікації трьох шарів (типів землекористування, експозиції схилів та змін індексу вологості) побудовано підхід до інтегральної оцінки просторової вразливості. Метод дозволяє виявляти пріоритетні зони ризику для прийняття управлінських рішень.

Перспективи використання результатів дослідження. Отримані результати мають практичне зна-

чення для розробки локальних стратегій адаптації до змін клімату, документів державного планування та проведення стратегічної екологічної оцінки та інших видів екологічних оцінок, включаючи оптимізацію землекористування, заходи з підвищення стійкості агроєкосистем та планування використання водних ресурсів. У подальших дослідженнях доцільно розширити спектр аналізованих змінних, включити багаторічні ряди супутникових даних, а також враховувати соціально-економічні аспекти кліматичної вразливості. Особливо актуальним є дослідження динаміки відновлення земель, що постраждали внаслідок воєнних дій, в умовах зміни клімату

Література

1. Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2023: Synthesis Report. Longer Report. 2023. URL: https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_LongerReport.pdf (дата звернення: 16.07.2025)
2. Краковська С., Криштоп Л. Узагальнена оцінка впливу зміни клімату в Україні. GIZ, 2024. 86 с. URL: <https://ukrainian-climate-office.org/library/> (дата звернення: 16.07.2025).
3. Reshetchenko S., Popovych N., Shulika B., Porvan A., Cherkashyna N. Evaluation of the environmental status of agricultural resources in the territory of Ukraine under conditions of climate change. *Technology Audit and Production Reserves*. 2018. № 3(3(41)). С. 21–32. URL: <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2018.134890> (дата звернення: 16.07.2025).
4. The Vulnerability Sourcebook – Concept and guidelines for standardised vulnerability assessments. GIZ, adelphi, EURAC. Eppelheim, 2014. 180 р. URL: <https://adelphi.de/en/publications/the-vulnerability-sourcebook-concept-and-guidelines-for-standardised-vulnerability> (дата звернення: 16.07.2025).
5. How to develop a Sustainable Energy and Climate Action Plan (SECAP). Part 2 – Baseline Emission Inventory (BEI) and Risk and Vulnerability Assessment (RVA) / ed. Bertoldi P. Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2018. 126 р.
6. Методичні рекомендації для здійснення оцінки ризиків та вразливості соціально-економічних секторів та природних складових до зміни клімату : Наказ Міндовкілля України № 386 від 03.06.2023 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0386926-23#Text> (дата звернення: 18.07.2025).
7. Дядін Д., Дрозд О. Аналіз методологічних підходів оцінки ризиків і вразливості до зміни клімату на рівні територіальних громад. *Екологічні науки*. 2024. № 6(57). С. 237–243.
8. Про схвалення Стратегії екологічної безпеки та адаптації до зміни клімату в Україні на період до 2030 року : розпорядження Кабінету Міністрів України від 20 жовтня 2021 р. № 1363-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1363-2021-r#Text> (дата звернення: 15.07.2025).
9. Про основні засади державної кліматичної політики : Закон України від 30 жовтня 2024 р. № 3991-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3991-20#Text> (дата звернення: 15.07.2025).
10. Методичні рекомендації щодо врахування кліматичного компонента в документах державного планування та під час здійснення стратегічної екологічної оцінки: Наказ Міндовкілля України № 1382 від 31.10.2024 р. URL: <https://mepr.gov.ua/nakaz-mindovkiillya-1382-vid-31-10-2024/> (дата звернення: 15.07.2025).
11. Inostroza L., Palme M., de la Barrera F. A Heat Vulnerability Index: Spatial Patterns of Exposure, Sensitivity and Adaptive Capacity for Santiago de Chile. *PLoS ONE*. 2016. Vol. 11, № 9. URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0162464> (дата звернення: 16.07.2025).
12. Kumar P., Geneletti D., Nagendra H. Spatial assessment of climate change vulnerability at city scale: A study in Bangalore, India. *Land Use Policy*. 2016. Vol. 58. P. 514–532. URL: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.08.018> (дата звернення: 19.07.2025).
13. Shakya R., Khan S. Climate Change Vulnerability through Spatial Assessment: A Study of Central India. *Natural Hazards Review*. 2024. Vol. 25, Issue 3. URL: <https://doi.org/10.1061/NHREFO.NHENG-1980> (дата звернення: 19.07.2025).
14. Badaloni C., De Sario M., Caranci N. et al. A spatial indicator of environmental and climatic vulnerability in Rome. *Environment International*. 2023. Vol. 176. URL: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2023.107970> (дата звернення: 16.07.2025).
15. Букша І. Ф., Швиденко А. З., Бондарук М. А., Целіщев О. Г., Пивовар Т. С., Букша М. І., Пастернак В. П., Краковська С. Методологія моделювання та оцінювання впливу зміни клімату на лісові фітоцинози України. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України*. 2017. Вип. 266. С. 26–38. URL: https://www.researchgate.net/publication/329360941_Metodologia_modeluvanna_ta_ocinuvanna_vplivu_zmini_klimatu_na_lisovi_fitocinozi_Ukraini (дата звернення: 16.07.2025).
16. Стратегія адаптації до зміни клімату для Івано-Франківської області. Міжнародний проєкт «Посилення спроможності регіональних та місцевих адміністрацій щодо імплементації та виконання законодавства ЄС щодо охорони навколишнього середовища та зміни клімату та розвитку інфраструктурних проєктів – EuropeAid/140209/DH/SER/UA». 2024. URL: <https://www.if.gov.ua/dovkilliya/strategiia-adaptatsii-do-zminy-klimatu-dlia-ivano-frankivskoi-oblasti> (дата звернення: 16.07.2025).
17. Шевченко О., Власюк О., Ставчук І., Ваколюк М., Ілляш О., Рожкова А. Оцінка вразливості до зміни клімату: Україна. Київ : Myflaer, 2014. 74 с.
18. Niu Y., Shen Y., Qiu Y. A Systematic Review of the Development and Validation of the Heat Vulnerability Index: Major Factors, Methods, and Spatial Units. *Current Climate Change Reports*. 2021. Vol. 7. P. 87–97. URL: <https://doi.org/10.1007/s40641-021-00173-3> (дата звернення: 16.07.2025).

19. ESA WorldCover. URL: <https://esa-worldcover.org/en/data-access> (дата звернення: 16.07.2025).
20. SRTM. URL: <https://www.earthdata.nasa.gov/data/instruments/srtm> (дата звернення: 16.07.2025).
21. EO Browser by Sentinel Hub. URL: <https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/> (дата звернення: 16.07.2025).

Дата першого надходження рукопису до видання: 17.07.2025

Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 25.08.2025

Дата публікації: