

УДК 502.504

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2025.146.1.34>

ЗАСТОСУВАННЯ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ МОНІТОРИНГУ В ДОСЛІДЖЕННІ ПРОЦЕСІВ РУЙНАЦІЇ ВЕРХНІХ ШАРІВ ҐРУНТУ

Бабенко В.М. – к.т.н.,

доцент кафедри хімічної техніки та промислової екології,

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

orcid.org/0000-0002-1578-3445

Тихомирова Т.С. – к.т.н., доцент,

доцентка кафедри хімічної техніки та промислової екології,

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

orcid.org/0000-0001-9124-9757

Сакун А.О. – PhD, доцент,

доцентка кафедри хімічної техніки та промислової екології,

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

orcid.org/0000-0002-1079-7856

У роботі розглянуто застосування сучасних методів моніторингу для дослідження процесів руйнації верхніх шарів ґрунту під впливом природних і антропогенних чинників. Задля визначення оцінки пошкодження ґрунту застосовано використання двох методів. Перший, якісний підхід використовує загальний моніторинговий підрахунок зафіксованих випадків. Другий підхід базується на отриманні більш точної кількісної характеристики площі пошкодження, зміни територіальної цілісності земельної структурної одиниці сільськогосподарського або іншого призначення. У праці окремо підкреслено, що на сьогодні додається суттєвий вплив від повномасштабних військових дій, як прямого впливу, так і накопичувальної поступової дії. Результати досліджень свідчать про те, що навіть попри збільшений антропогенний вплив використання моніторингу та класифікація пошкоджень надає позитивні результати, як в короткостроковій так і в довгостроковій перспективі.

Проаналізовано можливості дистанційного зондування Землі, використання супутникових геоінформаційних систем (ГІС), безпілотних літальних апаратів (БПЛА), а також наземних інструментальних і лабораторних методів у виявленні ерозійних процесів, деградації ґрунтового покриву та змін його фізико-хімічних властивостей. Нами вважається, що особливо перспективним методом є застосування БПЛА з електричними двигунами та використання на них штучного інтелекту (ШІ) задля спрощення збору й обробки отриманої інформації. Посадання використання БПЛА, ШІ та електронних карт і таблиць на сьогодні у військовій сфері надає найкращі результати, досвід яких потрібно застосовувати і в екологічному моніторингу. Обґрунтовано ефективність комплексного використання сучасних моніторингових підходів для оперативної оцінки стану ґрунтів, прогнозування подальшої деградації та розроблення заходів щодо збереження і відновлення ґрунтових ресурсів в умовах кліматичних змін та зростаючого антропогенного навантаження. У статті сформульовано рекомендації стосовно моніторингу задля виявлення змін та можливого зменшення наслідків пошкодження ґрунтів. Окреслено, що використання усіх можливих на сьогодні методів моніторингу дає можливість оперативно збирати, накопичувати та систематизувати інформацію екологічного характеру для використання її в збереженні та відновленні верхнього шару ґрунтів.

Ключові слова: екологія, моніторинг, земельні ресурси, екосистеми, ґрунти, забруднення.

Babenko V.M., Tykhomyrova T.S., Sakun A.O. Application of modern monitoring methods in the study of the processes of destruction of upper soil layers

The paper examines the application of modern monitoring methods for investigating the processes of soil layer destruction under the combined influence of natural and anthropogenic factors. To assess soil damage, two methods were employed. The first, qualitative approach uses a general monitoring count of recorded cases. The second approach is based on obtaining a more accurate quantitative characterization of the area of damage, including changes in the territorial integrity of a land structural unit with agricultural or other purposes. The paper separately emphasizes that today, a significant impact from full-scale military operations is added, encompassing both direct and cumulative gradual effects. The research results indicate that despite the increased anthropogenic impact, the use of monitoring and classification of damage provides positive results, both in the short and long term.

The possibilities of remote sensing of the Earth, the use of satellite geographic information systems (GIS), unmanned aerial vehicles (UAVs), as well as ground-based instrumental and laboratory methods in detecting erosion processes, soil degradation, and changes in its physicochemical properties are analyzed. A particularly promising method is the use of UAVs equipped with electric motors and the application of artificial intelligence (AI) to simplify the collection and processing of the information obtained. The combination of UAVs, AI, and electronic maps and tables in the military sector today yields the best results, an experience that should also be applied in environmental monitoring. The effectiveness of integrating modern monitoring approaches for operational assessment of soil conditions, forecasting further degradation, and developing measures to preserve and restore soil resources in the context of climate change and increasing anthropogenic load is substantiated. The article formulates recommendations for monitoring to detect changes and reduce the consequences of soil damage. It is outlined that the use of all currently available monitoring methods enables the prompt collection, accumulation, and systematization of ecological information for use in the preservation and restoration of the topsoil.

Key words: *ecology, monitoring, land resources, ecosystems, soils, pollution.*

Актуальність теми дослідження. В сучасних умовах розвитку України актуальність дослідження застосування сучасних методів моніторингу в процесах руйнації верхніх шарів ґрунту зумовлена зростанням інтенсивності процесів деградації, спричинених поєднанням кліматичних змін і посилення антропогенного впливу. Підвищення середньої температури повітря, збільшення випадків екстремальних опадів і посух, а також нераціональне землекористування призводять до прискорення водної та вітрової ерозії, ущільнення ґрунту, втрати гумусу й зниження його родючості. Особливо вразливими є верхні шари ґрунту, які виконують ключову роль у забезпеченні біологічної продуктивності екосистем і продовольчої безпеки.

Традиційні методи оцінки стану ґрунтів часто є трудомісткими, локальними та недостатньо оперативними для своєчасного виявлення динамічних змін. У зв'язку з цим зростає потреба у впровадженні сучасних методів моніторингу, зокрема дистанційного зондування Землі, геоінформаційних систем, використання безпілотних літальних апаратів і автоматизованих наземних сенсорів. Поєднання таких підходів забезпечує просторово-часову безперервність спостережень, підвищує точність оцінки процесів руйнації ґрунтового покриву та дозволяє виявляти тенденції деградації на ранніх стадіях. Таким чином, впровадження можливостей застосування сучасних методів моніторингу є надзвичайно актуальним для наукового обґрунтування систем управління ґрунтовими ресурсами, розроблення ефективних заходів з охорони та відновлення ґрунтів, а також для забезпечення сталого землекористування в умовах сучасних екологічних викликів.

Постановка проблеми. В сучасному світі природні піхотні та рівнинні земельні екосистеми, за рахунок постійного наростаючого навантаження є досить вразливими, особливо це спостерігається на фоні кліматичних змін кінця ХХ та початку

XXI століття. Найбільшими за масштабом явища такого характеру спостерігалися при освоєнні раніше недоторканих степових просторів Євразії та прерій Північної Америки. Безвідповідальне ставлення до земельних ресурсів в умовах помірного степового клімату приводило до потужних процесів вітрової ерозії, особливо в весняний період, коли рослинність ще вкриває орні ґрунти. В процеси деградації верхнього шару ґрунту, в XXI столітті, вносять переважно найбільший вклад два фактори: перший це підвищення середньої температури Землі при збільшенні парникових газів в атмосфері та для степового регіону ще й зменшення кількості опадів, а другий – це недбале ставлення до земельних ресурсів в XX столітті та початок повномасштабних військових дій на сході й півдні України. Особливо гостро проблема фізичного знищення та виведення з ладу орних земельних ресурсів спостерігається на сході України, де на кінець 2025 року вже фактично четвертий рік продовжуються повномасштабні запеклі військові дії з застосуванням усіх можливих конвекційних і навіть хімічних засобів зброї. Інтенсивна людська діяльність XX століття по недбалому використанню земельних ресурсів, до якої в часи СРСР не приділяли необхідної уваги та не проводили систематичні моніторингові спостереження привела до зменшення родючості, засолення й виснаження ґрунтів. Використання надмірного зрошення та недостатньої ущільненості іригаційних каналів на півдні України призвели до змін гідрологічного режиму з появою процесів водної ерозії, коли починається втрата біологічно активного шару ґрунту. Потрапляння додаткової кількості родючих ґрунтів с великою кількістю сполук азоту й фосфору призводить до таких негативних процесів в річках та водосховищах як «цвітіння» води й замулювання донних рослин.

Починаючи з 2022 року додатковим негативним фактором є повномасштабні військові дії, що на кінець 2025 охоплюють східні та південні області України. Сьогодні навіть Одеська область страждає від руйнації внаслідок збільшення потрапляння ворожих БПЛА на її територію. Окрема потрібно сказати про токсичні речовини що потрапляють в ґрунти при використанні бойових отрутних речовин і вибухівки, масштабні пожежі, яких тільки в Харківській області, в 2025 році налічувалось 626 випадків [1].

Використання сучасних методів моніторингу, що поєднують в собі такі новітні технології спостереження як супутникові данні, БПЛА з ШІ та там де є можливість наземні лабораторні експерименти, дає можливість створення інформаційної бази задля роботи по зменшенню впливу й відновленню пошкоджених земельних ресурсів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Верхній шар ґрунту, родючий гумусовий горизонт, є найбільш уразливою складовою ґрунтового покриву під час масштабних пожеж, оскільки саме в ньому зосереджені органічна речовина, поживні елементи, мікроорганізми та насіння рослин. Високі температури під час тривалих масштабних пожеж призводять до вигорання гумусу, руйнуванню й спіканню ґрунтової структури та загибелі ґрунтової біоти. Такі негативні наслідки різко знижують родючість і здатність ґрунту до самовідновлення, особливо це стосується хвойних лісів. Масштабні пожежі також суттєво змінюють фізичні властивості верхнього шару ґрунту: зменшується водопроникність, формується гідрофобний довгостроковий водовідштовхувальний прошарок, зростає щільність і знижується пористість. Унаслідок цього після пожеж різко підвищується ризик водної, а потім і вітрової ерозії, особливо під час інтенсивних літніх опадів або сильних вітрів, що призводить до втрати верхнього родючого шару. Хімічні зміни ґрунту після пожеж проявляються у втраті азоту через його випаровування,

тимчасовому підвищенні лужності та накопиченні зольних елементів, які можуть швидко вимиватися. За умов повторюваних або надзвичайно інтенсивних пожеж ці процеси набувають незворотного характеру, спричиняючи деградацію ґрунтів і зниження їх біологічних функцій аж до повної втрати екосистеми. Звичайно цей процес зворотній, але відновлення може займати до п'яти років, в залежності від масштабів.

Особливо високою є вразливість верхнього шару ґрунту в умовах пожеж від військових дій, коли поєднуються декілька негативних факторів: висока температура горіння, механічне порушення поверхні та забруднення продуктами вибухів і горіння. Це створює додаткові екологічні ризики, пов'язані з токсичним навантаженням, погіршенням якості ґрунтів і тривалим негативним впливом на прилеглі екосистеми та сільськогосподарські угіддя.

За моніторинговими підрахунками по Харківській області пошкодження ґрунтів від масштабних пожеж що були спричинені від потужних обстрілів на початок грудня налічувалось 13 випадків (табл. 1).

Таблиця 1

Відомі випадки пожеж, прямо пов'язаних із ворожими обстрілами та ударами на Харківщині у 2025 році, на основі повідомлень ДСНС

| Дата | Кількість пожеж / обставини | Місце (район) |
|-------------------------|--|--|
| 1–2 березня 2025 | 2 пожежі, спричинені обстрілами | Богодухівський, Куп'янський |
| 8–9 березня 2025 | 5 пожеж, спричинених обстрілами | Харківський, Чугуївський, Ізюмський райони |
| 29 квітня, травень 2025 | Лісова пожежа після обстрілів, площі до 50 га і більше | Ізюмський, Борівський райони |
| 18 червня 2025 | 2 пожежі через ворожі БПЛА/обстріли | Богодухівський (Ріпки), Ізюм |
| 19–20 червня 2025 | 3 пожежі внаслідок масованого обстрілу Харкова | Харків (місто) |
| 16 вересня 2025 | 1 велика пожежа спричинена російським ударом | Великий Бурлук |

Джерело: на основі аналізу [2]

Окрім прямого негативного впливу, завдяки супутниковим методам моніторингу впродовж 2024 та 2025 року, є й додаткові чинники які додають свій вклад в підвищенню середньої температури Землі. Кількість сажі від різних пожеж, що потрапила в атмосферу після повномасштабного вторгнення з лютого 2022 року навіть на сьогодні не відома, тобто є суттєві «прогалини» в моніторингових спостереженнях. Але за рахунок проміжних оцінок «Ініціативи з обліку парникових газів війни», повний масштаб воєнних викидів (CO_2 еквівалент) з лютого 2022 року до теперішнього часу становить близько 230–237 млн. тонн CO_2 еквіваленту, включаючи прямі викиди від бойових дій, знищення інфраструктури, пожеж і пов'язані з ними ланцюгові ефекти, як-от спалення лісів чи об'єктів промисловості. Не потрібно пояснювати наскільки оголені від пожеж ґрунти перегріваються, особливо влітку, та продовжують ланцюговий негативний вплив на навколишнє середовище й клімат Землі [3–5].

Невирішеною проблемою ґрунтів є факт, що площа потенційно замінованих територій станом на 2025 рік складає 137 000–139 000 км², що можна порівняти з площею Греції. Частина територій вже перевірена саперами та визнана безпечною, однак значна частина залишається небезпечною для цивільного та господарського використання.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. На кінець 2025 року існує наступний перелік невирішених проблем, серед яких є ті що пов'язані з ґрунтами. Зазвичай головною проблемою є тривала війна, що не тільки руйнує фізичну інфраструктуру, але й створює фізичні ризики для моніторингових досліджень, обмежує доступ до багатьох територій де існують заміновані ділянки, або проходять активні бойові дії і робить неможливим повноцінний моніторинг у цих зонах. У деяких районах сходу та півдня України дані взагалі відсутні, окрім супутникових даних від країн членів НАТО, що створює «білі плями» у національних базах даних. Моніторинг довкілля в Україні реформується, але правове регулювання ще не узгоджене повністю, через що виникають проблеми з організацією, відповідальністю та обміном інформацією між державними органами. Це стосується як моніторингу забруднення ґрунтів, так і відходів, і контрольних пунктів екологічного спостереження. Україна прагне переходу до європейських стандартів моніторингу й оцінювання, наприклад таких як: *EN/ISO*-стандарти для води та повітря, але обмежені ресурси, технічні можливості та потреба у стандартизації обладнання затримують повний перехід особливо в умовах військових дій.

Але попри всі перешкоди є надія, що запропоновані нижче рекомендації по застосуванню сучасних методів моніторингу будуть впроваджені задля збереження та відновлення земельних ресурсів сходу та півдня України.

Постановка завдання. Завданням досліджень у даній публікації є аналіз факторів що перешкоджають впровадженню сучасних методів моніторингу та пошук можливих шляхів задля зменшення впливу на процеси руйнації верхніх шарів ґрунту. Фінальним результатом завдання є створення рекомендацій спрямованих на скоріше відновлення та збереження земельних ресурсів.

Виклад основного матеріалу. При проведенні розробок задля впровадження сучасних методів моніторингу в дослідженні процесів руйнації верхніх шарів ґрунту застосовано два метода. Перший метод якісної оцінки є й першочерговим для любого моніторингового дослідження. Відомо що перед початком повноцінного дослідження необхідно мати максимально повний обсяг інформації як по усім минулим роботам, так і по новітнім тенденціям та розробкам. І вже на цьому етапі ми стикаємось з наявними труднощами, а саме, станом на 2025 рік маємо кілька суттєвих проблем:

- фрагментована системи спостережень,
- відсутність достатньої кількості кількісних даних,
- пошкоджена інфраструктура через війну,
- правові прогалини,
- необхідність впровадження єдиного інформаційного простору для моніторингу.

Ці проблеми впливають на здатність держави ефективно оцінювати стан довкілля, планувати відновлення, реагувати на екологічні надзвичайні ситуації та інтегрувати українську систему моніторингу зі стандартами ЄС та міжнародними практиками.

Аналітичні дослідження показують, що попри усі перешкоди є й позитивні тенденції. Відновлення ґрунтів починається з встановлення рамок безпечних

перевірених територій, вільних від вибухових пристроїв, неспрацьованих снарядів, БПЛА та ракет. Починаючи з весни 2022 року, по моніторингу потенційно замінованих територій спостерігалось пікове значення саме на початку повномасштабного вторгнення (табл. 1).

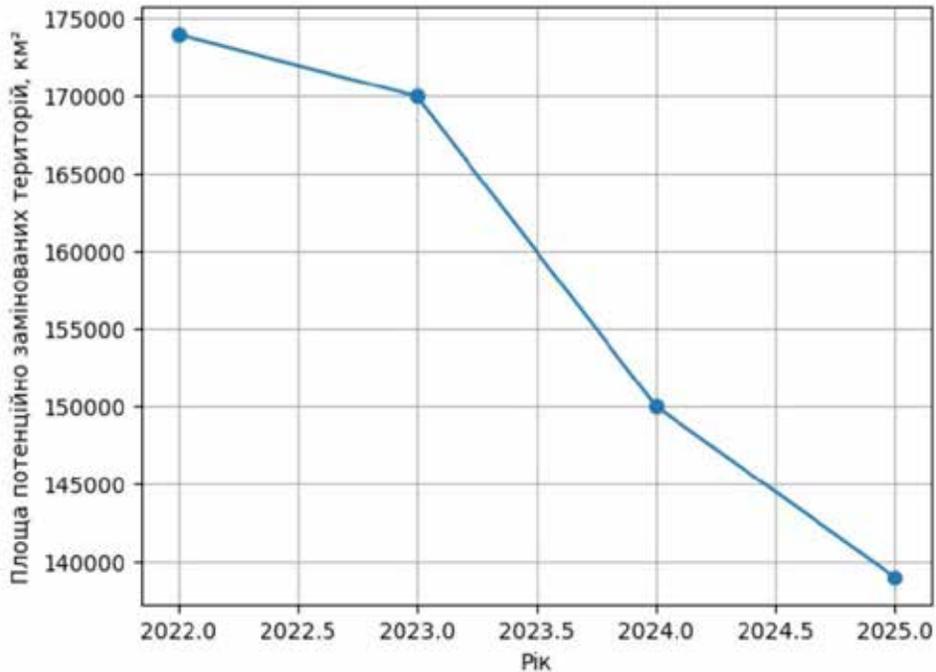


Рис. 1. Динаміка площі потенційно замінованих територій в Україні 2022–2025 роки

Оцінка охоплює території активних бойових дій, окупації та масового застосування мін і вибухово-небезпечних предметів (ВНП) усіх типів. Максимальний пік складав приблизно 174 тис. км², що співпадає з такою країною як Уругвай. Серед прогресивних методів для моніторингу та розмінування територій найперспективнішим є використання безпілотних сухопутних платформ з дистанційним керуванням. Їх головні переваги це: збереження людських життів при вкрай складних умовах, висока ефективність використання, прохідність по складній місцевості та достатня простота й мобільність в використанні. Зазвичай в деяких умовах людину замінити практично неможливо, але при використанні таких засобів на порядки зменшується ризик ураження від вибухових пристроїв.

Ще одним з наслідків антропогенного впливу на ґрунти є літні пожежі в спекотні та найсухіші місяці. Ситуація ускладнюється коли такі сухі регіони потрапляють під обстріли, ракетні атаки та нальоти БПЛА. Особливу небезпеку несуть повторні обстріли, коли спеціалісти ДСНС ліквідують наслідки пожеж. В 2025 році ґрунтова засуха посилилася у східних та південних областях, де період без ефективних опадів досягав до 80 днів, а загальна кількість опадів за весь літній сезон становила лише 25% від норми. Це критично вплинуло на кількість вологи в ґрунті, що привело к достроковому пересиханню та утворенню вітрової ерозії.

Додатковим негативним чинником стало зниження прозорості атмосфери за рахунок високої кількості сажі в повітрі. Точна кількість сажі, викинутої в атмосферу внаслідок масштабних пожеж і бойових дій в Україні з лютого 2022 року, наразі не оцінена в конкретних тоннах у відкритих наукових джерелах. Проте викиди парникових газів, серед яких частина пов'язана з панівними процесами горіння біомаси й великих пожеж, оцінюються у сотні мільйонів тонн CO_2 -еквіваленту. Локальні дані підтверджують, що окремі пожежі спричинювали викиди десятків тонн забруднювачів у повітря, включно з частинками, які за хімічним складом наближені до сажі. Оскільки безпосередні виміри сажі не є доступними у відкритих джерелах, для примірочної оцінки використовуються методи супутникового моніторингу та емісійні моделі пожеж (*GFED*, *Copernicus EMS*). Аналіз локальних спостережень якості повітря (*AQI*) у зонах бойових дій, підтверджує цифри в сотні мільйонів тонн за період 2022–2025 років, задля можливості розділити внесок пожеж від інших джерел впливу.

Аналогічну ситуацію надають і аграрні експерти, які повідомляють про низькі рівні вологи у ґрунті, що пов'язано з недостатнім рівнем опадів наприкінці весни та протягом літа (набагато нижче багаторічних норм) [6]. Моніторингові дослідження по сходу Україні підтверджують наступну тенденцію: менша кількість опадів навесні та влітку напряму пропорційна збільшенню площі пожеж та оголенню верхнього шару ґрунту, що як ланцюгова реакція прискорює вітрову ерозію. Задokumentованим прикладом вигорання цілого хвойного лісового масиву є частина гідропарку в межах міста Харків що проілюстровано на рис. 2.



Рис. 2. Згорілий хвойний ліс в межах міста Харків, літо 2025 року

Потрібно підкреслити, що моніторинг на місці пожежі в хвойному лісі підтвердив зміну й стану трав'яної та ґрунтової екосистеми. Це створює умови для частішого виникнення ґрунтових і атмосферних посух, насамперед у літній період, та підвищує вразливість річкових і прилеглих до них екосистем. Для порівнянню

моніторингу стану ґрунту з супутниковими методами доцільно використовувати індекс посушливості, або Стандартизований індекс опадів *Standardized Precipitation Index (SPI)*, доказовий індикатор, що вимірює відхилення фактичних опадів від середніх багаторічних значень для певної території. Такий індекс *SPI* свідчить про прискорення втрати вологи верхнім шаром ґрунту, що вказує на посилення процесів ерозії у Харківській області.

Результати досліджень. По результатам досліджень отримано такі данні: найбільш небезпечними для верхнього шару ґрунтів стають роки, в період з 1990 по 2025 р., що характеризуються умовами сильної посухи, а це саме по розрахункам кожен шостий рік за досліджуваний період. За умов степової зони сходу України такі значення свідчать про високу вразливість ґрунтів як для вітрової так і для водної ерозії, особливо в літній період. Недостатня кількість наземних моніторингових спостережень на сьогодні частково компенсується представленими даними з супутникових моніторингових платформ по реєстрації кількості та масштабів пожеж, що надаються як для військових, так і з добовим запізненням, для цивільних організацій, однією з яких є система регіонального спостереження по областям в Україні.

Досліджено, що падіння рівня води в річках, особливо в літній період, або катастрофічні наслідки руйнації греблі від військових дій [7], тільки прискорюють тенденцію зменшення вологи в верхніх шарах ґрунту та як наслідок пересихання трав'яної рослинності, а це в свою чергу утворює найкращі умови для створення пожеж антропогенного походження. Скоріше винятком є ситуація з утворенням ґрунтів та лісового масиву після руйнації Каховської греблі, коли завдяки оперативним діям екологів та сприятливим погодним умовам вдалось перетворити більшу частину dna обмілілого водосховища, що знаходиться під Українською державністю в єдиний вербовий ліс та не допустити перетворення в пустелю з катастрофічними ерозійними наслідками. Сьогодні, як і в XX столітті, відповідальність за збереження верхнього шару родючих ґрунтів повністю лежить на людстві, а відновлення та розвиток неможливий без постійного моніторингу, який при використанні сучасних засобів дистанційного контролю безпілотними платформами є обов'язковим етапом для розробки необхідних стратегій відновлення та збалансованого природокористування в складних умовах постійного впливу антропогенних факторів.

Висновки і пропозиції. Застосування сучасних методів моніторингу як то дистанційного зондування Землі, ГІС-технологій, безпілотних літальних апаратів та автоматизованих ґрунтових сенсорів суттєво підвищує точність і оперативність виявлення процесів руйнації верхніх шарів ґрунту, зокрема втрати гумусу та ущільнення. Інтеграція супутникових даних *Sentinel* та *Landsat*, кліматичних аналізів і польових спостережень дозволяє здійснювати просторово-часовий аналіз процесів деградації та виявляти зони підвищеного ризику на ранніх етапах їх розвитку. Сучасні методи моніторингу є особливо актуальними для України в умовах військових дій, оскільки забезпечують можливість дистанційного контролю територій з обмеженим доступом, у тому числі замінованих та постраждалих від пожеж і вибухових навантажень. Використання цифрових технологій сприяє формуванню науково обґрунтованих рішень у сфері охорони ґрунтів, планування рекультиваційних заходів та оцінки довгострокових екологічних наслідків антропогенного впливу. Задля вирішення актуальних проблем пропонуються наступні пропозиції.

1. Доцільно розширити впровадження інтегрованих систем моніторингу ґрунтів на національному та регіональному рівнях із використанням даних супутникових місій *Copernicus*, наземних спостережень та ГІС-аналізу.

2. Рекомендується створення єдиної цифрової платформи моніторингу деградації ґрунтів, що забезпечить накопичення, стандартизацію та відкритий доступ до даних для науковців, органів влади та землекористувачів.

3. Необхідно посилити міждисциплінарні дослідження, поєднуючи ґрунтознавство, кліматологію, екологію з метою комплексної оцінки чинників руйнації верхніх шарів ґрунту. Результати моніторингових досліджень слід активно інтегрувати у програми відновлення земель, агроекологічного планування та адаптації до змін клімату, що сприятиме збереженню родючості ґрунтів і сталому розвитку територій.

4. Доцільним є розвиток методик оперативного моніторингу деградації ґрунтів у зонах військових дій, зокрема з використанням безпілотних технологій та автоматизованих систем збору даних.

Наприкінці потрібно додати, ми всі сподіваємось на краще, що все ж війна колись закінчиться, а висококваліфіковані спеціалісти по керуванні всіх типів безпілотних платформ залишаться живими та неушкодженими і саме тоді їх навички в використовуванні таких засобів будуть дуже потрібні в мирному житті, а особливо в перспективних методах дистанційного моніторингу ґрунтів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Юлія Гнатченко. *Пожезжі набирають обертів: у Харківській області згоріли більше 150 гектарів землі за тиждень*. веб-сайт. URL: https://www.slk.kh.ua/news/news/skilki-gektariv-zemli-zgorili-v-harkivskij-oblasti-z-pocatku-2025-roku.html?utm_source=chatgpt.com (дата звернення: 05.12.2025).

2. Тетяна Адамович. *Пожезжі на Харківщині: оперативна інформація на 9 березня 2025 року*. веб-сайт. URL: <https://infocity.kharkiv.ua/proisshestvija/pozhezhi-na-kharkivshchyni-operatyvna-informatsiia-na-9-bereznia-2025-roku/> (дата звернення: 05.12.2025).

3. NASA Earth Observatory. *2024 Was the Warmest Year on Record*. веб-сайт. URL: <https://science.nasa.gov/earth/earth-observatory/2024-was-the-warmest-year-on-record-153806/> (дата звернення: 07.12.2025).

4. World Meteorological Organization. *State of the Global Climate 2024*. веб-сайт. URL: <https://public.wmo.int/publication-series/state-of-global-climate-2024> (дата звернення: 07.07.2025).

5. Copernicus Climate Change Service. *Copernicus Global Climate Report 2024 confirms last year as the warmest on record, first ever above 1.5 °C annual global average temperature*. веб-сайт. URL: <https://www.copernicus.eu/en/news/news/copernicus-global-climate-report-2024-confirms-last-year-warmest-record-first-ever-above> (дата звернення: 07.07.2025).

6. Лиховид П. В., Вожегова Р. А., Грановська Л. М., Ушкаренко В. О., Чабан В. О., Кузнецов С. І., Біднина І. О. Математичне прогнозування еколого-кліматичної ситуації в Україні в контексті глобального потепління. *Аграрні інновації*. 2024. № 28. С. 53-61. DOI: <https://doi.org/10.32848/agra.innov.2024.28.9>.

7. Мирошниченко А. Кризові екологічні комунікації у період воєнного часу (на прикладі Каховської ГЕС). *Науково-теоретичний альманах Грані*. 2023. Т. 26. № 5. С. 132-142. DOI: <https://doi.org/10.15421/1723113>.

8. Булигін С.Ю., Вітвіцький С.В. Моніторинг і оцінка якості ґрунтів та земель. *Навчальний посібник*. К. НУБіП України, 2016. 416 с.

Дата першого надходження рукопису до видання: 21.11.2025

Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 22.12.2025

Дата публікації: 31.12.2025