УДК 504.06 : 004.8 : 629.7.014.9
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2026.eco.6-69.11

ЗАСТОСУВАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ТА БЕЗПІЛОТНИХ АПАРАТІВ ДЛЯ ГУМАНІТАРНОГО РОЗМІНУВАННЯ ЯК ЗАСІБ ЗБЕРЕЖЕННЯ ДОВКІЛЛЯ

Демчук Л.І.[1] (orcid.org/0000-0001-5698-7113),
Рудишин С.Д.[2] (orcid.org/0000-0002-4483-9209),
Нонік Л.Ю.[1] (orcid.org/0000-0003-4234-8948),
Устименко В.І.[1] (orcid.org/0000-0001-7633-2130),
Алпатова О.М.[1] (orcid.org/0000-0003-0803-9850),
Уваєва О.І.[1] (orcid.org/0000-0003-1894-0386),
Русецька Н.М.[3] (orcid.org/0000-0002-5568-4708)
[1]Державний університет «Житомирська політехніка»
вул. Чуднівська 103, 10005, м. Житомир,
[2]Глухівський національний педагогічний університет імені Олександра Довженка
вул. Київська, 24, 41400, м. Глухів, Україна
[3]Житомирський агротехнічний фаховий коледж
вул. Покровська, 96, 10031, м. Житомир, Україна
ke_dlm@ztu.edu.ua

Сучасні збройні конфлікти спричиняють катастрофічний вплив на природні ландшафти. Масштабне мінне забруднення територій набуває характеру безпрецедентного екоциду: уражаються місця існування флори та фауни, знижується біорізноманіття на мільйонах гектарів, а водні басейни забруднюються важкими металами та продуктами руйнування боєприпасів.

Традиційні методи гуманітарного розмінування пріоритезують мінімізацію ризиків для населення та експрес-рекультивацію земель. Проте залучення важкої гусеничної техніки й суцільна глибока оранка деструктивно впливають на едафотоп. Це призводить до механічної деградації структури ґрунту, втрати родючого шару та пригнічення природного сукцесійного потенціалу екосистем.

Запропоновано новітню парадигму гуманітарного розмінування на основі інтеграції технологій штучного інтелекту (ШІ) та безпілотних літальних апаратів (БПЛА). Комплексний підхід, що поєднує алгоритми комп'ютерного зору, магнітометричне сканування та мультиспектральне дистанційне зондування, дозволяє верифікувати вибухонебезпечні предмети (ВНП) дистанційно. Це виключає деструктивний механічний вплив на ґрунтово-рослинний покрив. Інтелектуальний аналіз геопросторових даних підвищує точність ідентифікації аномалій, оптимізує зонування територій за ступенем ризику та мінімізує площу зон, що потребують повторного інспектування.

Зазначений підхід забезпечує збереження родючого шару ґрунту, мінімізує фітотоксичний стрес рослин, зумовлений ксенобіотиками, та сприяє формуванню екологічних коридорів для міграції дикої фауни. Інтеграція новітніх технологій трансформує санацію територій у базовий, логічно узгоджений етап комплексної екологічної рекультивації та відновлення біогеоценозів.

Дослідження підтверджує високу ефективність синергії цифрових систем і природоохоронних заходів. Результати дослідження формують основу для оновлення міжнародних стандартів протимінної діяльності та забезпечують технологічний фундамент для екологічного відновлення і сталого розвитку постраждалих територій. *Ключові слова:* гуманітарне розмінування, ШІ, БПЛА, екоцид лісу, збереження біорізноманіття, екологічна безпека, відновлення екосистем.

The use of artificial intelligence and unmanned aerial vehicles for humanitarian demining as a means of environmental conservation. Demchuk L., Rudyshyn S., Uvaeva O., Nonik L., Ustymenko V., Alpatova O., Rusetska N.

Modern armed conflicts have a catastrophic impact on natural landscapes. Large-scale landmine contamination amounts to an unprecedented form of ecocide: habitats of flora and fauna are destroyed, biodiversity is reduced across millions of hectares, and water basins are contaminated with heavy metals and munitions degradation products.

Traditional humanitarian demining methods prioritize minimizing risks to the population and rapid land reclamation. However, the use of heavy tracked machinery and extensive deep plowing have a destructive impact on the edaphic environment. This leads to mechanical degradation of soil structure, loss of the topsoil, and suppression of the ecosystems' natural succession potential.

A new paradigm for humanitarian demining is proposed, based on the integration of artificial intelligence (AI) and unmanned aerial vehicle (UAV) technologies. A comprehensive approach combining computer vision algorithms, magnetometric scanning, and multispectral remote sensing allows for the remote verification of explosive ordnance (EO). This eliminates destructive mechanical impact on the soil and vegetation cover. Intelligent analysis of geospatial data improves the accuracy of anomaly identification, optimizes the zoning of territories by risk level, and minimizes the area requiring re-inspection.

© Демчук Л.І., Рудишин С.Д., Нонік Л.Ю., Устименко В.І., Алпатова°О.М., Уваєва О.І., Русецька Н.М., 2026
Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

This approach ensures the preservation of the fertile soil layer, minimizes phytotoxic stress on plants caused by xenobiotics, and facilitates the formation of ecological corridors for the migration of wildlife. The integration of cutting-edge technologies transforms site remediation into a fundamental, logically coherent stage of comprehensive ecological reclamation and the restoration of biogeocenoses.

The study confirms the high effectiveness of the synergy between digital systems and environmental protection measures. The study's findings form the basis for updating international standards for mine action and provide the technological foundation for the ecological restoration and sustainable development of affected areas. *Key words:* humanitarian demining, AI, UAVs, forest ecocide, biodiversity conservation, environmental safety, ecosystem restoration.

Постановка проблеми. Мілітаризація природних ландшафтів та масове застосування вибухових пристроїв формують пролонговану системну загрозу екологічній безпеці. Традиційні підходи до очищення територій потребують значних часових та людських ресурсів, а також неминуче спричиняють глибоке механічне руйнування ґрунтового покриву. Унаслідок цього знижується ефективність природного самовідновлення та посилюється деградація екосистем. Отже, виникає нагальна потреба у розробці й упровадженні безконтактних, екологічно сумісних методів детекції та нейтралізації загроз. Перспективним є поєднання технологій дистанційного зондування з алгоритмами машинного навчання, яке здатне узгодити потребу у безпечному гуманітарному розмінуванні з необхідністю збереження крихкого біорізноманіття.

Актуальність дослідження. Масштабне мінно-вибухове забруднення територій України спричинило деградацію природних екосистем, яка набула масштабів локальної та регіональної екологічної кризи. Вибухові речовини забруднюють водоносні горизонти, а детонація боєприпасів руйнує унікальні природні комплекси, зокрема заповідні зони та лісові масиви. Зволікання з очищенням консервує кризу на десятиліття, блокує природні механізми сукцесії та саморегуляції екосистем, а також суттєво підвищує ризики незворотної втрати популяцій раритетних і зникаючих видів.

Існуючі механізовані засоби розмінування характеризуються вкрай низькими показниками екологвчної безпеки. Застосування важких тралів спричиняє повне зняття родючого шару ґрунту, руйнує підземні мікоризні мережі та негативно впливає на локальну флору. Як наслідок, навіть після формального очищення територія втрачає біологічну цінність, а її рекультивація потребує значних фінансових витрат і тривалої праці фахівців.

Застосування безпілотних систем та алгоритмів штучного інтелекту є ефективним підходом до екологічно безпечного гуманітарного розмінування. Дистанційний аналіз мультиспектральних даних, реєстрація теплових аномалій та використання наземних робототехнічних комплексів забезпечують високоточну локалізацію вибухонебезпечних предметів. Інтеграція інноваційних методів детекції є визначальним фактором мінімізації ризиків для населення та збереження екосистем.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Представлене дослідження безпосередньо інтегроване у стратегію досягнення державних цілей сталого розвитку та реалізацію національних програм повоєнної відбудови. Робота спрямована на виконання міжнародних зобов'язань України у сфері охорони довкілля та подолання екологічних наслідків збройних конфліктів. Практичні результати дослідження відповідають пріоритетним завданням профільних відомств щодо модернізації процесів гуманітарного розмінування та формують алгоритмічне підґрунтя для прискореної реінтеграції деокупованих і постраждалих територій.

Аналіз наукових публікацій протягом останніх п'яти років відзначилися стрімким зростанням наукового інтересу до перетину цифрових технологій та екології [7]. Дослідження західних фахівців фокусувалися переважно на вдосконаленні машинного навчання для виявлення металевих аномалій у ґрунті. Водночас українські науковці, зокрема фахівці Державного університету «Житомирська політехніка», активно вивчають можливості аерокосмічних методів та дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) для екологічного моніторингу довкілля [13]. На базі Державного університету «Житомирська політехніка» функціонує єдина в області станція громадського онлайн-моніторингу EcoCity, яка дозволяє здійснювати автоматизований контроль якості повітря, фіксувати радіаційну небезпеку та забруднення хімічними речовинами [13]. Зазначені методичні та практичні результати збору великих даних про стан довкілля стають фундаментальною базою для алгоритмів штучного інтелекту [11]. Окрім того, в університеті активно розвивається напрям льотної експлуатації безпілотних авіаційних систем, що дозволяє створювати вітчизняні агродрони з магнітометрами та мультиспектральними камерами для сканування територій [11].

Значний крок уперед зробили розробники систем «UADamage», які інтегрують супутникові знімки високої роздільної здатності з нейромережами для точного оцифрування мінних полів [12]. Вони застосовують дрони, здатні підіймати до 40 кілограмів ваги та оснащені надчутливими магнітометрами, що виконують до 200 вимірювань за секунду [11]. Результати польових випробувань у Житомирській області та деокупованих регіонах підтвердили спроможність відповідних технологій виявляти вибухонебезпечні предмети, мінімізуючи при цьому антропогенний вплив на рослинний покрив [9].

Водночас науковці Інституту зоології імені Шмальгаузена НАН України та екологи Полісся досліджували наслідки хімічного стресу флори

від вимивання тринітротолуолу та гексогену [1]. Спектральні зміни у рослинах дозволяють використовувати дрони для виявлення не лише металевих корпусів, а й хімічного отруєння ґрунтів [8]. Опубліковані праці детально описують механізми міграції важких металів у харчових ланцюгах та загрозу вимирання рідкісних видів тварин через втрату природних ареалів [1].

Міжнародно-правовий аспект цієї проблеми також знайшов відображення у науковому дискурсі [14]. Юристи-міжнародники класифікують масове замінування лісів та заповідників як важкий злочин проти довкілля (екоцид). Їхні публікації наголошують на необхідності створення цифрових доказів збитків, завданих природі, для подальших міжнародних судових процесів [14].

Автори [2, 3] пропонують відмовитися від простого гасіння пожеж за фактом їх виникнення та перейти до предиктивного (прогнозного) управління ризиками. Для цього вони поєднали системний аналіз, теорію катастроф та алгоритми машинного навчання.

Проте, незважаючи на значну кількість публікацій щодо технологій БПЛА, машинного навчання та екологічного моніторингу, більшість авторів розглядають ці процеси окремо [9]. Технічні фахівці зосереджуються на точності детекції мін, тоді як екологи безпосередньо на наслідках забруднення [1]. Комплексний підхід, який розглядає дрони та AI-алгоритми саме як єдиний безальтернативний інструмент превентивного екологічного розмінування та подальшого збереження біорізноманіття, досі залишався поза увагою. Саме цій прогалині у науковій літературі, що потребує об'єднання інженерних рішень та екологічної безпеки, присвячена дана робота.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Попри наявність ґрунтовних праць із дистанційного зондування та моніторингу, бракує комплексних досліджень, які б позиціонували гуманітарне розмінування за допомогою безпілотних технологій як виключно екологозберігаючий інструмент. Недостатньо вивченими залишаються механізми й алгоритми синхронізації роботи саперних роботизованих систем із програмами негайного відновлення середовища та лісових екосистем.

Новизна. Вперше комплексно обґрунтовано концепцію превентивного екологічного розмінування із застосуванням методів штучного інтелекту. Запропоновано нову теоретичну модель обробки даних дистанційного зондування, що інтегрує процеси ідентифікації вибухонебезпечних предметів та оцінювання рівня ураження локальних екосистем. Доведено високу ефективність синергії безпілотних авіаційних систем (дронів-демінерів та агродронів) для оперативного відновлення рослинного покриву шляхом висіву ендемічної флори одразу після точкового знешкодження виявлених загроз.

Методологічне або загальнонаукове значення. Отримані результати розширюють теоретико-методологічну базу екологічної безпеки та міжнародного права. Запропоновано авторський концептуальний апарат для аналізу воєнно-техногенних криз. Розроблена методологія інтеграції технологічних інновацій із природоохоронними практиками може слугувати універсальним науковим шаблоном для збереження та відновлення біорізноманіття в зонах конфліктів у різних регіонах світу.

Виклад основного матеріалу. Зазвичай про гуманітарне розмінування говорять виключно як про порятунок людських життів та відновлення безпеки. Проте не менш важливою, хоча й часто недооціненою, є інша мета – порятунок нашої природи. Використання новітніх технологій дозволяє змістити фокус на збереження довкілля, мінімізуючи шкоду, яку завдають як самі вибухонебезпечні предмети, так і застарілі методи їх знешкодження [4].

Традиційний підхід до розмінування часто ігнорує довгострокові екологічні наслідки. Міни та нерозірвані боєприпаси (НРБ) – не лише фізична, а й масштабна хімічна та біологічна загроза для екосистем. Боєприпаси, що залишаються в землі, з часом іржавіють. Їхні оболонки руйнуються, вивільняючи у ґрунт та підземні води важкі метали (свинець, ртуть, миш'як) і високотоксичні вибухові речовини, такі як тротил (TNT). Це призводить до мертвотності ґрунтів та отруєння водоносних горизонтів на десятиліття [17]. Використання важкої броньованої техніки для тралення та контрольовані підриви на місці знищують родючий шар землі (гумус), призводять до масової вирубки лісів, ущільнення ґрунту та міграції або загибелі диких тварин від стресу та руйнування ареалів [6].

Величезні заміновані території занепадають, бо через неможливість безпечного доступу вони заростають агресивними бур'янами. Влітку такі зони стають епіцентрами масштабних пожеж, які рятувальники просто не можуть загасити через ризик детонації [2, 9]. Повномасштабна військова агресія принесла на українську землю руйнування, масштаби яких виходять далеко за межі людських поселень та цивільної інфраструктури. Сучасний збройний конфлікт став причиною безпрецедентного екоциду, який підриває стабільність унікальних природних екосистем та ставить під загрозу виживання багатьох видів флори і фауни [12]. З погляду міжнародного публічного права такі дії класифікуються як важкий злочин проти довкілля, що вимагає розробки нових правових та технологічних механізмів фіксації збитків [14]. Замінування величезних територій є однією з найважчих проблем сьогодення. Традиційні підходи до очищення земель, які покладаються виключно на ручну працю саперів, демонструють критично низьку швидкість та високий рівень небезпеки.

У таких умовах виникає гостра потреба у залученні інновацій, над якими сьогодні активно працю-

ють провідні українські наукові установи. Особливе місце серед таких рішень посідають штучний інтелект, методи дистанційного зондування та безпілотні літальні апарати. Поєднання цих інструментів дозволяє створити інтелектуальну систему моніторингу місцевості без фізичного втручання людини. Використання цифрового інтелекту є єдиним життєздатним механізмом для швидкого порятунку біорізноманіття України [7]. У цьому процесі ключову роль відіграють вітчизняні дослідники, які адаптують світові технології до унікальних умов нашої природи.

За оцінками Української природоохоронної групи та інших експертних організацій мільйони гектарів українських земель наразі містять вибухонебезпечні предмети. Сюди входять заповідні зони, степові ландшафти та водно-болотні угіддя. Особливо критичною є ситуація в лісах Житомирської області та загалом на території Українського Полісся, де специфічний склад ґрунтів ускладнює відновлювальні роботи [2, 9]. Вітчизняні екологи наголошують на необхідності першочергового порятунку саме цих лісових та водних резервуарів біорізноманіття.

Механіка руйнування природи через мінне забруднення має комплексний характер. Перший фактор полягає у фізичному знищенні ландшафту. Вибухи руйнують родючий шар ґрунту та розривають підземні мікоризні сітки. Другий фактор пов'язаний із хімічним отруєнням. Корпуси мін та залишки вибухових речовин окислюються та потрапляють у землю. Хімічні сполуки та важкі метали вимиваються дощами, проникають у підземні водоносні горизонти та катастрофічно погіршують екологічний стан водних екосистем Полісся [1, 10].

Дослідження фахівців Інституту зоології імені Шмальгаузена НАН України підтверджують, що важкі метали накопичуються в рослинах і призводять до системного збою у харчових ланцюгах [1]. Дикі тварини зазнають хронічних захворювань. Другий та постійний фактор – страх та гучні вибухи, які змушують тварин залишати свої природні ареали, що призводить до видового дисбалансу. Без залучення інноваційних розробок процеси очищення та екологічної ревіталізаці території затягнуться на тривалий час.

Штучний інтелект відіграє роль центрального аналітичного ядра у сучасних вітчизняних системах екологічного моніторингу. Над розробкою таких систем плідно працюють команди Інституту космічних досліджень НАН України та ДКА України. Їхнє головне завдання полягає в обробці масивів даних, які надходять завдяки сучасним методам дистанційного зондування землі [7]. Нейромережі здатні аналізувати супутникові знімки, виявляючи сліди важкої техніки, окопи та вирви від вибухів у лісових масивах.

Дослідники з провідних університетів створили моделі, які здатні виявляти мікроскопічні зміни у стані рослинного покриву. Рослини на ґрунтах із високим вмістом залишків вибухових речовин демонструють специфічний спектральний стрес [8]. Цей стрес фіксують цифрові алгоритми завдяки розрахунку вегетаційних індексів. Це дозволяє вказувати на місця прихованих мінних полів навіть під шаром опалого листя.

Окремим вагомим досягненням є створення прогнозних екологічних моделей. Науковці активно досліджують інноваційні підходи до моніторингу забруднень. Інтеграція даних про рельєф, гідрологічні особливості та історію бойових дій дозволяє моделювати карти ризиків. Це допомагає розробити заходи щодо тимчасового відлякування диких тварин від найбільш небезпечних зон [9].

Застосування безпілотних літальних апаратів дозволяє проводити детальну розвідку без ризику для життя екологів та саперів. Українські інженери, зокрема фахівці КПІ імені Ігоря Сікорського та приватні defense-tech стартапи, розробляють унікальні мобільні платформи для високотехнологічних сенсорів [8]. Ці комплекси повітряного моніторингу адаптовані саме до складних умов українських ландшафтів.

Вітчизняні дрони оснащуються магнітометрами високої чутливості для фіксації металевих корпусів боєприпасів. Тепловізори фіксують теплову інерцію предметів, дозволяючи чітко бачити міни у ранкові години. Мультиспектральні камери аналізують відбите світло у десятках каналів для отримання даних про хімічний склад поверхні [8]. Технологія лазерного сканування допомагає будувати тривимірні моделі рельєфу крізь щільний рослинний покрив.

Наземні роботизовані системи вітчизняної розробки застосовуються в інтеграції з з повітряними дронами .Вони виконують точкове знешкодження об'єктів, що мінімізує потребу у використанні важкої гусеничної техніки. Це дозволяє зберегти крихкі екосистеми Полісся від повного переорювання та зни-

Таблиця 1

Порівняльна характеристика технологій дистанційного зондування Землі у моніторингу та збереженні екосистем

Тип сенсора та технології	Принцип дії	Внесок у збереження екосистем
Магнітометр на базі БПЛА	Фіксація мікроскопічних змін магнітного поля	Виявлення об'єктів без порушення цілісності ґрунту
Авіаційний тепловізор	Вимірювання показників теплової інерції	Дистанційне виявлення мін без фізичного контакту
Мультиспектральна камера	Аналіз спектрального відбиття рослинності	Визначення хімічного отруєння флори і підземних вод
Лідарні комплекси	Лазерне сканування ландшафту	Точна картографія постраждалих лісових масивів

 ISSN: 2306-9716 (Print), ISSN: 2664-6110 (Online)

Таблиця 2

Технологічні можливості датчиків БПЛА у мінімізації екологічних ризиків під час пошуку ВНП

Тип датчика на БПЛА	Функціональне призначення	Екологічна користь
Камери високої роздільної здатності	Пошук видимих уламків, розтяжок та змін у мікрорельєфі ґрунту.	Точне картування без необхідності фізичного прочісування території.
Мультиспектральні камери	Фіксація змін у відбитті світла від рослинності (NDVI).	Виявлення «стресу» у рослин, які ростуть над металом або хімічними витоками з мін.
Тепловізори (інфрачервоні камери)	Аналіз температурних аномалій на поверхні.	Виявлення мін за рахунок того, що вони нагріваються та охолоджуються інакше, ніж ґрунт.
Магнітометри та георадари (GPR)	Пошук металевих об'єктів та прихованих порожнин під землею.	Дозволяють знаходити глибоко закопані боєприпаси без розкопування землі всліпу.

щення [7]. Безпілотники пропонують принципово новий, екологічно безпечний підхід до обстеження територій. Головна перевага БПЛА – дистанційність. Дрони не торкаються землі, не створюють тиску на ґрунт, унеможливлюють випадкову детонацію та не руйнують мікрорельєф [15]. Для забезпечення комплексного моніторингу БПЛА оснащуються різними типами датчиків (табл. 2).

«Мозок» екологічного розмінування це не сам по собі дрон, але лише інструмент для збору гігабайтів «сирих» даних (фото, теплових сигнатур, магнітних аномалій). Штучний інтелект виступає в ролі аналітичного центру, який перетворює цей інформаційний хаос на чіткі карти та прогнози [5]. Алгоритми машинного навчання здатні обробляти тисячі знімків та показників датчиків за лічені хвилини. Робота, на яке команда саперів-аналітиків витратила б тижні, виконується майже в реальному часі. Навчені нейромережі з високою точністю відрізняють форму міни, снаряда чи касети від звичайного побутового сміття, консервної банки або каменя. Це значно зменшує кількість хибних спрацьовувань і зайвого втручання в ґрунт [16]. ШІ не лише знаходить міни, але й моделює ситуацію та створює екологічні карти та прогнозує, аналізуючи рельєф, тип ґрунту та напрямок підземних вод, алгоритм може прогнозувати, куди саме вимиваються токсини з пошкоджених боєприпасів разом із дощовою водою. Це дозволяє екологам пріоритетно рятувати найцінніші або найвразливіші ділянки землі (наприклад, поблизу водойм) (див. рис. 1).



Рис. 1. Інтеграція безпілотних технологій та аналізу даних у процес збереження екосистем при розмінуванні

Очищення території від вибухівки є лише першим кроком адже після цього настає час для цілеспрямованої рекультивації. Цифрові платформи допомагають об'єднати зусилля військових, науковців та лісників. Сучасні дослідження приділяють величезну увагу технологічним інноваціям у післявоєнному відновленні лісів Житомирського регіону. Поєднання методів дистанційного зондування та штучного інтелекту дозволяє екологам миттєво отримувати доступ до безпечних ділянок [9].

Для відновлення рослинного покриву у важкодоступних зонах українські науковці пропонують використовувати спеціалізовані агродрони. Вони здатні здійснювати точковий висів насіння ендемічних дерев за заздалегідь розробленими картами. Безпілотники скидають капсули з насінням та поживними речовинами, гарантуючи приживлюваність на збіднених ґрунтах. Такі інновації є критично важливими для лісовідновлення, де класична висадка дерев залишається неможливою [1].

Концепція вимушеного ревайлдингу набуває все більшої популярності серед українських природоохоронців. Території з високою концентрацією хімічних сполук будуть непридатними для сільського господарства. Виведення цих земель із господарського обігу дає природі шанс на самовідновлення під пильним наглядом вітчизняних цифрових систем моніторингу [14].

Висновки. Застосування безпілотних апаратів у синергії зі штучним інтелектом трансформує гуманітарне розмінування з грубого механічного процесу на високотехнологічну операцію. Це не лише прискорює повернення безпеки для людей, але й стає найефективнішим інструментом захисту довкілля. Завдяки БПЛА та ШІ ми отримуємо можливість точково ревіталізувати землю від наслідків війни, уникаючи її подальшого травмування та зупиняючи приховану хімічну катастрофу. Інтеграція штучного інтелекту та методів дистанційного зондування відкриває нову сторінку в історії збереження екосистем. Завдяки дослідженням українських учених штучний інтелект демонструє високу ефективність у розв'язанні складних екологічних проблем. Сучасні вітчизняні розробки дозволяють локалізувати мінну

загрозу та створити надійну основу для відновлення водних і лісових екосистем.

Інтеграція військово-технічних розробок із науковим екологічним моніторингом в Україні формує нові методологічні підходи у сфері гуманітарного розмінування. Результати цих досліджень мають потенціал для імплементації у міжнародну практику та інститути міжнародного екологічного права. Очікується, що розроблені технології мінімізації наслідків збройних конфліктів оптимізують процеси відновлення порушених екосистем та збереження глобального біорізноманіття.

Література

1. Василюк О. Екологічний стан водних та наземних екосистем Українського Полісся в умовах військового впливу. Праці Інституту зоології НАН України, 2026, С. 15-29.
2. Дичко А.О., Демчук Л.І., Крюковська Л.І., Бельмега І.В. Екологічний підхід до моделювання динаміки лісових пожеж у районах з підвищеним техногенним навантаженням. Наукові перспективи. Вип.№ 3(57). 2026. С.2328-2341. DOI: https://doi.org/10.52058/2786-6025-2026-3(57)-2328-2340
3. Дичко А.О., Л.І. Демчук Л.І. Крюковська, А.М. Кагукіна А.М., Бельмега І.В. Методологічні засади інтелектуального прогнозування пірогенної безпеки об'єктів критичної промислової інфраструктури. Problems of Emergency Situations. 2026. № 1(43). с. 340-355. DOI: https://doi.org/10.52363/2524-0226-2026-43-21
4. Жовтуха, І., & Ковальчук, О. Екологічні наслідки військових дій: вплив замінованих територій на екосистеми. Журнал екологічної безпеки України, 2023. 14(2), 45-52.
5. Захаров, В., & Мельник, Т. Застосування нейронних мереж для ідентифікації вибухонебезпечних предметів за допомогою БПЛА. Вісник комп'ютерних технологій, 2023, 8(1), 112-119.
6. Звіт щодо шкоди довкіллю внаслідок використання важкої техніки при гуманітарному розмінуванні / Міноборони України, Держекоінспекція. Київ, 2024.
7. Коваленко О. Штучний інтелект та дистанційне зондування Землі (ДЗЗ) у предиктивній аналітиці забруднених територій. Космічні дослідження України. 2025. С. 89–104.
8. Кравченко С. Застосування вітчизняних мультиспектральних комплексів БПЛА для фіксації хімічного стресу рослин. Агро-технології майбутнього. 2026. № 1. С. 22–35.
9. Романенко В. Технологічні інновації у післявоєнному відновленні лісів Житомирського регіону. Вісник екології Полісся, 2025, Том 12, С. 112-128.
10. Рудишин С. Д. Біогеохімія з основами екології: навч. посібник. Дніпро: Середняк Т. К., 2023. 320 с.
11. Рябченко Р., Лопушанський В. Практичні аспекти застосування агродронів з надчутливими магнітометрами для детекції вибухонебезпечних предметів. Інноваційні технології розмінування, 2025, Вип. 2, С. 40-52.
12. Сміт Дж. Супутниковий моніторинг екоциду в умовах збройних конфліктів. Журнал екологічної безпеки, 2024, Вип. 3, С. 45-60.
13. Станція громадського онлайн-моніторингу EcoCity в Житомирській політехніці як інструмент аналізу якості повітря та радіаційного фону. Медіа-центр Державного університету «Житомирська політехніка». Житомир, 2023. URL: https://news.ztu.edu.ua/2023/05/stantsiya-gromadskogo-onlajn-monitoryngu-ecocity-v-zhytomyrskij-politehnitsi/ (дата звернення: 14.07.2026).
14. Ткачук І. Міжнародне публічне право та захист довкілля під час війни. Вип. 2. Харків : Право, 2025. 340 с.
15. Baur, J., et al. (2020). "UAV-based magnetic arrays for explosive hazard detection," IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 58(7), 4831-4842.
16. Geneva International Centre for Humanitarian Demining (GICHD). Artificial Intelligence and Unmanned Aerial Vehicles in Mine Action: Best Practices. GICHD Publications, 2021. 84 p.
17. United Nations Environment Programme (UNEP). The Environmental Impact of Explosive Remnants of War: Soil and Groundwater Contamination. Geneva : UN Publishing, 2022.

Дата першого надходження статті до видання: 27.08.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 04.11.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 23.11.2026