

ГЕОПРОСТОРОВА ПІДТРИМКА

УДК 528.9+004.8:623.959

DOI: <https://doi.org/10.17721/1728-2217.2025.64.67-74>Тарас ГУЦУЛ, канд. техн. наук, доц.
ORCID ID: 0000-0002-7192-3289
e-mail: t.gutsul@chnu.edu.ua

Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, Чернівці, Україна

СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ
В ГУМАНІТАРНОМУ РОЗМІНУВАННІ ТЕРИТОРІЙ
ТА ЙОГО ІНТЕГРАЦІЇ В ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ

Вступ. Гуманітарне розмінування вирізняється множиною різноманітних за фізичним принципом реалізації методів очищення територій. За ступенем зрілості (Technology Readiness Level – TRL) ці технологічні рішення умовно можна розділити на повсякденно використовувані (TRL 8-9), системи, що перевіряються в умовах наближених до реальних (TRL 4-7) та концептуальні речі (TRL 1-3). Жоден із заявлених існуючих методів наразі не гарантує 100 % результативності гуманітарного розмінування територій і незадовільний за параметрами: чутливості, вибіркової, швидкодії. Служба ООН з питань протимінної діяльності вимагає від операторів протимінної діяльності майже повну впевненість в очищенні територій на рівні 99,5 % на мінімальну глибину в 20 см. Протимінна діяльність за своєю суттю має географічний характер, а тому зібрана різними методами інформація просторового характеру має зазнавати обробки в геоінформаційних системах (ГІС). Масове поширення штучного інтелекту (ШІ) в останні роки демонструє пошук закономірностей та взаємозв'язків там, де людина навіть не припускала, що можуть бути нові знання. Поєднання можливостей ШІ та геопросторових даних (GeoAI) ще більше посилює розуміння складних наборів даних, тим самим допомагаючи розв'язати найгостріші проблеми людства, однією з яких є мінне забруднення територій.

Методи. Використано загальнонаукові та спеціальні методи дослідження. Історичний підхід дозволяє з'ясувати етапи розвитку ШІ. Метод класифікації виокремлює різновиди методів ШІ. Метод визначення виокремлює предметну галузь застосування ШІ в гуманітарному розмінуванні. Аналіз та еволюційний підхід надає приклади застосування ШІ на різних етапах гуманітарного розмінування та їх вдосконалення із розвитком геопросторового ШІ. Індукція та аналіз сформували висновок про сучасний стан, тенденції та перспективи застосування ШІ в гуманітарному розмінуванні територій.

Результати. Розглянуто історію появи та зростання значення ШІ для потреб гуманітарного розмінування. Здійснено детальний огляд публікацій за тематикою ШІ в гуманітарному розмінуванні та геопросторового ШІ. Виявлено тенденції та декларовані пріоритети подальшого розвитку. Наведено класифікацію методів ШІ з поясненням їх прикладного застосування в гуманітарному розмінуванні. На прикладі нейронних мереж розглянуто проблеми та шляхи їх інтеграції в ГІС.

Висновки. Технології ГІС та ШІ стали об'єктом обговорень того, як технології та інновації можуть покращити гуманітарну діяльність і міжнародну миротворчу діяльність. Ці технології мають потенціал для вдосконалення можливостей оцінювання потреб та моніторингу змін на місцях і можуть бути корисними як для сектору протимінної діяльності, так і для ширшого гуманітарного сектору.

Ключові слова: геодані, ГІС, методи розмінування, мінне забруднення, штучний інтелект.

Вступ

Директор Женевського міжнародного центру гуманітарного розмінування (ЖМЦГР) Стефано Тоскану зазначив: "Розмінування як діяльність за своєю суттю географічне. Воно полягає у визначенні місцезнаходження та просторової протяжності вибухонебезпечних об'єктів і аналізі їх близькості до вразливих громад та об'єктів" (MacDonald, 2015).

Вважається, що понад 80 % усієї інформації пов'язано з певним місцем на Землі, проте лише 10 % зібраних та збережених даних ефективно використовуються (Burrough, McDonnell, & Lloyd, 2015). В умовах збройного протистояння інформація стає особливо цінним стратегічним ресурсом. Поширення картографічної інформації з міркувань безпеки забороняється, доступ до планів, карт, знімків суттєво обмежується, а в ризикованих випадках взагалі відбувається їх фізичне знищення. Мінні поля не є випадковими, вони часто розташовані в критичних точках (напр., мости, дренажні канали, проходи тощо). В умовах активних бойових дій більшість мінних полів не наносяться на карти, а деякі міни закладаються поодинокі і поспіхом. Інформація про такі події, якою володіли військові чи цивільні очевидці, може не зберегтися. Така непередбачуваність разом із підвищеним рівнем небезпеки потребують особливого рівня точності картографування подальшої протимінної діяльності.

Восени 1996 р. Центр географічних інформаційних наук при Університеті Джеймса Медісона (JMU) у Гаррісонбурзі, штат Вірджинія, прийняв участь у проєкті Міністерства оборони США щодо оцінювання потреб у даних та системах управління даними для гуманітарного розмінування в країнах третього світу. Було засновано Інформаційний центр з питань протимінної діяльності, до котрого долучилися викладачі, співробітники та студенти старших курсів. Цей інформаційний центр дозволив спільноті розмінування отримувати доступ до інформації про джерела просторових даних через мережу "Інтернет" та надавати цифрові карти. Проєкт передбачав визначення інформаційних потреб несекретних даних (зображень та карт) для розмінування в Камбоджі та Боснії.

Ідеї залучення ГІС-засобів та навігаційного обладнання (ГНСС) для обробки й аналізу просторової інформації прозвучали ще на початку 2000-х рр. Основні зусилля на початкових етапах впровадження ГІС у гуманітарне розмінування полягали в: 1) розробці спеціалізованих ГІС для конкретних потреб організацій та операторів гуманітарного розмінування; 2) оцінюванні програмного забезпечення ГІС для системи підтримки гуманітарного розмінування; 3) проведенні міжнародної конференції з картографування та ГІС для гуманітарного розмінування; 4) проведенні техніко-економічного обґрунтування створення просторового інформаційного центру для гуманітарного розмінування; 5) розробці та

запуску прототипу просторового інформаційного центру у Всесвітній мережі (Kraenzle, & Beale, 2001).

Протягом 20 років ЖМЦГР та ESRI з метою ефективного очищення забруднених вибухонебезпечними предметами (ВНП) земель співпрацюють над впровадженням ГІС у протимінну діяльність. Очищення територій від мін та інших ВНП потребує даних щодо точного знаходження небезпек. Повнота просторових даних та їх картографування полегшує визначення пріоритетних цілей і ресурсів.

Компанією Geometric Solutions, Ltd. було проведено опитування серед суб'єктів протимінної діяльності з метою з'ясування переваг використання ГІС у гуманітарному розмінуванні. Результати продемонстрували знайомство та регулярну роботу із засобами ГІС у 85 % респондентів. Крім того, 83 % респондентів уточнили про переважне їх використання у створенні картографічних продуктів та забезпеченні кращого просторового розуміння проблеми протимінної діяльності. Залежно від характеру проблеми протимінної діяльності 40 % зазначили, що вони використовують ГІС для просторового аналізу, тоді як 35 % використовують ГІС для допомоги в діяльності з перевірки даних. Традиційно опанування фахівцем кроків, необхідних для отримання корисних результатів ГІС, потребує значних інтелектуальних інвестицій. Якщо це обмеження можна зменшити шляхом впровадження автоматизованих або геообчислювальних процесів, таких як нечітка логіка в інтерпретації звітів про інциденти з використанням вхідних даних респондентів, якість вхідних та вихідних даних ГІС значно покращить переваги використання ГІС як системи підтримки прийняття рішень (Neumans, & Claassens, 2015).

8 липня 2019 р. директор ЖМЦГР Стефано Тоскано та керівник відділу управління інформацією Олівер Коттрей на щорічній конференції користувачів ESRI для пояснення використання ГІС у протимінній діяльності запропонували концепцію "ГІС для миру". Використання візуальної мови карт дозволяє одночасно розглядати різні точки зору та забезпечувати спільний доступ до абстрагування простору, тому такі мирні зусилля полягають у вирішенні конфліктів спільним та ненасильницьким способом (GICHHD, 2023).

Надійне управління інформацією відіграє ключову роль під час гуманітарного розмінування. Просторові бази даних є невід'ємною частиною будь-якої ГІС і забезпечують основу для картографування та аналізу міських полів. Найважливішою частиною створення ГІС для гуманітарного розмінування є вибір відповідних просторових даних. Загалом, просторову базу даних можна описати як дані про просторове розташування географічних об'єктів, записаних у вигляді точок, ліній, площ або зображень, а також їх атрибути. Нещодавня стандартизація глобальних мінімальних вимог до даних IMAS у поєднанні з переходом до повністю ГІС-систем управління інформацією, таких як Система управління інформацією з протимінної діяльності (IMSMA Core), дозволить агрегувати й аналізувати порівнянні дані для підтримки обґрунтованого визначення пріоритетів та прийняття оперативних рішень.

У XX ст. було сформульовано поняття штучного інтелекту (ШІ) і запропоновано ряд його визначень. Одне з перших, що одержало широке визнання й є актуальне досі — "спосіб примусити комп'ютер міркувати подібно людині". Фактично першоджерелом цього поняття є запропонований британським математиком і одним із перших дослідників в галузі комп'ютерних наук знаменитий тест Тьюрінга. Об'єкт, який успішно проходить тест, вважається таким, що володіє сильним

ШІ. Сам термін "сильний штучний інтелект" пропагується спеціалістами, які вважають, що ШІ повинен базуватися на строгій логічній основі.

ШІ може бути використаний у розмінуванні для підвищення безпеки та ефективності процесів, як-от аналіз даних із датчиків, дистанційне керування роботами для обстеження та розмінування територій, а також для створення систем, що допомагають операторам приймати швидші та точніші рішення. Він дозволяє автоматизувати завдання, які раніше виконувалися виключно людьми, знижуючи ризик для спеціалістів.

Огляд дослідницьких публікацій про системи ШІ для виявлення ВНП з метою підтримки операцій з розмінування датується найдавнішою публікацією 1997 р. У ній (Plett, Doi, & Torrieri, 1997) розглянуто методи виявлення, які використовують мікрохвильовий датчик з розділеною апертурою та класифікатор шаблонів на основі штучної нейронної мережі.

На конференції з інновацій 2023 р., організованій ЖМЦГР, ШІ та аналіз даних були в центрі уваги п'яти з одинадцяти секційних засідань. Дослідження охоплювали широкий спектр галузей, включаючи електротехніку, статистику та ін., що ускладнювало отримання всебічного розуміння сучасних тенденцій та подій.

Незважаючи на зростаючі дебати та громадське озайомлення з потенційним використанням ШІ в протимінній діяльності, досі бракує спільних знань про те, що таке ШІ та як він працює. Потреба в ясності надихнула ЖМЦГР провести інноваційну сесію на означену тему, яка відбулася з 1 по 3 жовтня 2024 р. Основні доповіді та дискусії охоплювали такі теми, як етичні міркування, геопросторовий ШІ та сучасні практики управління інформацією. Експерти наголосили на важливості не лише традиційних структурованих даних (напр., звітів NTS та форм збирання даних IMSMA), але й неструктурованих даних (напр., зображень, брифінгів, звітів у форматі *.pdf) для навчання моделей ШІ та отримання практичних висновків. Створення надійних систем для збирання, зберігання та обміну даними зараз має вирішальне значення для розкриття повного потенціалу ШІ в майбутньому (Basto, 2025).

Геопросторовий ШІ (GeoAI) став трендовою темою та передовим напрямом просторової аналітики в географії. Хоча в дослідженні інтеграції ШІ та географії досягнуто значного прогресу, досі немає чіткого визначення GeoAI, обсягу його досліджень або широкого обговорення того, як він відкриває нові способи вирішення проблем у різних науках (Li, & Hsu, 2022). Аналіз основних тенденцій розвитку та використання геопросторових даних у 2023–2024 рр. демонструє використання машинного навчання та ШІ, а також використання моделей природної мови та дослідження виявлення об'єктів, причому всі тенденції зосереджені на аналізі великих наборів даних. Зближення ШІ, аналітики великих даних та передових технологій зондування започаткувало нову еру геопросторових можливостей, пропонуючи безпрецедентне розуміння складних просторових явищ (LaNeve et al., 2024).

Сучасний огляд досліджень систем ШІ для виявлення ВНП в операціях розмінування (Kischelewski et al., 2024) виділяє два основні напрями: виявлення об'єктів ВНП та прогнозування ризиків ВНП. Понад 90 % публікацій зосереджені на виявленні, включаючи дослідження систем ШІ для локалізації ВНП під час операцій з розмінування. Менша частина публікацій зосереджена на прогнозуванні ризику ВНП. Прогнозування ризиків спрямоване на розпізнавання закономірностей у даних (закономірності мінування або закономірності

в географічних даних), щоб визначити ймовірність виявлення ВВП у постраждалих регіонах, для підтримки операцій з обстеження та гуманітарного розмінування територій. Обидва напрями використовують різні вхідні дані для прогнозів. В обох дослідницьких напрямках розроблено та оцінено різноманітні моделі ШІ.

Мета дослідження – виявити сучасні тенденції розвитку ШІ та можливості його поєднання з ГІС для розв'язання прикладних задач гуманітарного розмінування територій на різних етапах.

Результати

ШІ є набором технологій, що постійно розвиваються та використовуються для розв'язання широкого кола прикладних задач. Класифікація ШІ включає кілька основних наукових галузей, таких як машинне навчання,

обробка природної мови, синтез тексту та мовлення, комп'ютерний зір, робототехніка, планування та експертні системи (Mukhamediev et al., 2022).

Натомість, огляд досліджень (Kischelewski et al., 2024) виявляє використання 30-ти різних типів алгоритмів ШІ (рис. 1). Більшість цих алгоритмів можна розділити на п'ять груп, які проаналізовано щонайменше в 10-ти різних публікаціях, а саме: (згорткові) нейронні мережі (39 публікацій); методи опорних векторів 27 публікацій); лінійна або логістична регресія (12 публікацій); приховані марковські моделі (11 публікацій) та алгоритми на основі дерев (10 публікацій). Розуміння використовуваних підходів ШІ також допомагає визначити потенційні напрями для нових досліджень.

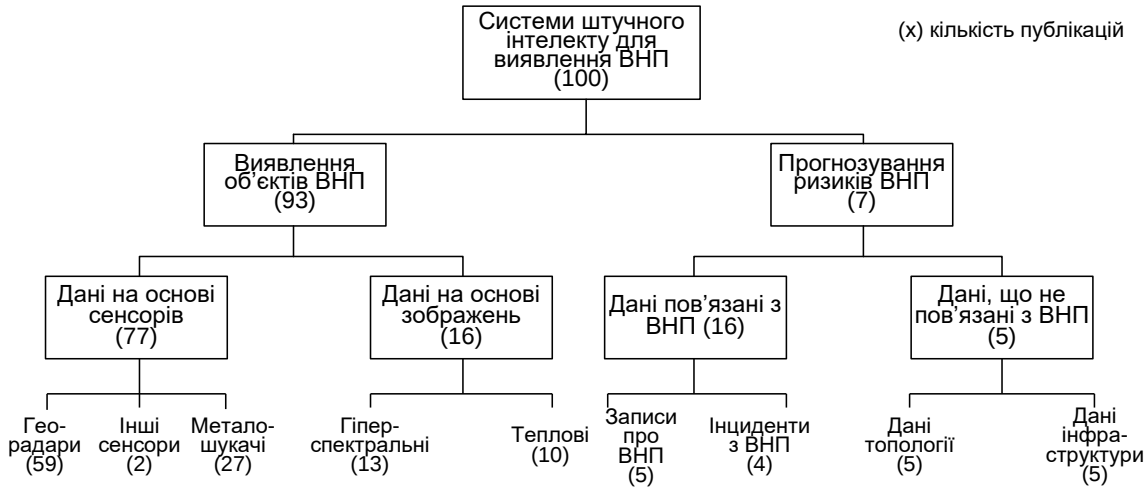


Рис. 1. Напрями досліджень систем ШІ для виявлення ВВП під час операцій з розмінування (Kischelewski et al., 2024)

Публікації в журналах, індексованих міжнародними наукометричними базами Scopus та Web of Science, є своєрідним знаком якості, адже проходять ретельне рецензування і конкурують між собою за зростання показників впливовості своїх видань. Використовуючи

ключові словосполучення у вигляді класифікації ШІ та геоінформаційних систем і предметну спрямованість, орієнтовану на гуманітарне розмінування, здійснено пошук і занесено до табл.1 відповідну кількість індексованих публікацій (загальну та по роках).

Таблиця 1

Тенденції тезаурусного каркасу за використанням ШІ в гуманітарному розмінуванні у світі в пошуковій системі Web of Science та Scopus

Пошукові запити	Всього публікацій	Станом на					Припадає на останні 5 років, %
		2021	2022	2023	2024	2025	
Штучний інтелект у гуманітарному розмінуванні (Artificial Intelligence in Humanitarian Demining)	43	6	3	9	7	7	74,4
	11	1	0	0	6	1	72,7
Машинне навчання в гуманітарному розмінуванні (Machine Learning in Humanitarian Demining)	37	4	7	6	4	6	73,0
	16	1	4	0	5	3	81,2
Обробка природної мови в гуманітарному розмінуванні (Natural Language Processing in Humanitarian Demining)	0	0	0	0	0	0	0,0
	1	0	0	0	0	1	100,0
Синтез тексту та мовлення в гуманітарному розмінуванні (Text-to-Speech Synthesis in Humanitarian Demining)	7	0	0	1	0	0	14,2
	0	0	0	0	0	0	0,0
Комп'ютерний зір у гуманітарному розмінуванні (Computer Vision in Humanitarian Demining)	4	0	0	0	0	0	0,0
	6	0	1	0	1	1	50,0
Робототехніка в гуманітарному розмінуванні (Robotics in Humanitarian Demining)	88	0	1	1	1	1	4,5
	93	4	1	1	4	1	11,8
Експертні системи в гуманітарному розмінуванні (Expert Systems in Humanitarian Demining)	0	0	0	0	0	0	0,0
	15	0	0	0	3	0	20,0
Геопросторовий штучний інтелект у гуманітарному розмінуванні (GIS AI in Humanitarian Demining)	7	0	2	1	0	0	42,9
	1	0	0	0	0	1	100,0

Примітка: верхні значення – за наукометричною базою Web of Science; нижні значення – за наукометричною базою Scopus.

Аналізуючи наведені в табл. 1 результати, бачимо, що інтерес до ШІ в гуманітарному розмінуванні неабияк зростає протягом останніх 5 років. Найперспективнішими його напрямками в гуманітарному розмінуванні є машинне навчання та геопросторовий штучний інтелект. Показник останнього, на відміну від інших випадків, у яких спостерігаються диспропорції, обумовлені невеликою кількістю публікацій, виник буквально нещодавно. Зпровадження терміна "геопросторовий штучний інтелект" відбулося на Міжнародній конференції Асоціації обчислювальної техніки ACM SIGSPATIAL 2017 (Mao et al., 2018) й одразу було підхоплено високотехнологічними компаніями Microsoft та ESRI для власних корпоративних рішень із поєднанням ГІС та ШІ. Вплив глибокого навчання досяг багатьох прикладних галузей, і географія не виняток. Дистанційне зондування та обробка геопросторових зображень – це одна з галузей географії, яка швидко прийняла методи ШІ. Значних успіхів вже досягнуто в аналізі гіперспектральних зображень та інтерпретації супутникових знімків високої роздільної здатності. Далі розглянемо детальніше особливості та приклади застосування кожного із цих методів в гуманітарному розмінуванні.

Методи машинного навчання (МН) – це група методів, що часто використовуються в ШІ, які дозволяють прогнозувати нові властивості даних на основі відомих властивостей, виявлених у навчальних даних. Кількість типів та способів використання мін і снарядів дуже велика, тому для розробки ефективних алгоритмів машинного навчання потрібна величезна кількість достовірних даних. Однією з головних проблем перелічених вище досліджень є обмежена доступність повних наборів даних, придатних для навчання та тестування алгоритмів виявлення. Кожен тип міни має унікальні характеристики, включаючи варіації форми, розміру та складу, що робить їх виявлення важким завданням.

Навчальні набори залежать від людських рішень, завжди містять елемент суб'єктивізму, і необхідно багато годин зусиль для ідентифікації, перевірки та позначенні інформації щодо їх підтримки (напр., вручну визначити зміст ситуації на фотографії, шляхом додавання тегів). Залучення інших робітників через аутсорс може призвести до тлумачення інформації в іншому культурному контексті.

Штучно розширюючи набір даних за допомогою таких методів, як обертання, масштабування, змішування, мозаїка, доповнення збільшує різноманітність доступних даних. Геопросторові набори, що базуються на польових (реалістичних) даних мін та ВНП на відкритих поверхнях ґрунту за різних природних умов та факторів у поєднанні з машинним навчанням, мають потенціал суттєво підвищити результативність технічного обстеження територій з поверхневим забрудненням та нетехнічного обстеження (Гуцул, 2025). Наприклад, донедавна не існувало автоматизованих рішень пошуку мін за допомогою тепловізійних зображень. Дослідження (Bajić, & Potočník, 2023) зібрало за допомогою БПЛА бібліотеку даних про нерозірвані боєприпаси та наземні міни. П'ять версій моделі YOLOv5, точно налаштованих за допомогою пошуку по сітці, навчено наскрізно на випадково вибраних 640 навчальних та 80 перевірочних зображеннях. Навчені моделі були перевірені на решті 88 зображень з нашого набору даних. Об'єкти з кожного з 11-ти класів було ідентифіковано з імовірністю понад 90 %.

Одне з ключових питань конференції ЖМЦГР, проведеної 1–3 жовтня 2024 р., полягало у створенні спільної глобальної 3D-довідкової бібліотеки даних

навчання роботи з ВНП. У свою чергу, така бібліотека має інтегрувати технічні й експертні дані, починаючи з текстурованих 3D-моделей та постійно доповнюватись збагаченими даними зображень, зібраними на місцях. Це дозволить розробити численні програми автоматизованого розпізнавання зображень для кінцевих користувачів, адаптовані до конкретних гуманітарних контекстів та цілей.

Впровадження БПЛА в протимінну діяльність дозволило не тільки здійснювати візуальні спостереження, а й повноцінне детектування із залученням різних датчиків та сенсорів. Гіперспектральні датчики, що надають інформацію за межами видимого спектра в сотнях спектральних діапазонах, представляють великий інтерес для досліджень. Кожен із них може містити важливу інформацію для виявлення камуфляжних матеріалів або нерозірваних боєприпасів. Одночасне врахування всіх аспектів буде перевищувати можливості операторів БПЛА, а тому модель, заснована на машинному навчанні, визначає найбільш інформативні або спектрально цінні діапазони щодо досліджуваного навколишнього середовища.

SpotlightAI – це високоінноваційний інструмент для аналізу зображень з БПЛА на основі ШІ, розроблений для саперів (Baur, Steinberg, & Case, 2024). SpotlightAI використовує найсучасніші моделі машинного навчання, оптимізовані для виявлення наземних мін та ВНП, для швидкої обробки величезної кількості зібраних з БПЛА аерофотознімків із сантиметровою роздільною здатністю. Після завантаження знімка програмне забезпечення обробляє зображення за допомогою моделі машинного навчання, побудованої з набору даних із сотень тисяч маркованих зображень понад 150 унікальних типів наземних мін та ВНП, починаючи від протипіхотних мін та касетних боєприпасів і завершуючи снарядами та авіаційними бомбами. SpotlightAI автоматично виявляє, маркує та позначає GPS-мітками наземні ВНП, створюючи детальні карти та звіти, які надають практичну інформацію як саперам на місцях, так і віддаленим керівникам програм для проведення нетехнічних обстежень та визначення пріоритетності очищення територій.

Обробка природної мови. Поточний ШІ можна було б використовувати для щоденного ведення обліку очищення та вивільнення земель, аналізу ефективності повернення та витрат, оновлення планування та створення письмових звітів у різних форматах, перекладаючи їх майже будь-якою мовою та діалектом. ЖЦГМР запропоновано розробку моделей опитування даних на основі ШІ для розпізнавання образів та запитів / вилучень даних. Це може інтегрувати внесок громади для врахування місцевих знань та контексту. Така система вимагатиме точно налаштованих моделей ШІ з обробкою природної мови для запитів та опитування даних, а також динамічних інформаційних панелей та адаптованих візуалізацій для підтримки прийняття рішень і планування в гуманітарних контекстах.

Журнали мінних полів – це первинні документи про побудовані (або закладені) мінні поля. У гуманітарному розмінуванні мінні поля є первинними документами, що використовуються для визначення їх фактичного положення, визначення забруднених мінами територій та будівель, а також оцінювання стану загороджувальних мінних полів. Шляхом аналітичного оцінювання проводиться детальний аналіз та вивчення даних із мінних полів з метою з'ясування можливості їх використання для ідентифікації їхнього положення та пошуку загороджувальних мінних полів на місцях.

Комп'ютерний зір застосовується до системи шляхом встановлення камери для створення візуального зображення, яке може бути зчитане алгоритмом, запрограмованим у системі. Вхідною сценою може бути будь-яке зображення, яке можна зробити безпосередньо камерою або сканером. Електронні датчики й обробка зображень на основі ШІ тепер дозволяють створювати автономні системи, здатні виявляти та картографувати поверхневі загрози. Камери високої роздільної здатності в поєднанні з аналізом ШІ в режимі реального часу забезпечують надійне виявлення в різних середовищах. Дослідження (Levchenko, Podorozhnyak, & Liubchenko, 2025) представляє прототип системи, що використовує оснащену датчиками дистанційно керовану роботизовану платформу для виявлення видимих поверхневих мін та ВНП, які залишаються поширеними та смертельними в постконфліктних зонах. Система забезпечує роботу в режимі реального часу (2,0–2,6 кадрів на секунду) на мобільних пристроях, має просту архітектуру і можливість інтеграції з роботизованими та безпілотними платформами.

Робототехніка ґрунтується на інтеграції до ШІ датчиків і механічних систем для сприйняття роботами навколишнього середовища, ухвалення рішень та виконання дій як альтернатива операторам та іншим біологічним агентам, що вже використовуються в розмінуванні. Оскільки розмінування передбачає екстремальні умови варіативності завдань, маніпуляцій та різноманітності рельєфу, то воно також розглядається як складна та цікава проблема польових досліджень робототехніки. Існують спеціалізовані змагання з робототехніки в гуманітарному розмінуванні (HRATC – Humanitarian Robotics and Automation Technology Challenge), які є важливими інструментами для просування передового досвіду. Після завершення нетехнічного та технічного обстеження для визначення зони мінного поля процес розмінування складається із чотирьох основних фаз: підготовка землі, виявлення мін, розкопки та ідентифікація, а також нейтралізація або видалення.

Ключовими перешкодами є обмеження існуючих систем у навігації по складній місцевості, точному виявленні мін та забезпеченні економічної ефективності для широкого використання, а також вирішенні проблем, пов'язаних з продуктивністю та зручністю використання. Потрібна подальша робота для визначення конкретних випадків використання та вимог до розробки роботизованих систем, адаптованих до протимінної діяльності.

Планування та експертні системи використовуються в операціях з розмінування для прийняття рішень у гуманітарному розмінуванні. В Україні прикладом такої системи є платформа штучного інтелекту (AIP) Palantir. Протимінна діяльність значною мірою залежить від використання точних детальних доказів. Коли цього не відбувається, наслідки можуть бути смертельними.

Окремо варто зазначити про *геопросторовий штучний інтелект*, оскільки його поява обумовлена передусім зростанням обсягів просторових даних (Cirillo et al., 2024). Тому цей відносно новий напрям використовує високопродуктивні обчислення для аналізу великих обсягів просторових даних за допомогою методів ШІ, таких як машинне навчання, глибоке навчання та аналіз даних. Поєднання аспектів просторової науки, пов'язаної з технологіями ГІС та підходами обробки великих даних у ШІ обіцяє хороші результати. Зокрема, процес очищення територій

починається з оцінювання та визначення пріоритетності потенційно небезпечних територій (у камеральних умовах), яке проходить ретельну верифікацію у експертів, які підтверджують ризик і продовжують операції з розмінування. Рішення Desk-Aid використовує геопросторовий підхід ШІ, спеціалізований на мінах. Підхід передбачає змішані стратегії вибірки даних та збагачення контексту за допомогою історичних конфліктів та ключових багатодомених об'єктів (напр., будівель, доріг, медичних закладів). Запропонована система вирішує проблему наявності лише наземних даних для підтвердження небезпечних зон шляхом впровадження нової стратегії вибірки жорстких негативних даних, де негативні точки вибірки відбираються поблизу небезпечних зон. Запропонований підхід збільшує точність оцінювання потенційно небезпечних зон до 92 % для різних моделей класифікації.

Детальний огляд наведених (Hu et al., 2019) розробок у сфері геопросторового штучного інтелекту за результатами щорічного заходу ACM SIGSPATIAL розкриває речі, які можуть бути адаптовані для потреб гуманітарного розмінування територій. Зокрема, багатобачуюча є пропонується (Collins et al., 2017) модель для покращення багатоспектральних супутникових знімків низької роздільної здатності там, де відповідні зображення високої роздільної здатності недоступні.

Потенціал ШІ без перебільшення величезний, але можна виокремити основні напрями розвитку, по яких мало або майже відсутні роботи дослідників у цій предметній галузі:

- 1) прогнозування ризиків виявлення ВНП у заданих місцях (пошук найбільш релевантних вхідних ознак прогнозування);
- 2) поєднання різних систем ШІ (врахування попередніх знань до прогнозів або надання додаткових обґрунтованих пояснень для прогнозів може зменшити частку хибних тривог);
- 3) застосування шаблонів ВНП у процесі виявлення об'єктів та прогнозування ризиків.

Для робіт зі знешкодження ВНП та гуманітарного розмінування потрібно знати, чи можемо ми довіряти системам ШІ для виконання критично важливих для безпеки завдань (Gasser, 2024). Журнал Nature у 2022 р. опублікував статтю про "надійний ШІ", в якій зазначалася: "Оскільки ШІ переходить від дослідження до розгортання, створення відповідних наборів даних [...] стає все більшим викликом [...] вони критично впливають на достовірність моделі". Ключове питання щодо довіри до нейронних мереж вже не "чи працюють вони?", а радше "як їх навчали?". Дві однакові апаратні та програмні системи ШІ з різними навчальними даними зовсім не є одним і тим самим, так само, як дві людини, народжені в один день у різних місцях, не мають однакового досвіду і, можливо, не можуть легко спілкуватися одна з одною.

Нейронні мережі стали трансформаційною силою у виявленні наземних мін, пропонуючи потужні інструменти для завдань розпізнавання образів і класифікації. Проблема інтеграції нейромережних компонентів до середовища ГІС, як і будь-якої прикладної інформаційної системи, можна розглядати через призму проблем:

- проблему програмної інтеграції штучних нейронних мереж та ГІС. Визначають питання, пов'язані з розробкою методів та схем взаємодії нейромережних компонентів і ГІС, організації обміну даних та систем запитів між компонентами;

- проблему створення нейромережних моделей у складі ГІС. Включає розробку технології побудови нейромережних моделей, розробку методів автоматизації процесу побудови нейромережі;

- проблему використання нейромережних моделей у складі ГІС. Такою проблемою можна вважати забезпечення стійкості функціонування, підвищення прозорості роботи нейромережі, отримання додаткової інформації про модель, оцінювання якості роботи мережі;

- проблему технічної реалізації нейромережних компонентів. Проблема технічної реалізації полягає у визначенні засобів побудови нейромережних компонентів, розробки програмної системи та забезпечення інформаційних, програмних та технологічних відповідностей систем.

Інтеграції нейромережних систем та ГІС може бути розв'язана трьома способами, а саме:

- 1) інтеграція моделей нейромережних систем у ГІС;
- 2) розвиток інтерфейсу між нейромережними системами та ГІС як самостійними системами;
- 3) створення нейромережних систем з використанням інтерфейсу взаємодії з ГІС.

У "Artificial Intelligence to Help Accelerate Landmine Clearance", (Artificial Intelligence to Help..., 2024) було оголошено, що інвестиції Amazon Web Services дозволять найбільшій неприбутковій неурядовій організації з гуманітарного розмінування у світі HALO Trust випробувати ШІ для допомоги у виявленні військових уламків (у т.ч., міни та інші вибухові речовини) на знімках БПЛА на існуючих мінних полях та місцях бойових дій в Україні. Це також допоможе автоматизувати використання HALO Trust даних ДЗЗ для виявлення будівель, пошкоджених вибуховою, а також ознак людської діяльності, включаючи обробку землі, будівлі, дороги та водойми, що розташовані поблизу місць бойових дій та мінних полів, що дозволить HALO Trust визначити пріоритети ділянок для очищення.

HALO Trust наразі використовує хмару Amazon Web Services іншими способами, а саме:

- запуск алгоритмів ШІ та машинного навчання на супутникових знімках для виявлення пошкоджених будівель за допомогою сервісу машинного навчання SageMaker;

- забезпечення роботи проекту картографування з відкритим кодом HALO Trust в Україні, який інтегрує дані з відкритим кодом з різних джерел через API та переносить їх до центрального сховища даних, розміщеного в AWS, і допомагає HALO Trust розкрити природу вибухонебезпечної загрози;

- розміщення набору інструментів бізнес-аналітики HALO Trust, які надають критично важливу інформацію про діяльність HALO Trust.

Україна має намір використати всі наявні в її розпорядженні технологічні інструменти – від складного оцінювання впливу на основі ШІ до саморобних БПЛА для виявлення мін – для пришвидшення традиційно повільного та трудомісткого процесу розмінування. Уряд співпрацює з американським гігантом з аналізу даних Palantir, щоб об'єднати десятки раніше закритих потоків даних та розробити моделі, що визначатимуть, яке розмінування матиме найбільший вплив (Hutsul et al., 2024).

Дискусія і висновки

Незважаючи на технологічний прогрес військових у розмінуванні та видаленні саморобних вибухових пристроїв у XXI ст., гуманітарне розмінування здебільшого спирається на технології середини XX ст. Виявлення та знешкодження вибухонебезпечних

предметів (ВНП) продовжує залишатися переважно ручним та високоризикованим процесом, який може виграти від технологічного прогресу для підвищення його ефективності та результативності. Попри нагальну потребу в надійних системах виявлення наземних мін, існує багато перешкод, що гальмують прогрес.

Процеси прийняття рішень у всьому світі дедалі більше залежать від інформації, що містить геопросторові дані, які охоплюють будь-яку інформацію з місцезнаходженням або просторовими компонентами. Використання ГІС у протимінній діяльності оптимізує процес вивільнення земель шляхом ефективного картографування та визначення пріоритетів зон ризиків, пов'язаних з мінами та ВНП.

Дослідження ШІ для виявлення ВНП в операціях з розмінування значно зросли за останні роки. Хоча ШІ було запропоновано для покращення виявлення ВНП, існуючі методи в основному зосереджені на розпізнаванні об'єктів, при цьому приділяючи обмежену увагу прогнозуванню ризику, пов'язаному з мінами, на основі інформації про просторові схеми розташування. Однак ці дослідження охоплюють широкий спектр галузей, що ускладнює отримання всебічного розуміння сучасних тенденцій та розробок.

Попри потенціал ШІ для підвищення ефективності та результативності виявлення ВНП в операціях з розмінування, деякі дослідники критикують нещодавні зусилля як "потенційно небезпечні, недостатньо перевірені та малоймовірно досяжні до практичних рішень".

Повністю автоматизоване очищення від ВНП за допомогою ШІ залишається далекою перспективою. ШІ розглядається швидше як корисний інструмент для експертів гуманітарного розмінування, а не як рішення, спрямоване на очищення від ВНП. Хоча ШІ пропонує значний потенціал для виявлення ВНП в операціях з очищення, його інтеграція в реальні операції ще неможлива, оскільки є потреба в навчанні та тестуванні моделей у реальних умовах.

Джерела фінансування. Це дослідження не отримало жодного гранту від фінансової установи в державному, комерційному або некомерційному секторах.

Список використаних джерел

- Гуцул, Т. (2025). Геоінформаційні системи в гуманітарному розмінуванні територій: історія, розвиток, сучасність. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Військово-спеціальні науки*, 3(63), 85–92. <https://doi.org/10.17721/1728-2217.12025.63.85-92>
- Artificial Intelligence to Help Accelerate Landmine Clearance. (2024, 26 June). The HALO Trust. <https://www.halotrust.org/news/artificial-intelligence-to-help-accelerate-landmine-clearance/>
- Bajić, M., & Potočnik, B. (2023). UAV thermal imaging for unexploded ordnance detection by using deep learning. *Remote Sensing*, 15(4), 967. <https://doi.org/10.3390/rs15040967>
- Baur, J., Steinberg, G., & Case, C. (2024). SpotlightAI: Enhancing NTS with Drone-based AI Landmine Detection. In *Mine Action Symposium* (pp. 24–28). HCR-CTRO d.o.o. <https://www.ctro.hr/publications>
- Basto, P. (2025). AI for mine Action: Insights from the GICHD Innovation Session. In *Mine Action Symposium* (pp. 35–41). HCR-CTRO d.o.o. <https://www.ctro.hr/publications>
- Burrough, P. A., McDonnell, R.A., & Lloyd, C.D. (2015). *Principles of geographical information systems*. Oxford University Press.
- Cirillo, F., Solmaz, G., Peng, Y., Bizer, C., & Jebens, M. (2024, May 15). Desk-Aid: Humanitarian Aid Desk Assessment with Geospatial AI for Predicting Landmine Areas. [arXiv.org. https://arxiv.org/abs/2405.09444](https://arxiv.org/abs/2405.09444)
- Collins, C. B., Beck, J. M., Bridges, S. M., Rushing, J. A., & Graves, S. J. (2017). Deep learning for multisensor image resolution enhancement. In *SIGSPATIAL'17: 25th ACM SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems*. ACM. <https://doi.org/10.1145/3149808.3149815>
- Gasser, R. (2024). What can artificial intelligence offer humanitarian mine action? *JMU Scholarly Commons*, 28(2), 3. <https://commons.lib.jmu.edu/cisr-journal/vol28/iss2/3/>

- GICHD. (2023, June 2). GIS is more than meets the eye – It is a pathway to peace. *Mine Action takes centre stage at the Esri User Conference*. <https://www.gichd.org/the-gichd/news/gis-is-more-than-meets-the-eye-it-is-a-pathway-to-peace-mine-action-takes-centre-stage-at-th>
- Heymans, H., & Claassens, A. (2015). Effectiveness of GIS in mine action. *JMU Scholarly Commons*, 19(3), 13. <https://commons.lib.jmu.edu/cisr-journal/vol19/iss3/13/e-esri-user-conference/>
- Hu, Y., Gao, S., Lunga, D., Li, W., Newsam, S., & Bhaduri, B. (2019). GeoAI at ACM SIGSPATIAL. *SIGSPATIAL Special*, 11(2), 5–15. <https://doi.org/10.1145/3377000.3377002>
- Hutsul, T., Khobzei, M., Tkach, V., Krulikovskiy, O., Moisiuk, O., Ivashko, V., & Samila, A. (2024). Review of approaches to the use of unmanned aerial vehicles, remote sensing and geographic information systems in humanitarian demining: Ukrainian case. *Heliyon*, 10(7), e29142. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e29142>
- Kischelewski, B., Cathcart, G., Wahl, D., & Guedj, B. (2024, October 31). *AI for Explosive Ordnance Detection in Clearance Operations: The State of Research*. arXiv.org. <https://arxiv.org/abs/2411.05813>
- Kraenzle, H., & Beale, G. (2001). The development of the Spatial Information Clearinghouse in support of humanitarian demining. *JMU Scholarly Commons*, 5(2), 31. <https://commons.lib.jmu.edu/cisr-journal/vol5/iss2/31>
- Plett, G.L., Doi, T., & Torrieri, D. (1997). Mine detection using scattering parameters and an artificial neural network. *IEEE Transactions of neural networks*, 8(6), 1456–1467.
- LaNeve, C., Treat, T., Groccia, D., Vasaya, S., & Oughton, E. (2024). *Beyond boundary lines: Emerging Innovative trends in Geospatial Data for Decision-Making*. EarthArXiv (California Digital Library). <https://doi.org/10.31223/x5q71q>
- Levchenko, D., Podorozhnyak, A., & Liubchenko, N. (2025). Tools and methods for explosive objects detection using artificial intelligence and computer vision. *Системи управління навігації та зв'язку*, 3(81), 117–121. <https://doi.org/10.26906/sunz.2025.3.117>
- Li, W., & Hsu, C. (2022). GEOAI for Large-Scale Image Analysis and Machine Vision: Recent Progress of Artificial Intelligence in Geography. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 11(7), 385. <https://doi.org/10.3390/ijgi11070385>
- MacDonald, S. (2015, December). *Fighting a tech war against land mines*. ESRI. <https://www.esri.com/about/newsroom/arcwatch/fighting-a-tech-war-against-land-mines>
- Mao, H., Hu, Y., Kar, B., Gao, S., & McKenzie, G. (2018). GeoAI 2017 workshop report. the 1st ACM SIGSPATIAL International Workshop on GeoAI: @AI and Deep Learning for Geographic Knowledge Discovery. *SIGSPATIAL Special*, 9(3), 25. <https://doi.org/10.1145/3178392.3178408>
- Mukhamediev, R. I., Popova, Y., Kuchin, Y., Zaitseva, E., Kalimoldayev, A., Symagulov, A., Levashenko, V., Abdoldina, F., Gopejenko, V., Yakunin, K., Muhamedijeva, E., & Yelis, M. (2022). Review of Artificial Intelligence and Machine Learning Technologies: Classification, Restrictions, opportunities and Challenges. *Mathematics*, 10(15), 2552. <https://doi.org/10.3390/math10152552>

References

- Artificial Intelligence to Help Accelerate Landmine Clearance*. (2024, 26 June). The HALO Trust. <https://www.halostrust.org/news/artificial-intelligence-to-help-accelerate-landmine-clearance/>
- Bajić, M., & Potočnik, B. (2023). UAV thermal imaging for unexploded ordnance detection by using deep learning. *Remote Sensing*, 15(4), 967. <https://doi.org/10.3390/rs15040967>
- Baur, J., Steinberg, G., & Case, C. (2024). SpotlightAI: Enhancing NTS with Drone-based AI Landmine Detection. In *Mine Action Symposium* (pp. 24–28). HCR-CTRO d.o.o. <https://www.ctrro.hr/publications>
- Basto, P. (2025). AI for mine Action: Insights from the GICHD Innovation Session. In *Mine Action Symposium* (pp. 35–41). HCR-CTRO d.o.o. <https://www.ctrro.hr/publications>
- Burrough, P. A., McDonnell, R.A., & Lloyd, C.D. (2015). *Principles of geographical information systems*. Oxford University Press.
- Cirillo, F., Solmaz, G., Peng, Y., Bizer, C., & Jebens, M. (2024, May 15). *Desk-Aid: Humanitarian Aid Desk Assessment with Geospatial AI for Predicting Landmine Areas*. arXiv.org. <https://arxiv.org/abs/2405.09444>

- Collins, C. B., Beck, J. M., Bridges, S. M., Rushing, J. A., & Graves, S. J. (2017). Deep learning for multisensor image resolution enhancement. In *SIGSPATIAL'17: 25th ACM SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems*. ACM. <https://doi.org/10.1145/3149808.3149815>
- Gasser, R. (2024). What can artificial intelligence offer humanitarian mine action? *JMU Scholarly Commons*, 28(2), 3. <https://commons.lib.jmu.edu/cisr-journal/vol28/iss2/3/>
- GICHD. (2023, June 2). GIS is more than meets the eye – It is a pathway to peace. *Mine Action takes centre stage at the Esri User Conference*. <https://www.gichd.org/the-gichd/news/gis-is-more-than-meets-the-eye-it-is-a-pathway-to-peace-mine-action-takes-centre-stage-at-th>
- Heymans, H., & Claassens, A. (2015). Effectiveness of GIS in mine action. *JMU Scholarly Commons*, 19(3), 13. <https://commons.lib.jmu.edu/cisr-journal/vol19/iss3/13/e-esri-user-conference/>
- Hu, Y., Gao, S., Lunga, D., Li, W., Newsam, S., & Bhaduri, B. (2019). GeoAI at ACM SIGSPATIAL. *SIGSPATIAL Special*, 11(2), 5–15. <https://doi.org/10.1145/3377000.3377002>
- Hutsul, T. (2025). Geographical information systems in humanitarian demining of territories: history, development, modernity. *Bulletin of the Taras Shevchenko National University of Kyiv. Military and Special Sciences*, 3 (63), 85–92. <https://doi.org/10.17721/1728-2217.2025.63.85-92>
- Hutsul, T., Khobzei, M., Tkach, V., Krulikovskiy, O., Moisiuk, O., Ivashko, V., & Samila, A. (2024). Review of approaches to the use of unmanned aerial vehicles, remote sensing and geographic information systems in humanitarian demining: Ukrainian case. *Heliyon*, 10(7), e29142. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e29142>
- Kischelewski, B., Cathcart, G., Wahl, D., & Guedj, B. (2024, October 31). *AI for Explosive Ordnance Detection in Clearance Operations: The State of Research*. arXiv.org. <https://arxiv.org/abs/2411.05813>
- Kraenzle, H., & Beale, G. (2001). The development of the Spatial Information Clearinghouse in support of humanitarian demining. *JMU Scholarly Commons*, 5(2), 31. <https://commons.lib.jmu.edu/cisr-journal/vol5/iss2/31>
- Plett, G.L., Doi, T., & Torrieri, D. (1997). Mine detection using scattering parameters and an artificial neural network. *IEEE Transactions of neural networks*, 8(6), 1456–1467.
- LaNeve, C., Treat, T., Groccia, D., Vasaya, S., & Oughton, E. (2024). *Beyond boundary lines: Emerging Innovative trends in Geospatial Data for Decision-Making*. EarthArXiv (California Digital Library). <https://doi.org/10.31223/x5q71q>
- Levchenko, D., Podorozhnyak, A., & Liubchenko, N. (2025). Tools and methods for explosive objects detection using artificial intelligence and computer vision. *Системи управління навігації та зв'язку*, 3(81), 117–121. <https://doi.org/10.26906/sunz.2025.3.117>
- Li, W., & Hsu, C. (2022). GEOAI for Large-Scale Image Analysis and Machine Vision: Recent Progress of Artificial Intelligence in Geography. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 11(7), 385. <https://doi.org/10.3390/ijgi11070385>
- MacDonald, S. (2015, December). *Fighting a tech war against land mines*. ESRI. <https://www.esri.com/about/newsroom/arcwatch/fighting-a-tech-war-against-land-mines>
- Mao, H., Hu, Y., Kar, B., Gao, S., & McKenzie, G. (2018). GeoAI 2017 workshop report. the 1st ACM SIGSPATIAL International Workshop on GeoAI: @AI and Deep Learning for Geographic Knowledge Discovery. *SIGSPATIAL Special*, 9(3), 25. <https://doi.org/10.1145/3178392.3178408>
- Mukhamediev, R. I., Popova, Y., Kuchin, Y., Zaitseva, E., Kalimoldayev, A., Symagulov, A., Levashenko, V., Abdoldina, F., Gopejenko, V., Yakunin, K., Muhamedijeva, E., & Yelis, M. (2022). Review of Artificial Intelligence and Machine Learning Technologies: Classification, Restrictions, opportunities and Challenges. *Mathematics*, 10(15), 2552. <https://doi.org/10.3390/math10152552>

Отримано редакцією журналу / Received: 27.10.25
Прорецензовано / Revised: 07.11.25
Схвалено до друку / Accepted: 14.11.25

Taras HUTSUL, PhD (Engin.), Assoc. Prof.
ORCID ID: 0000-0002-7192-3289
e-mail: t.gutsul@chnu.edu.ua
Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, Chernivtsi, Ukraine

MODERN TRENDS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN HUMANITARIAN TERRITORY DEMINING AND IT'S INTEGRATION INTO GEOINFORMATION SYSTEMS

Background. Humanitarian demining is distinguished by a variety of land-clearance methods, which differ in their physical principles of implementation. According to the readiness level (Technology Readiness Level – TRL), these technological solutions can be divided into routinely employed (TRL 8-9), systems tested in near-operational conditions (TRL 4-7), and conceptual technologies (TRL 1-3). None of the existing methods currently guarantees 100% effectiveness in humanitarian demining and are unsatisfactory in terms of sensitivity, selectivity and speed. The UN Mine Action Service requires mine action operators to achieve a near-to-full clearance confidence level of at least 99.5% down to a minimum depth of 20 cm. Demining activities are inherently geographical in nature, and therefore all spatially referenced data collected by various methods must be processed within Geographic Information Systems (GIS). The rapid expansion of artificial intelligence (AI) in recent years has demonstrated its ability to identify patterns and relationships in datasets far beyond human analytical capacity. The convergence of AI capabilities with geospatial data (GeoAI) has further enhanced the understanding of complex datasets, thereby contributing to solutions for some of humanity's most critical challenges, including that of a mine contamination.

Methods. Both general scientific and special research methods were applied. A historical approach allowed us to trace key stages of AI development. A classification method outlined the types of AI methods. A determination method defined the domain of AI application in humanitarian demining. Analysis and evolutionary approach enabled the examination of AI application cases cross different stages of humanitarian demining cycle and their improvement through the development of geospatial AI. Induction and analysis formulated a conclusion regarding the current state, trends, and prospects of AI deployment in humanitarian land-demining.

Results. The study examines the historical emergence and growing importance of AI for the needs of humanitarian demining. A detailed review of publications on AI in humanitarian demining and geospatial AI was conducted. Trends and declared priorities for further development were identified. A classification of AI methods is provided with an explanation of their practical application in humanitarian demining. Neural networks are used as a case study to identify key challenges and outline feasible solutions for their integration into GIS workflows.

Conclusions. GIS and AI technologies are included in discussions on how technology and innovation can improve humanitarian and international peacekeeping activities. These technologies offer the potential for enhancing needs assessment, spatial change monitoring, and may benefit both the mine action sector and the broader humanitarian community.

Keywords: geospatial data, GIS, demining methods, mine contamination, artificial intelligence

Автор заявляє про відсутність конфлікту інтересів. Спонсори не брали участі в розробленні дослідження; у зборі, аналізі чи інтерпретації даних; у написанні рукопису; в рішенні про публікацію результатів.

The author declares no conflicts of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses or interpretation of data; in the writing of the manuscript; in the decision to publish the results.