

ГЕОПРОСТОРОВА ПІДТРИМКА

УДК 528.94+632.365

DOI: <https://doi.org/10.17721/1728-2217.2025.63.85-92>

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

ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ В ГУМАНІТАРНОМУ РОЗМІНУВАННІ ТЕРИТОРІЙ: ІСТОРІЯ, РОЗВИТОК, СУЧАСНІСТЬ

Вступ. Історія людства – це історія воєн, протягом якої інструменти та процедури ведення бойових дій постійно вдосконалювалися. У масштабі історії людства історія сучасних мін нетривала й загалом охоплює два століття. Такого відносно невеликого періоду часу вистачило, щоб набуту статусу глобальної проблеми людства й обумовити тривалий комплекс негативних соціальних, екологічних та економічних наслідків. Попри розвиток науково-технічного прогресу, досі не існує жодного методу, який би повною мірою задовольняв світові стандарти протимінної діяльності. Розвиток супутніх інформаційних технологій у більшості випадків, зокрема геоінформаційних систем (ГІС), відбувається взагалі осторонь і є допоміжним, хоча, безумовно, багатообіцяючим.

Методи. Використано загальнонаукові та спеціальні методи дослідження. Семантичний підхід дав змогу з'ясувати поняття та предметну область ГІС, історичний – етапи розвитку ГІС та їх періодизацію. Метод визначення виокремлює предметну область застосування ГІС у гуманітарному розмінванні, аналіз та еволюційний підхід різних етапів гуманітарного розмінвання виявив їх вплив на розвиток супутніх технологій та їхню інтеграцію в ГІС. Геоінформаційні технології просторового аналізу та моделювання використано для розв'язання прикладних задач гуманітарного розмінвання територій на різних етапах, індукцію та аналіз – для формування висновку про сучасний стан, тенденції та перспективи застосування ГІС у гуманітарному розмінванні територій.

Результати. Розглянуто приклади застосування ГІС-рішень і методів просторового аналізу для роботи на різних етапах гуманітарного розмінвання територій. Розкрито інновації ГІС та їхній вплив на гуманітарне розмінвання. Наведено сучасний стан застосування ГІС у гуманітарному розмінванні та перспективи їх подальшого розвитку.

Висновки. ГІС стали ефективним і надійним інструментом повноти інформаційного забезпечення актуальними просторовими даними на всіх етапах гуманітарного розмінвання територій. Поява ГІС орієнтувалася передусім на допомогу в нетехнічному обстеженні. Сучасний етап розвитку характеризується насамперед активним пошуком просторових методів аналізу геопросторових даних, одержаних із БПЛА та ДЗЗ для технічного обстеження. Розвиток інфраструктури просторових даних, методів штучного інтелекту (ШІ) у поєднанні з аналітичними функціями ГІС є багатообіцяючим.

Ключові слова: геопросторові дані, ГІС, методи розмінвання, мінеральне забруднення, простір, сталый розвиток.

Вступ

Перше відоме визначення поняття "географічна інформаційна система" (ГІС) надано географом Р. Томлінсоном у серпні 1968 (Tomlinson, 1968), хоча її винайдення розпочалося задовго до цього. Історія появи ГІС пов'язана зі зверненням до нього керівника Канадського земельного кадастру Лі Пратта щодо розроблення плану кадастру земель Канади, спроможного картографувати й аналізувати дані в континентальному охопленні. У відповідь у листопаді 1962 р. було опубліковано та на Національному семінарі з інвентаризації земельних ресурсів (Оттава) представлено доповідь "Комп'ютерне картографування: Вступ до використання електронних комп'ютерів у зберіганні, компіляції та оцінці природних і економічних даних для оцінювання малопродуктивних земель" (Tomlinson, 1962). Публікація чітко сформулювала функціональні вимоги до комп'ютерної системи для аналізу географічних даних, у тому числі у статистичній формі в табличних базах даних. Поява Канадської геоінформаційної системи (Canada Geographic Information System, CGIS) ознаменувала введення терміна "ГІС".

Інтеграція багатьох предметних областей у терміні "ГІС" переконує у відсутності абсолютно узгодженого визначення (DeMers, 1997) і позиціонує ГІС як нову науку, здатну розв'язувати складні просторові проблеми. Загальновизнаним вважається формулювання Національного центру географічної інформації та аналізу (NCGIA): "система апаратного та програмного забезпечення і процедур для полегшення управління, маніпулювання, аналізу, моделювання, представлення та відображення географічно прив'язаних даних для розв'язання

складних проблем, пов'язаних із плануванням та управлінням ресурсами". "Географічний" означає лише наявність у базі даних елементів географічної прив'язки або вміст деяких засобів доступу до даних за географічним розташуванням. Щоб називатися інформаційною системою, програмний продукт має інтегрувати різноманітні функції і давати змогу користувачам отримувати доступ до бази даних без детального знання її формату. Множина визначень ГІС спонукала географа М. Гудчайлда рекомендувати загальне визначення як таке, що включає "базу даних, у якій кожен об'єкт має точне географічне розташування, разом із програмним забезпеченням для виконання функцій введення, управління, аналізу та виведення" (Goodchild, 1990).

ГІС удалося пройти довгий шлях за відносно короткий проміжок часу (понад 60-літня історія). Хоча ГІС та аналіз просторових даних спочатку були двома більш-менш окремими галузями досліджень і застосувань, із часом вони зблизилися. ГІС багатша завдяки вимогам аналізу просторових даних, а аналіз просторових даних багатший завдяки зосередженню, яке ГІС приділила питанням візуалізації та онтології. ГІС багато в чому є результатом адаптації універсальних технологій до конкретних потреб просторових даних. У цьому сенсі майбутнє ГІС гарантоване, оскільки немає нестачі в нових технологіях, що розробляються (Waters, 2017). Нові технології також стимулювали нову науку, оскільки дослідники почали розмірковувати про наслідки нових джерел даних або нової діяльності, заснованої на технологіях. Це, у свою чергу, стимулювало нові види аналітичних методів і нові гіпотези про географічний світ (Goodchild, & Haining, 2003). Етапи

© Гуцул Тарас, 2025

розвитку ГІС, по суті, є довільними й розмитими за часовими межами (табл. 1).

До середини 1990-х рр. більшість фахівців практично нічого не чули про ГІС. Поєднуючи шари географічно прив'язаних даних із даними дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), високотехнологічні ГІС перетворили комп'ютерне картографування на потужний аналітичний інструмент прийняття рішень, чим забезпечили зростання усвідомлення потенціалу та широкого застосування в різних сферах. Міністерство праці США у 2004 р. визначило геотехнології однією з трьох найважливіших галузей, що виникають і розвиваються, поряд з нано- та біотехнологіями. Технології ГІС часто мають неочікуване

застосування у все більшій кількості сфер, чим доводять свою цінність і розширюють можливості з працевлаштування. Попит на геопросторові навички зростає в усьому світі, а перспективи працевлаштування стають своєрідним індикатором географії країни, історії картографування і навіть політичного порядку денного. Фокус на національній безпеці у США є одним із багатьох факторів, що впливає на ринок праці; інший, доволі значний, полягає в обробленні ДЗЗ для картографування значних за площею регіонів із поверхнево дослідженими природними умовами місцевості. У європейських країн, навпаки, територія деталізовано картографована, тому вони інтегрують ГІС у процес прийняття державних рішень (Gewin, 2004).

Таблиця 1

Періодизація етапів розвитку ГІС за деякими авторами

Автори класифікації	Назви етапів (періодів)	Періодизація
(Coppock, & Rhind, 1991)	1) піонерський; 2) підтримуваний урядом експериментальний період; 3) комерційний; 4) епоха домінування користувачів	із середини 1950-х до приблизно 1975 р.; із середини 1975-х до початку 1980-х рр.; з початку 1980-х до 1990 р.; з 1990 р. дотепер
(Berry, 1998)	1) комп'ютерне картографування; 2) управління просторовими базами даних; 3) аналіз та моделювання карт; 4) мультимедійне картографування; 5) геотехнологія*	1970-ті рр.; 1980-ті рр.; 1990-ті рр.; 2000-ті рр.; 2008* – дотепер
(Dawwas, 2014)	1) піонерський; 2) планування адвокації; 3) комунікативне планування; 4) сучасний (нові теорії планування, екологічне регулювання)	з початку 1960-х до початку 1970-х; з початку 1970-х до початку 1980-х; з початку 1980-х до початку 1990-х; з початку 1990-х дотепер
(Amerudin, 2023)	1) поява 2ДГІС; 2) перехід до 3ДГІС; 3) розроблення захопливих 3D-середовищ ГІС; 4) поява розширеної реальності ГІС (XR)	1960-ті рр. – 1990 р.; 1990-ті рр. – 2010 р.; 2010-ті рр. – 2020 р.; сучасність
(Zhou, 2025)	1) технології ГІС (початкова розробка; етап консолідації); 2) наука ГІС (професійні застосування; наукова система); 3) сервіси ГІС (професійні послуги); 4) світ ГІС (соціальні послуги)	з початку 1970-х до початку 1990-х; з початку 1990-х до початку 2000-х; з початку 2000-х до початку 2010-х; з 2010-х дотепер

Примітка: * – прогнозне припущення автора.

За даними звіту міжнародної кампанії із заборони наземних мін "LandMineMonitor", станом на жовтень 2022 р. із проблемами національної безпеки, пов'язаними з післявоєнним розмінуванням територій, стикнулися 67 країн (Sherwin, 2022). Сумарна кількість установлених мін оцінюється орієнтовно в 110 млн шт. і приблизно така сама кількість виготовлена, зберігається на складах і очікує застосування або знищення. Щорічно розрахунково встановлюється 1,9 млн нових мін, а знешкоджується лише близько 100 тис., тому мінна небезпека стрімко зростає. Площа уражених земель дуже обережно оцінюється в понад 10 млн км². Під постійний ризик для життя та здоров'я щоденно потрапляє щонайменше 60 млн людей (проживають у місцях, де відбулися або тривають збройні конфлікти), з них понад 29 млн живуть у межах 10 км від мін. Отже, проблема післявоєнного розмінування територій, без перебільшення, вважається світовою (Гуцул, Ткач, & Хобзей, 2024).

До сьогодні жоден з існуючих методів розмінування не надає 100 % гарантії очищення території. При цьому в будь-якому методі повнота забезпечення актуальною інформацією життєво важлива для ефективного управління програмами протимінної діяльності. Вичерпна й точна інформація гарантує продуктивність і результативність операцій, оскільки їх планування та проведення базуватиметься на фактах. Наявність вичерпного обліку того, що було зроблено, де та як це контролювалося, посилить довіру до якості продуктів

протимінної діяльності. За своєю суттю протимінна діяльність географічна, тобто пов'язана з географічним районом, де проводиться низка заходів, спрямованих на вивільнення земель для продуктивного використання. Тому для ефективного забезпечення процесу планування та впровадження результативного реагування важливо, щоб географічний характер забруднення і його вплив були зафіксовані й проаналізовані. Для таких цілей оптимально підходять ГІС. Їхню появу, еволюцію, особливості застосування, перспективи розвитку для потреб розмінування територій розглянемо детальніше далі.

Мета дослідження – проаналізувати розвиток і можливості ГІС у розв'язанні прикладних задач гуманітарного розмінування територій на різних етапах.

Методи

Для досягнення мети дослідження було використано загальнонаукові та спеціальні методи дослідження. Семантичний підхід дав змогу з'ясувати поняття та предметну область ГІС, історичний – етапи розвитку ГІС та їх періодизацію. Метод визначення виокремив предметну область застосування ГІС у гуманітарному розмінуванні, аналіз та еволюційний підхід різних етапів гуманітарного розмінування виявив їх вплив на розвиток супутніх технологій та їхню інтеграцію в ГІС. Геоінформаційні технології просторового аналізу та моделювання використано для розв'язання прикладних задач гуманітарного розмінування територій на різних етапах, індукцію та аналіз – для формування висновку про сучасний стан, тенденції

та перспективи застосування ГІС у гуманітарному розмінуванні територій.

Результати

Розмінування – це очищення землі відповідно до міжнародно узгоджених стандартів (IMAS). Мета розмінування полягає в очищенні певних ділянок землі від усіх вибухових пристроїв – мін, боеприпасів, що не розірвалися, і будь-яких інших вибухонебезпечних пережитків війни. Різноманітність мін і вибухонебезпечних предметів за конструкцією, матеріалом виготовлення, умовами встановлення, демаскувальними ознаками, принципом дії, впливом середовища та іншими факторами, які можуть бути невідомими, суттєво ускладнює задачу їх ефективного виявлення. Протимінна діяльність розробляє нові підходи, інструменти і стандарти, щоб відповідати динамічним викликам і обставинам на різних рівнях.

Закон України "Про протимінну діяльність" визначає розмінування (гуманітарне розмінування) як комплекс заходів, які проводяться операторами протимінної діяльності з метою ліквідації небезпек, пов'язаних із вибухонебезпечними предметами, включаючи нетехнічне й технічне обстеження територій, складення карт, виявлення, знешкодження та/або знищення вибухонебезпечних предметів, маркування, підготовку документації після розмінування, надання громадам інформації щодо протимінної діяльності й передання очищеної території. Організація управління інформацією у сфері протимінної діяльності згідно із ДСТУ 8820-3:2024 включає управління ГІС.

У більшості країн нетехнічне обстеження (НТО) зазвичай є першим кроком і важливою основою процесу визнання територій вільними від вибухонебезпечних предметів, тому будь-які подальші заходи базуються на точності доказів, зібраних під час НТО. Одержані результати класифікують і реєструють території (вільні; імовірно забруднені та забруднені) відповідно до наявності будь-яких доказів мінного забруднення. Під час проведення НТО також ідентифікують окремі небезпечні одиниці й визначають їхній статус як окремих точкових завдань, не пов'язаних із полігонами, що вимагають подальших дій зі знешкодження вибухонебезпечних предметів, але не потребують технічного обстеження (ТО) або розмінування.

Технічне обстеження зазвичай проводиться після НТО і використовує технічні та інші засоби (методи) пошуку, визначення (підтвердження або уточнення) імовірно небезпечних територій та їхніх меж шляхом отримання прямих ознак (доказів).

Знищення вибухонебезпечного предмета – це переведення його в неієздатний (безпечний) стан шляхом підриву, спалювання, механічного чи іншого повного або часткового руйнування з обов'язковим дотриманням вимог протимінної діяльності та запобіганням і мінімізацією негативних для населення, інфраструктури та довкілля наслідків.

Ідеї залучення ГІС-засобів і навігаційного обладнання (ГНСС) для оброблення та аналізу просторової інформації прозвучали ще на початку 2000-х рр. Методи ГІС використовуються для інтеграції даних з історії бойових дій (зміни оборонних ліній поля бою в роки конфлікту) з метою їх синтезу та інтерпретації (Nolan, 2009). Окрім інформації, отриманої з доступних військових архівів, інтерпретації підозрілих небезпечних зон мають доповнюватися іншими елементами, зокрема топографією поверхні, гідрографією, комунікаційними мережами (напр. дорогами та стежками), рослинністю, властивостями ґрунтового покриття та землекористування. Аналітичні можливості експерта, який має залишатися

ключовим елементом інтерпретації підозрілої небезпечної зони, у поєднанні з геопросторовим аналізом конфліктного ландшафту відкривають цікаві перспективи для підтримки НТО (Geospatial Analysis ..., 2015).

Час, необхідний для проїзду мережею доріг, має початкове та стратегічне значення в контексті протимінної діяльності, а об'єкти транспортної інфраструктури завжди першочергові у пріоритетності будь-якого виду розмінування. Мережевий аналіз ГІС для протимінної діяльності (NAMA) може бути використаний для багатьох застосувань, що підтримують стратегічне планування та прийняття рішень у протимінній діяльності й у ширшому гуманітарному секторі (напр. доставка продуктів харчування та рятувальні операції). Оскільки інциденти часто трапляються у віддалених районах, далеко від медичних закладів і в бідних громадах, де дорожня інфраструктура погана або взагалі відсутня, то медична допомога суттєво ускладнюється, що створює проблеми в допомозі потерпілим. Виходячи з припущення, що інциденти, пов'язані з мінами, зазвичай відбуваються поблизу місць проживання та роботи постраждалих, можна використовувати місцезнаходження інциденту як показник місця існування постраждалих. Додаток ArcGIS Network Analyst дає змогу проводити аналіз транспортної мережі на основі полілінійного шару мережі доріг. Основна функціональність додатка дає змогу здійснювати пошук маршрутів від набору точок відправлення до набору точок призначення (Lacroix et al., 2013).

Ключове завдання гуманітарного розмінування на етапі НТО – вибір територій для очищення. ГІС із використанням ДЗЗ у поєднанні з ГНСС просторово формують наявні й додатково зібрані дані про місцевість в єдину систему. Суттєве покращення цієї діяльності відбулося, зокрема, завдяки появі у 2005 р. сервісів, таких як Google Earth та Google Maps, хоча прогалини залишилися (Schmitz et al., 2018). Визначення найбільш імовірно забруднених мінами й вибухонебезпечними предметами районів дає змогу пріоритетно розподілити час і ресурси на ліквідацію найбільш загрозливих об'єктів для життя чи існування людей і оптимізувати вивільнення земель. Методи просторової логістичної географічно зваженої регресії для побудови прогнозової геостатистичної моделі картографування ризику мін на прикладі невеликого муніципалітету розглянуто в (Schultz et al., 2016). Результати показують значну варіабельність впливу локальних параметрів на розподіл ризику мін.

Розроблення інструменту підтримки прийняття рішень на основі ГІС наведено на прикладі досліджень для Афганістану та Західної Сахари. Служба ООН із протимінної діяльності за ініціативою ООН надала базу даних протимінної діяльності для дослідницького проекту одного з авторів. Просторовий аналіз ґрунтувався на глобальних вільно доступних джерелах (небезпека та зафіксовані нещасні випадки з урахуванням атрибутів IMSMA NG; висотні дані AGTER GDEM; ґрунтовий покриття GlobCover; розподіл населення LandScan; гідрологічні дані HydroSHEDS та дані OpenStreetMaps). Початковий аналіз набору даних, зокрема щодо кількості мін, знайдених під час операцій із розмінування, у 15 % випадків не зафіксував жодної знайденої міни. Частотний аналіз на регіональному рівні виявив, що в деяких регіонах було очищено більше небезпечних ділянок без мін, ніж ділянок з наявними мінами. Після проведення аналізу та перекласифікації з використанням ваг результати системи просторової підтримки та прийняття рішень застосовано у статистичному програмному пакеті для проведення частотного аналізу. Успішне використання

системи підтримки прийняття рішень на основі ГІС (ГІСППР), відповідно, спричинило розроблення інструменту просторового багатокритеріального аналізу. Цей інструмент сприяв гуманітарному розмінуванню та картографуванню, допомагаючи оперативніше приймати оптимальні рішення зі зниженими витратами, що особливо важливо для країн з обмеженими ресурсами (Schmitz et al., 2018).

Доповненням концепції ГІСППР стали веборієнтовані версії підтримки операцій з гуманітарного розмінування та відновлення забруднених мінами територій. Зацікавлені сторони й донори можуть активно долучатися до процесу прийняття рішень за їхньою допомогою. Така система на основі багатокритеріального аналізу та попередньо визначених сценаріїв (з різними ваговими критеріями) розробляє альтернативні варіанти проєктів розмінування територій, що дає змогу керівникам легко порівнювати різні можливості розмінування (Mladineo, Mladineo, & Jajac, 2014).

Жодна країна, яка зіткнулася з необхідністю розмінування територій після військових дій, не може розв'язати цю проблему власними силами, а тому звертається по допомогу до міжнародних і вітчизняних постачальників послуг гуманітарного розмінування. Низка об'єктивних причин, частина з яких є відображенням, зокрема, природних умов, а інші – соціального характеру війни (значні масштаби мінного забруднення, обмежене фінансування, відсутність даних, технічних засобів і підготовлених фахівців тощо), збільшують очікувану тривалість протимінної діяльності на роки, а то й десятиліття. За цей час на потенційно небезпечних територіях можуть відбуватися несприятливі фізико-географічні процеси або стихійні лиха. Зсуви, повені та річкові потоки переміщують багато мін, що робить існуючі та архівні дані для картографування мін ненадійними. Мікрорельєф на замінюваних ділянках зазнає низки змін, таких як порушення стійкості ґрунту, руйнування його структури та ерозія. Цифрові моделі рельєфу на основі топографічних карт дають змогу оцінювати морфометричні характеристики території: кути схилів, глибину та довжини великих балок, протяжність ярів (Hodzinska, Hutsul, & Kazimir, 2023). Усі ці параметри є вихідними для оцінювання ерозійної здатності води. Багатокритеріальна модель ГІС спроможна вказати місцезнаходження потенційної ерозії (Valjarević et al., 2015).

Перші смартфони з'явилися ще у 2007 р., що дало їм змогу стати портативними комп'ютерами з ГНСС-пристроями та відкрило перспективи збирання даних із використанням мобільних додатків. З удосконаленням мобільних технологій і послуг на основі місцезнаходження ГІС почали відігравати більшу роль у щоденних операціях з очищення від мін та нерозірваних боєприпасів під час НТО та ТО. Як наслідок, уведений в планшет або інший мобільний пристрій із підтримкою ГНСС дані забезпечують доступ до ще більшої кількості даних майже в режимі реального часу для осіб, які приймають рішення, що розширює гнучкість планування щоденних операцій. Центр міжнародної стабілізації та відновлення (CISR) за фінансування Державного департаменту США використав платформу ArcGIS Online та додаток Collector від Esri для розроблення CAST (CISR AGO Survey Tool). За наявності підключення до інтернету дані негайно оновлюються у хмарному сховищі, а за його відсутності зберігаються локально та синхронізуються до

наступного підключення. Ці хмарні дані одразу ж доступні для інших мобільних пристроїв, що працюють онлайн (або синхронізованих), і настільних комп'ютерів, на яких інсталювані ArcGIS Online або ArcGIS Desktop (Rittenhouse, & Aldrich, 2017).

Проєкт TIRAMISU охоплював численні елементи протимінної діяльності, у тому числі обстеження, експлуатацію і перевірку, управління інформацією, інформування про міну небезпеку, ближнє виявлення мін і засоби індивідуального захисту персоналу. Система складалася з: механічного обладнання зі встановленими детекторами на дистанційно керований транспортний засіб із багатоканальним металошукачем; сільськогосподарського тракторного транспортного засобу з георадаром і вибухостійкими колесами; невеликого автономного робота з обертовим металошукачем і встановленого на транспортному засобі бічного радара. Геопросторові інструменти використовували інформацію з відкритих джерел. Аналіз видимості та прохідності місцевості доводить спроможність ГІС реконструювати бойові дії, оцінювати вразливість та особливості планування кампаній із протимінної діяльності. Інструментарій визначення пріоритетів гуманітарного розмінування опирався на дані ДЗЗ і результати обстежень наземних дронів, які сукупно визначали наявність або відсутність мін (Yvinès, Lacroix, & Baudoin, 2016).

Проєкт PARADIS на першому етапі продемонстрував переваги використання даних ДЗЗ у протимінній діяльності. Супутникові знімки дуже високої роздільної здатності (1 м) не потребували інтерпретації, а автоматичні інструменти були ще недостатньо ефективними. Порівняння відмінностей на різночасових зображеннях високої роздільної здатності надає відповідну інформацію та використовується як альтернатива топографічним картам. Другий етап розділяв PARADIS на два інтерфейси, а саме "планувальний" і мобільний "польовий". Конкретні інструменти (такі як MinefieldGrid, що автоматично інтегрує ГНСС-вимірювання та зміщує скановані карти) продемонстрували полегшення процесів планування та повсякденної роботи саперів. Безпечні збирання та обмін даними, просте та швидке звітування через налаштовані форми, а також різні масштаби аналізу ситуації були визнані важливими цінними функціями. Система була адаптивною до інших потреб, зокрема ТО та розв'язку рішень із виявлення протипіхотних мін, однак це був лише обмежений прототип для перевірки концепції (Lacroix, 2017).

Зростає кількість випробувань методів ГІС у поєднанні з геостатистикою для моделювання мінних ризиків із метою доповнення відсутніх даних для розмінування. Застосування методу оцінювання щільності ядра (рис. 1) для визначення небезпеки, вразливості та елемента, що перебуває під загрозою, пов'язаною з мінами й вибухами, після вибухів та осколків забезпечує візуальне зображення пріоритетних областей, на які передусім мають звернути підвищену увагу оператори протимінної діяльності. Карти, створені за допомогою методу оцінювання щільності ядра, широко застосовуються для аналізу та візуалізації просторового розподілу дискретних даних, які зображені як точкові розташування, а також для визначення "гарячих точок". Використання методу ґрунтується на спостереженні, що ризик, який виникає від відомого інциденту, зменшується зі збільшенням відстані до місця його розташування (Alegria et al., 2017).

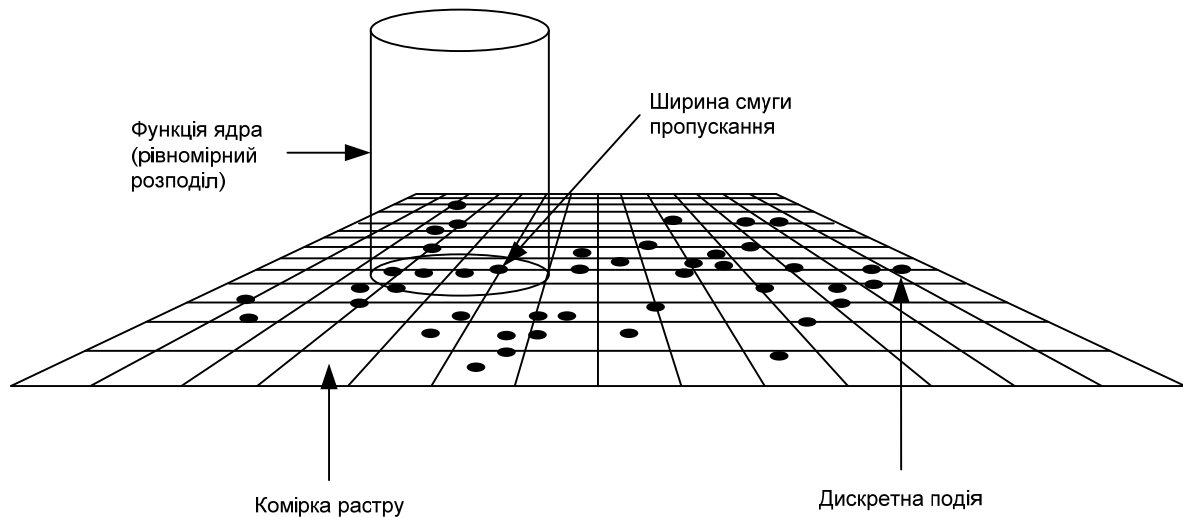


Рис. 1. Метод оцінювання щільності ядра (Hart, & Zandbergen, 2014)

Карти небезпек – тематичні карти, що зображують усі індикатори мінної присутності із супутніми зонами ураження та розрахунковими рівнями небезпеки в цих зонах (Krtalić, 2012). Тематична карта, за визначенням, є картографічним зображенням різних тем із природного та соціального світу, розташованих у просторовому зв'язку. Такі карти як результат запиту до ГІСППР гуманітарного розмінування відображають один або декілька загальних географічних об'єктів (населених пунктів, доріг, рельєфу, гідрології, рослинності) або інші спеціально виділені об'єкти особливого значення. У цьому випадку об'єктами особливого значення є показники наявності або відсутності мін, тоді як способи їхньої взаємодії, а також їхній вплив на навколишнє середовище, є темами, пов'язаними з навколишнім простором. Сапери (розвідники) можуть проводити детальну підготовку на основі інформації за рівнями достовірності із цих тематичних карт перед заходами ТО.

ГІС застосовують і після проведення заходів із гуманітарного розмінування, зокрема для оцінювання результатів впливу їхньої діяльності. Дослідження, проведене для організації з розмінування HALO Trust, мало на меті дві основні цілі: картографувати різні типи земного покриття після розмінування та провести кількісне оцінювання зміни площ забудови. Картографування просторового розподілу земного покриття здійснювалося у поєднанні з алгоритмами машинного навчання та об'єктно-орієнтованою класифікацією супутникових знімків Worldview-1,2,3. Виявлення та кількісне оцінювання будівель досліджуваної території супроводжувалася використанням автоматичного, неконтрольованого підходу, заснованого на морфологічному індексі забудови. Два панхроматичні зображення високої роздільної здатності (0,5 м), отримані WorldView-1 у 2008 та 2018 роках, оброблено за допомогою серії багатомасштабних і багатонаправлених морфологічних операторів. До результатів застосовано порогову постобробку й оптимізовані параметри. Чутливість результатів аналізувалася окремо (Killeen, Jaupri, & Barrett, 2022).

У 2014 році серед операторів протимінної діяльності компанією "Geometric Solutions, Ltd." проведено масштабне опитування (71 респондент повністю заповнив усі анкети). Головна мета полягала у визначенні переваг, які можуть запропонувати ГІС як просторові системи підтримки рішень (ГІСППР), і якою мірою ГІС-рішення вже

використовуються у сфері протимінної діяльності. За результатами 69 % респондентів усвідомлювали одержання обґрунтованих рішень на основі ГІС для класифікації небезпечної території або безпосередньо об'єктів небезпеки. Ще 27 % зазначили про труднощі освоєння та отримання доступу до ГІС-рішень і продуктів. Огляд відповідей виявив потребу досліджень щодо прогнозування пошуку мін під час операцій очищення та розвитку сегмента мобільних ГІС-рішень (Neymans, & Claassens, 2015).

Створення і використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА) стало серйозним проривом у сфері інтелектуальних досягнень. БПЛА дали змогу людям не перебувати в умовах загрози життю, проводити діяльність, що виходить за межі їхніх фізіологічних і психофізіологічних можливостей. Поєднання можливості збирання просторових даних під час польоту в різних діапазонах ДЗЗ із можливістю доповнення варіантами корисного навантаження (обладнання) відкриває перспективи для їх використання для розмінування територій. Доповнення технологій БПЛА сучасними інформаційними системами оброблення та аналізу інформації (експертні системи, машинне навчання, обчислювальний інтелект, розподілений штучний інтелект (ШІ), нейронні мережі тощо), включаючи просторові ГІС, відкриває великі перспективи у сфері гуманітарного розмінування територій (Hutsul et al., 2024).

Проект розмінування "Одіссея 2025" від Humanity & Inclusion має на меті підвищити ефективність роботи з виявлення мін і картографування мінних полів із застосуванням науково обґрунтованого підходу з використанням БПЛА та ГІС. З 2018 р. обстежено майже 300 мінних полів із тестуванням високотехнологічних і недорогих рішень, які можна адаптувати до місцевих умов (Demining with Drones ..., 2025).

Великий і постійно зростаючий обсяг просторових даних обумовив появу такого явища, як "інфраструктура геопросторових даних" (ІГД). Просторові дані набувають вирішального значення для сприяння економічному розвитку, підвищення нашої відповідальності за природні ресурси та захисту навколишнього середовища. ІГД – надскладна система на базі єдиної геодезичної та картографічної основ, що уніфікує в єдину базу різні важливі просторові дані. За оцінюванням, приблизно 80 % державних даних мають просторову основу. Приклади

варіюються від місцевого та регіонального до національного та глобального масштабів і стосуються різноманітних прикладних задач. Ручні методи оброблення такого обсягу даних дуже важко виявляють нові закономірності й обумовлюють перехід до методів ШІ в ГІС.

Команда зі штучного інтелекту в Esri починає активно об'єднувати галузі ГІС та ШІ в пілотному проєкті, започаткувавши дисципліну, відому як GeoAI. Можливості машинного навчання були впроваджені в ArcGIS ще у 2009 р. Використання алгоритмів машинного навчання для аналізу великих, неструктурованих просторових наборів даних може допомогти експертам із ГІС виявити нові закономірності та взаємозв'язки в цих даних, які недоступні за традиційними методами ГІС. Машинне навчання у поєднанні з геопросторовими даними – зростаюча тенденція. Воно вилучає та класифікує земельний покрив і землекористування з різних платформ ДЗЗ, а також точно встановлює ризики регіонів щодо стихійних лих і повеней. Поєднання ГІС і машинного навчання використовується в кількох дослідженнях для прогнозування виникнення рідкісних подій, включаючи райони з мінами, з точністю 89 % (Saliba et al., 2024).

Еволюція ГІС на сучасному етапі відзначилася інтеграцією таких дисциплін, як науки про Землю, системні дослідження та інформатика. Це міждисциплінарне злиття позиціонує розроблення ГІС як нову інтегративну науку, здатну розв'язувати складні просторові проблеми. У контексті технологічного прогресу, зокрема швидкого розвитку ШІ, традиційні дисциплінарні межі розмиваються, що викликало безпрецедентну інтеграцію різноманітних типів інформації в ГІС (Карпінський, & Лазоренко-Гевель, 2018), включаючи багатоджерельні дані, мультимодальну інформацію та мультисемантичну інтерпретацію. Сукупно це створює нові парадигми для виявлення і застосування просторових знань. Однак ГІС нині перебуває на критичному етапі своєї еволюційної траєкторії. Безпрецедентний прогрес в інформаційних технологіях, зокрема революційні прориви в ШІ, відкривають трансформаційні можливості для ГІС для розв'язання дедалі складніших просторово-часових проблем (Zhou, 2025).

Дискусія і висновки

Скорочення площ, забруднених мінами, – міждисциплінарне завдання, у якому зростає роль ДЗЗ, фотографічної та ГІС.

З моменту появи ГІС у XX столітті визначення та розуміння географічної інформації зазнали глибоких трансформацій. Розвиток ГІС супроводжується прогресом інформаційних технологій. З одного боку, розвиток інформаційних технологій сприяє прогресу ГІС, з іншого – ГІС також висуває багато вимог до інформаційних технологій (просторово-часове збирання великих даних, аналіз, застосування тощо). Сьогодні інформаційні технології вступили в еру великих даних, ШІ, Інтернету речей, мобільних і хмарних обчислень. Ці революційні технології надають нові можливості для ГІС.

Аналіз просторових даних у ГІС наразі може підтримувати протимінну діяльність на різних етапах. Система управління інформацією дає змогу керівнику контролювати й візуалізувати критичні змінні, отримувати загальне уявлення про ситуацію, створювати індивідуальні звіти та виконувати геопросторовий аналіз для прийняття оптимальних рішень. Можливості варіюються від простого накладання географічних шарів до складного геопросторового аналізу, що поєднує різні набори даних для моделювання та картографування, наприклад цільність забруднення боєприпасами, потенційні

переміщення мін, спричинені стоком води, населення, яке найбільше піддається ризику, доступність району тощо. Результати такого аналізу можуть бути використані в процесі обстеження, на етапі встановлення пріоритетів і для планування та звітності операцій.

Просторово-часові дані ДЗЗ, матеріали нетехнічних обстежень із БПЛА та фізичні параметри, одержувані іншими методами й засобами, поєднані в геопросторовій базі даних разом із потужним аналітичним апаратом ГІС-засобів, спроможні виявити нові зв'язки та відношення між очевидними на перший погляд параметрами, що може допомогти в ідентифікації потенційно небезпечних територій і визначенні пріоритетності (черговості) їх гуманітарного розмінування з урахуванням часу.

Геопросторові набори, що базуються на польових (реалістичних) даних щодо мін і вибухонебезпечних об'єктів, на відкритих поверхнях ґрунту за різних природних умов і факторів у поєднанні з методами ШІ (зокрема, машинного навчання) мають потенціал суттєво підвищити результативність ТО (територій з поверхневим забрудненням) і НТО.

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

Список використаних джерел

- Гуцул, Т., Ткач, В., & Хобзей, М. (2024). *Класифікація та особливості методів гуманітарного розмінування територій на сучасному етапі*. Чернівці: нац. ун-т ім. Ю. Федьковича.
- Карпінський, Ю. О., & Лазоренко-Гевель, Н. Ю. (2018). Методи збирання геопросторових даних для топографічного картографування. *Сучасні досягнення геодезичної науки і виробництва*, 1(35), 204–211. <http://gki.com.ua/ua/metodi-zbirannya-geoprostorovih-danih-dlja-topografichnogo-kartografuvannya>
- Alegria, A. C., Zimanyi, E., Cornelis, J., & Sahli, H. (2017). Hazard mapping of landmines and ERW using Geo-Spatial techniques. *Journal of Remote Sensing & GIS*, 06(02). <https://doi.org/10.4172/2469-4134.1000197>
- Amerudin, S. (2023). *The Evolution of GIS Software Development and its Changing Roles*. <https://people.utm.my/shahabuddin/?p=6144>
- Berry, J. K. (1998). *GIS Software's Changing Roles*. GeoWorld. www.innovativegis.com/basis/mapanalysis/MA_Intro/MA_Intro.htm
- Coppock, J. T., & Rhind, D. W. (1991). *The History of GIS*. https://www.geos.ed.ac.uk/~gisteac/ilw/generic_resources/books_and_papers/Thx1ARTICLE.pdf
- Dawwas, E. (2014). The Evolution of GIS as a Land Use Planning Conflict Resolution Tool: A Chronological Approach. *American Journal of Geographic Information System*, 3(1), 38–44. <https://doi.org/10.5923/J.AJGIS.20140301.04>
- DeMers, M. N. (1997). *Fundamentals of Geographic Information Systems*. John Wiley & Sons.
- Demining with Drones: Lessons Learned in the Desert Prove Useful Elsewhere*. (2025, May 9). Esri. www.esri.com/about/newsroom/blog/drones-gis-transform-humanitarian-demining
- Geospatial analysis of the conflict landscape for supporting Non-Technical Survey. (2015). In S. Vanhuysse, V. Lacroix, & E. Wolff (Eds.). *Humanitarian Demining 2015*. TIRAMISU. www.fp7-tiramisu.eu/sites/fp7-tiramisu.eu/files/publications/IARP-11%20VANHUYSSE%20LACROIX.pdf
- Gewin, V. (2004). Mapping opportunities. *Nature*, 427(6972), 376–377. <https://doi.org/10.1038/nj6972-376a>
- Goodchild, M. F. (1990). GIS and basic research: The national center for geographic information and analysis. *Government Information Quarterly*, 7(3), 343–355. [https://doi.org/10.1016/0740-624x\(90\)90029-n](https://doi.org/10.1016/0740-624x(90)90029-n)
- Goodchild, M. F., & Haining, R. P. (2003). GIS and spatial data analysis: Converging perspectives. *Papers of the Regional Science Association*, 83(1), 363–385. <https://doi.org/10.1007/s10110-003-0190-y>
- Hart, T., & Zandbergen, P. (2014). Kernel density estimation and hotspot mapping. *Policing an International Journal*, 37(2), 305–323. <https://doi.org/10.1108/pijpsm-04-2013-0039>
- Heymans, H., & Claessens, A. (2015). Effectiveness of GIS in Mine Action. *Journal of Conventional Weapons Destruction*, Vol. 19, Iss. 3, Article 13. <https://commons.lib.jmu.edu/cisr-journal/vol19/iss3/13>
- Hodzinska, I., Hutsul, T., & Kazimir, I. (2023). Identifying the impact of generalization on maps of erosion dissection at different scales. *Reports on Geodesy and Geoinformatics*, 115(1), 1–8. <https://doi.org/10.2478/rgg-2023-0001>
- 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>

- Killeen, J., Jaupi, L., & Barrett, B. (2022). Impact assessment of humanitarian demining using object-based peri-urban land cover classification and morphological building detection from VHR Worldview imagery. *Remote Sensing Applications Society and Environment*, 27, 100766. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2022.100766>
- Krtalić, A. (2012). Thematic maps for Humanitarian demining. *Kartografija i Geoinformacije*, 11(17), 26–41. <https://core.ac.uk/reader/296291630>
- Lacroix, P., Escobar, R., Cottray, O., & DeRoulet, P. (2013). NAMA: A GIS-based network-analysis approach for mine action. *The Journal of ERW and Mine Action*. <https://commons.lib.jmu.edu/cisr-journal/vol17/iss3/9/>
- Lacroix, V. (2017). PARADIS: Information Management for Mine Action. In *InTech eBooks*. <https://doi.org/10.5772/65781>
- Mladineo, M., Mladineo, N., & Jajac, N. (2014). Project management in mine actions using Multi-Criteria-Analysis-based decision support system. *Croatian Operational Research Review*, 5(2), 415–425. <https://doi.org/10.17535/corr.2014.0023>
- Nolan, T. J. (2009). Geographic Information Science as a method of integrating history and archaeology for battlefield interpretation. *Journal of Conflict Archaeology*, 5(1), 81–104. <https://doi.org/10.1163/157407709x12634580640290>
- Rittenhouse, P., & Aldrich, L. (2017). Using mobile geographic information systems to improve operational efficiency, data reliability, and access in mine action. *JMU Scholarly Commons*, 21(2), 5. <https://commons.lib.jmu.edu/cisr-journal/vol21/iss2/5/>
- Saliba, A., Tout, K., Zaki, C., & Claramunt, C. (2024). Bridging Human Expertise with Machine Learning and GIS for Mine Type Prediction and Classification. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 13(7), 259. <https://doi.org/10.3390/ijgi13070259>
- Schmitz, P., Heymans, J., Claassens, A., Carow, S., & Knight, C. (2018). Humanitarian demining and the Cloud: Demining in Afghanistan and the Western Sahara. In *Lecture notes in geoinformation and cartography* (pp. 143–166). https://doi.org/10.1007/978-3-319-72434-8_7
- Schultz, C., Alegría, A. C., Cornelis, J., & Sahli, H. (2016). Comparison of spatial and aspatial logistic regression models for landmine risk mapping. *Applied Geography*, 66, 52–63. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2015.11.005>
- Sherwin, M. (2022). *Landmine Monitor 2022*. In *LandMine & Cluster Munition Monitor* (No.978-2-9701476-2-6). Monitoring and Research Committee. www.themonitor.org/media/3352351/2022_Landmine_Monitor_web.pdf
- Tomlinson, R. F. (1962). Computer Mapping: An introduction to the use of electronic computers in the storage, compilation and assessment of natural and economic data for the evaluation of marginal lands. *National Land Capability Inventory Seminar held under the direction of the Agricultural Rehabilitation and Development Administration of the Canada Department of Agriculture*. <https://gisandscience.wordpress.com/wp-content/uploads/2012/08/4-computermapping.pdf>
- Tomlinson, R. F. (1968). *A Geographic Information System for Regional Planning*. In *Land Evaluation* Stewart, G.A. (Ed.), 200-10. Macmillan.
- Valjarević, A., Srećković-Batočanin, D., Živković, D., & Perić, M. (2015). GIS analysis of dissipation time of landscape in the Devil's city (Serbia). *DOAJ (DOAJ: Directory of Open Access Journals)*. <https://doi.org/10.3390/ams20020148>
- Waters, N. (2017). GIS: History. *International Encyclopedia of Geography*, 1–12. <https://doi.org/10.1002/9781118786352.wbieg0841>
- Yvinec, Yann, Lacroix, Yvancine, & Baudoin, Yvan. (2016). TIRAMISU Final Technology Demonstration at SEDEE-DOVO. *The Journal of Conventional Weapons Destruction*, 20(1), 14. <https://commons.lib.jmu.edu/cisr-journal/vol20/iss1/14>
- Zhou, C. (2025). Exploring future GIS visions in the era of the scientific and Technological Revolution. *Information Geography*, 1(1), 100007. <https://doi.org/10.1016/j.infgeo.2025.100007>
- Goodchild, M. F., & Haining, R. P. (2003). GIS and spatial data analysis: Converging perspectives. *Papers of the Regional Science Association*, 83(1), 363–385. <https://doi.org/10.1007/s10110-003-0190-y>
- Hart, T., & Zandbergen, P. (2014). Kernel density estimation and hotspot mapping. *Policing an International Journal*, 37(2), 305–323. <https://doi.org/10.1108/pijpsm-04-2013-0039>
- Heymans, H., & Claassens, A. (2015). Effectiveness of GIS in Mine Action. *Journal of Conventional Weapons Destruction*, Vol. 19, Iss. 3, Article 13. <https://commons.lib.jmu.edu/cisr-journal/vol19/iss3/13>
- Hodzinska, I., Hutsul, T., & Kazimir, I. (2023). Identifying the impact of generalization on maps of erosion dissection at different scales. *Reports on Geodesy and Geoinformatics*, 115(1), 1–8. <https://doi.org/10.2478/rgg-2023-0001>
- Hutsul, T., Tkach, V., & Khobzei, M. (2024). Classification and features of methods of humanitarian demining of territories at the present stage. Chernivtsi. National University named after Yu. Fedkovych [in Ukrainian].
- 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>
- Karpinsky, Yu. O., & Lazorenko-Hevel, N. Yu. (2018) Methods of collecting geospatial data for topographic mapping. *Modern achievements of geodetic science and production*, 1(35), 204–211 [in Ukrainian]. <http://gki.com.ua/metodi-zbirannya-geoprostorovih-danih-dlja-topografichnogo-kartografuvannya>
- Killeen, J., Jaupi, L., & Barrett, B. (2022). Impact assessment of humanitarian demining using object-based peri-urban land cover classification and morphological building detection from VHR Worldview imagery. *Remote Sensing Applications Society and Environment*, 27, 100766. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2022.100766>
- Krtalić, A. (2012). Thematic maps for Humanitarian demining. *Kartografija i Geoinformacije*, 11(17), 26–41. <https://core.ac.uk/reader/296291630>
- Lacroix, P., Escobar, R., Cottray, O., & DeRoulet, P. (2013). NAMA: A GIS-based network-analysis approach for mine action. *The Journal of ERW and Mine Action*. <https://commons.lib.jmu.edu/cisr-journal/vol17/iss3/9/>
- Lacroix, V. (2017). PARADIS: Information Management for Mine Action. In *InTech eBooks*. <https://doi.org/10.5772/65781>
- Mladineo, M., Mladineo, N., & Jajac, N. (2014). Project management in mine actions using Multi-Criteria-Analysis-based decision support system. *Croatian Operational Research Review*, 5(2), 415–425. <https://doi.org/10.17535/corr.2014.0023>
- Nolan, T. J. (2009). Geographic Information Science as a method of integrating history and archaeology for battlefield interpretation. *Journal of Conflict Archaeology*, 5(1), 81–104. <https://doi.org/10.1163/157407709x12634580640290>
- Rittenhouse, P., & Aldrich, L. (2017). Using mobile geographic information systems to improve operational efficiency, data reliability, and access in mine action. *JMU Scholarly Commons*, 21(2), 5. <https://commons.lib.jmu.edu/cisr-journal/vol21/iss2/5/>
- Saliba, A., Tout, K., Zaki, C., & Claramunt, C. (2024). Bridging Human Expertise with Machine Learning and GIS for Mine Type Prediction and Classification. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 13(7), 259. <https://doi.org/10.3390/ijgi13070259>
- Schmitz, P., Heymans, J., Claassens, A., Carow, S., & Knight, C. (2018). Humanitarian demining and the Cloud: Demining in Afghanistan and the Western Sahara. In *Lecture notes in geoinformation and cartography* (pp. 143–166). https://doi.org/10.1007/978-3-319-72434-8_7
- Schultz, C., Alegría, A. C., Cornelis, J., & Sahli, H. (2016). Comparison of spatial and aspatial logistic regression models for landmine risk mapping. *Applied Geography*, 66, 52–63. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2015.11.005>
- Sherwin, M. (2022). *Landmine Monitor 2022*. In *LandMine & Cluster Munition Monitor* (No.978-2-9701476-2-6). Monitoring and Research Committee. www.themonitor.org/media/3352351/2022_Landmine_Monitor_web.pdf
- Tomlinson, R. F. (1962). Computer Mapping: An introduction to the use of electronic computers in the storage, compilation and assessment of natural and economic data for the evaluation of marginal lands. *National Land Capability Inventory Seminar held under the direction of the Agricultural Rehabilitation and Development Administration of the Canada Department of Agriculture*. <https://gisandscience.wordpress.com/wp-content/uploads/2012/08/4-computermapping.pdf>
- Tomlinson, R. F. (1968). *A Geographic Information System for Regional Planning*. In *Land Evaluation* Stewart, G.A. (Ed.), 200-10. Macmillan.
- Valjarević, A., Srećković-Batočanin, D., Živković, D., & Perić, M. (2015). GIS analysis of dissipation time of landscape in the Devil's city (Serbia). *DOAJ (DOAJ: Directory of Open Access Journals)*. <https://doi.org/10.3390/ams20020148>
- Waters, N. (2017). GIS: History. *International Encyclopedia of Geography*, 1–12. <https://doi.org/10.1002/9781118786352.wbieg0841>
- Yvinec, Yann, Lacroix, Yvancine, & Baudoin, Yvan. (2016). TIRAMISU Final Technology Demonstration at SEDEE-DOVO. *The Journal of Conventional Weapons Destruction*, 20(1), 14. <https://commons.lib.jmu.edu/cisr-journal/vol20/iss1/14>
- Zhou, C. (2025). Exploring future GIS visions in the era of the scientific and Technological Revolution. *Information Geography*, 1(1), 100007. <https://doi.org/10.1016/j.infgeo.2025.100007>

References

- Alegría, A. C., Zimanyi, E., Cornelis, J., & Sahli, H. (2017). Hazard mapping of landmines and ERW using Geo-Spatial techniques. *Journal of Remote Sensing & GIS*, 06(02). <https://doi.org/10.4172/2469-4134.1000197>
- Amerudin, S. (2023). *The Evolution of GIS Software Development and its Changing Roles*. <https://people.utm.my/shahabuddin/?p=6144>
- Berry, J. K. (1998). *GIS Software's Changing Roles*. GeoWorld. www.innovativegis.com/basis/mapanalysis/MA_Intro/MA_Intro.htm
- Coppock, J. T., & Rhind, D. W. (1991). *The History of GIS*. https://www.geos.ed.ac.uk/~gisteac/ilw/generic_resources/books_and_papers/Thx1ARTICLE.pdf
- Dawwas, E. (2014). The Evolution of GIS as a Land Use Planning Conflict Resolution Tool: A Chronological Approach. *American Journal of Geographic Information System*, 3(1), 38–44. <https://doi.org/10.5923/J.AJGIS.20140301.04>
- DeMers, M. N. (1997). *Fundamentals of Geographic Information Systems*. John Wiley & Sons.
- Demining with Drones: Lessons Learned in the Desert Prove Useful Elsewhere. (2025, May 9). Esri. www.esri.com/about/newsroom/blog/drones-gis-transform-humanitarian-demining
- Geospatial analysis of the conflict landscape for supporting Non-Technical Survey. (2015). In S. Vanhuyse, V. Lacroix, & E. Wolff (Eds.). *Humanitarian Demining 2015*. TIRAMISU. www.fp7-tiramisu.eu/sites/fp7-tiramisu.eu/files/publications/IARP-11%20VANHUYSSE%20LACROIX.pdf
- Gewin, V. (2004). Mapping opportunities. *Nature*, 427(6972), 376–377. <https://doi.org/10.1038/nj6972-376a>
- Goodchild, M. F. (1990). GIS and basic research: The national center for geographic information and analysis. *Government Information Quarterly*, 7(3), 343–355. [https://doi.org/10.1016/0740-624x\(90\)90029-n](https://doi.org/10.1016/0740-624x(90)90029-n)

Отримано редакцією журналу / Received: 23.07.25
Прорецензовано / Revised: 08.08.25
Схвалено до друку / Accepted: 11.08.25

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

GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS IN HUMANITARIAN DEMINING: HISTORY, DEVELOPMENT, AND MODERNITY

Background. *The history of mankind is a history of warfare, during which the tools and procedures of warfare have been constantly improved. On the scale of human history, the history of modern mines is short, barely two centuries. Despite this relatively short period, landmines have become a global problem for humanity, causing long-lasting social, environmental, and economic consequences. Despite advances in scientific and technological progress, there is still no method that fully meets international mine action standards. In most cases, the development of related information technologies, in particular geographic information systems (GIS), has remained largely on the sidelines and auxiliary, although it is certainly promising.*

Methods. *General scientific and specialized research methods were employed. The semantic approach was used to clarify the concept and subject area of GIS. The historical approach examined the stages of GIS development and their periodization. The definition method identified the subject area of GIS applications in humanitarian demining. The analysis and evolutionary approach explored examples of GIS applications at different stages of humanitarian demining and their improvements alongside the development of GIS and related technologies. Geographic information technologies for spatial analysis and modelling were applied to solve practical problems of humanitarian demining at various stages. Finally, induction and analysis were used to draw conclusions about the current state, trends, and prospects of GIS applications in humanitarian demining.*

Results. *Examples of the application of GIS solutions and spatial analysis methods at different stages of humanitarian demining are presented. The impact of GIS innovations on humanitarian demining is highlighted. The current state of GIS applications in humanitarian demining and prospects for further development are also discussed.*

Conclusions. *GIS has become an effective and reliable tool for ensuring comprehensive information provision with relevant spatial data at all stages of humanitarian demining. The initial use of GIS was primarily focused on assisting with non-technical surveys. The current stage of development is characterized by an active search for spatial methods to analyze geodata obtained from UAVs and remote sensing for technical surveys. The development of spatial data infrastructures and the integration of artificial intelligence (AI) methods with GIS analytical functions appear particularly promising.*

Keywords: *geodata, GIS, demining methods, mine contamination, spatial analysis, sustainable development.*

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.