

ГЕОДЕЗІЯ ТА ЗЕМЛЕУСТРІЙ. ДИСТАНЦІЙНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ ЗЕМЛІ

УДК 528.8+504.53

<http://dx.doi.org/10.31548/zemleustriy2022.04.13>

ВИЗНАЧЕННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВИБУХОВИХ ВИРВ НА ЗЕМЛЯХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ДИСТАНЦІЙНИМИ МЕТОДАМИ

С.І. ГОРЕЛИК,

*кандидат технічних наук, доцент, Національний аерокосмічний
університет ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут»*

E-mail: s.horelik@khai.edu

А.С. НЕЧАУСОВ,

*кандидат технічних наук, доцент, Національний аерокосмічний
університет ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут»*

E-mail: s.nechausov@khai.edu

О.Є. ЯНКІН,

*кандидат технічних наук, доцент,
Національний технічний університет "Дніпровська політехніка"*

E-mail: Yankin.O.Ye@ntu.one

Анотація. Анотація. Збройна агресія Російської Федерації проти України призвела до значного пошкодження родючого шару ґрунтів на тимчасово окупованих територіях. Оцінка збитків для земель сільськогосподарського призначення пошкоджених вирвами потребує визначення їх геометричних характеристик. Існує дві групи методів для знаходження площі та об'єму вирв. Перша група – контактні геодезичні дослідження, які дозволяють точно визначити параметри вирв, але їх не можливо застосувати із-за вибухонебезпечності території й великої кількості ушкоджених ділянок. Інші методи пов'язані з визначенням геометричних характеристик за даними дистанційного зондування Землі (ДЗЗ). Вони дозволяють оперативно виявляти місцезнаходження вибухових вирв, але у військовий час не доступні у повному обсязі. Тому, комплексне використання даних дистанційного зондування та контактних досліджень дозволить швидко

то безпечно визначати місцезнаходження й геометричні характеристики вибухових вив.

Метою дослідження є розроблення методики визначення геометричних характеристик вибухових вив за рахунок комплексного використання контактних і дистанційних геодезичних даних в умовах ведення бойових дій. Головні завдання дослідження: аналіз існуючих методів визначення геометричних характеристик вибухових вив; визначення залежності між силою вибуху та геометричними характеристиками вив; розробка методики визначення пошкодження родючого шару сільськогосподарських угідь від військових дій з використанням геоінформаційних технологій (ГІС-технологій); практична реалізація розробленої методики на прикладі тестової ділянки сільськогосподарського угіддя.

Розроблена методика полягає у використанні геоінформаційних технологій та даних ДЗЗ для визначення місцезнаходження та площі вибухових вив. За існуючими статистичними залежностями між тротиловим еквівалентом вибуху та геометричними характеристиками отримані нові функції взаємозв'язку між радіусом вив і об'ємом, глибиною та тротиловим еквівалентом вибуху.

У геоінформаційному програмному забезпеченні ArcGIS побудовані картографічні моделі розподілу вив за об'ємом, щільності вибухових вив та їх розподілом за радіусом.

Побудовані геомоделі дозволили оцінити ступінь пошкодження ґрунтів сільськогосподарського призначення й визначити найбільш вибухонебезпечні ділянки. За отриманими даними встановлено, що між щільністю вив й їх радіусом при наявності вив розміром більше 25 м відсутній кореляційних зв'язок.

Оцінки збитків для сільськогосподарських угідь внаслідок військових дій в Україні потребує використання знімків з БПЛА та супутників з надвисоким просторовим розрізненням. У подальшому необхідно перевірити адекватність розробленої методики польовими геодезичними методами.

Ключові слова: вибухові вив, пошкодження ґрунту, ГІС-технології, космічні знімки, ДЗЗ, ArcGIS.

Актуальність.

Збройна агресія Російської Федерації проти України призводить до катастрофічних наслідків. Однією з актуальніших проблем є пошкодження родючого шару та засмічення вибухонебезпечними предметами земель сільськогосподарського призначення від введення військових дій.

За даними [1] на початок червня 2022 р. тимчасово окуповано близько 125 тис. км², що складає 20% від загальної площі України. Подальше

ведення сільськогосподарської діяльності на цих територіях досить небезпечно та місцями неможливо у зв'язку з механічним порушенням цілісності родючого шару ґрунту. Використання цих земель за призначенням можливе тільки після проведення рекультивувальних робіт. Виконання відновлювальних робіт потребує розрахунку збитків заданих від військових дій та визначення геометричних характеристик вибухових вив. Згідно постанови КМУ [2] розрахунок шкоди, завданої землі, ґрунтам внаслідок збройної

агресії потребує визначення площ вирв та об'єму викинутого ґрунту.

Місцезнаходження й геометричні характеристики вибухових вирв можливо визначати існуючими польовими геодезичними методами, але їх використання ускладняється через вибухонебезпечність території й великої кількості ушкоджених ділянок. Дистанційні геодезичні методи дозволяють оперативно виявляти місцезнаходження вибухових вирв, але мають меншу точність порівняно з контактними, і, на жаль, деякі дані неможливо отримати у військовий час. Тому, комплексне використання даних дистанційного зондування та контактних досліджень дозволить швидко та безпечно визначати місцезнаходження й геометричні характеристики вибухових вирв.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Проблемою визначення геометричних характеристик вирв і їх зв'язку з тротиловим еквівалентом вибуху займалися багато дослідників, серед них слід відзначити Адушкіна В.В., Христофорова В.Д., I. Sochet Radun, Jeremić, Zoran Bajić та ін.

Питанням дистанційних досліджень вищенаведених завдань займалися Бутенко О.С., Куссуль Н.А., Falah Fakhri, Ioannis Gkanatsios та ін. Їх напрацювання пов'язані з методиками визначення техногенних об'єктів на космічних знімках.

Мета дослідження.

Метою дослідження є розроблення методики визначення геометричних характеристик вибухових вирв за рахунок комплексного використання

контактних і дистанційних геодезичних даних в умовах ведення бойових дій.

Для вирішення поставленої мети виконані такі завдання: проведення аналізу існуючих методів визначення геометричних характеристик вибухових вирв; визначення залежності між силою вибуху та геометричними характеристиками вирви; розроблення методики визначення пошкодження родючого шару сільськогосподарських угідь від військових дій з використанням ГІС-технологій; практична реалізація розробленої методики на прикладі тестової ділянки сільськогосподарського угіддя.

Матеріали і методи дослідження.

Оцінка механічного пошкодження ґрунтів сільськогосподарських угідь від вибухів снарядів базується на визначенні геометричних характеристик таких, як радіус (R), глибина (h), площа (S) й об'єм вирви (V) з обов'язковим визначенням їх геодезичних координат. Для розрахунку площі й об'єму вирви необхідно визначити геометричну фігуру, яка найбільш точно її описує. Так, вибухові вирви згідно [3, с. 71] описуються трьома геометричними формами: усічений конус, конус обертання й параболоїд обертання. Площа поверхні вирви розраховується, як площа круга – $S=\pi R^2$, а об'єм за формулами [3, с.71-72]:

– усічений конус

$$V = \frac{\pi}{3} \cdot h(R^2 + R \cdot r + r^2); \quad (1)$$

– конус обертання

$$V = \frac{\pi}{3} \cdot R^2 \cdot h; \quad (2)$$

– параболоїд обертання

$$V = \pi \int_0^h R^2 \cdot dH, \quad (3)$$

де r – радіус меншої основи усіченого конуса (радіус дна вирви);

Слід зазначити, що при падінні снаряда під невеликим кутом вирва наближено має форму еліптичного конусу. Площа основи цієї фігури становить $S = \pi R_1 \cdot R_2$, де R_1 і R_2 – найменший і найбільший радіус еліпсу. Об'єм:

$$V = \frac{1}{3} \cdot \pi R_1 \cdot R_2 \cdot h$$

Існує багато геодезичних методів визначення вищенаведених параметрів, які можна об'єднати у дві групи: контактні й дистанційні.

Серед контактних досліджень можна виділити три методи: польовий, статистичний і комбінований.

Польовий метод полягає у визначенні координат і геометричних характеристик безпосередньо на місцевості. Найбільш оптимальною геодезичною зйомкою для визначення координат вирв на місцевості є наземно-космічна зйомка з використанням GNSS-приймачів, а для визначення глибини та діаметру вирв можна використовувати лазерний далекомір. Цей метод є найточнішим, але потребує значних матеріальних і часових витрат та є небезпечним у зв'язку з засміченням території вибухонебезпечними предметами.

Статистичний метод базується на кореляції між типом снарядів (кількості вибухової речовини) та геометричними характеристиками вирв. Використання цього методу дає змогу

теоретично розраховувати ймовірні геометричні характеристики вирв. У публікації [4, с. 71-74] наведено результати залежності (4-6) між тротильовим еквівалентом вибуху (q) та геометричними характеристиками вирв, які наведені на рис. 1. Недоліком цього методу є складність розрахунку для різних ділянок місцевості у зв'язку з різною геологічною будовою території й необхідністю знати місцезнаходження вирв і тип снарядів (кількості вибухової речовини).

- об'єм вирви V , м³:

$$V = 26,72q^{0,999}; \quad (4)$$

- радіус вирви R , м:

$$R = 3,36q^{0,366}; \quad (5)$$

- глибина вирви H , м:

$$H = 1,78q^{0,316}. \quad (6)$$

Комбінований метод полягає у комплексному застосуванні польового й статистичного методу. За допомогою використання GNSS-приймачів визначається місцезнаходження кожної вирви, вимірюється одна з її геометричних характеристик (діаметр або висота). В межах тестових ділянок виконують вимірювання геометричних характеристик з метою знаходження кореляційних взаємозв'язків. Розрахунок об'єму ведеться статистичними методами. Цей метод є більш ефективним за вищенаведеним, але неможливий під час військових дій і до розмінування території.

Дистанційні геодезичні методи [5, с. 106-110] дозволяють визначати координати і геометричні характеристики вирв за знімками, які можна отримати зі супутників, літаків, БПЛА і ін. Ці методи є безпечними й оперативнішими та потребують менших часових і матеріальних витрат. У військовий час отримання даних дистанційного зондування Землі можливо тільки з супутників. Отримання ортофотоп-

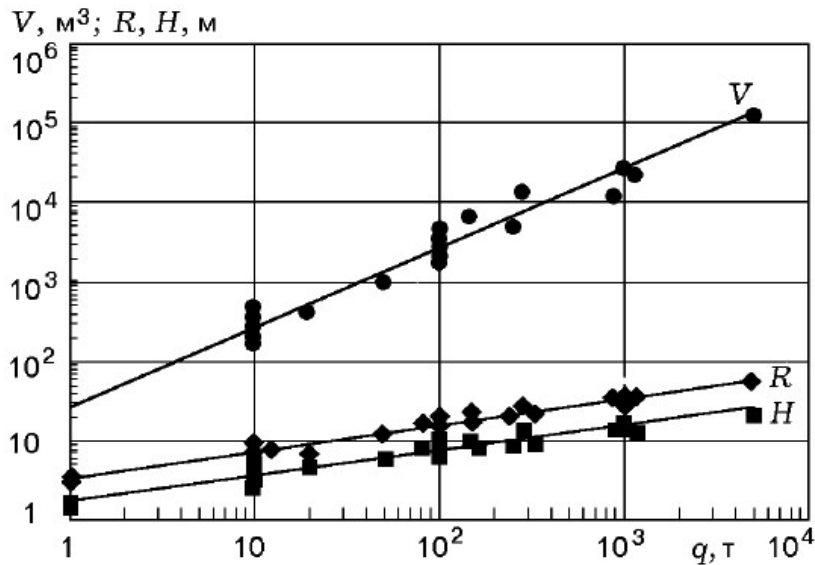


Рис. 1. Графік залежності об'єму (V), радіуса (R) й глибини (H) вибуху від тротилового еквіваленту (q) наземних вибухів (за Адушкіним В.В. [4])

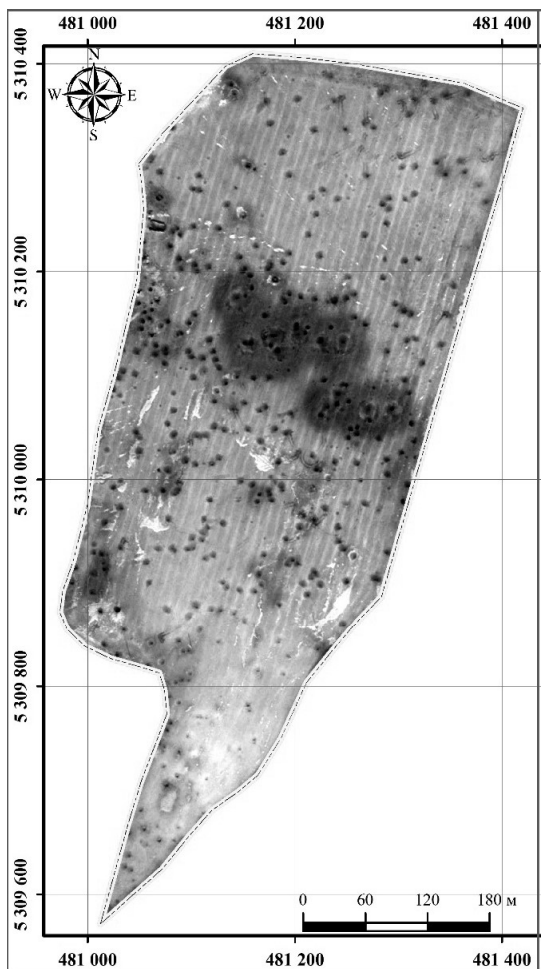


Рис. 2. Тестова ділянка сільськогосподарського угіддя, яка пошкоджена вибуховими вирвами

ланів з БПЛА потребує встановлення опознаків на місцевості, що є небезпечним із-за проведення бойових дій та наявністю нерозірваних снарядів. Використання літаків для проведення аерофотозйомки під час бойових дій не можливе.

Супутникові дані з надвисоким просторовим розрізненням засекречені та будуть доступні тільки після закінчення військового часу. Дані з просторовим розрізненням 10-15 м з супутників Sentinel та Landsat, які є у вільному доступі, не дають можливість визначити геометричні характеристики вибуху.

Отже у найближчій перспективі визначити параметри вибуху можливо тільки за допомогою космічних знімків. У якості апробації методики використаний архівний космічний знімок з тестовою ділянкою сільськогосподарського угіддя з надвисоким просторовим розрізненням у зоні проведенні ООС (рис. 2).

Найбільш ефективно обробку даних ДЗЗ і побудову геомodelей проводити з використанням ГІС-тех-

нологій [6, с. 11-14]. У дослідженні використовувалось геоінформаційне програмне забезпечення ArcGIS (ArcMap 10.8).

Використання ГІС-технологій для визначення геометричних характеристик вирв за космічними знімками полягає у послідовному виконанні наступних дій. Спочатку створюється проєкт у ArcMap та обирається система координат. Додаються космічні знімки. У випадку відсутності файлу з геодезичними координатами кута знімку, проводиться прив'язка растру використовуючи інструменту «Просторова прив'язка». Для точної прив'язки необхідно мінімум 3 опорні точки для афінного перетворення (поліном першого порядку) [7]. Далі у ArcCatalog створюються необхідні векторні шейп-шари (*.shp) із зазначенням типу об'єкту і просторової прив'язки. У ключовому шарі проводиться векторизація вирв за дешифрувальними ознаками. Методика дешифрування вирв, що утворилися при вибуху снарядів, наведена в роботі [8, с. 131-132]. Для розрахунку геометричних характеристик вирв створюються атрибутивна таблиця з колонками «Площа», «Радіус», «Глибина вирви», «Об'єм вирви», «Троти-

ловий еквівалент», «Широта», «Довгота». Вбудовані інструменти ArcGIS дозволяють автоматично визначити площу вирв за допомогою «Розрахувати геометрію» і функції «Площа». Розрахунок геометричних характеристик вирв проводився з використанням інструменту «Калькулятор поля». Згідно статистичних залежностей (4-6) авторами отримані нові функції взаємозв'язку між радіусом вирв і їх об'ємом, глибиною й тротильовим еквівалентом (7-9), які використані для визначення геометричних характеристик вибухових вирв. Радіус розрахований за формулою:

$$R = \sqrt{S/\pi}.$$

$$V = 0,977R^{2,729}, \quad (7)$$

$$H = 0,625R^{0,863}. \quad (8)$$

$$q = \left(\frac{R}{3,36}\right)^{2,732} \quad (9)$$

Вигляд атрибутивної таблиці для тестової ділянки наведений на рис. 3.

На наступному етапі побудовані картографічні моделі розподілу вирв за об'ємом, щільністю вибухових вирв та їх розподілом за радіусом.

FID	Shape	Площа, S (га)	Радіус, R (м)	Глибина воронки, H	Об'єм воронки	Тротильовий еквівалент, q	Широта	Довгота
0	Polygon	44,211	7	3,4	192,9	7,544	47°55'35",0	38°44'54",5
1	Polygon	40,095	6,4	3,1	147,8	5,776	47°55'34",3	38°44'53",2
2	Polygon	40,001	6,4	3,1	146,8	5,74	47°55'34",0	38°44'55",2
3	Polygon	109,406	17	7,4	2287,3	89,675	47°55'35",0	38°44'51",6
4	Polygon	34,31	5,5	2,7	96,6	3,774	47°55'34",0	38°44'48",7
5	Polygon	24,958	4	2,1	40,5	1,582	47°55'31",8	38°44'48",1
6	Polygon	35,557	5,7	2,8	106,5	4,16	47°55'32",9	38°44'48",1
7	Polygon	33,164	5,3	2,6	88	3,439	47°55'32",5	38°44'49",9
8	Polygon	36,241	5,8	2,8	112,2	4,383	47°55'33",2	38°44'53",8
9	Polygon	19,83	3,2	1,7	21,6	0,844	47°55'32",5	38°44'54",1
10	Polygon	11,624	1,9	1,1	5	0,196	47°55'32",2	38°44'55",6
11	Polygon	17,095	2,7	1,5	14,4	0,563	47°55'31",8	38°44'56",4

Рис. 3. Атрибутивна таблиця геометричних характеристик вибухових вирв векторизованих за космічним знімком

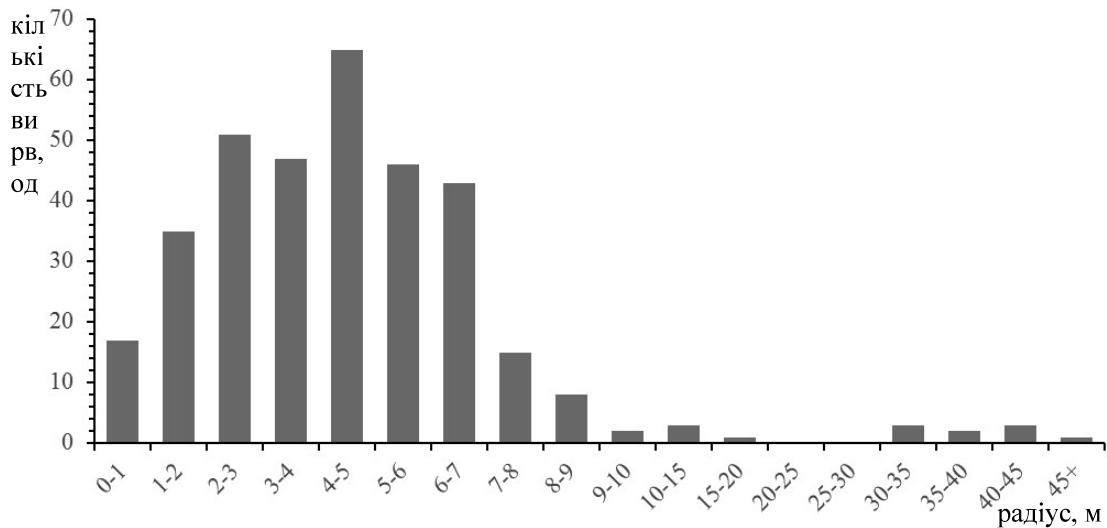


Рис. 4. Частотне розподілення кількості вирв від їх радіусу

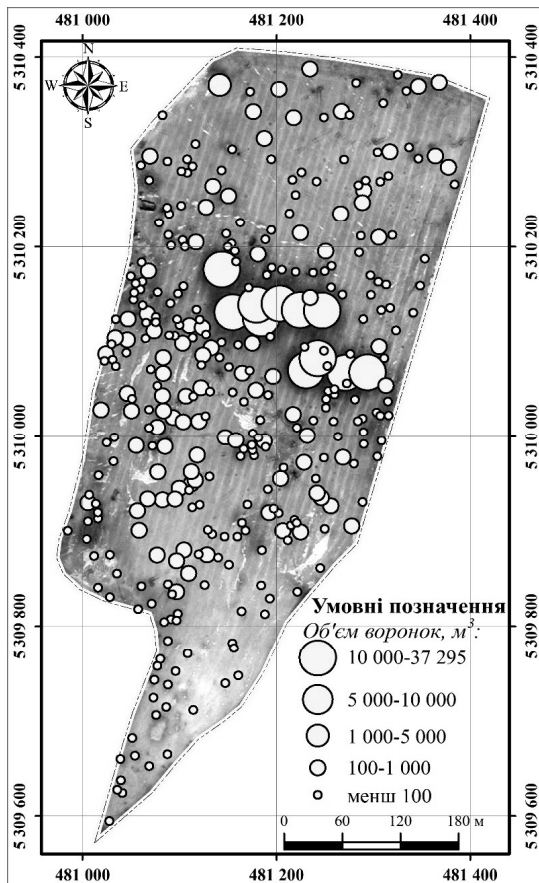


Рис. 5. Картографічна модель розподілу вибухових вирв за об'ємом в межах тестової ділянки

Створення вищенаведених геомodelей здійснено за рахунок використан-

ня інструменту інтерполяції «Кригінг» [9].

Результати дослідження.

У результаті дешифрування космічного знімку визначено 343 вирви на тестовій ділянці. Мінімальний встановлений розмір (радіус) воронки становить – 0,4 м, максимальний – 48,5 м, середній радіус – 5,4 м, мода – 4,8 м, медіана – 4,1 м. Частотне розподілення вирв за розміром наведено на рис. 4.

Загальна площа пошкодженого верхнього шару ґрунту на тестовій ділянці склала 1,18 га, що становить 5,8% усієї ріллі. Площа вирв змінюється у діапазоні від 2,7 до 304,8 м², середня – 34,2 м². Глибина – від

0,3 до 17,8 м, середня – 2,6 м. Розрахований сумарний тротиловий еквівалент вибухів у межах ділянки склав приблизно 11 т.

Загальний об'єм пошкодженого (викинутого) ґрунту склав 278,8 тис м³. Об'єм вирв змінюється від 0,1 м³ до 37 296 м³, при середньому значенні – 810,5 м³ ґрунту. Візуалізація по-

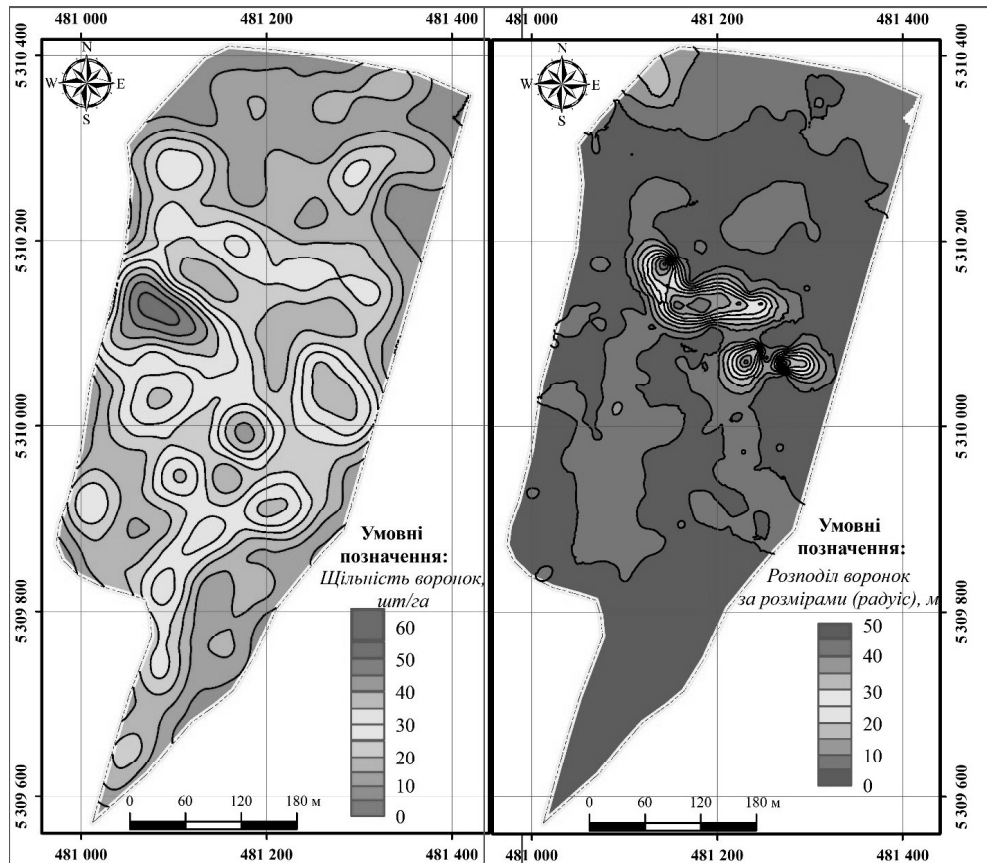


Рис.6. Карта щільності (зліва) й розподілу вибухових вирв за розмірами (справа)

шкодження ґрунту наведена на рис. 5. Просторовий розподіл вирв та пошкодження ґрунту в межах ділянки не рівномірні.

Середня кількість вирв на одиницю площі складає 17 одиниць на га. При цьому найбільша щільність становить понад 60 вирв/га й сконцентрована у західній частині ділянки, а найменша – у північній і південно-східній частині менш 5 вирв/га (рис. 6). Ці дані можуть бути використані при прогнозуванні вибухонебезпечних ділянок.

Концентрація вирв за розмірами у межах тестової ділянки досить не однорідна. При більш-менш рівномірному розподілі вирв розміром до 10-15 м по всій тестовій ділянці явно виділяється зона у центральній й

східній частині з концентрацією вирв радіусом більше 25 м (рис. 6).

Аналіз створених геомodelей показав, що кореляції між щільністю вирв та об'ємом пошкодженої території майже не існує. Підтвердженням цьому послужить той факт, що на 7 вирв розміром більше 30 м приходить-ся 89,9% об'єму пошкодженого ґрунту (центральна частина досліджуваної ділянки), при цьому щільність вирв на цій ділянці складає 15-30 од. на га.

Висновки і перспективи.

Проведений аналіз існуючих методів визначення об'єму пошкодженого ґрунту показав, що польові геодезичні методи дозволяють точно визначати геометричні характеристики вирв,

але потребують значних матеріальних і часових витрат та неможливі під час проведення бойових дій, у свою чергу дистанційні методи дозволяють оперативно встановити й ідентифікувати ці ділянки, але із-за обмеженого доступу даних не мають можливості розрахувати об'єм вирв. Тому, комплексне використання контактних і дистанційних даних дозволяє оперативно виявляти вирви й обчислювати їх геометричні характеристики.

Розроблена методика дозволяє оперативно й безпечно розраховувати геометричні характеристики вирв за дистанційними й контактними даними на землях сільськогосподарського призначення. Побудовані геомоделі дозволили оцінити ступінь пошкодження ґрунтів сільськогосподарського призначення й визначити найбільш вибухонебезпечні ділянки. За отриманими даними встановлено, що між щільністю вирв й їх радіусом при наявності вирв розміром більше 25 м відсутній кореляційних зв'язок.

Оцінки збитків для сільськогосподарських угідь внаслідок військових дій в Україні потребує використання знімків з БПЛА та супутників з надвисоким просторовим розрізненням. У подальшому необхідно перевірити адекватність розробленої методики польовими геодезичними методами.

Список літератури

1. Menkiszak M. Moscow's long war: Russia's political calculations after 100 days of conflict / Marek Menkiszak // OSW Commentary. – 04.06.2022. Режим доступу: <https://www.osw.waw.pl/en/publikacje/osw-commentary/2022-06-04/moscows-long-war-russias-political-calculations-after-100-days> (дата звернення: 11.10.2022).
2. Про затвердження Методики визначення розміру шкоди, завданої землі, ґрунтам внаслідок надзвичайних ситуацій та/або збройної агресії та бойових дій під час дії воєнного стану [Електронний ресурс] : Наказ Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України від 04.04.2022 р. № 167. Режим доступу : <https://ips.ligazakon.net/document/RE37742?an=1> (дата звернення: 04.10.2022). – Назва з екрана.
3. Károly J. Cone-volume measure and stability/ Károly J. Böröczky, Martin Henk // Advances in Mathematics. – V. 306 – 2017. – pp. 24-50. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aim.2016.10.005>.
4. Адушкин В. В. Воронки наземных крупномасштабных взрывов / В. В. Адушкин, В. Д. Христофоров // Физика горения и взрыва. – 2004. – Т. 40, №6. – С. 71-75.
5. Geospatial Data Processing Characteristics for Environmental Monitoring Tasks / O. Butenko, S. Horelyk, O. Zyniuk // Architecture Civil Engineering Environment. – 2020. – V. 13, №1. – P.103-114.
6. Danshyna S. Formalizing the land inventory process for information support of land projects management / S. Danshyna, V. Cheranovskiy // Radioelectronic and Computer Systems. – 2022. – № 3. – p. 7-19. doi: <https://doi.org/10.32620/reks.2022.3.01>.
7. ArcGIS for Desktop. Fundamentals of georeferencing a raster dataset: website [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/10.3/manage-data/raster-and-images/fundamentals-for-georeferencing-a-raster-dataset.htm> (дата звернення: 11.10.2022). – Назва з екрана.
8. Assessment of the dynamics of environmental changes in Eastern Ukraine using the data of the earth space monitoring / O. Butenko, S. Gorelik, A. Topchiy, T. Bryzhachenko // Сучасні інформаційні системи. – 2020. – Т. 4, № 1. – С. 130-135.
9. ArcGIS for Desktop. How Kriging works. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/10.6/>

tools/spatial-analyst-toolbox/how-kriging-works.htm (дата звернення: 11.10.2022). – Назва з екрана.

References

1. Menkiszak, M. (2022). Moscow's long war: Russia's political calculations after 100 days of conflict. OSW Commentary. Available at: [доступу: https://www.osw.waw.pl/en/publikacje/osw-commentary/2022-06-04/moscows-long-war-russias-political-calculations-after-100-days](https://www.osw.waw.pl/en/publikacje/osw-commentary/2022-06-04/moscows-long-war-russias-political-calculations-after-100-days)
2. Pro zatverdzhennia Metodyky vyznachennia rozmiru shkody, zavdanoi zemli, gruntam vnaslidok nadzvychainykh sytuatsii ta/abo zbroinoi ahresii ta boiovykh dii pid chas dii voiennoho stanu : Nakaz Ministerstva zakhystu dovkillia ta pryrodnykh resursiv Ukrainy vid 04.04.2022 r. № 167 [On the approval of the Methodology for determining the amount of damage caused to land and soil as a result of emergency situations and/or armed aggression and hostilities during martial law : Order of the Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine dated 04.04.2022 № 167]. Available at: <https://ips.ligazakon.net/document/RE37742?an=1>
3. Károly J. Böröczky, Martin Henk. (2017). Cone-volume measure and stability. *Advances in Mathematics*, 306, pp. 24-50. Available at <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0001870816307150>.
4. Adushkin, V. V. Khristoforov, V. D. (2004). Voronky nazemnykh krupnomasshtabnykh vzryvov [Funnel of large-scale ground explosions]. *Physics of Combustion and Explosion*, 40 (6), 71-75.
5. Butenko, O., Horelyk, S., Zynyuk, O. (2020). Geospatial Data Processing Characteristics for Environmental Monitoring Tasks. *Architecture Civil Engineering Environment*, 13 (1), 103-114. doi: 10.21307/ACEE-2020-008.
6. Danshyna S., Cheranovskiy V. (2022) Formalizing the land inventory process for information support of land projects management. *Radioelectronic and Computer Systems*, 3, 7 – 19. doi: <https://doi.org/10.32620/reks.2022.3.01>.
7. ArcGIS for Desktop. Fundamentals of georeferencing a raster dataset: website. Available at: <https://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/10.3/manage-data/raster-and-images/fundamentals-for-georeferencing-a-raster-dataset.htm>
8. Butenko, O., Gorelik, S., Topchiiy, A., Bryzhachenko, T. (2020). Assessment of the dynamics of environmental changes in Eastern Ukraine using the data of the earth space monitoring. *Advanced Information Systems*, 4 (1), 130-135.
9. ArcGIS for Desktop. How Kriging works. Available at: <https://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/10.6/tools/spatial-analyst-toolbox/how-kriging-works.htm>

Horelyk S., Nechausov A., Yankin O.

DETERMINATION OF GEOMETRIC CHARACTERISTICS OF EXPLOSIVE ERUPTIONS ON AGRICULTURAL LANDS USING REMOTE METHODS

LAND MANAGEMENT, CADASTRE AND LAND MONITORING 4'22: 118-128.

<http://dx.doi.org/10.31548/zemleustriy2022.04.13>

Abstract. The armed aggression of the Russian Federation against Ukraine led to significant damage to the fertile soil layer in the temporarily occupied territories. Damage assessment for agricultural lands damaged by ravines requires determination of their geometric characteristics. There are two groups of methods for finding the area and volume of pits. The first group is contact geodetic research, which allows you to accurately determine the parameters of craters, but

it is impossible to apply them due to the explosiveness of the territory and the large number of damaged areas. Other methods are related to the determination of geometric characteristics based on the data of remote sensing of the Earth (RS). They make it possible to quickly identify the location of explosive holes, but in wartime they are not fully available. Therefore, the complex use of remote sensing data and contact research will allow to quickly and safely determine the location and geometric characteristics of explosive craters.

The purpose of the study is to develop a methodology for determining the geometric characteristics of explosive craters due to the complex use of contact and remote geodetic data in the conditions of military operations. The main tasks of the research: analysis of existing methods for determining the geometric characteristics of explosive craters; determination of the relationship between the force of the explosion and the geometric characteristics of the eruption; development of a methodology for determining damage to the fertile layer of agricultural lands from military operations using Geoinformation technologies (GIS technologies); practical implementation of the developed methodology on the example of a test plot of agricultural land.

The developed technique consists in the use of geo-information technologies and data of RS to determine the location and area of explosive craters. Based on the existing statistical relationships between the TNT equivalent of the explosion and the geometric characteristics, new functions of the relationship between the radius of the rupture and the volume, depth, and TNT equivalent of the explosion were obtained.

Cartographic models of the distribution of craters by volume, the density of explosive craters and their distribution by radius were built in the ArcGIS geoinformation software.

The constructed geomodels made it possible to assess the degree of damage to agricultural soils and to determine the most explosive areas. Based on the obtained data, it was established that there is no correlation between the density of the holes and their radius in the presence of holes larger than 25 m.

Assessment of damage to agricultural land as a result of military operations in Ukraine requires the use of images from UAVs and satellites with ultra-high spatial resolution. In the future, it is necessary to check the adequacy of the developed methodology by field geodetic methods.

Keywords: *explosive eruptions, soil damage, GIS-technologies, space images, remote sensing, ArcGIS.*