

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

Навчально-науковий інститут екології, зеленої енергетики та сталого розвитку

Кафедра екології та менеджменту довкілля

До захисту допущено

Кафедрою екології та менеджменту довкілля протокол № _____ від _____

в.о. завідувача кафедри _____ Андрій АЧАСОВ
(підпис) (ім'я, прізвище)

« ____ » _____ 2025 р.

Кваліфікаційна робота

здобувача _____ другого (магістерського) рівня вищої освіти
(першого (бакалаврського) / другого (магістерського))

Відновлення порушених земель кар'єру суглинків
та пісків Роганського родовища
(назва роботи)

Спеціальність (спеціалізація) _____ 101 Екологія
(код та найменування спеціальності; спеціалізації спеціальності - за наявності)

Освітня програма _____ Екологічний контроль та аудит
(назва освітньої програми)

Виконавець _____ Георгій МАЗУРЕНКО
(підпис) (ім'я, прізвище)

Науковий керівник _____ Андрій АЧАСОВ
(підпис) (ім'я, прізвище)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ імені В. Н. КАРАЗІНА

Навчально-науковий інститут екології, зеленої енергетики та сталого розвитку
Кафедра екології та менеджменту довкілля
Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень) магістр
Спеціальність 101 Екологія

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ / проф. Андрій АЧАСОВ
підпис ім'я та прізвище

“__” _____ 2025 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЕКТ)

Мазуренку Георгію Олександровичу
(прізвище, ім'я, по батькові студента)

1. Тема роботи Відновлення порушених земель кар'єру суглинків та пісків Роганського родовища

керівник роботи Ачасов Андрій Борисович, професор,
(ім'я, прізвище, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від “__” листопада 2025 року
№ _____

2. Строк подання студентом роботи _____ 27. 11. 2025 р.

3. Перелік питань, які потрібно розробити

1. Дослідити питання рекультивації піщано-суглинкових кар'єрів
2. Дослідити нормативно-правову щодо рекультивації
3. Дослідити можливість використання інертних відходів руйнації для рекультивації
4. Дослідити існуючі цифрові моделі рельєфу
5. Побудувати власну цифрову модель рельєфу

4. План роботи

№ з/п	Назви етапів роботи
1	Огляд літературних джерел з тематики дослідження.
2	Написання теоретичного розділу роботи.
3	Підбір методів проведення дослідження. Підготовка відповідного розділу.
4	Проведення розрахунків.
5	Аналіз та узагальнення результатів.
6	Формування висновків відповідно до завдань дипломної роботи.
7	Підготовка та оформлення списку інформаційних джерел відповідно до вимог норм контролю.
8	Редагування оформлення тексту роботи та проходження норм контролю.

5. Дата видачі завдання _____

Студент

підпис

Георгій МАЗУРЕНКО

ім'я і прізвище

Керівник роботи

підпис

проф. Андрій АЧАСОВ

посада, ім'я і прізвище

АНОТАЦІЯ

**ВІДНОВЛЕННЯ ПОРУШЕНИХ ЗЕМЕЛЬ КАР'ЄРУ СУГЛИНКІВ ТА ПІСКІВ
РОГАНСЬКОГО РОДОВИЩА**

Георгій МАЗУРЕНКО

Кваліфікаційна робота «Відновлення порушених земель кар'єру суглинків та пісків Роганського родовища» містить 43 сторінок, 4 розділи, 12 рисунків, 1 таблицю, 15 використаних джерел.

Мета роботи: оцінити можливість рекультивації порушених земель Роганського кар'єру із застосуванням інертних будівельних відходів.

Актуальність: відпрацьовані кар'єри створюють значні екологічні ризики через порушення рельєфу й ґрунтового покриву. Використання інертних відходів руйнації як засипного матеріалу є ефективним та екологічно доцільним рішенням, особливо у післявоєнних умовах Харківського регіону.

Завдання: проаналізувати нормативні засади рекультивації; отримати та порівняти DEM (Copernicus GLO-30, NASADEM, ASTER GDEM V3, AW3D30); побудувати ЦМР на основі топографічної карти масштабу 1: 10000; визначити можливість використання інертних відходів для технічної рекультивації.

Завдання: проаналізувати нормативні основи рекультивації порушених земель; визначити можливість використання інертних відходів для технічної рекультивації; проаналізувати сучасні наукові підходи до рекультивації порушених земель; оцінити можливість визначення об'єму кар'єру на основі цифрових моделей рельєфу

Методи: літературний огляд, геоінформаційний аналіз, дистанційне зондування Землі, математичне просторове моделювання.

Результати: отримано та проаналізовано три глобальні цифрові моделі рельєфу, побудовано власну модель рельєфу місцевості кар'єру. Встановлено перелік інертних відходів (бетон, цегла, кераміка, ґрунт), дозволених для застосування відповідно до Національного переліку відходів. Підтверджено можливість технічної рекультивації кар'єру із формуванням стабільного рельєфу для подальшого біологічного відновлення.

РЕКУЛЬТИВАЦІЯ, ЦИФРОВА МОДЕЛЬ РЕЛЬЄФУ, ВІДХОДИ РУЙНАЦІЇ, QGIS,
ГЕОІНФОРМАЦІЙНИЙ АНАЛІЗ

ANNOTATION

REMEDICATION OF DISTURBED LANDS OF THE SUGLINKI AND SANDS QUARRY OF THE ROGANSKY DEPOSIT

Heorhii MAZURENKO

The qualification work 'Restoration of disturbed lands of the loam and sand quarry of the Rohansky deposit' contains 43 pages, 4 sections, 13 figures, 1 table, and 15 sources used.

Purpose of the work: to assess the possibility of recultivating disturbed lands of the Rohansky quarry using inert construction waste.

Actuality: depleted quarries pose significant environmental risks due to the disruption of the relief and soil cover. The use of inert demolition waste as backfill material is an effective and environmentally sound solution, especially in the post-war conditions of the Kharkiv region.

Objectives: to analyse the regulatory framework for reclamation; to obtain and compare DEM (Copernicus GLO-30, NASADEM, ASTER GDEM V3); to construct a digital elevation model based on a topographic map at a scale of 1:10 000; to determine the possibility of using inert waste for technical reclamation.

1. Analyse the regulatory framework for the reclamation of disturbed land
2. Determine the possibility of using inert waste for technical reclamation
3. Analyse current scientific approaches to the reclamation of disturbed land
4. Assess the possibility of determining the volume of a quarry based on digital elevation models

Methods: literature review, geoinformation analysis, remote sensing, mathematical spatial modelling.

Results: four global DEMs were obtained and analysed, and a highly detailed proprietary relief model was constructed that accurately reproduces the shape of the quarry. A list of inert waste (concrete, brick, ceramics, soil) permitted for use in accordance with the National Waste List was established. The possibility of technical recultivation of the quarry with the formation of a stable relief for further biological restoration was confirmed.

RECLAMATION, DIGITAL TERRAIN MODEL, DEMOLITION WASTE, QGIS, GEOINFORMATION ANALYSIS

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ.....	8
1.1. Екологічні наслідки розробки піщано-суглинкових кар'єрів.....	8
1.2. Нормативно-правові рекультивації порушених земель.....	9
1.3. Наукова основа рекультивації.....	10
1.4. Інертні відходи руйнації як засіб технічної рекультивації.....	11
РОЗДІЛ 2 МЕТОД ДОСЛІДЖЕННЯ.....	14
2.1. Опис об'єкту дослідження.....	14
2.2. Цифрових моделей дослідження розглянутих у дослідженні.....	16
2.3. Опис методики підрахунку об'єму кар'єру.....	17
РОЗДІЛ 3 ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТУ.....	19
3.1. Перелік будівельних та інертних відходів, що будуть використовуватись для рекультивації.....	19
3.2. Отримання цифрової моделі рельєфу з сервісу Copernicus GLO-30 DEM.....	22
3.3. Отримання цифрової моделі рельєфу з сервісу Copernicus GLO-30 DEM.....	23
3.4. Отримання цифрової моделі рельєфу з сервісу NASADEM Global Digital Elevation Model.....	25
3.5. Отримання цифрової моделі рельєфу з сервісу ASTER GDEM V3 (Version 3).....	27
3.6. Отримання цифрової моделі рельєфу за допомогою плагіна OpenTopography DEM Downloader у програмному середовищі QGIS.....	29
3.7. Побудова власної цифрової моделі рельєфу у середовищі Qgis.....	32
РОЗДІЛ 4 РЕКОМЕНДАЦІЇ.....	35
ВИСНОВКИ.....	37
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	38

ВСТУП

Порушення земель унаслідок відкритого видобування корисних копалин є однією з найгостріших екологічних проблем сучасності. Кар'єри, що утворюються під час видобутку суглинків і пісків, залишають по собі глибокі техногенні порушення природного середовища, які без цілеспрямованого втручання можуть залишатися незасвоєними десятиліттями. Водночас рекультивация - комплекс інженерних, біологічних та організаційних заходів - дає змогу повертати такі землі до повноцінного господарського чи природоохоронного використання.

Роганське родовище суглинків та пісків, що розташоване в Харківському районі Харківської області, є характерним прикладом повністю відпрацьованого кар'єру, який потребує належного відновлення. Після завершення видобувних робіт залишилася значна ділянка з порушеним рельєфом, відсутнім родючим шаром і ознаками ерозійних процесів. У таких умовах питання технічної та біологічної рекультивации набуває особливої актуальності.

Мета роботи: оцінити можливість рекультивации порушених земель Роганського кар'єру із застосуванням інертних будівельних відходів.

Новизна роботи: вперше, для України, було розглянуто можливість рекультивации кар'єру з використанням будівельних та інертних промислових відходів, утворених внаслідок руйнації будівель під час війни.

Об'єкт дослідження: Роганське родовище суглинків та пісків.

Предмет дослідження: рекультивация порушених земель кар'єру суглинків та пісків Роганського родовища з використанням будівельних та інертних промислових відходів.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1. Екологічні наслідки розробки піщано-суглинкових кар'єрів

Відкритий видобуток нерудних корисних копалин, зокрема піску та суглинків, є фундаментальною основою будівельної індустрії, але неминуче призводить до глибокої деградації природних ландшафтів. З огляду на це, рекультивация порушених земель є ключовим інструментом екологічного менеджменту, що дозволяє мінімізувати негативні наслідки та повернути деградовані території до господарського чи екологічного обігу.

Під час відкритого видобутку здійснюється зняття верхнього родючого шару ґрунту, розкривних порід, що веде до руйнування природного ґрунтового профілю. Разом з цим формується новий рельєф - кар'єрні котловани, відвали, мішані терени, часто з нерівномірним ухилом і осіданнями. Така трансформація означає, що первісний ландшафт втрачає свою топографічну та екологічну цілісність. Це - типове механічне порушення земель при гірничих роботах.[1]

Під час видобутку порушується структура та склад ґрунту: зникає шар родючого ґрунту, порушуються водоносні горизонти, порушується фізична, хімічна та біологічна цілісність ґрунтів. Це призводить до зниження родючості, втрати гумусу, зменшення біологічної активності, зниження здатності утримувати вологу й живильні речовини. У довгостроковій перспективі такі зміни роблять землю непридатною для сільськогосподарського або лісового використання, а також ускладнюють природне відновлення рослинності.[2]

Видобуток піску і суглинків часто призводить до порушення підземних і поверхневих водних систем: змінюється рівень ґрунтових вод, може порушуватися стік, змінюватися русла, зменшуватись водність водойм або, навпаки, утворюватися застійні водойми. Також можливі забруднення вод - через змивання ґрунтових частинок, домішок, а при відвалах або відходах - навіть токсичних речовин, які можуть потрапляти у ґрунтові чи поверхневі води. Ці зміни порушують водний баланс, можуть змінити екосистеми водних об'єктів, зменшити доступність води для потреб населення, сільського господарства.

Після закінчення видобутку, якщо ділянка не рекультивована, природні екосистеми зазвичай не відновлюються самостійно - через змінені ґрунтові й гідрологічні умови, відсутність родючого шару, порушену мікробіоту тощо. Рекультивація дає змогу: стабілізувати ландшафт, відновити ґрунти й водний режим, повернути екосистеми або підготувати земельні ділянки до нового - господарського, рекреаційного або природоохоронного - використання.[3]

1.2. Нормативно-правові рекультивації порушених земель

Основою правового регулювання рекультивації в Україні є Земельний кодекс України, Кодекс України про надра та Закон України «Про охорону земель».

Згідно зі статтею 166 є Земельного кодексу України:

1. Рекультивація порушених земель - це комплекс організаційних, технічних і біотехнологічних заходів, спрямованих на відновлення ґрунтового покриву, поліпшення стану та продуктивності порушених земель.

2. Землі, які зазнали змін у структурі рельєфу, екологічному стані ґрунтів і материнських порід та у гідрологічному режимі внаслідок проведення гірничодобувних, геологорозвідувальних, будівельних та інших робіт, підлягають рекультивації.

3. Для рекультивації порушених земель, відновлення деградованих земельних угідь використовується ґрунт, знятий при проведенні гірничодобувних, геологорозвідувальних, будівельних та інших робіт, шляхом його нанесення на малопродуктивні ділянки або на ділянки без ґрунтового покриву.[4]

У статті 24 Кодексу України про надра встановлено обов'язок надкористувачів приводити земельні ділянки, порушені при користуванні надрами, в стан, придатний для подальшого їх використання у суспільному виробництві. А відповідно до статті 65 Порушення законодавства про надра тягне за собою дисциплінарну, адміністративну, цивільно-правову і кримінальну відповідальність згідно з законодавством України.[5]

Відповідно до статті 52 Закону України «Про охорону земель». Рекультивації підлягають землі, які зазнали змін у структурі рельєфу, екологічному стані ґрунтів і материнських порід та в гідрологічному режимі внаслідок проведення гірничодобувних, геологорозвідувальних, будівельних та інших робіт.[6]

При проведенні гірничодобувних, геологорозвідувальних, будівельних та інших робіт, пов'язаних з порушенням ґрунтового покриву, відокремлена ґрунтова маса підлягає зняттю, складуванню, збереженню та перенесенню на порушені або малопродуктивні земельні ділянки відповідно до робочих проектів землеустрою.

При знятті ґрунтового покриву здійснюється пошарове зняття і роздільне складування верхнього, найбільш родючого шару ґрунту, та інших прошарків ґрунту відповідно до структури ґрунтового профілю, а також материнської породи. Об'єм ґрунтової маси, що підлягає зняттю і роздільному складуванню, визначається в робочих проектах землеустрою. [2]

Рекультивація земельних ділянок здійснюється шляхом пошарового нанесення на малопродуктивні земельні ділянки або ділянки без ґрунтового покриву знятої ґрунтової маси, а в разі потреби - і материнської породи в порядку, який забезпечує найбільшу продуктивність рекультивованих земель.

Технічні вимоги до якості робіт регламентуються системою національних стандартів (ДСТУ), які гармонізуються з європейськими нормами. Ключовим документом є ДСТУ 7905:2015 «Захист довкілля. Придатність порушених земель для рекультивації. Класифікація», який встановлює загальні вимоги до оцінки земель,. Якість відновленого ґрунтового профілю регулюється ДСТУ 7941:2015 «Якість ґрунту. Рекультивація земель. Загальні вимоги».[7]

1.3. Наукова основа рекультивації

Сучасна наука розглядає рекультивацію не як механічне "засипання ям", а як складний процес відновлення функціональності ландшафту. Наукові дослідження фокусуються на оптимізації технічного етапу, підборі стійких фітоценозів та пошуку нових сценаріїв використання відпрацьованих територій.

На технічному етапі критично важливим є забезпечення геомеханічної стабільності новоутворених форм рельєфу. Кути укосів бортів кар'єру після завершення експлуатації повинні бути виположені до 30–40°, що відповідає куту природного укосу піщано-глинистих порід. [3]

Є важливим врахування гідрогеологічного фактору при створенні рекреаційних зон у затоплених кар'єрах. Встановлено, що при насиченні порід водою коефіцієнт стійкості схилів знижується. Для відвалів висотою від 20 до 80 м безпечний кут схилу в обводненому стані зменшується з 46° до 26°. Ігнорування цих розрахунків може призвести до зсувів та руйнування берегової лінії новостворених водойм. [3]

Біологічний етап є ключовим для відновлення екологічних функцій. Для піщаних та суглинкових субстратів, які характеризуються низьким вмістом гумусу та дефіцитом вологи, науковці рекомендують використовувати стресостійкі види рослин. Дослідження на порушених землях довели ефективність використання сосни звичайної (*Pinus sylvestris*), берези повислої (*Betula pendula*) та робінії псевдоакації (*Robinia pseudoacacia*). Робінія, завдяки симбіозу з азотфіксуючими бактеріями, виступає як порода-піонер, що збагачує ґрунт азотом, хоча її використання потребує контролю через інвазивний потенціал. [1]

Для закріплення схилів рекомендовано використовувати обліпиху крушиновидну (*Hippophae rhamnoides*) та маслинку вузьколисту (*Elaeagnus angustifolia*), які мають потужну кореневу систему і стійкі до засолення та посухи. На початкових стадіях рекультивації обов'язковим є висів сидератів (люпин, буркун, люцерна), які формують первинний гумусовий горизонт і покращують структуру субстрату перед висадкою лісових культур. [1]

1.4. Інертні відходи руйнації як засіб технічної рекультивації

В умовах масштабних руйнувань інфраструктури України внаслідок бойових дій виникає критична проблема поводження з безпрецедентними обсягами будівельного сміття (відходів руйнації). Водночас на території держави

існує значна кількість порушених земель (відпрацьованих кар'єрів), що потребують технічної та біологічної рекультивації. Інтеграція цих двох проблем у єдине інженерне рішення - використання перероблених відходів руйнації як матеріалу для засипки кар'єрних виїмок - відповідає принципам циркулярної економіки та стратегії сталого розвитку.

Світова практика демонструє успішні кейси використання інертних будівельних відходів для відновлення ландшафтів, однак підходи різняться залежно від екологічного законодавства та походження відходів.

У Великій Британії рекультивація кар'єрів відходами (landfill reclamation) регламентується суворими ліцензійними вимогами. Дозволяється використання виключно інертних відходів - матеріалів, що не вступають у хімічні реакції та не виділяють токсичних фільтратів. Показовим є приклад вугільної шахти Maltby Colliery, де для стабілізації відвалів та відновлення рельєфу використовують імпортовані ґрунти та будівельний бій, що пройшов лабораторний контроль. Іншим прикладом є проєкт Beddington Farmlands у Лондоні, де колишній гравійний кар'єр відновлюється до стану природного заповідника. [8]

Досвід Лівану є найбільш релевантним для України. Після війни 2006 року та подальших криз країна зіткнулася з проблемою утилізації мільйонів тонн уламків будівель. Якщо раніше практикувалося скидання уламків у море (що призвело до екологічної деградації узбережжя), то сучасні стратегії, розроблені спільно з UNDP, передбачають використання переробленого будівельного сміття для засипки покинутих кар'єрів у гірських районах. Ключовою умовою є попереднє сортування для вилучення токсичних домішок. [9]

В Україні питання врегульовано Постановою КМУ №1073 від 27.09.2022 "Про затвердження Порядку поводження з відходами, що утворились у зв'язку з пошкодженням (руйнуванням) будівель та споруд..." . Документ дозволяє використання відходів для потреб будівництва та рекультивації територій, проте вимагає підтвердження їх безпечності. [10]

Відходи руйнації підлягають обов'язковому сортуванню для відокремлення небезпечних фракцій (азбест, бітум, залишки побутової хімії) та подрібненню

бетону і цегли до фракцій 0-70 мм. Влаштування протифільтраційного екрана для унеможливлення міграції важких металів у ґрунтові води. Засипка інертною фракцією перероблених відходів з пошаровим ущільненням. Нанесення фінішного шару потенційно родючого ґрунту (товщиною 0,5–1,0 м) та висадка фітомеліоративних рослин. [11]

Проводячи літературний огляд цієї теми, ми намагалися знайти відомості про подібні проекти рекультивації в Україні. Проте, вдалося знайти лише згадки про використання інертних відходів у будівництві та промисловості, що додає новизни та актуальності нашому дослідженню.

РОЗДІЛ 2. МЕТОД ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Опис об'єкту дослідження

Об'єктом дослідження є Роганське родовище суглинків та пісків, розташоване у Харківському районі Харківської області, за 0,9 км на південний схід від смт. Рогань. Розробка кар'єру велася відкритим способом на підставі спеціального дозволу на користування надрами № 6250, виданого у 2018 році, та гірничого відводу площею 3,0 га.

На момент обстеження кар'єр повністю відпрацьований, оскільки вичерпав балансові запаси: 106,1 тис. м³ суглинків, 97,6 тис. м³ пісків, обсягом розкривних порід 11,795 затверджені протоколом ДКЗ України від 14.08.2008 № 1565. Фактичне завершення видобутку відбулося у 2022-2023 роках. Кар'єр являє собою глибоку виїмку (котлован) видовженої форми з площею сервітуту 2,9539 га. Глибина котловану варіюється від 5,8 до 12,0 метрів, а його довжина сягає 390 метрів, що створює значний об'єм, який потребує заповнення.

Ключовим геолого-екологічним аспектом Роганського родовища є висока якість сировини: піски та суглинки відносяться до I-го класу радіаційної безпеки згідно з ДБН В.1.4-1.01-97. Це дозволяє використовувати їх у всіх видах будівництва без обмежень. Після рекультивації цільове використання території визначено як рекреаційна зона та пасовище, що вимагає формування стабільних укосів з нахилом 1:3 та відновлення родючого шару.

Питання Роганського кар'єру поєднує типові виклики рекультивації виснаженого нерудного родовища з унікальною, спричиненою повномасштабною війною, проблемою надлишку відходів руйнації (ВР) в Харківському регіоні.

Глибокий котлован Роганського кар'єру (до 12 метрів) є ідеально розташованим, геолого-безпечним полігоном для високооб'ємного використання інертних ВР. Використання кар'єру як ємності для ВР створює потужний економічний та логістичний синергетичний зв'язок. З одного боку,

кар'єр отримує необхідний обсяг засипного матеріалу, що значно знижує витрати на рекультивацію, оскільки немає потреби купувати та транспортувати природні піски або суглинки. З іншого боку, муніципальні органи Харкова отримують місце для захоронення відходів, що прискорює процес розчищення зруйнованих об'єктів у місті та зменшує тиск на існуючі муніципальні полігони. Ця стратегія відповідає принципам циркулярної економіки. Необхідність проведення робіт підтверджена розпорядженням Роганської селищної військової адміністрації від 01.07.2024 р., що підкреслює нагальну екологічну та соціальну потребу відновлення ділянки.

На рис. 2.1. наведено супутниковий знімок з сервісу Google Earth за жовтень 2024, для надання розуміння, про місце знаходження кар'єру.

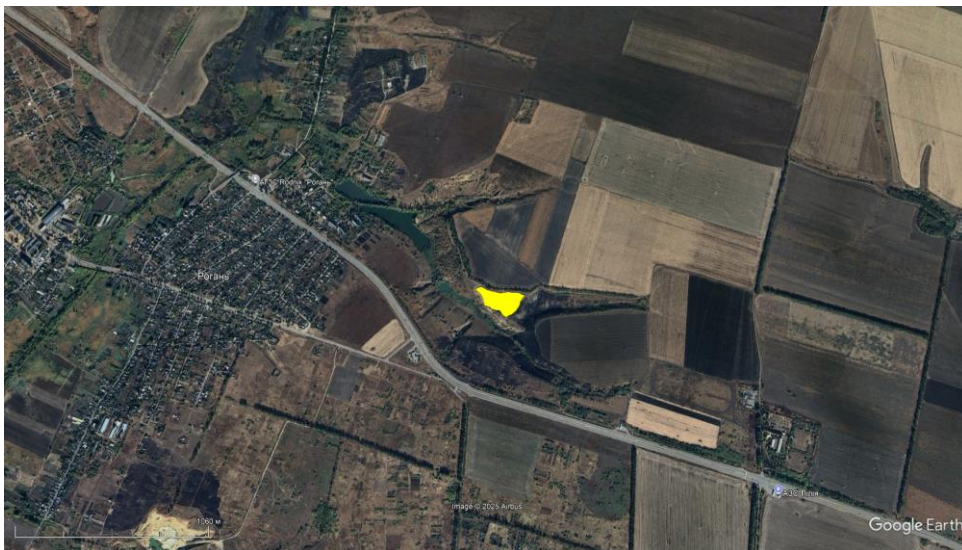


Рис. 2.1. – Супутниковий знімок кар'єру та селища Рогань

На рис. 2.2. наведено супутниковий знімок об'єкту за 2025.07.14 отриманий з сервісу Copernicus Ecosystem. Знімки з цього сервісу мають нижчу роздільну здатність ніж на Google Earth проте, дають набагато ширшу вибірку за часом знімання.



Рис. 2.2. – Знімок кар'єру з сервісу Copernicus Ecosystem

Знімок з рис. 2.2. дає можливість побачити свіжіший стан порушеної видобутком території.

2.2. Цифрових моделей дослідження розглянутих у дослідженні

У межах даного дослідження застосовано комплекс сучасних геоінформаційних методів аналізу рельєфу, що ґрунтуються на використанні цифрових моделей висот різного походження, просторової роздільності та точності. Вибір такої методики зумовлений необхідністю отримання об'єктивних та порівнянних даних щодо рельєфу досліджуваної території, а також можливістю інтегрувати глобальні супутникові моделі з локальними джерелами картографічної інформації.

По території Роганської територіальної громади, що характеризується різноманітністю мікрорельєфу та наявністю ділянок з антропогенними змінами, особливо важливою є оцінка відповідності різних DEM-джерел реальним топографічним умовам. Для цього було здійснено огляд та аналітичне порівняння трьох глобальних цифрових моделей рельєфу, створених на основі космічних місій - Copernicus GLO-30 DEM, NASADEM, ASTER GDEM V3. Кожна з цих моделей формується за різними технологіями (радарна інтерферометрія,

стереознімання, комбінована обробка багатоспектральних даних), що впливає на їх похибки, структурні особливості, можливі артефакти й точність відображення територій зі складним рельєфом.

Комплексний огляд DEM дозволяє не лише оцінити їх придатність для подальшого аналізу, а й визначити оптимальні джерела для задач локального та регіонального масштабів. Особливу увагу приділено характеристикам вертикальної та горизонтальної точності, способам заповнення прогалів у даних, методам фільтрації поверхневих об'єктів, а також специфіці передачі рельєфу в умовах наявності рослинного та антропогенного покриву.

З метою уточнення рельєфних характеристик території та перевірки відповідності глобальних моделей реальній топографії, у роботі також створено власну цифрову модель рельєфу з використанням ГІС-платформи QGIS. Для цього було оцифровано ізохорні лінії топографічної карти з подальшим присвоєнням висотних атрибутів та інтерполяцією поверхні методом TIN (Triangulated Irregular Network). Такий підхід забезпечує формування детальної локальної моделі рельєфу, що може служити еталонною у порівняльному аналізі та дозволяє виконувати уточнені інженерно-геоморфологічні оцінки.

2.3. Опис методики підрахунку об'єму кар'єру

Відповідно до поставленого завдання нам було необхідно спробувати оцінити об'єм котловану кар'єру. Виходячи з отриманої документації про кар'єр можна зробити висновок, що загальний об'єм забраного матеріалу може складати 215 495 м³. Ця цифра заснована на даних про затверджені запаси корисних копалин та розкривних порід. Проте, фактичний об'єм котловану може відрізнятись, тому ми спробували знайти спосіб оцінити його за допомогою цифрової моделі рельєфу (ЦРМ).

Для оцінки об'єму було використано плагін Raster surface volume для середовища Qgis. Цей алгоритм обчислює об'єм під поверхнею растрової сітки. Доступно кілька методів обчислення об'єму, які контролюють, чи враховуються

тільки значення вище або нижче заданого базового рівня, чи об'єми нижче базового рівня слід додавати або віднімати від загального об'єму. Алгоритм виводить обчислений об'єм, загальну площу та загальну кількість проаналізованих пікселів. Якщо використовуються методи «Підраховувати тільки вище базового рівня» або «Підраховувати тільки нижче базового рівня», то обчислена площа та кількість пікселів включають тільки пікселі, які знаходяться вище або нижче заданого базового рівня відповідно. Одиниці виміру обчисленого об'єму залежать від системи координат вхідного растрового файлу. Для систем координат в метрах, з висотою моделі рельєфу в метрах, обчислене значення буде в метрах кубічних. Якщо ж вхідний растр знаходиться в географічній системі координат (наприклад, значення широти/довготи), то результат буде в квадраті градусів помножених метри, і для перетворення в метри³ потрібно буде застосувати відповідний коефіцієнт масштабування.

РОЗДІЛ 3. ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТУ

3.1. Перелік будівельних та інертних відходів, що будуть використовуватись для рекультивації

Для досягнення цілей проекту було здійснено відбір видів будівельних та інертних матеріалів, які можуть бути безпечно використані під час технічного етапу рекультивації кар'єру, зокрема для його засипання та формування основи подальшого благоустрою. Основним критерієм підбору стало дотримання вимог чинного законодавства щодо класифікації відходів, їхніх фізико-хімічних властивостей та потенційного впливу на довкілля.

Відповідно до постанови Кабінету Міністрів України від 20 жовтня 2023 р. № 1102 «Про затвердження Порядку класифікації відходів та Національного переліку відходів», усі відходи мають бути ідентифіковані за кодом відповідно до класифікатора КПВВ. Особливу увагу приділено наявності позначення “*”, яким у Національному переліку позначаються небезпечні відходи, що потребують спеціальних умов поводження. Матеріали, відібрані для рекультивації, такого позначення не мають, що дає підстави віднести їх до 4 класу безпеки (інертні). Це найнижча категорія за рівнем небезпечності, яка дозволяє застосовувати такі матеріали у земляних роботах, засипанні порожнин, формуванні техногенного рельєфу та інших видах технічної рекультивації. [12]

До переліку увійшли найпоширеніші види будівельних інертних матеріалів - бетон, цегла, кераміка, скло, гіпсові та ізоляційні матеріали, а також природні компоненти, такі як ґрунт і каміння, що не містять домішок органічних або техногенних речовин.

Перелік відібраних інертних матеріалів

№	Назва відходу	Код за КПВВ	Клас небезпеки	Опис та умови використання
1	Бетон	17 01 01	4 (інертний)	Роздільно зібраний бетон від знесення. Без арматури та домішок.
2	Цегла	17 01 02	4 (інертний)	Будівельна цегла без ознак зношення шкідливими речовинами.
3	Облицювальна плитка та кераміка	17 01 03	4 (інертний)	Неорганічні фрагменти без емалевих покриттів або хімікатів.
4	Суміші або окремі фракції бетону, цегли, облицювальної плитки та кераміки інші, ніж зазначені за кодом 17 01 06	17 01 07	4 (інертний)	За умови попереднього розділення та відсутності домішок деревини, ПВХ.
5	Ґрунт та каміння інші, ніж зазначені за кодом 17 05 03	17 05 04	4 (інертний)	Без родючого шару, нафтопродуктів, органіки або техногенних включень.
6	Каміння та ґрунт з територій благоустрою	20 02 02	4 (інертний)	Відходи від планування зелених зон. Без сміття, деревини, листя.
7	Скло (чисте, будівельне або побутове)	17 02 02 / 20 01 02	4 (інертний)	Тільки прозоре або непрозоре скло без фарби, органіки, металу.
8	Змішані відходи будівництва і знесення будівель інші, ніж зазначені за кодами 17 09 01, 17 09 02, 17 09 03	17 09 04	4 (інертний)	Такі, що не містять ртуть, ПХД, або інші небезпечні речовини.
9	Будівельні матеріали на основі гіпсу інші, ніж зазначені за кодом 17 08 01	17 08 02	4 (інертний)	Такі, що не містять небезпечних речовин.
10	Ізоляційні матеріали інші, ніж зазначені за кодами 17 06 01 і 17 06 03	17 06 04	4 (інертний)	Такі, що не містять небезпечних речовин.

Кожен із матеріалів має низку властивостей, які роблять його придатним для рекультиваційних робіт:

- Бетон та цегла є міцними, стабільними та хімічно стійкими матеріалами, які не вступають у шкідливі реакції з ґрунтами чи атмосферними чинниками. За

умови очищення від арматури та інших включень вони добре підходять для засипання нижніх шарів котловану.

- Керамічні та облицювальні матеріали також належать до інертних, мають високу стійкість до вивітрювання та корозії, тому можуть використовуватися для вирівнювання та ущільнення засипки.

- Сумішеві фракції будівельних матеріалів дозволені до використання за умови попереднього сортування і відсутності органічних, полімерних або інших небезпечних домішок. Вони можуть забезпечити рівномірне підвищення рельєфу та якісне ущільнення засипки.

- Ґрунт і каміння, що не містять забруднень та не належать до категорії небезпечних, можуть застосовуватися для формування верхніх шарів технічної рекультивації, наближених до природних умов.

- Будівельне та побутове скло, яке не має фарбових чи хімічних покриттів, є інертним матеріалом і може додаватися до мінеральної фракції засипки.

- Гіпсові та ізоляційні матеріали, які не містять шкідливих домішок, допускаються до використання як допоміжні компоненти у складі загальної маси інертних відходів.

Важливою умовою підготовки зазначених матеріалів є їх попереднє сортування, звільнення від полімерів, металевих включень, органічних решток, деревини, нафтопродуктів та інших забруднювачів, що можуть негативно вплинути на якість рекультиваційних робіт або стати джерелом вторинного забруднення.

Застосування інертних будівельних відходів дозволяє не лише ефективно засипати техногенні порожнини, але й сприяє раціональному використанню відходів будівництва та знесення будівель, що відповідає принципам циркулярної економіки та екологічно безпечного управління матеріальними ресурсами.

Підготовлений перелік відходів та умови їх застосування дозволяють сформувати стабільну основу для подальших етапів рекультивації, зокрема біологічного відновлення території.

3.2. Отримання цифрової моделі рельєфу з сервісу Copernicus GLO-30 DEM

Отримання цифрової моделі рельєфу Copernicus GLO-30 DEM здійснюється за стандартизованою процедурою, що включає послідовні етапи пошуку, вибору та завантаження висотних даних із відповідних геоінформаційних платформ. Ця модель рельєфу створена в межах програми Copernicus та надається Європейським космічним агентством як відкритий набір геоданих із просторовою роздільною здатністю 30 метрів. [13] Для доступу до даних використовуються офіційні ресурси, зокрема платформи Copernicus Data Space Ecosystem, Copernicus Open Access Hub або спеціалізовані тематичні портали ESA, що забезпечують можливість прямого завантаження фрагментів моделі у вигляді тайлів геопросторової сітки.

Процес отримання DEM починається з вибору платформи, яка містить актуальні та повні набори висотних даних. Найбільш зручним інструментом є інтерфейс Copernicus Data Space Ecosystem, що дозволяє здійснювати пошук даних за географічними координатами, адміністративними межами або шляхом інтерактивного вибору ділянки на карті. Перед завантаженням користувач проходить просту процедуру реєстрації, яка забезпечує доступ до архівів супутникових даних та продуктів програми Copernicus, включно з цифровими моделями рельєфу.

Після входу до системи здійснюється пошук даних Copernicus GLO-30 DEM за назвою продукту або через фільтри, що дозволяють обрати необхідну роздільну здатність та тип моделі. Користувач виділяє на карті інтерес-територію, після чого система автоматично відображає перелік тайлів, що покривають обрану ділянку. Кожен тайл доступний для завантаження у форматах GeoTIFF або аналогічних стандартних растрових форматах, що забезпечують подальшу коректну інтеграцію у ГІС-середовища.

Завантажені файли містять інформацію про абсолютні висоти земної поверхні, представлену у єдиній глобальній геодезичній системі координат. Після отримання DEM дані імпортуються до програмного забезпечення ГІС (ArcGIS,

QGIS тощо), де можуть бути виконані операції попередньої обробки: перевірка проєкції, обрізання за межами досліджуваної території, ресемплінг або фільтрація для зменшення локальних похибок.

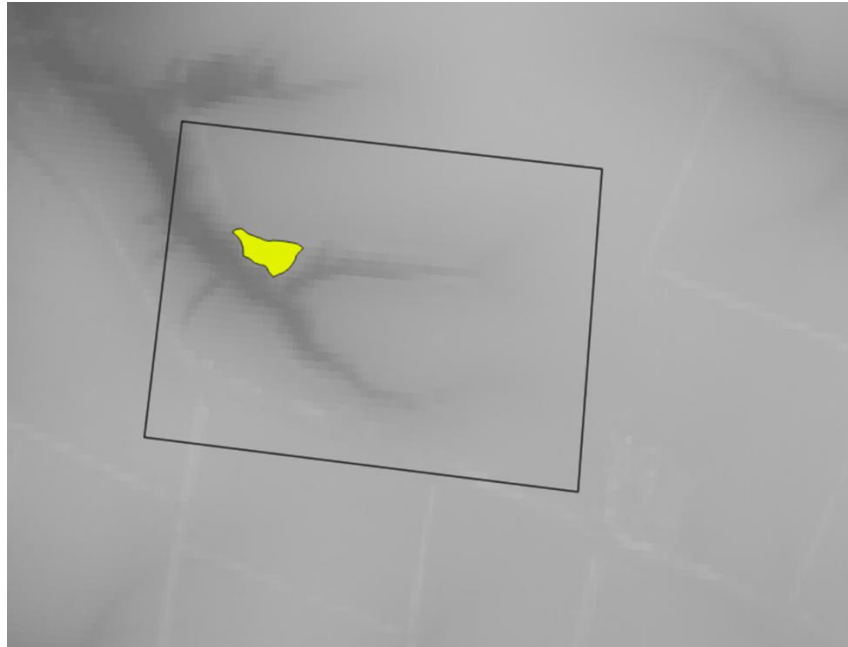


Рис. 3.1 - Отримана з Copernicus GLO-30 DEM модель рельєфу

Далі цифрова модель рельєфу використовується для аналізу морфометричних характеристик території, побудови похідних карт висот, крутості схилів, експозиції, а також для моделювання гідрологічних процесів чи інших просторових досліджень, що потребують точних висотних даних.

На рисунку 3.1. подано модель рельєфу з сервісу Copernicus GLO-30 DEM. Жовтим кольором позначено оцифровану площу кар'єру.

3.3. Отримання цифрової моделі рельєфу з сервісу NASADEM Global Digital Elevation Model

Отримання цифрової моделі рельєфу NASADEM Global Digital Elevation Model здійснюється шляхом послідовного проходження процедур пошуку, доступу та завантаження відповідних геоданих, що надаються Національним управлінням з авіації та дослідження космічного простору (NASA).

NASADEM є оновленою та покращеною версією широко відомої моделі SRTM DEM і містить висотні дані глобального покриття з роздільною здатністю 1 кутової секунди (приблизно 30 метрів), що робить її одним із ключових джерел для геоморфологічних, гідрологічних та екологічних досліджень. [14] Дані моделі доступні у відкритому доступі через спеціалізовані наукові архіви NASA, зокрема Distributed Active Archive Centers (DAAC), серед яких найбільш використовуваним є Earthdata Search (NASA Earth Observing System Data and Information System, EOSDIS).

Процес отримання NASADEM розпочинається з доступу до порталу Earthdata Search, де користувач здійснює авторизацію за допомогою облікового запису Earthdata Login. Реєстрація є безоплатною та забезпечує повний доступ до архівів супутникових місій, а також можливість завантаження продуктів NASADEM. Після входу до системи виконується пошук даних за ключовими словами (наприклад, “NASADEM”, “NASADEM HGT”) або шляхом застосування фільтрів за типом продукту, роздільною здатністю та датою створення. Інтерфейс дозволяє інтерактивно окреслити межі досліджуваної території на карті, після чого система автоматично формує список доступних тайлів моделі, що повністю покривають вибрану ділянку.

Кожен тайл даних надається у стандартному растровому форматі GeoTIFF або у вигляді файлів висот HGT, які містять значення абсолютних висот у глобальній системі координат WGS84. Завантаження здійснюється безпосередньо з порталу або через спеціалізовані інструменти для керування даними NASA (наприклад, NASA AppEEARS або клієнт командного рядка DAAC). Після отримання даних вони імпортуються до програмного забезпечення ГІС, де проводяться етапи попередньої обробки: перевірка системи координат, обрізання за межами досліджуваної території, виправлення артефактів, усунення порожніх значень (NoData) та, у разі потреби, ресемплінг для приведення моделі до єдиного просторового стандарту з іншими використовуваними наборами даних.

Завдяки підвищеній точності, вдосконаленим алгоритмам фільтрації та об'єднанню даних місії SRTM з іншими джерелами висотної інформації, NASADEM забезпечує високий рівень деталізації рельєфу та мінімізує похибки, характерні для попередніх моделей.

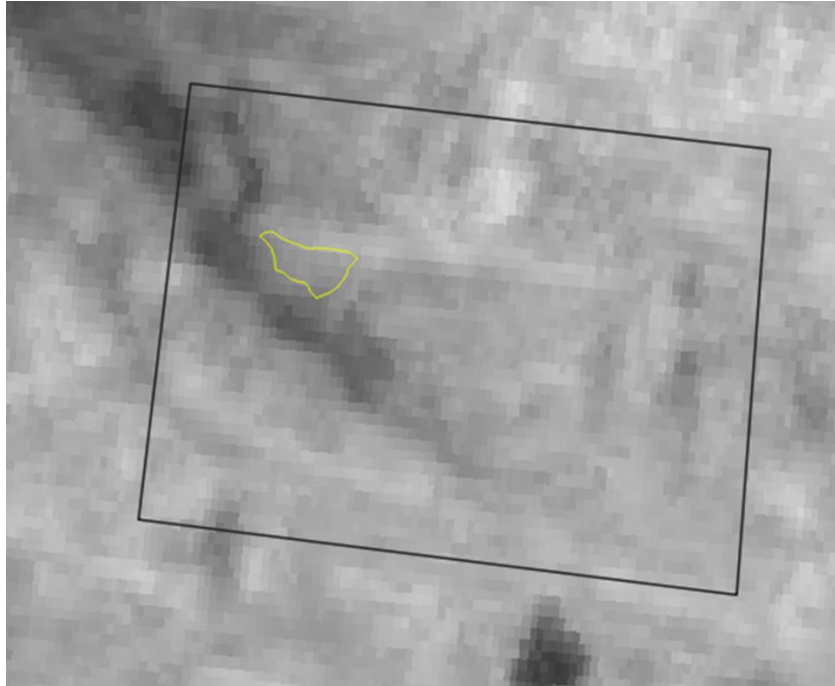


Рис. 3.2 - Отримана з Copernicus NASADEM Global Digital Elevation Model модель рельєфу

Після завершення обробки модель використовується для аналізу форм рельєфу, розрахунку морфометричних параметрів, моделювання поверхневого стоку, оцінки ерозійних процесів та інших видів просторового аналізу, що потребують надійних і точних висотних даних.

На рисунку 3.2. подано модель рельєфу з сервісу Copernicus GLO-30 DEM. Контуром жовтого кольору позначено оцифровану площу кар'єру.

3.4. Отримання цифрової моделі рельєфу з сервісу ASTER GDEM V3 (Version 3)

Отримання цифрової моделі рельєфу ASTER GDEM V3 (Version 3) здійснюється через офіційні наукові портали, що забезпечують доступ до

супутникових висотних даних, отриманих у межах спільної програми NASA та Міністерства економіки, торгівлі й промисловості Японії (METI). ASTER GDEM V3 є оновленою та покращеною версією попередніх моделей ASTER, побудованою на основі стереоскопічних знімків інфрачервоного спектрального діапазону, отриманих за допомогою приладу ASTER, встановленого на супутнику Terra. Модель охоплює майже всю сушу Землі та має просторову роздільну здатність 1 кутової секунди (~30 м), що робить її цінним джерелом для ландшафтних, геоморфологічних та екологічних досліджень. [15]

Процедура отримання висотних даних ASTER GDEM V3 розпочинається з доступу до порталів, що містять архіви супутникових даних, зокрема NASA Earthdata Search або сервісу LP DAAC (Land Processes Distributed Active Archive Center). Для завантаження даних необхідно пройти авторизацію за допомогою облікового запису Earthdata Login, що забезпечує доступ до всіх відкритих продуктів NASA. Після входу до системи здійснюється пошук моделі за ключовими словами (“ASTER GDEM”, “ASTER GDEM V3”) або шляхом фільтрації доступних продуктів за типом даних та просторовою роздільною здатністю. Інтерфейс порталу дозволяє визначити межі досліджуваної території шляхом введення координат або інтерактивного виділення області на карті, після чого система формує перелік доступних тайлів, що покривають вибрану ділянку.

Файли ASTER GDEM V3 надаються у форматі GeoTIFF і містять значення абсолютних висот у системі координат WGS84 (EPSG:4326). Завантажені дані можуть включати метадані щодо точності, джерел формування та типів застосованих корекцій. Після отримання висотних файлів вони імпортуються до програмного забезпечення ГІС, де виконуються стандартні процедури попередньої обробки. Ці процедури включають перевірку проєкції, об’єднання кількох тайлів у суцільну растр-мозаїку, обрізання межами досліджуваної території, заповнення порожніх пікселів (NoData) та, у разі необхідності, фільтрацію для зменшення локальних артефактів, характерних для ASTER GDEM.

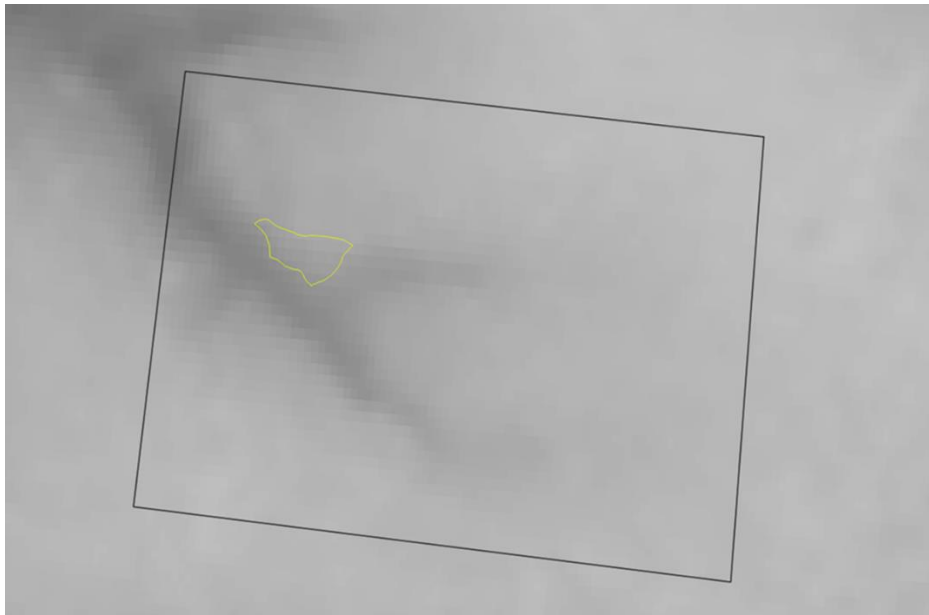


Рис. 3.3 - Отримана з Copernicus ASTER GDEM V3 (Version 3) модель рельєфу

У версії V3 значно зменшено кількість помилок рельєфу, покращено точність у гірських районах та оптимізовано методи корекції хмарності й шумів, що підвищує надійність моделі. Завдяки цим удосконаленням ASTER GDEM V3 широко використовується для моделювання поверхневих процесів, аналізу морфометричних характеристик рельєфу, побудови похідних карт крутості, експозиції схилів, гідрологічного моделювання та інших видів просторового аналізу, де потрібні високоточні дані цифрової моделі рельєфу.

На рисунку 3.3. подано модель рельєфу з сервісу ASTER GDEM V3 (Version 3). Контуром жовтого кольору позначено оцифровану площу кар'єру.

3.5. Отримання цифрової моделі рельєфу за допомогою плагіна OpenTopography DEM Downloader у програмному середовищі QGIS

Отримання цифрової моделі рельєфу за допомогою плагіна OpenTopography DEM Downloader у програмному середовищі QGIS здійснюється через інтегрований інструмент доступу до висотних даних, що надаються платформою OpenTopography. Цей сервіс забезпечує доступ до різноманітних глобальних та регіональних цифрових моделей рельєфу, зокрема SRTM, NASADEM, ALOS

AW3D30, Copernicus DEM та інших наборів даних, що відповідають високим стандартам точності. Плагін дозволяє автоматизувати процес пошуку, вибору та завантаження DEM без необхідності переходити до зовнішніх вебпорталів, що робить його зручним інструментом для оперативної роботи з висотними даними у середовищі ГІС.

Процедура отримання моделі рельєфу починається з встановлення плагіна через менеджер доповнень QGIS. Після його активації у головному меню програми з'являється спеціальний інструмент OpenTopography DEM Downloader, який забезпечує доступ до списку доступних DEM-продуктів. Перед початком роботи користувачу необхідно створити обліковий запис на платформі OpenTopography та отримати персональний API-ключ, що дозволяє здійснювати запити до сервера. Отриманий ключ вводиться у відповідному полі налаштувань плагіна, після чого відкривається можливість завантаження даних.

Під час завантаження DEM користувач обирає потрібний набір даних зі списку доступних моделей рельєфу, після чого визначає територію інтересу. Вибір здійснюється шляхом інтерактивного окреслення прямокутної області на карті або введенням точних координат меж. Плагін автоматично надсилає запит до сервера OpenTopography, формує список доступних тайлів і пропонує налаштування параметрів завантаження, включно з форматом вихідних даних (GeoTIFF), роздільною здатністю та системою координат. Після підтвердження параметрів система виконує завантаження DEM безпосередньо у проєкт QGIS, де модель рельєфу з'являється як окремий растровий шар.

Після отримання цифрової моделі рельєфу здійснюється її попередня обробка у ГІС-середовищі. До базових операцій належать перевірка проєкції, вирізання по межах досліджуваної ділянки, об'єднання тайлів, корекція паразитних значень та виконання фільтрації або згладжування за потреби. Завдяки інтеграції з QGIS користувач одразу отримує можливість генерувати морфометричні показники рельєфу, такі як крутість, експозиція, кривизна поверхні чи моделі водозборів.

Використання плагіна OpenTopography DEM Downloader дозволяє значно прискорити процес отримання та підготовки висотних даних, забезпечуючи безпосередній доступ до широкого спектра DEM, що є особливо важливим для комплексних геоекологічних, гідрологічних та геоморфологічних досліджень, які потребують оперативної та коректної інтеграції висотної інформації у середовище QGIS.

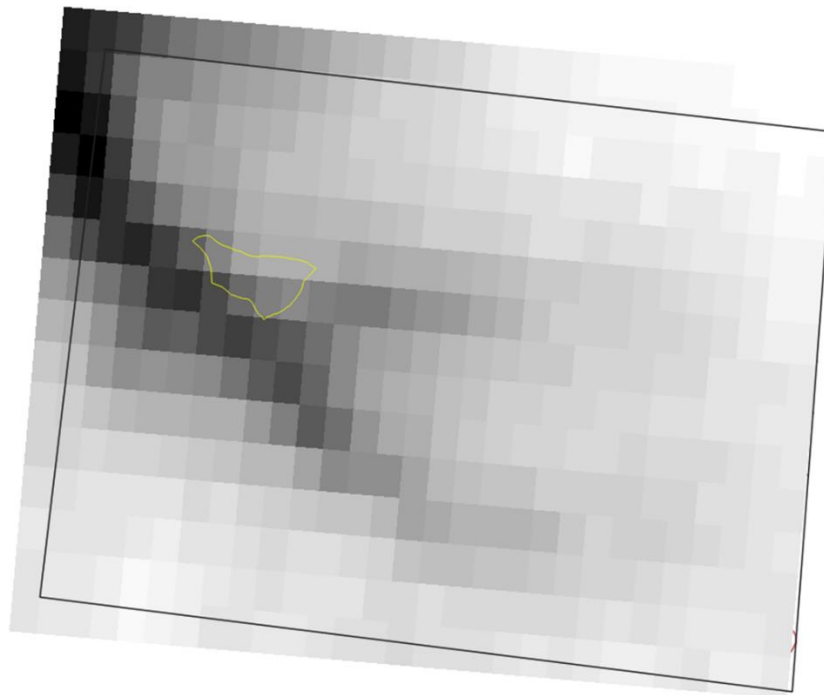


Рис. 3.4 - Отримана за допомогою OpenTopography DEM Downloader у програмному середовищі QGIS модель рельєфу

На рисунку 3.3. подано модель рельєфу за допомогою OpenTopography DEM Downloader у програмному середовищі QGIS модель рельєфу. Контуром жовтого кольору позначено оцифровану площу кар'єру.

3.6. Побудова власної цифрової моделі рельєфу у середовищі Qgis

Проаналізувавши наявні цифрові моделі рельєфу ми з'ясували, що вони мають занадто низьку роздільну здатність, тому було прийнято рішення побудувати власну. Для побудови власної цифрової моделі рельєфу (ЦМР), було

відібрано растрову топографічну карту місцевості з ізохорними лініями через 1 метр. Цю карту було додано до програми QGIS (рис 3.5.).

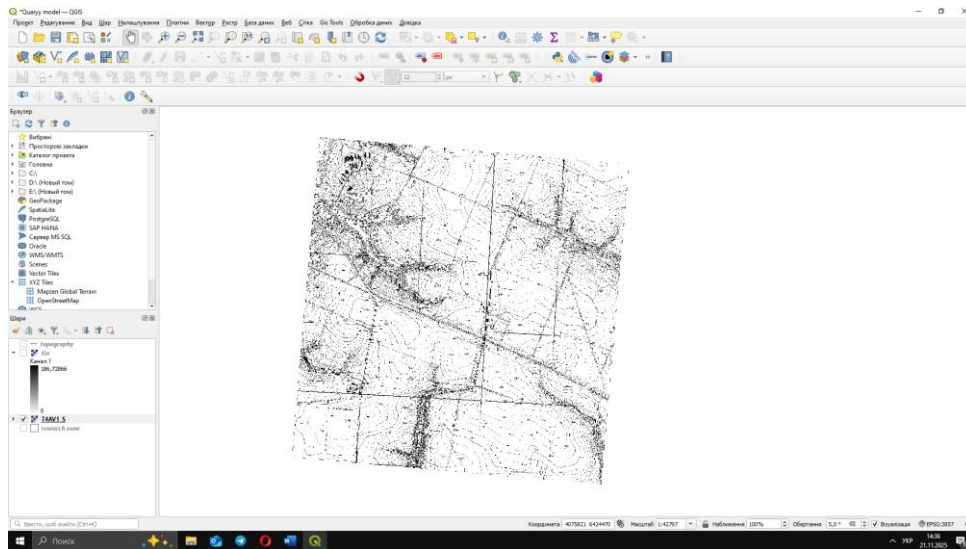


Рис. 3.5 - Додана до QGIS топографічна карта

За допомогою додавання полігонального шару було означено зону подальшої для оцифровки.

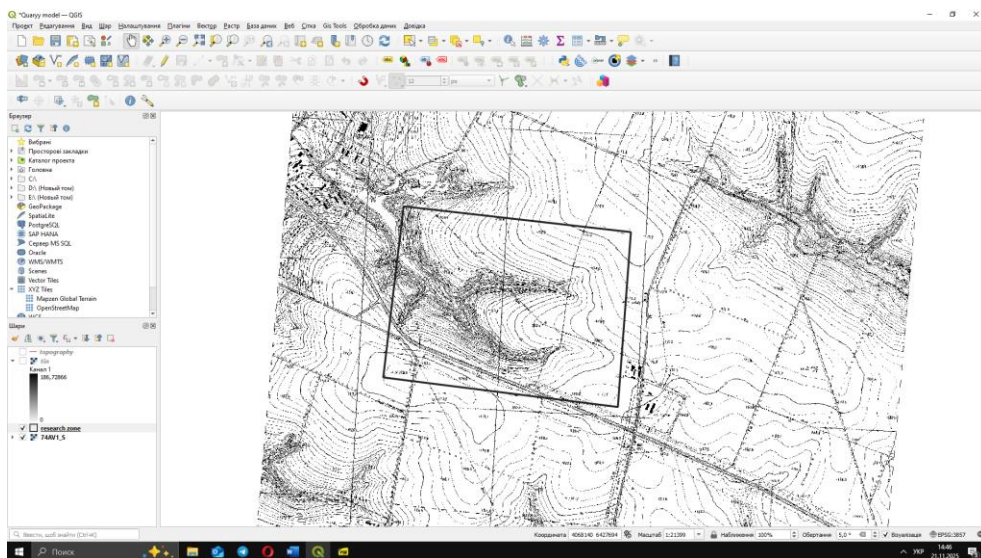


Рис. 3.6 - Карта з позначеною зоною дослідження

Для проведення оцифровки ізохорних ліній топографічної карти було додано векторний шар. На якому, було накладено векторні об'єкти на ці лінії (рис 3.6.). Для кожного векторного об'єкту було додано атрибут зі значенням його висоти.

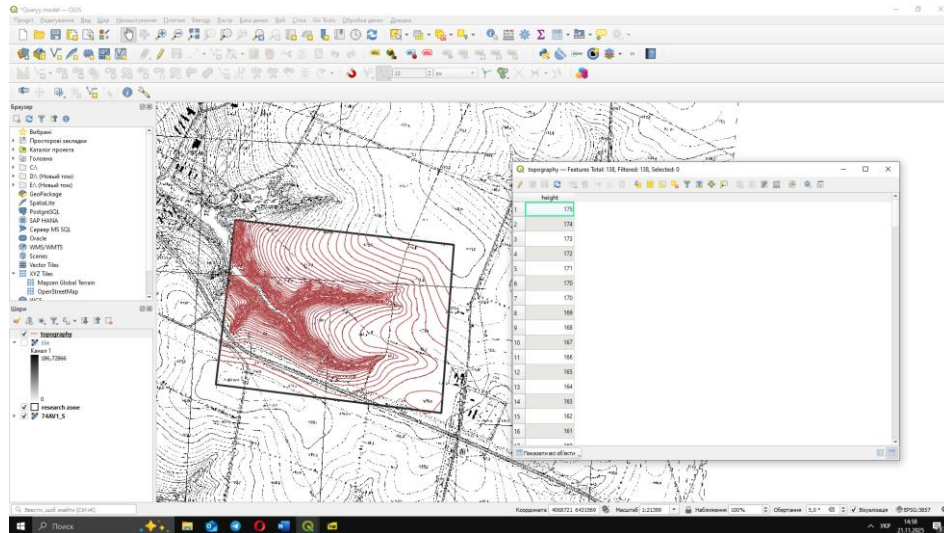


Рис. 3.7 - Карта з векторизованими ізохорними лініями і таблицею атрибутів

Використовуючи дані висот, за допомогою інструмента TIN, було побудовано ЦМР. На рис. 3.8. представлено інтерфейс інструмента, та налаштування, які використовувались для роботи.

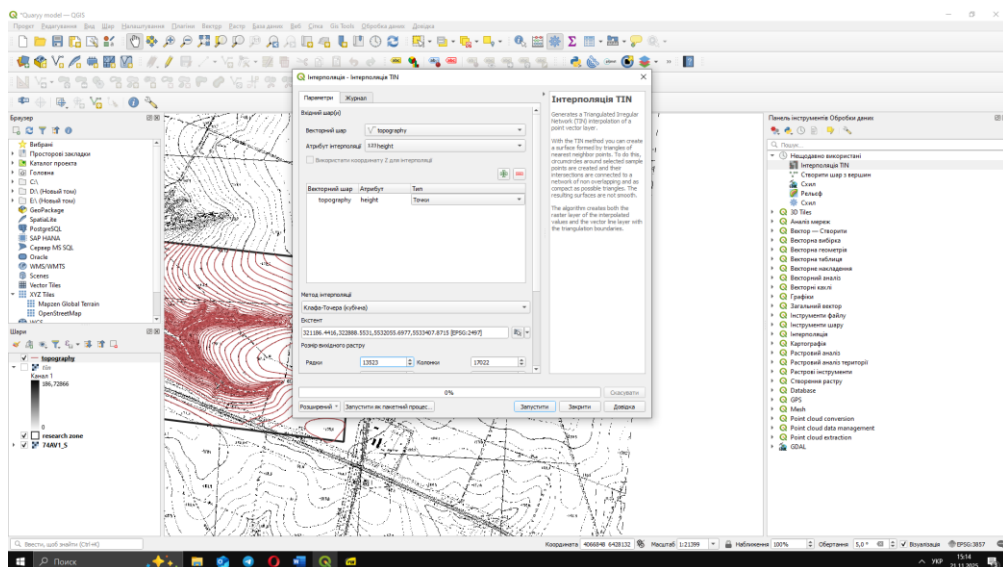


Рис. 3.8 - Карта з векторизованими ізохорними лініями і таблицею атрибутів

кар'єром площу, вирізав відповідну ділянку з моделі рельєфу. На рис 3.11. продемонстровано його інтерфейс з відповідними налаштуваннями.

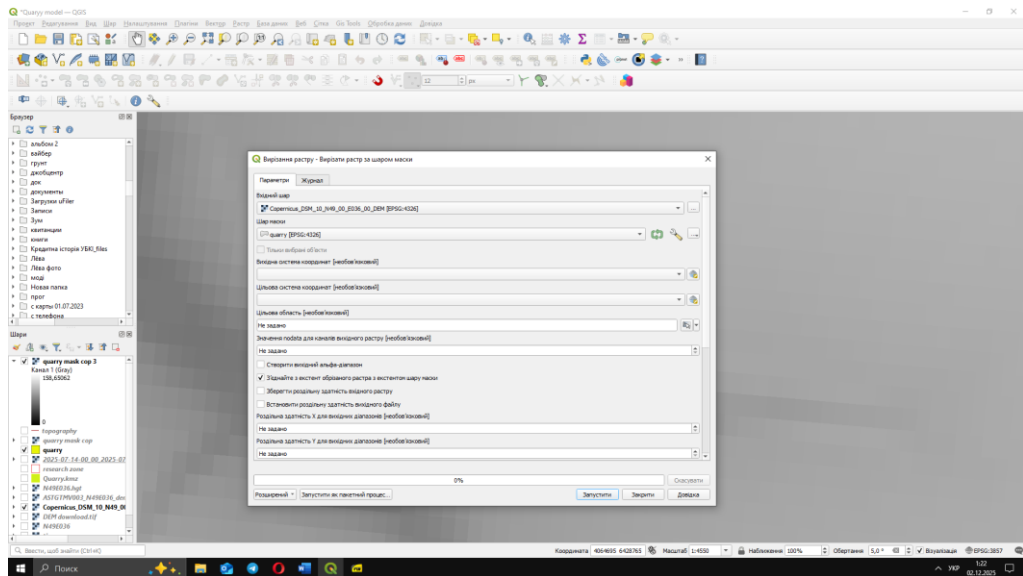


Рис. 3.10 – Інтерфейс інструменту «Вирізати з растру».

На рисунку 3.11. наведено інтерфейс інструменту Raster surface volume, з налаштуваннями, які використовувались для роботи та вирізана, за допомогою інструменту «Вирізати з растру», частина шару моделі рельєфу.

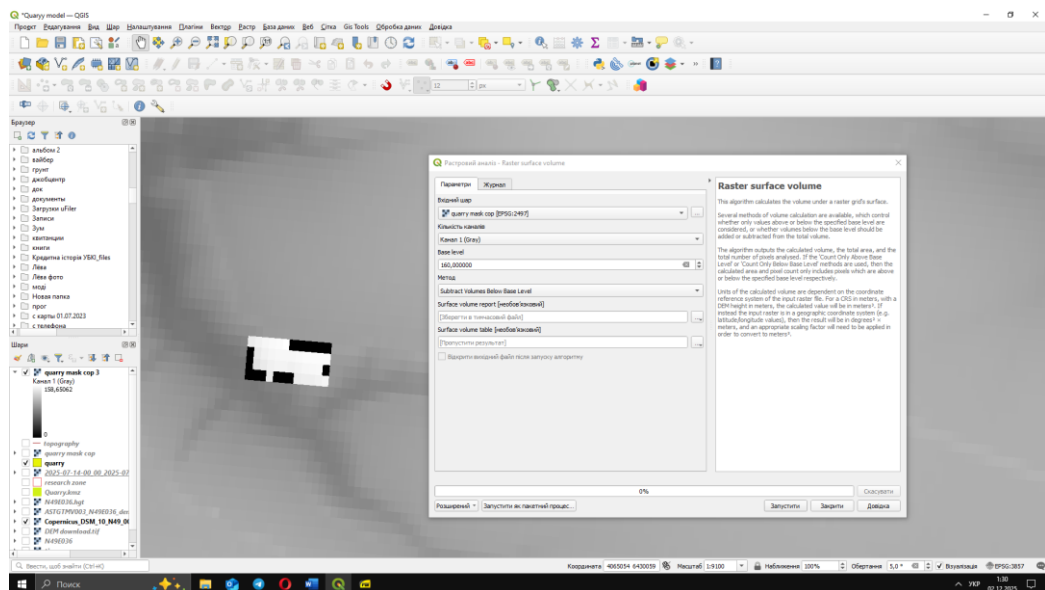


Рис. 3.11 - Інтерфейс інструменту Raster surface volume, з налаштуваннями, які використовувались для роботи.

Отриманий, за допомогою цього методу об'єм котловану кар'єру, склав 4 521 624 м³. Це суттєво розходиться з визначеною на основу документації цифрою у 215 495 м³. Причиною такого розходження може бути як і низька точність моделі Sorbicus GLO-30 DEM, так і те, що фактичний об'єм кар'єру набагато більший, ймовірно через незаконний видобуток. З отриманих результатів можна зробити висновок, що для точнішої оцінки об'єму кар'єру потрібно вдаватися до методів, які передбачають дослідження на місцевості, які вимагають погодження з боку керівництва Роганської громади та фінансування. Дане ж дослідження є початковим обґрунтуванням необхідності і можливості рекультивації кар'єру за допомогою інертних відходів.

РОЗДІЛ 4 РЕКОМЕНДАЦІЇ

Результати проведеного дослідження дозволили сформулювати комплекс рекомендацій щодо подальших дій, спрямованих на відновлення Роганського піщано-суглинкового кар'єру та раціональне використання отриманої інформації в процесі планування рекультиваційних заходів. Аналіз отриманих цифрових моделей рельєфу та наявних геолого-технічних характеристик кар'єру свідчить про те, що здійснення його рекультивації є доцільним, технічно можливим та відповідає інтересам громади. З огляду на це першочерговим кроком слід вважати винесення питання про відновлення кар'єру на розгляд органів місцевого самоврядування з метою ухвалення управлінського рішення та формування офіційного плану дій. Рекомендується підготувати аналітичні та презентаційні матеріали із використанням побудованої цифрової моделі рельєфу для наочного представлення відповідних процесів та обґрунтування необхідності проведення робіт.

Однією з ключових рекомендацій є використання інертних будівельних відходів, що утворюються внаслідок демонтажу пошкоджених у результаті війни будівель і споруд. Проведений аналіз показав, що такі матеріали можуть бути застосовані для технічного етапу рекультивації за умови попереднього сортування та дотримання вимог щодо екологічної безпеки. Застосування цих відходів дозволяє не лише мінімізувати потребу у залученні природних ресурсів для засипання кар'єру, але й сприяє раціональному управлінню будівельними матеріалами у громаді. Для ефективної реалізації цього підходу рекомендується провести інвентаризацію можливих джерел утворення інертних матеріалів, оцінити економічну доцільність їх використання та визначити логістичні маршрути транспортування до кар'єру.

Важливою складовою планування є уточнення обсягів матеріалу, необхідного для засипання порожнини кар'єру, за допомогою замірів на місцевості. З цією метою рекомендується здійснити співставлення отриманого у роботі значення об'єму кар'єру та задокументованих обсягів вичерпаних експлуатаційних запасів і розкритих порід із результатами подальших замірів. Таке порівняння дозволить визначити реальні об'єми порушеної ділянки та створити більш точні розрахунки для

проектної документації. Побудована цифрова модель рельєфу може бути використана як базовий інструмент для попередньої оцінки об'єму кар'єру та навколишнього рельєфу, однак для переходу до наступних етапів робіт рекомендується виконати більш детальну топографічну зйомку місцевості. Використання GNSS-технологій або аерофотознімання з безпілотних літальних апаратів забезпечить отримання високоточної моделі рельєфу, що дозволить мінімізувати похибки при подальшому проектуванні та забезпечить належну якість інженерних рішень.

Подальшим етапом після ухвалення управлінського рішення має стати розробка комплексного проекту рекультивації відповідно до чинних нормативних документів. Цей проект повинен включати технічний етап відновлення рельєфу, створення системи дренажу, заходи щодо стабілізації укосів, планування майбутнього використання території, а також елементи біологічної рекультивації. Рекомендується передбачити можливість залучення додаткових фінансових ресурсів, зокрема грантів, програм міжнародної технічної допомоги або співфінансування з регіональних фондів, що дозволить оптимізувати бюджет проекту та забезпечити його ефективну реалізацію.

Окремо слід звернути увагу на необхідність організації екологічного моніторингу території після завершення технічного етапу рекультивації. Регулярне спостереження за станом поверхні, можливими проявами просідання, ерозії, змін у гідрологічних умовах та динамікою рослинного покриву дозволить своєчасно реагувати на потенційні ризики та забезпечить контроль ефективності виконаних робіт. Такий підхід сприятиме не лише збереженню екологічної стабільності відновленої ділянки, але й підвищенню довгострокової ефективності рекультивації.

Отже, реалізація запропонованих рекомендацій дозволить організувати процес рекультивації Роганського піщано-суглинкового кар'єру у відповідності до сучасних вимог екологічної безпеки та сталого розвитку, сприятиме покращенню стану довкілля та раціональному використанню ресурсів громади, а також забезпечить підготовку якісної проектної документації для подальшого практичного втілення відновлювальних заходів.

ВИСНОВКИ

Порушення земель унаслідок відкритого видобування корисних копалин є однією з найгостріших екологічних проблем сучасності. Відпрацьовані кар'єри створюють значні екологічні ризики через порушення рельєфу й ґрунтового покриву.

Відповідно до поставлених завдань було проведено аналіз наукових джерел та нормативної бази щодо рекультивації кар'єрів. Відповідно до постанови Кабінету Міністрів України від 20 жовтня 2023 р. № 1102 «Про затвердження Порядку класифікації відходів та Національного переліку відходів», було здійснено відбір інертних матеріалів, які можна буде використати для засипання котловану кар'єру. Було розглянуто приклади подібної рекультивації кар'єрів в Україні та світі.

Було здійснено огляд та порівняння наявних цифрових моделей рельєфу. Було отримано знімки кар'єру. На основі топографічної масштабу 1: 10000 було побудовано власну ЦМР місцевості навколо кар'єру. На основі знімку моделі Copernicus GLO-30 було підраховано об'єм кар'єру, який склав 4 521 624 м³.

Підрахований у роботі об'єм суттєво перевищує вираховане з документації значення у 215 495 м³. Причиною цього може бути як і неточність моделі так і подальший незаконний видобуток з кар'єру. Що робить обґрунтованим проведення ширшої роботи з проведенням наземних замірів на об'єкті.

За підсумками роботи доведено використання інертних відходів руйнації як засипного матеріалу ефективним та екологічно доцільним рішенням.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ЛІТЕРАТУРИ

1. Федонюк В. В. Екологічні проблеми видобутку корисних копалин відкритим способом на прикладі піщаного кар'єру Підкасинь. Студентський науковий вісник. Серія: Природничі та технічні науки. ЛНТУ. 2016. № 21. С. 411–420. URL: https://lib.lntu.edu.ua/sites/default/files/2021-03/Студентський%20науковий%20вісник%20N%2021%20-%202016_1.pdf (дата звернення: 05.11.2025).
2. Байкалов Я. Ю., Кутняшенко О. І. Аналіз порушених земель кар'єру «Південний» Костянтинівського району для їхньої подальшої рекультивації та цільового освоєння. Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2022. № 160-1. С. 11–15. URL: <https://visnyk.vntu.edu.ua/index.php/visnyk/article/view/2726/2551> (дата звернення: 16.11.2025).
3. Про рекультивацію порушених земель лісогосподарського призначення : наказ Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України від 31.10.2019. URL: <https://ips.ligazakon.net/document/JI00719A> (дата звернення: 05.11.2025).
4. Земельний кодекс України : Закон України від 25.10.2001 № 2768-III. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2768-14#Text> (дата звернення: 11.11.2025).
5. Кодекс України про надра : Закон України від 27.07.1994 № 132/94-ВР. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/132/94-вр#Text> (дата звернення: 11.11.2025).
6. Про охорону земель : Закон України від 19.06.2003 № 962-IV. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/962-15#Text> (дата звернення: 11.11.2025).
7. Порядок здійснення рекультивації. URL: https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/iebmd/vaganov_inzhenerna_geologiya/15.4.3.htm (дата звернення: 11.11.2025).
8. Rotherham Metropolitan Borough Council. Maltby Colliery Reclamation Scheme: Environmental Impact Assessment. Rotherham : Planning Regulatory Board, 2016.

9. UNDP & Ministry of Environment of Lebanon. Demolition Waste Management Strategy: Rehabilitation of Quarries in Baalbek and Bekaa Valley. Beirut : United Nations Development Programme, 2024.

10. Про затвердження Порядку поводження з відходами, що утворились у зв'язку з пошкодженням (руйнуванням) будівель та споруд... : постанова Кабінету Міністрів України від 27.09.2022 № 1073. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1073-2022-п#Text> (дата звернення: 11.11.2025).

11. Проєкт «Відходи руйнації: дослідження перспектив запровадження економіки замкнутого циклу». URL: https://zerowaste.org.ua/wp-content/uploads/2024/04/dodatok_2_analitychnyj_zvit_z_rezultativ_doslidzhennya_zakonodavstva.pdf (дата звернення: 14.11.2025).

12. Про затвердження Порядку класифікації відходів та Національного переліку відходів : постанова Кабінету Міністрів України від 20.10.2023 № 1102. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1102-2023-п#Text> (дата звернення: 11.11.2025).

13. Copernicus DEM GLO-30. URL: <https://docs.terrabyte.lrz.de/datasets/dem/cop-de> (дата звернення: 15.11.2025).

14. NASADEM Global Digital Elevation Model. URL: <https://catalog.data.gov/dataset/nasadem-global-digital-elevation-model> (дата звернення: 15.11.2025).

15. ASTER Global Digital Elevation Model (ASTGTM V003). URL: <https://docs.terrabyte.lrz.de/datasets/dem/aster> (дата звернення: 15.11.2025).