

УДК 551.438.5:623.746-519(477.43); DOI 10.30970/gpc.2022.1.3829
**ЗАСТОСУВАННЯ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ
ДЛЯ ВИВЧЕННЯ КАР'ЄРІВ**

Андрій Бермес, Андрій Богуцький, Олена Томенюк
Львівський національний університет імені Івана Франка,
andriybermes@gmail.com; orcid.org/0000-0002-1887-4203
andriy.bogucki@lnu.edu.ua; orcid.org/0000-0002-9958-926X
olena.tomeniuk@lnu.edu.ua; orcid.org/0000-0002-4638-0585

Анотація. Метою дослідження є аналіз перспектив вивчення кар'єрних форм рельєфу завдяки сучасним інноваційним методам дослідження, а саме – із застосуванням безпілотних літальних апаратів (БПЛА). Основними завданнями цього дослідження є вивчення форм рельєфу кар'єру в с. Користова, побудова геоморфологічної карти та цифрової моделі рельєфу, вивчення сучасних антропогенних та природно-антропогенних процесів з використанням БПЛА. Вихідними матеріалами дослідження є детальні знімання кар'єру і його околиць з БПЛА за 2015 та 2021 роки, польові дослідження упродовж останнього десятиріччя. Результатами дослідження є вивчення форм рельєфу кар'єру, картування основних їхніх елементів, аналіз антропогенних деформацій та навантаження на рельєф, зокрема його видозміна. Дослідження також має прикладне значення для видобувної галузі у сфері підрахунку видобутої породи та процесу рекультивациі кар'єрів.

За допомогою БПЛА проведено 3D-знімання кар'єру як антропогенної форми рельєфу в с. Користова Хмельницької обл. Побудовано ортофотоплан кар'єру, а також цифрову модель місцевості та цифрову модель рельєфу для вивчення морфометричних характеристик форм та елементів рельєфу. Проаналізовано зміни антропогенного навантаження на рельєф території станом на липень 2021 р. порівняно з 2015 р., що зафіксовано на ортофотоплані та цифровій моделі рельєфу. На їхній основі створено геоморфологічні карти території кар'єру із відображенням основних форм та елементів рельєфу. Схарактеризовано основні геоморфологічні процеси (водно-ерозійні, обвальні тощо), стан рекультивациі земель кар'єру та напрями і перспективи подальших розробок.

Показано, що сучасні засоби наукових досліджень, такі як БПЛА, є перспективним джерелом географічної інформації, яку варто використовувати для фундаментальних і прикладних геоморфологічних досліджень. Із їхнім застосуванням можна отримати значно детальніші дані для вивчення конкретних природних та антропогенних форм і елементів рельєфу, а також простежити їхню динаміку в часі і просторі з необхідною періодичністю.

Ключові слова: кар'єр; опорний розріз; безпілотний літальний апарат; цифрова модель місцевості; цифрова модель рельєфу; морфометрія рельєфу; природно-антропогенні процеси.

**APPLICATION OF UNMANNED AERIAL VEHICLES FOR THE STUDY OF
QUARRIES**

Andrii Bermes, Andriy Bogucki, Olena Tomeniuk
Ivan Franko National University of Lviv, Lviv, Ukraine

Abstract. The purpose of the study is to analyse the prospects of studying quarry landforms by modern innovative research methods, namely using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV). The main tasks of this study are to research quarry landforms in the village of Korystova, create a geomorphological map and digital elevation model, and study modern anthropogenic and natural-past decade. The study results are the research of quarry landforms, their main elements mapping, the analysis of anthropogenic deformations and the load for the terrain, in particular, its

anthropogenic processes using a UAV. The research source materials are detailed surveys of the quarry and its surroundings in 2015 and 2021 by UAV technologies and field research over the modification. The study also has applied value to the mining industry in the area of counting techniques of rock mining and the process of quarry reclamation.

A 3D survey of the quarry as an anthropogenic form of relief was carried out in the village of Korystova in the Khmelnytskyi region using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV). In order to study the morphometric characteristics of the forms and elements of the relief an orthophoto plan of the quarry was created, as well as a digital terrain model (DTM) and a digital elevation model (DEM). Changes in the anthropogenic load on the landforms as of July 2021 compared to 2015 were analysed, which were recorded on the corresponding orthophoto plan and digital elevation model. On their basis, geomorphological maps of the quarry territory were created, showing the major forms and elements of the relief. The main geomorphological processes (water erosion, landslides, etc.), the state of quarry land reclamation, and directions and prospects for further mineral extraction are characterized.

It is demonstrated that modern means of scientific research, such as UAVs, are a promising source of geographic information that should be used for both fundamental and applied geomorphological research. With their use, it is possible to obtain much more detailed data for the study of specific natural and anthropogenic forms and elements of the relief, as well as to trace their dynamics in time and space with the necessary periodicity.

Key words: quarry; reference section; unmanned aerial vehicle; digital terrain model; digital elevation model; morphometry of the relief; natural-anthropogenic processes.

Вступ. Кар'єр у с. Користова (опорний лесовий розріз Волочиськ) розташований у західній частині Хмельницького плато у басейні річки Збруч, на правому березі річки Грабарка (рис. 1, 2). Він перебуває у власності ТОВ “Волочиський цегельник”.



Рис. 1. Кар'єр в с. Користова – опорний розріз Волочиськ
Fig. 1. Quarry in the Korystova village – Volochysk reference section

Кар'єр знаходиться за 2 км на північний схід від м. Волочиськ (північно-західна частина с. Користова) Хмельницького р-ну. Промислова розробка лесового кар'єру сприяла геологічному та геоморфологічному вивченню території, появи в наукових джерелах опорного розрізу Волочиськ (див. рис. 1). У кар'єрі та на його околицях проводила дослідження низка українських та польських учених у сфері вивчення плейстоценових відкладів, палеокріогенних форм з використанням низки методів палеогеографічних реконструкцій, зокрема

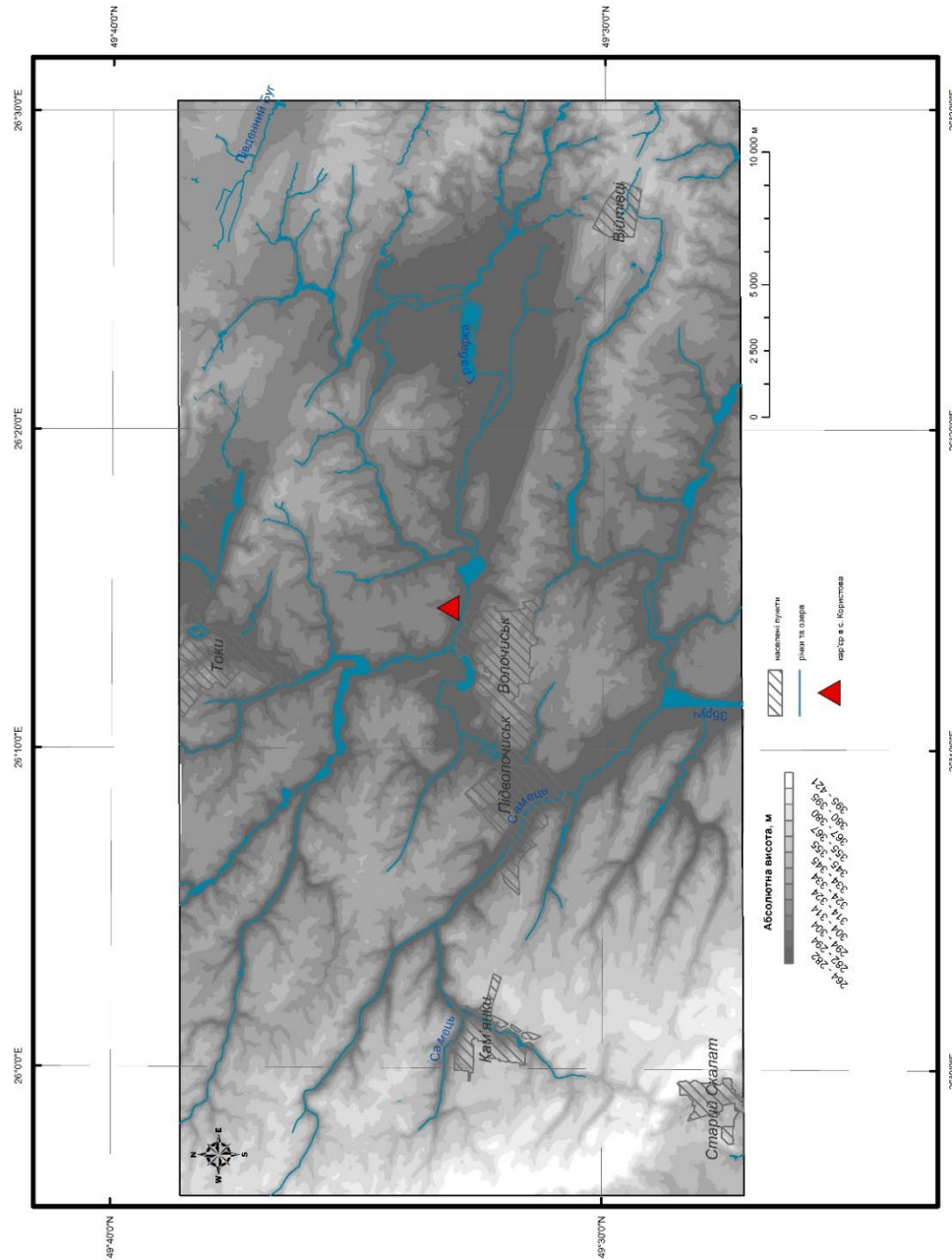


Рис. 2. Гіпсометрична карта околиць кар'єру в с. Користова (створено на основі даних SRTM (<http://srtm.csi.cgiar.org>))
Fig. 2. A hypsometric map of the quarry surroundings in the village of Korystova (based on SRTM data (<http://srtm.csi.cgiar.org>))

датування відкладів, палеомалакологічного аналізу та інших (Дмитрук, Богуцький і Томенюк, 2015; Fedorowicz i in., 2015; Fedorowicz et al., 2018).

Основною добувною сировиною кар'єру є леси – важливий матеріал для виробництва цегли. У стратиграфічному профілі кар'єру виділяють шар сучасного ґрунту (до 1 м потужністю) та лесово-ґрунтового товщу (понад 6 м) із чітко окресленими красилівським підгоризонтом, дубнівським викопним ґрунтом та горохівським викопним ґрунтовим комплексом (Fedorowicz et al., 2018). Плейстоценова лесово-ґрунтова серія залягає на відкладах сармату.

Матеріали і методи. Основними завданнями цього дослідження є вивчення форм рельєфу кар'єру в с. Користова, побудова геоморфологічної карти та цифрової моделі рельєфу, вивчення сучасних антропогенних та природно-антропогенних процесів з використанням *безпілотних літальних апаратів* (БПЛА). Вихідними матеріалами дослідження є детальні знімання кар'єру і його околиць з БПЛА за 2015 та 2021 роки, польові дослідження впродовж останнього десятиріччя.

Застосування дронів у науковій сфері, а саме під час польових досліджень, стає популярним явищем (Бермес та ін., 2021; Nagendran & Ismail, 2020; Nikolakopoulos et al., 2015; Saponaro et al., 2021; Stöcker, Eltner & Karrasch, 2015). Використання квадрокоптера дає змогу виконувати низку завдань, зокрема: якісне фотознімання рельєфної обстановки, 3D-планування польотів задля отримання якісних аерофотознімків для створення ортофотопланів та цифрових моделей місцевості і рельєфу тощо. Під час польових досліджень у кар'єрі с. Користова нами використано квадрокоптер DJI Phantom 4 RTK (<https://www.dji.com/phantom-4-rtk/info>). Перевагою цього БПЛА є висока якість знімків та точність отриманих координатних даних. Планування маршруту та створення полігону збору даних здійснювали у польових умовах, адже безпосередньо на місці є можливість точніше оцінити перепад висот, наявність ліній електропередач та ін. Програмне забезпечення дрона DJI Phantom 4 RTK дало змогу здійснити автоматизований політ для збору тривимірних вихідних даних із сантиметровою точністю. Політ відбувся на висоті 100 м.

Під час великомасштабної зйомки кар'єрів та інших форм певну похибку вносить рослинність, яку часто приймають за рельєф. Застосування спеціалізованого програмного виправлення допомагає у корекції таких ситуацій.

Результати. Результатами дослідження є вивчення форм рельєфу кар'єру, відkartування основних їхніх елементів, аналіз антропогенних деформацій та навантаження на рельєф, зокрема його видозміна. Дослідження також має прикладне значення для видобувної галузі у сфері підрахунку видобутої породи та процесу рекультивациі кар'єрів.

Фотограмметричну обробку отриманих даних здійснено із використанням програмного забезпечення Agisoft Metashape Professional, у якому після низки операцій отримано такі дані: хмара точок; ортофотоплан; 3D-поверхня місцевості (Agisoft Metashape...).

Після завантаження знімків ключових ділянок у програмне забезпечення Agisoft розпочали формування хмари точок із подальшим зшиттям знімків у цілісний ортофотоплан та побудову на базі висотних даних *цифрової моделі місцевості* (ЦММ), а також різниці між моделями (рис. 3–6). Відмінністю цифрової моделі місцевості від *цифрової моделі рельєфу* (ЦМР) є те, що вихідним



Рис. 3. Ортофотоплан кар'єру в с. Користова (липень 2021 р.)
Fig. 3. Orthophoto plan of the quarry in the Korystova village (July 2021)

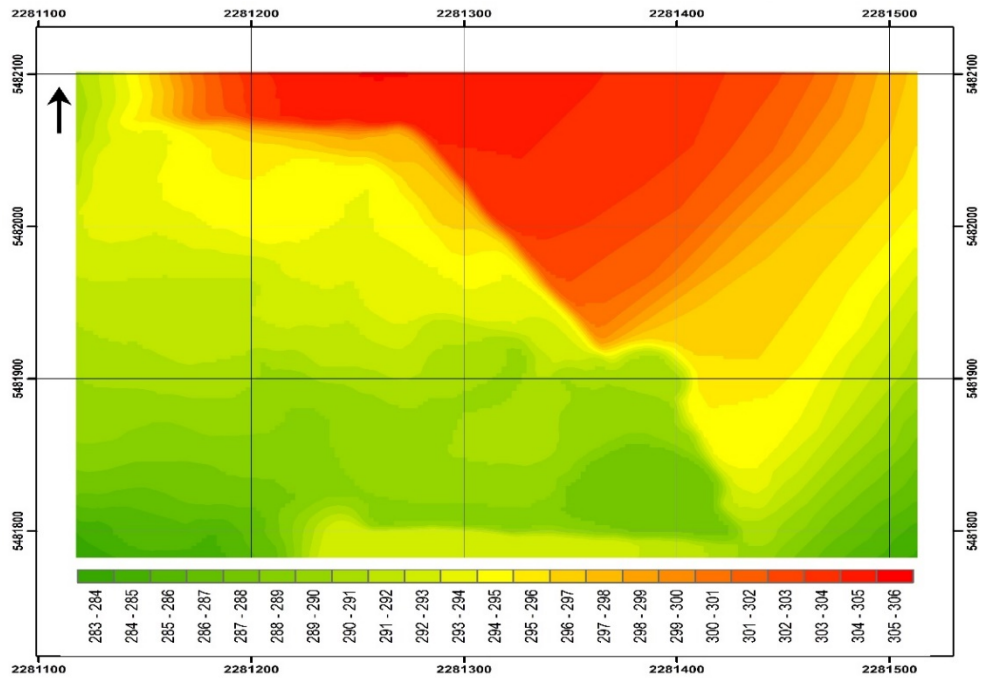


Рис. 4. Цифрова модель рельєфу околиць кар'єру в с. Користова (2015)

Fig. 4. Digital elevation model of the quarry surroundings in the village of Korystova (2015)

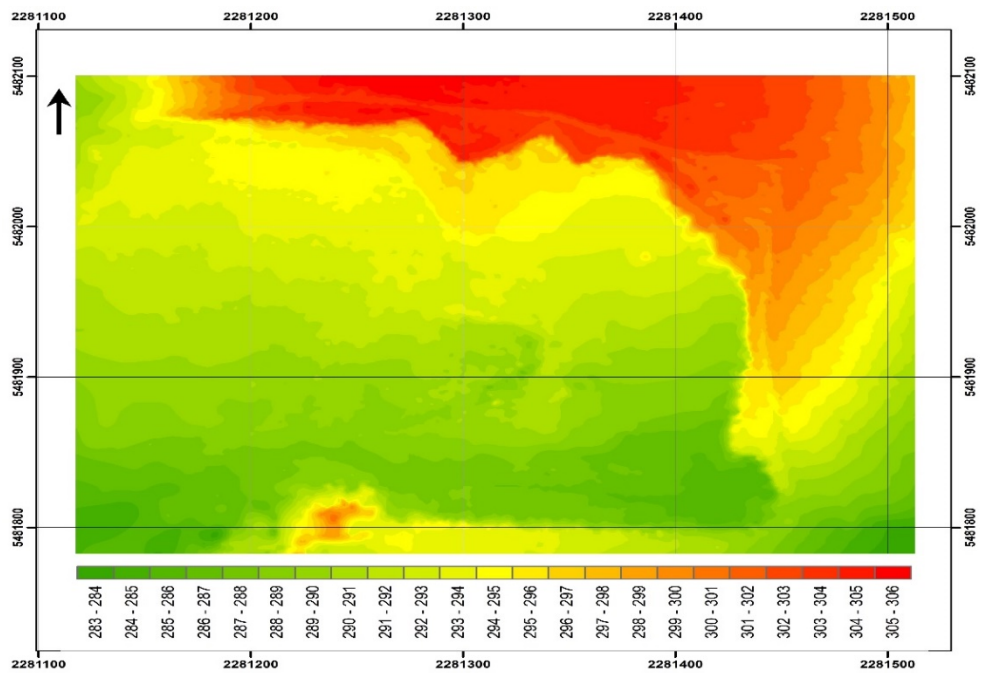


Рис. 5. Цифрова модель місцевості околиць кар'єру в с. Користова (липень 2021 р.)

Fig. 5. Digital terrain model of the quarry surroundings in the village of Korystova (July 2021)

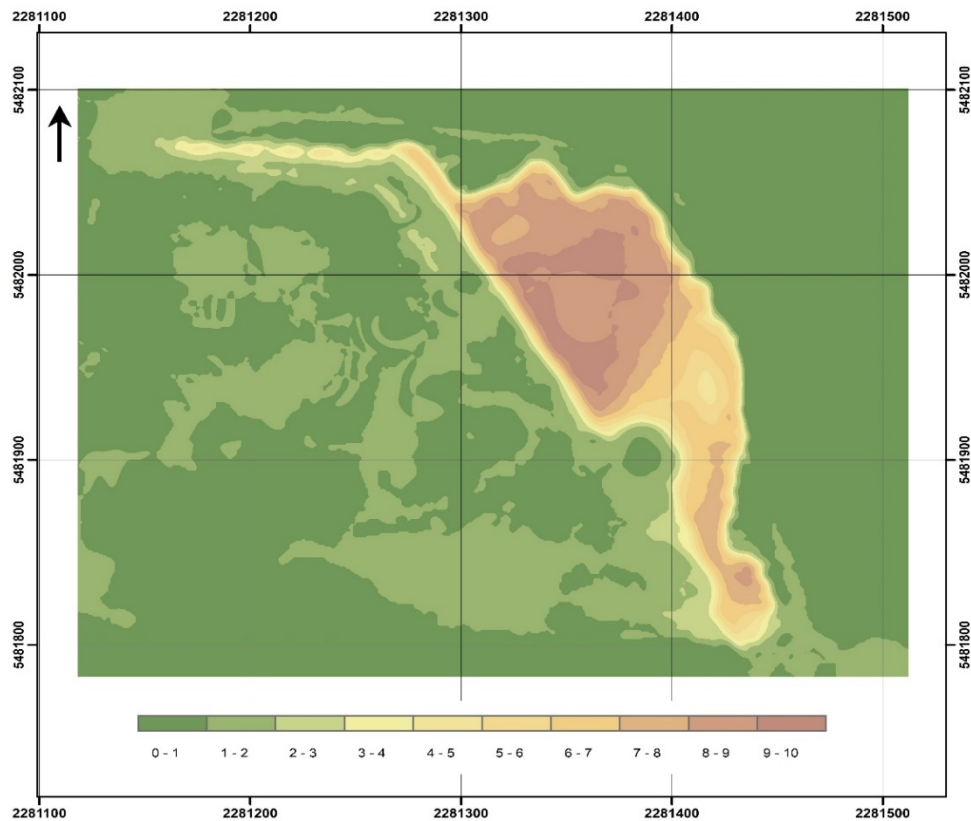


Рис. 6. Різниця між цифровими моделями рельєфу
околиць кар'єру в с. Користова за 2015 і 2021 рр.
Fig. 6. The difference between the digital elevation models
of the quarry surroundings in the Korystova village in 2015 and 2021

результатом після автоматизованої дії програмного забезпечення є ЦММ, оскільки низка точок потрапляє на високу рослинність (лісові насадження) та забудову, а значення отриманих даних формується на основі їхньої висоти.

ЦМР вважається одним з важливих елементів для оцінки стану природного середовища та територіального планування, а також основою для роботи в *геоінформаційних системах* (GIS). З допомогою GIS можна вивчити й оцінити стан природного середовища, виконати територіальне планування, змодельовати геоморфологічну ситуацію, забезпечити моніторинг небезпечних геоморфологічних процесів. ЦМР формується на основі вертикальних даних ЦММ, а саме – відкидання низки точок, зокрема точок високої рослинності, забудови та інших об'єктів, що спотворюють рельєфну ситуацію. Інтерполяційні властивості програмного забезпечення ArcGIS 10 та можливість редагування висотних неточностей дали змогу створити ЦМР на територію дослідження (ESRI ArcGIS 9). Завдяки порівняльній характеристиці різновікових (за 2015 та 2021 рр.) побудованих ЦМР можна відстежити динаміку форм та типів рельєфу (див. рис. 6).

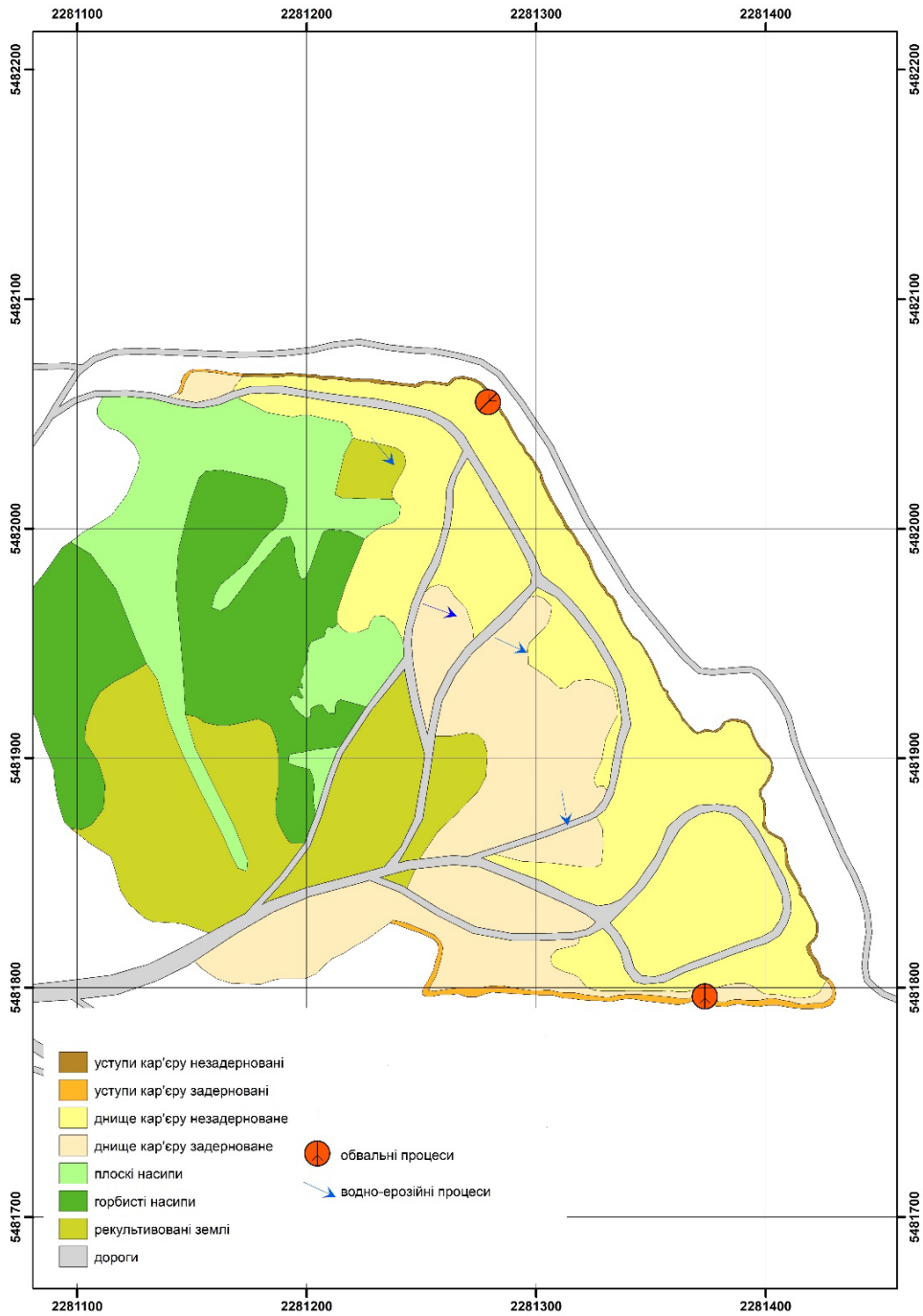


Рис. 7. Геоморфологічна карта, побудована на основі аерофотознімання кар'єру в с. Користова 2015 р.

Fig. 7. The geomorphological map based on aerial photography of the quarry in the village of Korystova in 2015

Порівняльну характеристику основних морфологічних і генетичних особливостей кар'єру здійснено на основі побудованих ортофотопланів і цифрових моделей за 2015 та 2021 роки. На їхній основі побудовано геоморфологічні карти кар'єру відповідних років (рис. 7 і 8).

Кар'єр у с. Користова розміщений на схилі, його розробка відбувається у східному напрямі (див. рис. 8). Площа кар'єру станом на 2021 р. становить 6,9 га (2015 р. – 6,2 га), що засвідчує незначні об'єми видобутку корисної копалини. Кар'єр є простим і незамкненим (відкрита західна сторона). У плані 2021 р. кар'єр має вигляд оберненого півмісяця, а 2015 р. форма кар'єру була витягнута більше у південно-східному напрямі. Довжина кар'єру по брівці 2015 р. становила 718 м (робоча стінка – 441 м, недіюча стінка південної експозиції – 35 м, недіюча стінка північної експозиції – 242 м). До 2021 р. довжина стінки збільшилась до 742,5 м (робоча стінка – 218 м, недіюча стінка південної експозиції – 232,6 м, недіюча стінка північної експозиції – 291,8 м). За даними аналізу досліджуваних ортофотопланів, довжина робочої брівки скоротилась удвічі. Ширина кар'єру становить 280 м. Показник ізометричності з 2015 р. змінився з 0,39 до 0,37 станом на 2021 р. За глибиною кар'єр належить до неглибоких. Максимальні значення глибини 2015 р. становили 8,9 м, 2021 р. – 8,6 м. Незначна глибина кар'єру обумовлена потужністю шару видобувної породи – лесів. За нашими підрахунками, що базуються на аналізі побудованих моделей рельєфу, орієнтовні об'єми видобутої цегельної сировини за досліджуваній часовий зріз становлять 107,3 тис. м³.

Обговорення. Головними критеріями для виокремлення форм та елементів рельєфу кар'єру є генезис та морфологічні особливості, другорядними – вік та динаміка. Рельєф кар'єрів поділяють на вироблений (денудаційний) та насипний (аккумулятивний) (Горішний, 2016a, 2016b).

Уступ кар'єру однорівневий. Робочою залишається лише східна стінка, північна і південна – неробочі уступи. Гіпсометрично брівка уступу знаходиться на висоті 312–316 м. Стінки північної та південної експозицій мають середнє значення крутості приблизно 41,3°, вони частково задерновані, є скупчення дрібноуламкового матеріалу у підніжжі уступу. Робочі стінки за показником крутості наближаються до значення у 90°. Абсолютна висота підніжжя уступу – 300–306 м. Гіпсометрично вищою частиною є днище кар'єру у його північній частині. Воно має практично одновисотний рівень із незначним перепадом висот, місцями затоплене та задерноване. Днище характеризується незначним нахилом поверхні у напрямі на південний схід. Його площа сягає 2,63 га станом на 2021 р. Задерноване днище, порівняно з незадернованим, практично однакове за площею. У днищі практично відсутні вироблені та насипні елементи рельєфу, окрім незначних за розміром та поодиноких заглиблень та горбів, а також ерозійних борозен.

Станом на 2021 р. на території кар'єру відсутні відвали та значні насипні форми тому, що покривні плейстоценові леси – сировина для виготовлення цегли – залягають гіпсометрично найвище. Аналізуючи вироблений та насипний рельєф станом на 2015 р., відзначено протяжнішу робочу стінку у цей час – 441 м. Частково кар'єрна розробка відбувалась і на стінці південної експозиції. Днище займало меншу площу – 2,34 га, у ньому помітні акумулятивні горбисті насипи

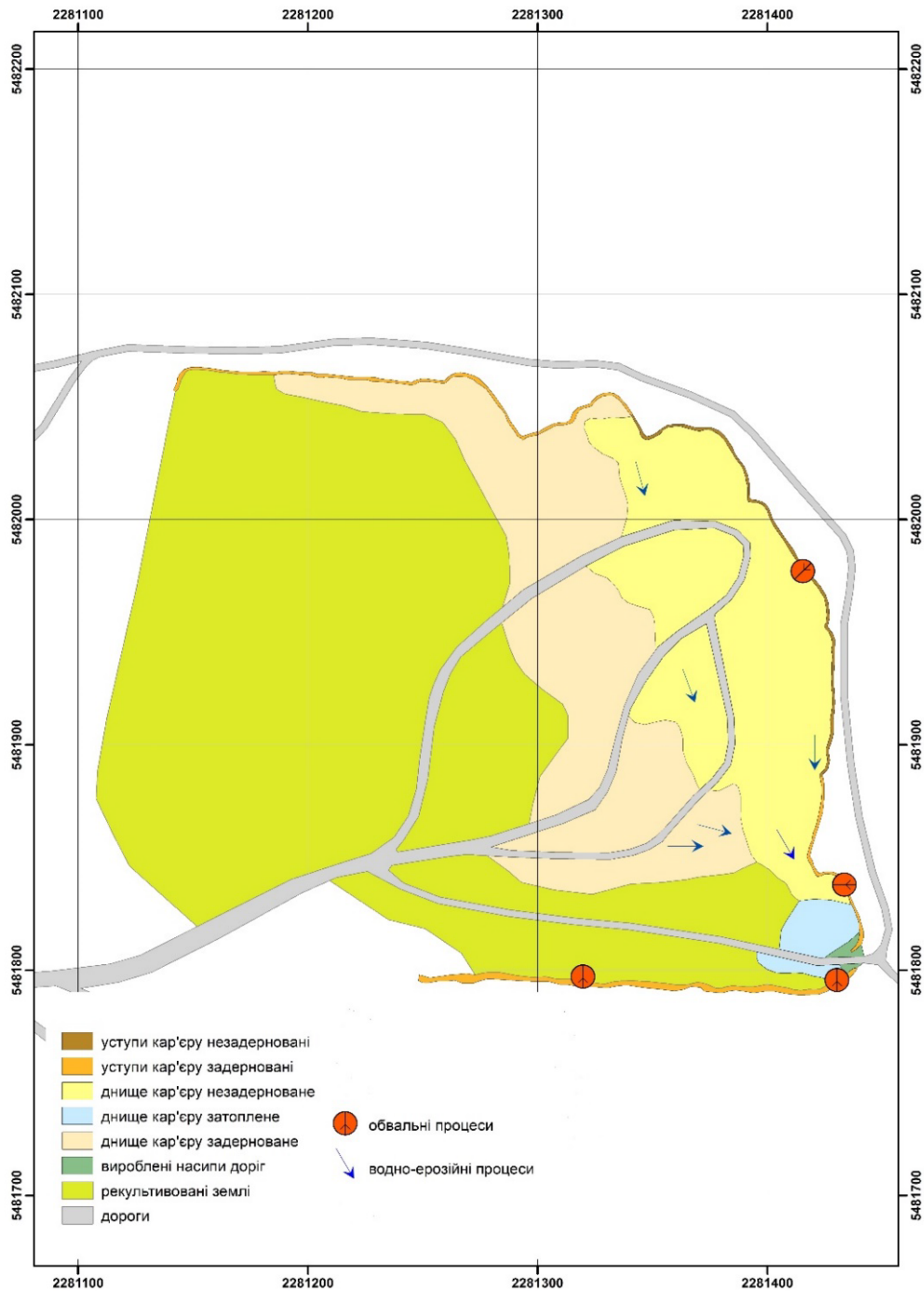


Рис. 8. Геоморфологічна карта, побудована на основі аерофотознімання кар'єру в с. Користова у липні 2021 р.

Fig. 8. The geomorphological map based on aerial photography of the quarry in the village of Korystova in July 2021

висотою до 1,3 м, площею менше 1 га, а також плоский насип у північно-західній частині площею 0,9 га та висотою до 2 м.

У західній частині кар'єру впродовж 2015–2021 рр. інтенсивно відбувається процес консервації та рекультивації земель. Як бачимо із побудованих геоморфологічних карт, за цей період площа таких земель зросла втричі. Нерівності поверхні засипані і вирівняні та заростають низькорослою рослинністю, подекуди кущовою. Загалом варто зазначити, що кар'єр у с. Користова має нескладну будову, однорівневий, із незначною кількістю елементів рельєфу через рекультиваційні роботи, які відбуваються водночас із видобутком сировини.

Сучасні екзогенні процеси значною мірою впливають на вигляд кар'єру і чи не найважливішими тут залишаються антропогенні процеси (Колтун, 2005). Видобувні роботи на цей час не характеризуються значною інтенсивністю, порівняно із сусідніми кар'єрами, зокрема тими, у яких розробляють міоценові вапняки. Видобуток здійснюється у напрямі із заходу на схід.

Суттєва роль у морфодинаміці належить природно-антропогенним процесам, тобто тим природним процесам, які безпосередньо зумовлені діяльністю антропогенних чинників (Колтун, 2005; Горішний, 2016а). Серед них у межах кар'єру в с. Користова можна виокремити водно-ерозійні та обвальні процеси. Прояви лінійної ерозії представлені численними ерозійними борознами, вимоїнами та незначним за масштабами площинним змивом. Ерозійні форми характеризуються головно прямолінійністю в плані (подекуди формують деревоподібний малюнок) та V-подібною формою профілю. Довжина деяких борозен становить понад 50 м, ширина сягає до 1,1 м, зрідка більше. Їхня глибина становить 0,6–0,7 м. Зафіксовано деякі борозни глибиною 1 м. Відносна висота верхів'я і днища борозен сягає до 3,2 м. Варто зазначити, що морфодинаміка ерозійних процесів у період із 2015 до 2021 років характеризується відносною активністю у східній та південно-східній частинах кар'єру. Окрім проявів ерозійних процесів, на стінках кар'єру спостерігаються гравітаційні процеси, зокрема обвали. Найвиразнішими є обвали, що відділяють робочу стінку кар'єру від неробочої. Порівняно із 2015 роком, кількість обвалів збільшилась. Простежуємо також низку дрібних осипищ уздовж неробочих стінок кар'єру. Осипні шлейфи незначних розмірів. Практично повсюдно на неробочих стінках кар'єру північної та південної експозиції трапляються прояви площинної ерозії.

На схід від кар'єру знаходиться балка, що може стати потенційною природною межею подальшої діяльності кар'єру в східному напрямі. Балка характеризується U-подібною будовою із низкою молодих ярів незначних розмірів з обох бортів. Абсолютні висоти верхів'я балки сягають 312–313 м, а днища у межах знімачів – 288–289 м. Лінійна конфігурація ерозійної форми характеризується такими параметрами: довжина – 780 м; максимальна ширина – 160 м. Схили слабонахилені. За умови подальшого процесу видобутку сировини у східному напрямі підраховано перспективи її запасів, що становлять 145 000 м³. Перспективним є напрям видобутку на північ, однак через гіпсометрично вищі значення поверхні кар'єр змінить вигляд на дворівневий із низкою насипних форм.

Висновки. Обґрунтовано широкі можливості застосування квадрокоптерів для вивчення рельєфу, включно з природно-антропогенним. У наших дослідженнях 2021 р. використано квадрокоптер DJI Phantom 4 RTK для вивчення

лесового кар'єру в с. Користова на північно-східній околиці м. Волочиськ Хмельницької обл. Важливо, що для аналізу рельєфу вдалося залучити результати вивчення цього кар'єру за допомогою БПЛА ще 2015 р. На основі отриманих даних побудовано ЦМР, ЦММ, геоморфологічні карти, ортофотоплани, що дало змогу проаналізувати морфологічні та морфометричні характеристики досліджуваного об'єкта, зокрема динаміку розвитку геоморфологічних процесів (головно водно-ерозійних та гравітаційних обвальних-осипних), оцінити об'єми видобутої цегельної сировини за досліджуваній часовий зріз, які становлять 107,3 тис. м³, та напрями її подальших розробок, стан рекультивациі кар'єру. Отримані результати мають велике прикладне значення і можуть бути використані під час вивчення кар'єрів з видобутку різної сировини. Перспективою подальших досліджень є також аерофотознімання за певний часовий проміжок (2–5 років) для оцінки інтенсивності та характеру змін кар'єрних форм.

Подяки. Дослідження частково фінансоване Національним фондом досліджень України і є частиною проєкту “Розвиток палеокріогенних процесів у плейстоценовій лесово-грунтовій серії України: інженерно-геологічний, ґрунтовий, кліматичний, природоохоронний аспекти” (реєстраційний номер 2020.02/0165).

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- Бермес А., Богущкий А., Томенюк О., Василенко А. Перспективи застосування БПЛА для вивчення ерозійних процесів // Проблеми геоморфології і палеогеографії Українських Карпат і прилеглих територій: матеріали доповідей 12 науково-практичного семінару за міжнародної участі (25–26 листопада 2021 р.). Львів: Видавництво ЛНУ імені Івана Франка, 2021. С. 43–47.
- Горішний П. Геоморфологічна будова Розвадівського кар'єру (Львівська область) // Проблеми геоморфології і палеогеографії Українських Карпат і прилеглих територій: збірник наукових праць. Львів: ЛНУ імені Івана Франка. 2016a. Вип. 1(6). С. 66–75.
- Горішний П. Геоморфологічне картографування кар'єрів // Вісник Львів. ун-ту. Сер. геогр. 2016b. Вип. 50. С. 119–130.
<http://dx.doi.org/10.30970/vgg.2016.50.8687>
- Дмитрук Р., Богущкий А., Томенюк О. Малакофауна лесового розрізу Волочиськ (Хмельниччина) // Леси і палеоліт Поділля: тези доповідей XIX українсько-польського семінару (Тернопіль, 23–27 серпня 2015 р.). Львів, 2015. С. 36–38.
- Колтун О. В. Аналіз класифікацій антропогенного рельєфу // Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету ім. Володимира Гнатюка. Сер. Географія. Тернопіль: ТНПУ, 2005. Вип. 1. С. 15–19.
- Agisoft Metashape. URL: https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro_1_5_ru.pdf.
- ESRI ArcGIS 9. ArcMap. Tutorials. Readlands: ESRI PRESS, 2004. 558 p.
- Fedorowicz S., Łanczont M., Bogucki A., Standzikowski K., Kusiak J., Mroczek P., Sitkiewicz P. Datowania luminescencyjne sekwencji lessowo-glebowej Wolochysk (Wyżyna Podolska) // Леси і палеоліт Поділля: тези доповідей XIX українсько-польського семінару (Тернопіль, 23–27 серпня 2015 р.). Львів, 2015. С. 35.
- Fedorowicz S., Łanczont M., Mroczek P., Bogucki A., Standzikowski K., Moska P., Kusiak J., Sitkiewicz P., Bluszcz A. Luminescence dating of the Volochysk

- section – a key Podolian loess site (Ukraine) // *Geological Quarterly*. 2018. Vol. 62(3). S. 729–744. <https://doi.org/10.7306/gq.1436>
- Nagendran S. K., Ismail M. A. M. Application of UAV Photogrammetry for Quarry Monitoring // *Warta Geologi*. 2020. Vol. 46(2). P. 76–81. <https://doi.org/10.7186/wg462202006>.
- Nikolakopoulos K. G., Koukouvelas I., Argyropoulos N., Megalooikonomou V. Quarry monitoring using GPS measurements and UAV photogrammetry // *Proc. SPIE 9644, Earth Resources and Environmental Remote Sensing/GIS Applications VI, 96440J* (20 October 2015). 2015. <https://doi.org/10.1117/12.2195402>.
- PHANTOM 4 RTK. URL : <https://www.dji.com/phantom-4-rtk/info>.
- Saponaro A., Dipierro G., Cannella E., Panarese A., Galiano A. M., Massaro A. A UAV-GPR Fusion Approach for the Characterization of a Quarry Excavation Area in Falconara Albanese, Southern Italy // *Drones*. 2021. Vol. 5(2). Article number 40. <https://doi.org/10.3390/drones5020040>.
- SRTM 90 m DEM Digital Elevation Database. URL : <http://srtm.csi.cgiar.org>.
- Stöcker C., Eltner A., Karrasch P. Measuring gullies by synergetic application of UAV and close range photogrammetry – A case study from Andalusia, Spain // *Catena*. 2015. Vol. 132. P. 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2015.04.004>.

REFERENCES

- Bermes, A., Bogucki, A., Tomeniuk, O., Vasylenko, A., 2021. Prospects of using UAVs for the study of erosional processes. In *Problems of geomorphology and palaeogeography of the Ukrainian Carpathians and adjacent areas: proceedings from the 12th scientific and practical seminar with international participation* (November 25–26, 2021). Lviv : Ivan Franko National University of Lviv, 43–47. (In Ukrainian).
- Horishnyy, P., 2016a. Geomorphological structure of Rozvadviv quarry (Lviv region). In *Problems of geomorphology and paleogeography of the Ukrainian Carpathians and adjacent areas: Collection of scientific papers*. Lviv : Publishing Center of Ivan Franko National University of Lviv, 1(6), 66–75. (In Ukrainian).
- Horishnyy, P., 2016b. Geomorphological mapping of quarries. In *Visnyk of the Lviv University. Series Geography*, 50, 119–130. <http://dx.doi.org/10.30970/vgg.2016.50.8687>. (In Ukrainian).
- Dmytruk, R., Bogucki, A., Tomeniuk, O., 2015. Malacofauna of the loess section of Volochysk (Khmelnyskyi region). In *Loess and Paleolithic of Podillia: Proceedings from the XIX Ukrainian-Polish seminar* (Ternopil, August 23–27, 2015). Lviv, 36–38. (In Ukrainian).
- Koltun, O. V., 2005. Analysis of classification of anthropogenic relief. In *The Scientific Issues of Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University. Series Geography*, 1, 15–19. (In Ukrainian).
- Agisoft Metashape. URL : https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro_1_5_ru.pdf
- ESRI ArcGIS 9. ArcMap. Tutorials, 2004. Readlands : ESRI PRESS, 558.
- Fedorowicz, S., Łanczont, M., Bogucki, A., Standzikowski, K., Kusiak, J., Mroczek, P., Sitkiewicz, P., 2015. Datowania luminescencyjne sekwencji lessowo-glebowej Wolochysk (Wyżyna Podolska). In *Loess and Paleolithic of Podillia: Proceedings from the XIX Ukrainian-Polish seminar* (Ternopil, August 23–27, 2015). Lviv, 35. (In Polish).

- Fedorowicz, S., Łanczont, M., Mroczek, P., Bogucki, A., Standzikowski, K., Moska, P., Kusiak, J., Sitkiewicz, P., Bluszcz, A., 2018. Luminescence dating of the Volochysk section – a key Podolian loess site (Ukraine). In *Geological Quarterly*, 62(3), 729–744. <https://doi.org/10.7306/gq.1436>
- Nagendran, S. K., Ismail, M. A. M., 2020. Application of UAV Photogrammetry for Quarry Monitoring. In *Warta Geologi*, 46(2), 76–81. <https://doi.org/10.7186/wg462202006>.
- Nikolakopoulos, K. G., Koukouvelas, I., Argyropoulos, N., Megalooikonomou, V., 2015. Quarry monitoring using GPS measurements and UAV photogrammetry. In *Proc. SPIE 9644, Earth Resources and Environmental Remote Sensing/GIS Applications VI, 96440J* (20 October 2015). <https://doi.org/10.1117/12.2195402>.
- PHANTOM 4 RTK. URL : <https://www.dji.com/phantom-4-rtk/info>.
- Saponaro, A., Dipierro, G., Cannella, E., Panarese, A., Galiano, A. M., Massaro, A., 2021. A UAV-GPR Fusion Approach for the Characterization of a Quarry Excavation Area in Falconara Albanese, Southern Italy. In *Drones*, 5(2), 40. <https://doi.org/10.3390/drones5020040>.
- SRTM 90 m DEM Digital Elevation Database. URL : <http://srtm.csi.cgiar.org>.
- Stöcker, C., Eltner, A., Karrasch, P., 2015. Measuring gullies by synergetic application of UAV and close range photogrammetry – A case study from Andalusia, Spain. In *Catena*, 132, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2015.04.004>.

