

DOI: <https://doi.org/10.36023/ujrs.2019.22.157>

УДК 504.064.3:528.8.04:(622.3:552.4):(477.42)

Особливості супутникового моніторингу територій видобутку кристалічних порід в Житомирській області за даними багатоспектральної та радарної космічної зйомки

Р. М. Шевчук*, В. Є. Філіпович, А. Г. Мичак, М. С. Лубський

ДУ "Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України", вул. О. Гончара 55-б, Київ, 01054, Україна

У статті розглядаються можливості застосування оптичних та радарних супутникових даних для оцінки екологічного стану та якості рекультивациі земель порушених відкритим видобуванням кристалічних порід. Вирішення проблеми ідентифікації гірничих виробок з-поміж кам'яних відвалів та ділянок виходу кристалічного фундаменту пропонується шляхом аналізу цифрових моделей рельєфу. В якості вихідних даних для побудови ЦМР було використано радарні інтерферограми. Проведення досліджень здійснювалося в на трьох еталонних ділянках в межах Коростишівського, Черняхівського та Хорошівського районів Житомирської області. В результаті проведення досліджень було виявлено один не рекультивований покинутий кар'єр та несанкціоноване звалище відходів каменеобробного виробництва. Зазначено, що вплив відкритого видобування кристалічних порід на навколишнє середовище не є настільки значним, як вплив від відкритого видобування бурштину та ільменіту, а гірничо-видобувні роботи проводяться в рамках чинного законодавства.

Ключові слова: кристалічні породи, дистанційне зондування Землі, радарна інтерферометрія, відкрите видобування, охорона навколишнього середовища

© Р. М. Шевчук, В. Є. Філіпович, А. Г. Мичак, М. С. Лубський. 2019

Вступ

Кристалічні породи — гірські породи будь-якого походження, що складаються з кристалічних зерен, але зазвичай під терміном "кристалічні породи" розуміють магматичні і метаморфічні породи (<http://enc.sci-lib.com/article0006314.html>). Кристалічні породи (граніти, габро, лабрадорити тощо) мають своєрідні унікальні властивості: високу твердість, міцність, стійкість до фізичного та хімічного вивітрювання, здатність до полірування, і разом з тим, чудовий естетичний зовнішній вигляд, що зумовлює їх широке використання у найрізноманітніших галузях національного господарства, від будівництва доріг до ювелірних виробів.

Основні родовища кристалічних порід зосереджено в межах Українського Щита, зокрема, у Житомирській області. Тут сконцентровано багато родовищ з великими запасами гранітної сировини широкого кольорового спектру та оригінальної текстури. Малопотужний осадовий чохол, близькість кристалічного фундаменту, який місцями виходять на поверхню, разом із високим попитом на цю сировину, призвели до інтенсивного видобування тут гранітів, починаючи ще з початку минулого сторіччя і триває до нині.

Актуальність досліджень

Попри позитивні моменти з розробки гранітних родовищ, таких як надходження податкових коштів в державну казну, створення робочих місць, існує ряд негативних впливів на

довкілля в результаті їх видобутку, в тому числі і порушення природоохоронного законодавства. Надрокористувачі часто продовжують видобуток після завершення терміну дії спецдозволів, виходять за межі ліцензійних ділянок, створюють несанкціоновані звалища з відходів виробництва тощо. Негативний вплив на довкілля внаслідок видобування граніту проявляється і в скороченні площ сільськогосподарських та лісових земель, збільшення техногенного навантаження та активізації тріщинуватості масивів гірських порід за рахунок вибухових робіт і зняття горного навантаження (Мороз, 2004), що в свою чергу, впливає на природний стан і функціонування перших водоносних горизонтів.

Відтак, в Україні, існує необхідність проведення геоecологічного моніторингу територій відкритого видобутку кристалічних порід, з метою науково-виробничого супроводу розробки родовищ кар'єрним способом, контролю екологічного стану, дотримання законодавчих актів щодо надрокористування, а також, оцінка якості проведення відповідних рекультивацийних робіт.

Ефективне здійснення цих завдань можливе завдяки застосуванню даних дистанційного зондування Землі. Перевагами в цьому випадку є об'єктивна доступність історичної інформації з часу заснування та динаміки розвитку об'єктів відкритого видобутку, високий рівень детальності і достовірності супутникових даних, можливість отримувати інформацію про малодоступних територіях (приватизованих та закритих об'єктах господарювання), і звичайно, відносно мало затратна технологія оперативного отримання даних.

Аналіз останніх досліджень та публікацій з даної проблеми свідчить про ефективність застосування даних дистан-

* E-mail: Ruslancarse@gmail.com. Тел. + 380 96 90 817 86. ORCID 0000-0001-6610-4927. (Р. М. Шевчук)

ційного зондування Землі для картування та ідентифікації гранітів (Bertoldi, 2011; Bertoldi et al., 2011; Watts & Harris, 2005) та моніторингу їх видобутку (Moeletsi & Tesfamichael, 2017). Запропоновані дослідниками методики включали різні способи обробки супутникових зображень: співвідношення каналів (Bertoldi et al., 2011), контрольовану та неконтрольовану класифікацію (Moeletsi & Tesfamichael, 2017), співвідношення каналів, відносна глибина абсорбції, аналіз головних компонент, розрахунок спектральних індексів (Bertoldi, 2011).

Усі ці методики базуються на обробці спектральних супутникових даних і не завжди дозволяють однозначно класифікувати території видобування гранітів в межах густонаселених районів, оскільки спектральні сигнатури кар'єрів, будівель з граніту та гранітних звалищ є подібними.

Основна мета і задачі досліджень

Головною метою роботи є визначення можливостей супутникового моніторингу для оцінки екологічного стану і якості рекультивації порушених територій внаслідок кар'єрного видобування гранітів на прикладі родовищ Житомирської області.

Для досягнення основної мети вирішувались наступні задачі:

- удосконалення методичних прийомів застосування багатозональної космічної зйомки для виявлення об'єктів видобування граніту і порушених внаслідок цього земель.
- застосування радарної інтерферометрії для вирішення природних виходів кристалічних порід від звалищ відходів виробництва;
- розробка методичних підходів ідентифікування гранітних кар'єрів та відокремлення їх від природних гранітних виходів і несанкціонованих гранітних звалищ в умовах густонаселених регіонів;
- модернізація методичних підходів з оцінки якості рекультивації порушених територій внаслідок видобутку кристалічних порід.

Методика дослідження та вихідні дані

Основні методичні засади щодо вирішення задач супутникового моніторингу територій видобутку кристалічних порід наведено на рис. 1.

Вихідними даними для проведення досліджень слугували багатоспектральні супутникові знімки Sentinel 2 та радарні дані Sentinel 1, а також відкрита інформація публічної кадастрової карти та карти спецдозволів на видобування корисних копалин.

Запропонована методика супутникового геомоніторингу територій видобування кристалічних порід апробована на окремих площах Житомирщини, а результати досліджень розглядаються поетапно, згідно послідовності, що наведена на рис. 1.

Результати досліджень

Відбір багатоспектральних супутникових даних здійснюють за критеріями відсутності хмарного покриву та дефективних пікселів. Попередня обробка включає лише атмосферну корекцію оптичних знімків Sentinel 2, максимальний рівень обробки яких — L1C (виконано радіометричне калібрування та орторектифікацію) і здійснюється модулем Sen2cor, що інтегрований у відкрите програмне середовище SNAP.



Рис. 1. Методична схема супутникового моніторингу територій видобування кристалічних порід

Для виділення ділянок поверхні яких вкрита кристалічними породами (гірничих виробок, відвалів, звалищ, виходів фундаменту на поверхню) за спектральними сигнатурами виконується контрольована класифікація за методом опорних векторів (Support vector machine). Оскільки більша частина поверхні території Житомирського Полісся вкрита рослинним покривом, то для виділення чітких меж таких об'єктів проводиться розрахунок вегетаційного індексу NDVI (рис. 2) та задається максимальний поріг значень індексу шляхом застосування растрової арифметики (рис. 3)

Таким чином в результаті аналізу спектральних сигнатур об'єктів, пов'язаних з видобуванням кристалічних порід, класифікації зображень з навчанням, та растрової арифметики отримується клас зображення, який об'єднує у собі декілька різнорідних об'єктів, а саме: видобувні кар'єри, гранітні відвали, звалища відходів виробництва, кам'яні будівлі тощо.

Для розрізнення цих об'єктів запропоновано використання радарної інтерферометрії на основі даних супутника Sentinel 1. В основу цієї ідеї покладено, по-перше можливість оперативного отримання високоточної цифрової моделі місцевості незалежно від погодних умов і відслідковування змін рельєфу земної поверхні в місцях кар'єрного видобування корисних копалин. По-друге, за рахунок різниці абсолютних і відносних висот (десятьки метрів) між положенням власне виробок і виходів порід фундаменту та гранітних звалищ, між виробкою та відвалами, можлива їх роздільна ідентифікація (рис. 4).

Дані радарної інтерферометрії в комплексі з традиційним структурним дешифруванням і аналізом попередніх геолого-геофізичних досліджень дозволяють дослідити розломно-тріщинну структуру і виявляти малоамплітудні розривні порушення (найчастіше у вигляді зон тріщинуватості та лінеаментів) (рис. 5).

З подібними зонами у межах кристалічних масивів УЩ ча-

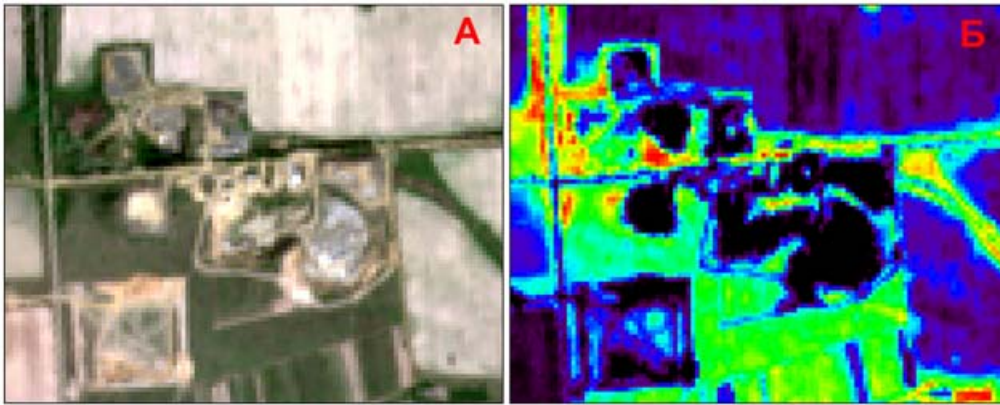


Рис. 2. Об'єкти гірничого відводу ділянки видобування гранітів поблизу с. Кам'яний брід Коростишівського району. А — синтез каналів знімка Sentinel 2 у натуральних кольорах, Б — показник індексу NDVI

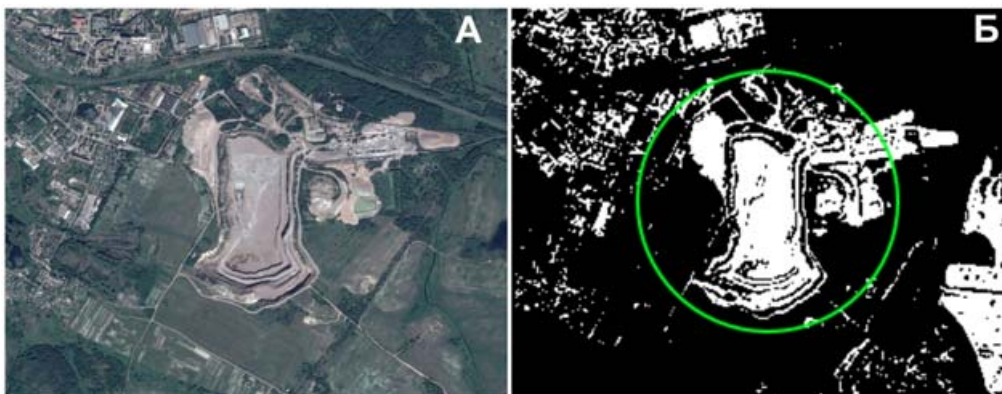


Рис. 3. Ідентифікація гірничих виробок шляхом обрахунку порогових значень індексу NDVI. А — космічне зображення Коростенського кар'єру, Б — порогові значення індексу NDVI. На зображенні (у межах зеленого кола) чітко виділяються площа і борти кар'єру

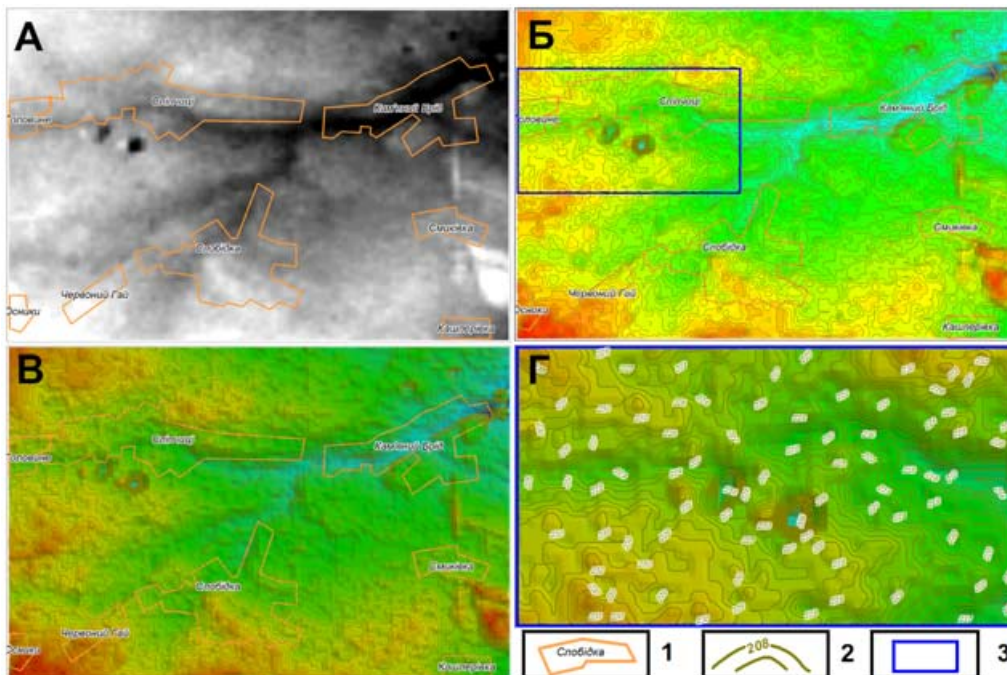


Рис. 4. Послідовне застосування радарних даних супутника Sentinel 1 для розпізнавання об'єктів, пов'язаних з видобуванням граніту. А — Оригінальна цифрова модель місцевості (ЦММ) за результатами радарної інтерферометрії (обробка пари радарних даних від 18.04.18 і 01.05.18). Б — Цифрова модель рельєфу (ЦМР), умовний формат 2D. В — Цифрова модель рельєфу (ЦМР), умовний формат 3D. Г — Деталізація рельєфу локальної території видобування з кар'єрами і відвалами, що чітко фіксуються у за даними гіпсометрії. 1 — контури населених пунктів. 2 — ізогіпси рельєфу. 3 — контур ділянки детального аналізу результатів радарної інтерферометрії

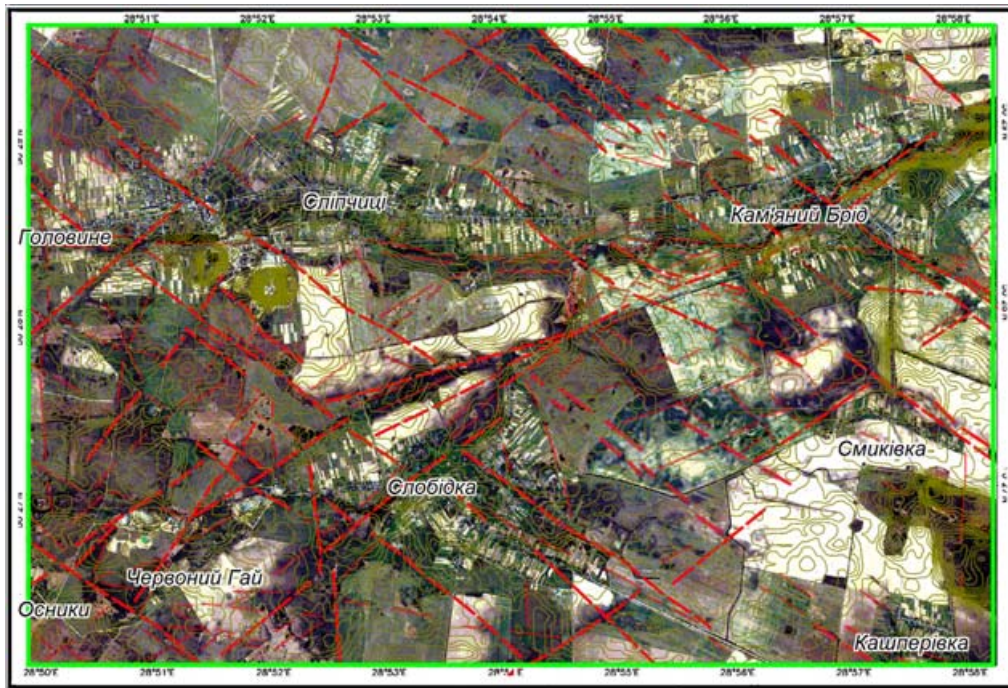


Рис. 5. Прогноз розвитку тріщинуватості гірських порід кар'єрних територій за результатами структурного дешифрування КЗ в межах ділянки Головине–Кам'яний Брід

сто пов'язані джерела питної води, тому не достатня увага до цих утворень при розробці корисних копалин у кристалічних породах може провокувати розкриття тріщин, що в свою чергу може призвести, як до розвантаження вод зон тріщинуватості, так і до їх біологічного та хімічного забруднення.

Переважає більшість дослідників, що вивчають зони тріщинуватості, тріщини в гірських породах, пов'язують їх утворення, розвиток та масштаби з особливостями ендокінетичних процесів. Тобто, це природний прояв розвитку земної кори. Разом з тим, при видобутку гранітних виробів в кар'єрах, часто використовують вибухівку, яку закладають в попередньо пробурених свердловинах. Постійні потужні вибухові роботи порушують монолітність гірських порід, таким чином, провокується утворення нових “техногенних” зон тріщинуватості, розкриття існуючих тріщин. У свою чергу, такий метод розробки впливає на зміну природного функціонування водоносних горизонтів прилеглих до кар'єрів сільськогосподарських та лісових територій.

Відома тенденція співпадіння тріщин з простяганням лінементів дає можливість використання даних дистанційних зйомок для прогнозування розвитку зон тріщинуватості гірських порід в кар'єрних виробках, їх оточенні (див. рис. 5.) і таким чином, прогнозувати шляхи міграції і розвантаження водоносних горизонтів.

Однією з найважливіших задач супутникового моніторингу територій видобування кристалічних порід є контроль за станом об'єктів, що підлягають обов'язковій рекультивції та оцінка якості її проведення. Для виявлення фактів порушення законодавства отримується та аналізується інформація з публічної кадастрової карти та карти спеціальних дозволів. Наприклад, якщо ідентифікована на попередніх етапах ділянка порушених земель згідно кадастрової інформації має сільськогосподарське чи лісгосподарське цільове призначення, то це свідчить про відсутність рекультивациі або наявність несанкціонованого звалища відходів виробництва з обробки чи видобування каменю.

Далі на основі апріорної та отриманої інформації складають попередні карти порушених територій. Достовірність отриманих даних перевіряється на тестових ділянках у польових умовах. Дослідження ведуть, як за допомогою наземних (піших та автомобільних) спостережень, так і за допомогою безпілотних літальних апаратів (БПЛА).

На наступному етапі вносять корективи до попередніх карт, оцінюють вплив видобування на довкілля, правовий статус територій та оцінюється якість проведеної рекультивациі після припинення видобувних робіт. Можливий ретроспективний аналіз даних ДЗЗ з метою аналізу динаміки розвитку порушених земель і оцінки їх сучасного стану.

Всі отримані в процесі досліджень дані вносять до тематичної ГІС, як бази (основи) для подальшого моніторингу порушених земель.

Для валідації розробленої методики було обрано декілька тестових ділянок у межах Коростенського, Коростишівського і Хорошівського районів Житомирської області. Зважаючи на те, що основні польові дослідження велись на двох тестових ділянках у Коростишівському районі (рис. 6) зупинимось на них більш детально.

Перша тестова ділянка розташована на півночі Коростишівського району між селищами Головине–Кам'яний брід. Тут знаходиться більше десятка кар'єрів розташованих уздовж річки Бистріївка та її лівої притоки, де кристалічні породи залягають близько до поверхні (рис. 7, див. рис. 4).

Видобуваються граніти, лабрадорити, габро, є кілька підприємств по обробці каменю. Порушень законодавства виявлено не було: видобування здійснюється в межах ліцензійних ділянок, відвали експлуатуються, серед ділянок з проведеною неналежним чином рекультивациєю виявлена лише одна виробка, що знаходиться за селом Кам'яний брід, інші ж колишні кар'єри переважно повністю затоплені.

На північ від села Кам'яний брід знаходяться кілька

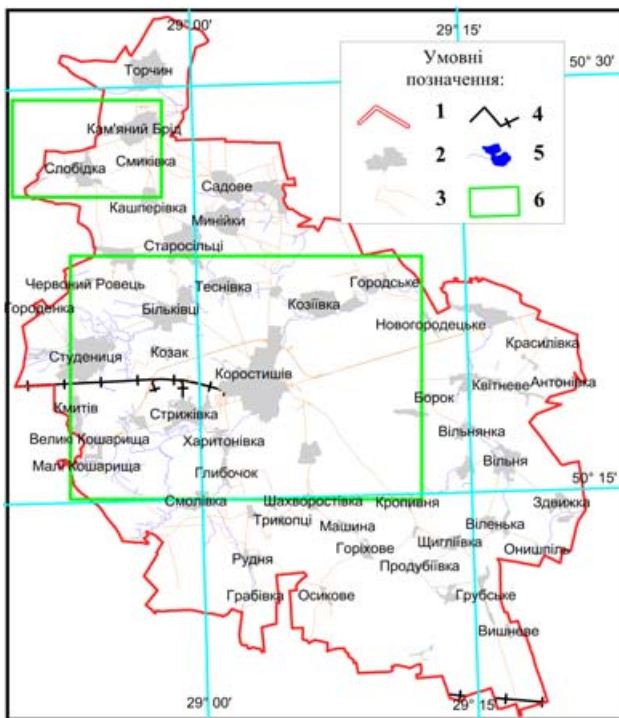


Рис. 6. Карта розміщення полігонів наземних досліджень у Коростишівському районі.

1 — адміністративні межі району, 2 — населені пункти, 3 — дороги, 4 — залізничні шляхи, 5 — водні об'єкти, 6 — ділянки наземних спостережень

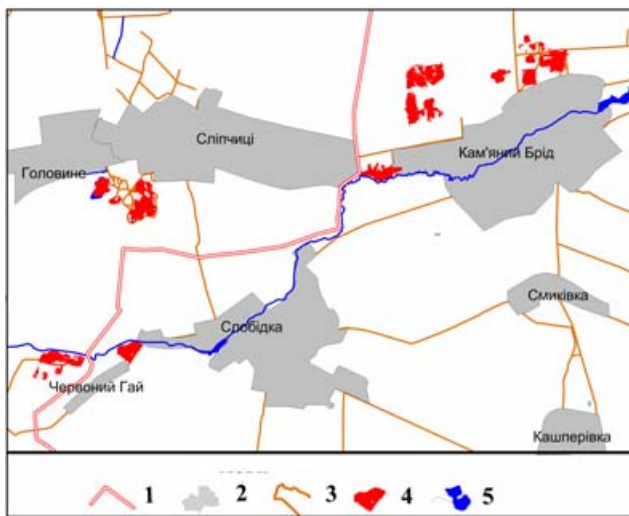


Рис. 7. Картосхема розміщення діючих кар'єрів на тестовій ділянці Головіне–Кам'яний Бід.

1 — межа Коростишівського та Черняхівського районів, 2 — населені пункти, 3 — дороги, 4 — об'єкти гірничого відводу, 5 — водні об'єкти

кар'єрів розташованих паралельно руслу річки Бистрийка, на яких видобувають граніти та габро. Кар'єри належать кільком різним підприємствам, а видобування здійснюється виключно в межах ліцензійних ділянок. Гірничі виробки, глибина яких перевищує 15 м (рис. 8), оточені високими (понад 10 м) відвалами розкритих порід та непридатних для виробництва кам'яних брил (так звані сколи) (рис. 9, 10).

Окрім діючих кар'єрів тут є також ділянка відведена для

геологічного вивчення надр та один покинутий кар'єр (рис. 11), рекультивация на якому не проведена: підшва кар'єру затоплена водою, борти не виположені, а сама виїмка оточена відвалами, що почали заростати деревами, є покинуті будівлі. На призначеній для вивчення надр ділянці проведено розкриття, роботи та фактично здійснюється видобування (рис. 12), проте говорити про порушення законодавства некоректно, оскільки нормативні документи дозволяють пробне видобування при вивченні надр (Наказ про затвердження..., 2003).

Серед негативних екологічних наслідків на ділянці Головіне-Кам'яний Бід варто виділити запилення повітря в результаті роботи щебеневих заводів, зміна гідрогеологічного режиму функціонування перших водоносних горизонтів.

У межах другої, південної тестової ділянки стан проведення рекультивации оцінювався на прикладі трьох вироблених кар'єрів в околицях міста Коростишева.

Результати обробки дистанційних даних показали, що рекультивация проведена добре: на місці колишніх виробок знаходяться озера оточені лісом, проте біля двох з них є маленькі ділянки з кристалічними породами на поверхні (рис. 13).

Наземні спостереження підтвердили високий рівень проведення рекультивации: відкритих відвалів навколо кар'єрів немає, схили виположені. Територія найпівденнішого кар'єру, відомого під назвою Коростишівський каньйон, використовується в рекреаційних цілях, тут є штучний піщаний пляж та альтанки для відпочиваючих на берегах (рис. 14).

Разом з цим на північ від села Бобрик в лісовому масиві в межах тестової ділянки виявлено несанкціоноване звалище відходів виробництва з обробки каменю, що складається з гранітних уламків різної форми та розмірів (рис. 15), в самому ж селі функціонує цех по обробці граніту, який, імовірно, і є джерелом відходів.

В якості тестової ділянки в Хорошівському районі Житомирської області було обрано Лезниківський кар'єр червоного граніту (рис. 16). Кар'єр є одним із найдавніших і найбільших гранітних кар'єрів в Україні. Його довжина 1000–1070 метрів, ширина більше 700, а глибина понад 50 метрів (рис. 17). На сьогодні підраховані запаси гранітного червоного каменю оцінюються в 65 млн м куб.

Перші відомості про видобуток червоного граніту неподалік села Лизники сягають 1898 року. Найбільш активно Лезниківський кар'єр розроблявся з кінця 1930-х років і до початку 1990-х. Добували червоний граніт дуже інтенсивно, з проектною потужністю до 1 млн т на рік. Основним методом видобутку були постійні потужні вибухові роботи, в результаті яких порушувалась монолітність гірських порід, провокувалось утворення нових зон тріщинуватості з подальшим їх розкриттям і масштабністю лінійного прояву. Що, в свою чергу, мало вплив на зміну природного функціонування водоносних горизонтів прилеглих сільськогосподарських територій.

У наші дні кар'єр продовжує інтенсивно працювати. В процесі розробки покладів гранітного каменю виробляють: гранітні блоки, сляби, поліровану плитку, габіони, бруківку, щебінь, відсів, крихту.

Видобуток та підготовка гранітних виробів здійснюється на двох гірничих виробках з використанням каменерізів, що значно зменшує шумове та пилове забруднення навколишньої території у порівнянні з кар'єрами ділянки Головіно–Кам'яний Бід, де продовжують використовувати вибухівку. Третя, найбільша виїмка, якій понад 100 років, залишається не рекультивованою. З західної сторони вона оточена відвалами відходів виробництва розташованого тут заводу по переробці каменю.



Рис. 8. Гранітна виробка в с. Кам'яний Брід Коростишівського району



Рис. 9. Відвали розкривних порід та каменю поряд з вищенаведеною гранітною виробкою



Рис. 10. Габрові сколи на одному із відвалів



Рис. 12. Знятий шар розкривних порід та шматки каміння на ділянці геологічного вивчення надр

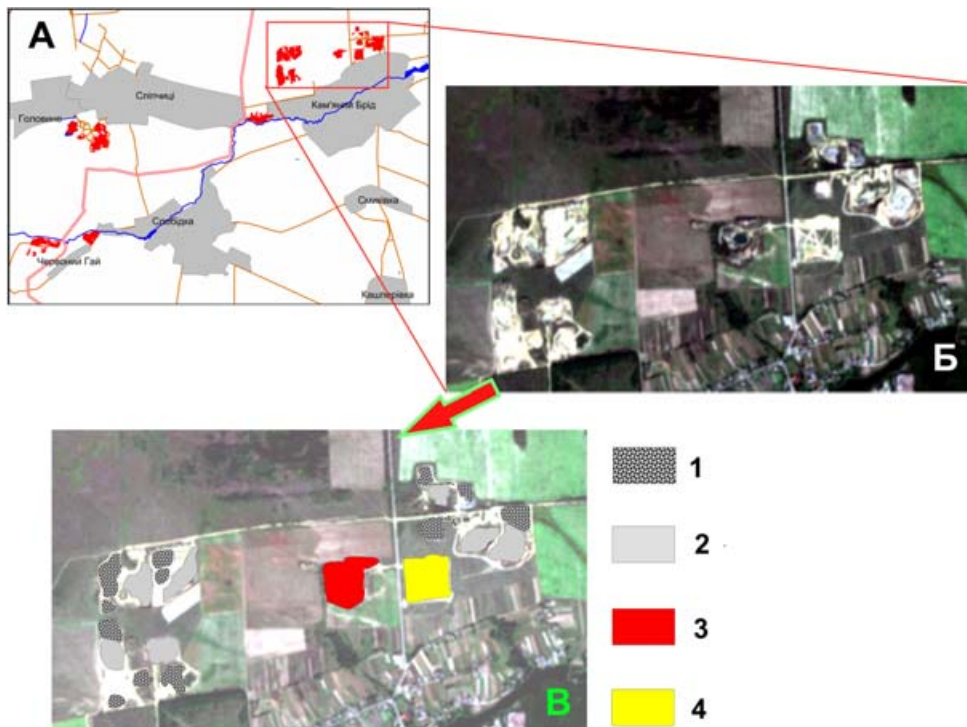


Рис. 11. Схема розташування гірничих об'єктів у с. Кам'яний Брід.

А — картосхема ділянки Головино-Кам'яний Брід; Б — фрагмент супутникового знімка Sentinel 2А; В — гірничі об'єкти: 1 — відвали, 2 — діючі виробки, 3 — нерекультивована ділянка, 4 — ділянка відведена під геологічне вивчення надр

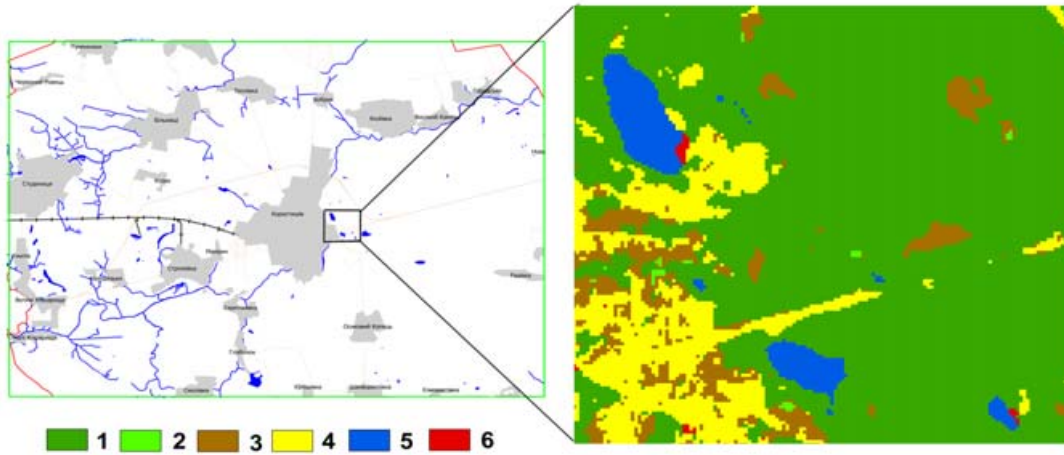


Рис. 13. Результати класифікації космічних даних. Затоплені гранітні кар'єри в околицях м. Коростишів — рекреаційні зони. 1 — лісові насадження, 2 — чагарники, 3 — відкритий ґрунт, 4 — забудова, 5 — водна поверхня затоплених кар'єрів, 6 — виходи на поверхню кристалічних порід



Рис. 14. Коростишівський каньйон — приклад вдалого поєднання господарської і природоохоронної діяльності. Фото М. Максименкової

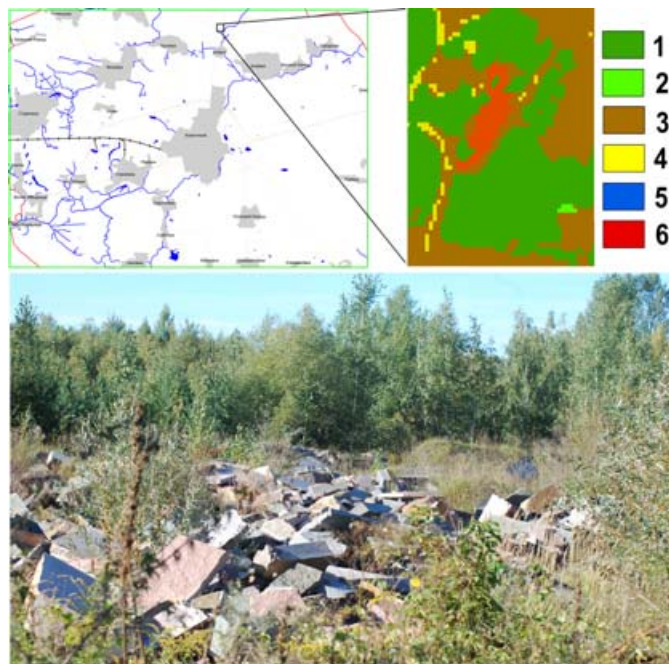


Рис. 15. Несанкціоноване звалище відходів виробництва з обробки граніту. 1 — лісові насадження, 2 — чагарники, 3 — відкритий ґрунт, 4 — забудова, 5 — водна поверхня, 6 — звалище кристалічних порід

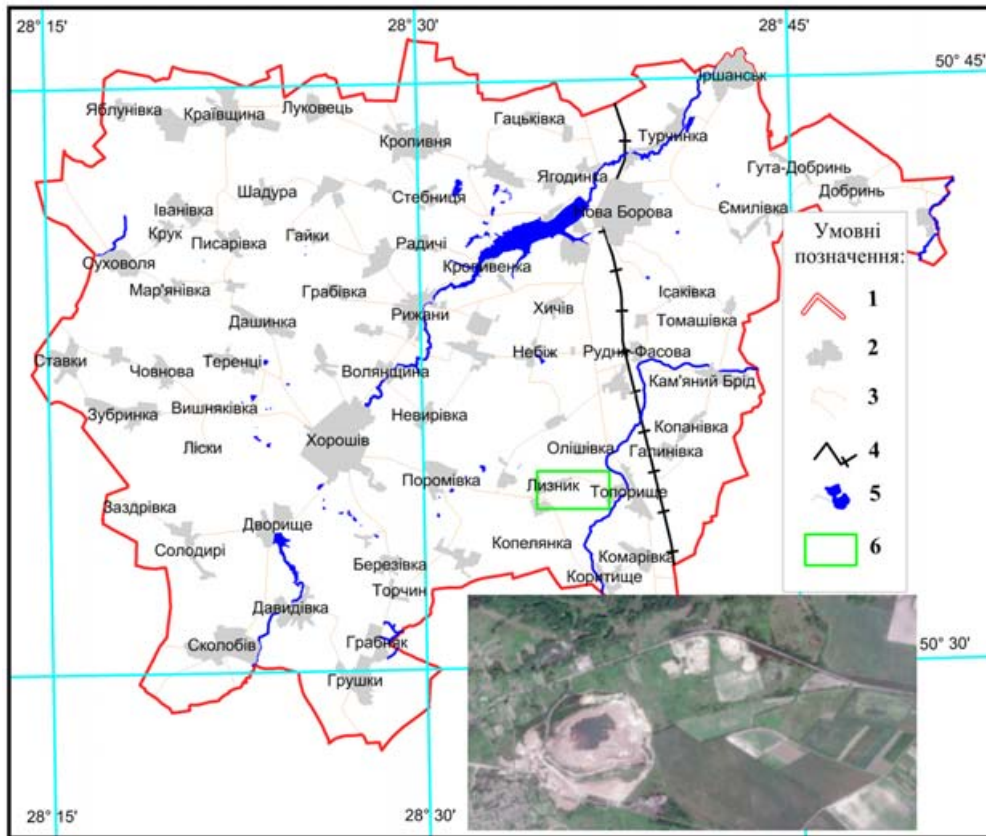


Рис. 16. Карта розміщення тестової ділянки наземних досліджень у Хорошівському районі Житомирської області. 1 — адміністративні межі району, 2 — населені пункти, 3 — дороги, 4 — залізничні шляхи, 5 — водні об'єкти, 6 — межі тестової ділянки

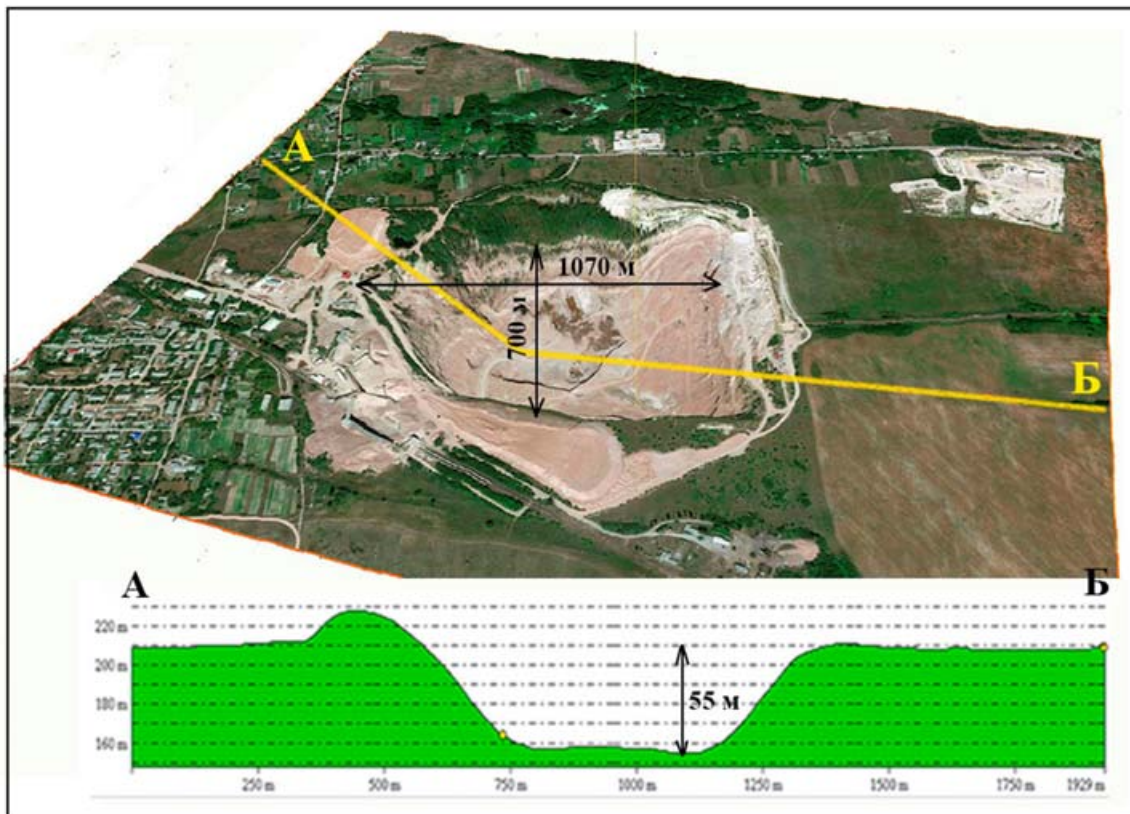


Рис. 17. Тривимірний профіль Лезниківського кар'єру та гіпсометричний профіль (А–Б) через його центральну частину

Висновки

Загалом видобування кристалічних порід не супроводжується рядом настільки гострих проблем, як, приміром, при видобуванні ільменіту чи бурштину (Філіпович, 2015; Філіпович, 2015; Філіпович & Шевчук, 2016; Shevchuk, 2018; Shevchuk, 2018), в правовому та екологічному аспектах. Проблема нелегального видобування кристалічних порід, насамперед граніту, яка сьогодні існує в Україні є відносно рідкісним явищем, що зумовлено такими властивостями породи як твердість та міцність. Технологічний процес видобування вимагає наявності спеціальних машин та обладнання, тому зазвичай нелегальною діяльністю займаються підприємства які продовжують видобування корисної копалини після анулювання чи призупинення дії ліцензії. В процесі наших досліджень фактів здійснення подібної протиправної діяльності виявлено не було.

В екологічному відношенні видобування супроводжується загальними негативними для відкритого видобування явищами такими як зняття ґрунтово-рослинного шару та формування відвалів пустих порід, які знову-таки займають певну площу раніше вкриту рослинністю. Негативний вплив на водні горизонти менший, оскільки потужність розкритих порід незначна, тому впливу гірничої діяльності піддається верховодка, рідше перший водоносний горизонт, проте видобування може призводити до розвантаження вод зон тріщинуватості, які іноді бувають єдиним джерелом питної води. Найсерйознішою проблемою є пилове забруднення в результаті вибухів або роботи щебеневих заводів, що практично завжди розміщуються поряд з кар'єрами.

При моніторингу територій видобування кристалічних порід важливим є достовірне виявлення об'єктів, пов'язаних з видобутком, обробкою і переробкою гранітної сировини. Запропонована методика комплексного використання багатоспектральної і радарної зйомки дозволяє вирішувати це завдання. Разом з цим моніторинг спрямований і на вирішення ряду інших задач серед яких основними є контроль за здійсненням рекультивациі, виявлення порушень законодавства в процесі ведення гірничих робіт та дослідження впливу на навколишнє природне середовище. Рекультивациа гранітних кар'єрів часто зводиться до затоплення виїмки ґрунтовими водами з подальшим створенням технічних водойм або рекреаційних територій та часткового виположування бортів, тому оцінити якість її проведення за даними супутникової зйомки можна лише частково, опираючись на наявність або відсутність навколо виробки відвалів пустої породи.

Розроблена і апробована на практиці технологічна схема супутникового моніторингу динаміки порушеності геологічного середовища внаслідок видобування корисних копалин з кристалічних порід (граніту, габро, лабрадориту) показала високу достовірність результатів і може бути рекомендована до впровадження у підприємствах екологічного, земельного і та гірничого контролю.

Література

- Мороз А. И. Самонапряженное состояние горных пород. М.: Издательство Московского государственного горного университета. 2004. 288 с.
- Про затвердження Положення про порядок організації та виконання дослідно-промислової розробки родовищ корисних копалин загальнодержавного значення [Чинний від 31. 05. 2003]. Київ: Міністерство екології та природних ресурсів України, 2003. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0377-03>

- Філіпович В.Є. Оперативний контроль поширення нелегального видобутку бурштину та оцінка збитків заподіяних державі за матеріалами багатозональної космічної зйомки. *Екологічна безпека та природокористування*. 2015. № 20 (4). С. 91–97.
- Філіпович В. Є. Супутниковий моніторинг територій незаконного видобутку бурштину. *Український журнал дистанційного зондування Землі*. 2015. № 6. С. 4–7. URL: <http://www.ujrs.org.ua/ujrs>.
- Філіпович В. Є., Шевчук Р. М. Методика оцінки наслідків видобутку бурштину за багатоспектральними супутниковими знімками. *Український журнал дистанційного зондування Землі*. 2016. № 11. С. 15–21. URL: <http://www.ujrs.org.ua/ujrs>.
- Bertoldi L., Massironi M., Visonà D., Carosi R., Montomoli Ch., Gubert F., Naletto G., Pelizzo M. G. Mapping the Buraburi granite in the Himalaya of Western Nepal: Remote sensing analysis in a collisional belt with vegetation cover and extreme variation of topography. *Remote Sensing of Environment*. 2011. Vol. 115. Iss. 5. pp. 1129–1144.
- Bertoldi L. Remote sensing of granitoid rocks: image elaboration and spectral signatures. Case studies on the Morocco calc-alkaline and Himalayan peraluminose granitoids. *PLINIUS*, 2011, Vol. 37. pp. 48–53.
- Moeletsi R. S., Tesfamichael S. G. Assessing land cover changes caused by granite quarrying using remote sensing. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLII-3/W2. 37th International Symposium on Remote Sensing of Environment, 8–12 May 2017. Tshwane, South Africa, 2017. pp. 119–124.
- Shevchuk R. Satellite monitoring for detection of reclamation violation over titanium ore mining territories. *Znanstvena misel*. 2018. Vol. 21. pp. 18–23.
- Shevchuk R. Technique for Satellite Monitoring of Illegal Amber Mining Territories Based on Integrated Landsat and Sentinel Data Processing. *Journal of the Georgian Geophysical Society*. 2018. Vol. 21. Iss. 1. pp. 26–32.
- Watts D. R., Harris N. B. Mapping granite and gneiss in domes along the North Himalayan antiform with ASTER SWIR band ratios. *Geological Society of America Bulletin*. 2005. Vol. 117. PP. 879–886.

References

- Moroz, A. I. (2004). Self-stressed state of rocks. Moscow: Publishing House of Moscow State Mining University. (In Russian).
- Regulation on procedure of organization and implementation of pilot development of national significance mineral deposits [Entry into force, gone 31. 05. 2003]. Kyiv: Ministry of ecology and natural resources of Ukraine, 2003. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0377-03>
- Filipovich, V. E. (2015). Operational control of the illegal amber extracting spread and estimation of losses caused to the state using the materials of multispectral space surveys. *Ecological Safety and Natural Resources Management*, 20, 91–97. (In Ukrainian).
- Filipovich, V. E. (2015). Satellite monitoring for the areas of illegal extraction of amber. *Ukrainskyj zhurnal dystancijnogho zonduvannja Zemli*, 6, 4–7. Retrieved from <http://www.ujrs.org.ua/ujrs>. (In Ukrainian).
- Filipovich, V. E., Shevchuk, R. M. (2016). The methodology and technology assessment of damage caused to Ukrainian government because of illegal amber extraction. *Ukrainskyj zhurnal dystancijnogho zonduvannja Zemli*, 11, 15–21. Retrieved from <http://www.ujrs.org.ua/ujrs>. (In Ukrainian).
- Bertoldi, L., Massironi, M., Visonà, D., Carosi, R., Montomoli, Ch., Gubert, F., Naletto, G., Pelizzo, M. G. (2011). Mapping the Buraburi granite in the Himalaya of Western Nepal: Remote sensing analysis in a collisional belt with vegetation cover and extreme variation of topography. *Remote Sensing of Environment*, 115, 1129–1144.

- Bertoldi, L. (2011). Remote sensing of granitoid rocks: image elaboration and spectral signatures. Case studies on the Morocco calc-alkaline and Himalayan peraluminose granitoids. *PLINIUS*, 37, 48–53.
- Moeletsi R. S., Tesfamichael S. G. (May 2017). Assessing land cover changes caused by granite quarrying using remote sensing. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLII-3/W2. 37th International Symposium on Remote Sensing of Environment (Tshwane, South Africa), 119–124.
- Shevchuk, R. (2018). Satellite monitoring for detection of reclamation violation over titanium ore mining territories. *Znanstvena misel*, 21, 18–23.
- Shevchuk, R. M. (2018). Technique for Satellite Monitoring of Illegal Amber Mining Territories Based on Integrated Landsat and Sentinel Data Processing. *Journal of the Georgian Geophysical Society*, 21, 26–32.
- Watts, D. R., Harris, N. B. (2005). Mapping granite and gneiss in domes along the North Himalayan antiform with ASTER SWIR band ratios. *Geological Society of America Bulletin*, 117, 879–886.

ОСОБЕННОСТИ СПУТНИКОВОГО МОНИТОРИНГА ТЕРИТОРИЙ ДОБЫЧИ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОД В ЖИТОМИРСКОЙ ОБЛАСТИ ПО ДАННЫМ ОПТИЧЕСКОЙ И РАДАРНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ

Р. Н. Шевчук, В. Е. Филиппович, А. Г. Мычак, М. С. Лубский

ГУ “Научный центр аэрокосмических исследований Земли ИГН НАН Украины”. 01054, г. Киев, ул. О. Гончара, 55-б, Украина. E-mail: Ruslancarse@gmail.com. Тел. +380969081786. ORCID 0000-0001-6610-4927

В статье рассматриваются возможности применения оптических и радарных спутниковых данных для оценки экологического состояния и качества рекультивации земель нарушенных открытой добычей кристаллических пород. Решение проблемы идентификации горных выработок среди каменных отвалов и участков выхода кристаллического фундамента предлагается путем анализа цифровых моделей рельефа. В качестве исходных данных для построения ЦМР были использованы радарные интерферограммы. Проведение исследований осуществлялось на трех эталонных участках в пределах Коростышевского, Черняховского и Хорошевского районов Житомирской области. В результате проведения исследований были выявлены один некультивированный заброшенный карьер и несанкционированная свалка отходов камнеобрабатывающего производства. Отмечено, что влияние открытой добычи кристаллических пород на окружающую среду не столь значительным, как влияние от открытой добычи янтаря и ильменита, а горнодобывающие работы проводятся в рамках действующего законодательства.

Ключевые слова: кристаллические породы, дистанционное зондирование Земли, радарная интерферометрия, открытая добыча, охрана окружающей среды

SATELLITE MONITORING FEATURES OF CRYSTALLINE ROCKS MINING TERRITORIES WITHIN ZHITOMYR REGION BASED ON OPTICAL AND RADAR REMOTE SENSING DATA

R. M. Shevchuk, V. Y. Filipovych, A. G. Mychak, M. S. Lubskeyi

Scientific Centre for Aerospace Research of the Earth, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine. 01054, O. Gonchar st. 55-B, Kyiv, Ukraine. E-mail: Ruslancarse@gmail.com. Tel.: +380969081786. ORCID 0000-0001-6610-4927

Opportunities of optical and radar satellite data application for ecological state and reclamation quality assessment of disturbed by crystalline rocks open cast mining lands are considered in the article. Digital elevation models analysis is proposed for the problem of identification of mines among rock dumps and rocky outcrops solution. Radar interferograms were used as source data for DEM creating. The research was performed on three study sites within Korostishiv, Cherniahiv and Khoroshiv districts of Zhitomir region. As result of the study an abandoned quarry with no reclamation done and an illegal stone processing waste dump were found. It is stated that environmental impact of crystalline rock open cast mining not as serious as ilmenite or amber open cast mining impacts and facts of violation of law caused by mining activities were not found.

Keywords: crystalline rocks, remote sensing, radar interferometry, open cast mining, environmental protection