

**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНА УСТАНОВА «НАУКОВИЙ ЦЕНТР АЕРОКОСМІЧНИХ
ДОСЛІДЖЕНЬ ЗЕМЛІ ІНСТИТУТУ ГЕОЛОГІЧНИХ НАУК
НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ»**

ШЕВЧУК РУСЛАН МИКОЛАЙОВИЧ

УДК 504.064.3:(528.04:553.99)

**МЕТОДИКА СУПУТНИКОВОГО МОНІТОРИНГУ
ГЕОКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ТЕРИТОРІЙ
ВІДКРИТОГО ВИДОБУВАННЯ КОРИСНИХ КОПАЛИН
(НА ПРИКЛАДІ ЖИТОМИРСЬКОГО ПОЛІССЯ)**

05.07.12 – Дистанційні аерокосмічні дослідження

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата геологічних наук

Київ 2019

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Державній установі «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України»

Науковий керівник:

кандидат геологічних наук, старший науковий співробітник

Філіпович Володимир Євгенович

ДУ «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України», завідувач відділу аерокосмічних досліджень в геоecології

Офіційні опоненти:

доктор геологічних наук, старший науковий співробітник

Верховцев Валентин Геннадійович

Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», завідувач відділу спеціальної металогенії

доктор геологічних наук, доцент

Ремезова Олена Олександрівна

Інститут геологічних наук НАН України, завідувач відділу геології корисних копалин

Захист дисертації відбудеться 21 січня 2020 р. о 14⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.162.03 Державної установи «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України» за адресою: Україна, 01054, м. Київ, вул. Олеся Гончара, 55-Б.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Інституту геологічних наук НАН України (Україна, 01054, м. Київ, вул. Олеся Гончара, 55-Б) та на сайті ЦАКДЗ ІГН НАН України <https://www.casre.kiev.ua/uk/organization/abstracts-and-dissertations-since-2015>

Автореферат розісланий _____ грудня 2019 р.

Секретар спеціалізованої
вченої ради Д 26.162.03
кандидат геологічних наук



О.В. Седлерова

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Поповнення власної мінерально-сировинної бази є однією з основних складових безпеки та незалежності держави. Динамічний розвиток гірничопромислового комплексу покращує фінансово-економічне становище країни, сприяє зростанню рівня соціального благополуччя населення та розвитку інфраструктури. Проте розробка родовищ мінеральної сировини супроводжується і рядом негативних аспектів.

При відкритому видобуванні корисних копалин порушується цілісність геологічного середовища, на значних площах знімається ґрунтово-рослинний покрив, порушуються водоносні горизонти, змінюється рельєф місцевості, створюються відвали розкритих порід та технічні водойми. Що, в свою чергу, призводить до ряду негативних екологічних наслідків, серед яких порушення гідрологічного режиму та замулення водойм, посилення водної та вітрової ерозії, зміна мікроклімату, деградація лісів та зниження родючості ґрунтів на територіях, що прилягають до об'єктів гірничого відводу.

Поряд з геоекологічним існує і правовий аспект, пов'язаний з недотриманням надрокористувачами чинного законодавства України, що проявляється у виході за межі ліцензійних ділянок, неякісному проведенні рекультивації, або взагалі нелегальному видобуванні. Критичною на теперішній час є проблема незаконного видобування бурштину, наслідком якого є не лише значні фінансові втрати держави, а й зростання рівня соціальної напруженості та погіршення криміногенної обстановки на територіях його ведення.

Відтак, постає необхідність розробки та впровадження нових ефективних технологій ідентифікації та контролю об'єктів гірничого відводу, а також оцінки стану порушеності геологічного середовища в їх межах. Дисертантом пропонується застосування даних супутникової зйомки, основними перевагами якої, у порівнянні з традиційними наземними методами, є охоплення значних площ земної поверхні, висока частота оновлення, фінансова доступність та можливість проведення досліджень у ретроспективі.

Можливість дистанційного вивчення об'єктів гірничого відводу висвітлена у працях багатьох зарубіжних учених. Серед яких найбільш відомими у цьому напрямку досліджень є F. Van Der Meer (Нідерланди), M. Focaretta (Італія), N. Richter, K. Staenz, H. Kaufmann (ФРН), F. Xu, L. Sun (КНР) та ін. Серед вітчизняних вчених основні праці у цьому напрямку належать Філіповичу В. Є. та Верховцеву В. Г.

Актуальною науковою задачею є розробка та впровадження нових підходів до моніторингу геологічного середовища методами дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) на територіях видобування корисних копалин.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана в рамках науково-дослідних робіт, що проводились у Державній установі «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України» за такими темами: «Розробка наукових основ адаптації дистанційних методів зондування в інфрачервоному діапазоні природних і антропогенних об'єктів для умов України при вирішенні задач геоекологічного моніторингу енергозбереження та раціонального природокористування» (Державний реєстраційний номер 0115U002047), «Розробка нових аерокосмічних технологій вивчення,

прогнозування, запобігання та мінімізації ризиків надзвичайних ситуацій природного та природно-антропогенного походження» (Державний реєстраційний номер 0117U004264), «Розширення перспектив нарощування запасів корисних копалин на основі нових технологій аерокосмічних досліджень Землі» (Державний реєстраційний номер 0117U004166), «Розробка і впровадження сучасних аерокосмічних технологій дослідження Землі для оцінювання та прогнозування небезпечних природних і антропогенних процесів і явищ, формування рекомендацій по оптимізації пошуків, розвідки і експлуатації родовищ корисних копалин з метою мінімізації негативного впливу на довкілля» (Державні реєстраційні номери 0118U005384 та 0119U000668), «Дослідження теплового поля земної поверхні Анастасівсько-Болярської площі Житомирської області за даними дистанційного зондування Землі з метою пошуків кімберлітових тіл» (Державний реєстраційний номер 0117U007256), «Дослідження аномалій теплового поля Анастасівсько-Болярської площі Житомирської області за даними ДЗЗ та наземних досліджень» (Державний реєстраційний номер 0119U001778).

Мета і задачі дослідження. *Метою дослідження є покращення інформаційного забезпечення раціонального природокористування шляхом розробки методики супутникового моніторингу геоекологічного стану територій відкритого видобування корисних копалин.*

Досягнення поставленої мети здійснюється шляхом вирішення наступних *задач*:

1. Огляд існуючих методів супутникового і наземного моніторингу територій відкритого видобування корисних копалин.
2. Розробка методики супутникового моніторингу геоекологічного стану територій відкритого видобування корисних копалин.
3. Удосконалення способу ідентифікації піщаних відвалів, сформованих внаслідок незаконного видобування бурштину, з-поміж піщаних масивів іншого генезису.
4. Проведення супутникового моніторингу порушеності геологічного середовища Житомирського Полісся внаслідок відкритого видобування корисних копалин.
5. Проведення еколого-економічної оцінки наслідків видобування корисних копалин.
6. Валідація розробленої методики супутникового моніторингу на тестових ділянках.
7. Формування рекомендацій щодо практичного застосування розробленої методики.

Об'єкт дослідження: просторово-часові зміни геоекологічного стану територій відкритого видобування корисних копалин.

Предмет дослідження: методи моніторингу геоекологічного стану територій відкритого видобування корисних копалин.

Методи дослідження.

Для розв'язання поставлених задач використовувалися:

- методи атмосферної і геометричної корекції багатоспектральних космічних зображень;

- метод візуального дешифрування знімків – для підготовки зображення до подальшої автоматичної обробки;
- контрольована класифікація – для розподілу зображення на класи відповідно до спектральних характеристик об'єктів земної поверхні;
- метод обрахунку значень фізичної температури земної поверхні на основі теорії радіаційного переносу;
- лінеаментний аналіз і метод пластики рельєфу – для моделювання латеральних речовинних потоків на територіях ведення гірничої діяльності;
- метод інтерполяції – для генерування цифрових моделей рельєфу на основі даних власних наземних вимірювань;
- наземне спектрометрування – для отримання інформації про спектральні характеристики поверхневих відкладів.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у наступному:

1. *Вперше в Україні* розроблено методику супутникового моніторингу геоекологічного стану територій відкритого видобування корисних копалин, яка базується одночасно на аналізі спектрометричних, термометричних та гіпсометричних характеристик об'єктів земної поверхні.

2. *Удосконалено* спосіб ідентифікації піщаних відвалів, сформованих в результаті нелегального видобування бурштину, з-поміж піщаних масивів іншого походження на супутникових знімках.

3. *Вперше в Україні розроблено* критерії оцінки та 7 бальну шкалу якості проведеної рекультивації за даними ДЗЗ.

4. *Удосконалено метод ідентифікації* гірничих виробок кристалічних порід шляхом застосування цифрових моделей рельєфу (ЦМР).

5. *Удосконалено* методику оцінки завданих державі збитків внаслідок нелегального видобування бурштину на основі супутникових даних, розроблено експрес-метод її застосування.

Практична значимість досліджень:

- розроблена методика дасть змогу ефективніше проводити моніторинг екологічного стану геологічного середовища;
- розроблена методика досліджень може бути використана для екологічного контролю над територіями введеними в гірничу експлуатацію;
- розроблена методика може бути використана для підвищення ефективності рекультивації земель, де проводиться видобування корисних копалин;
- отримані в результаті дослідження дані можуть бути використані в якості доказової бази для притягнення до юридичної відповідальності осіб, причетних до створення негативних екологічних наслідків, завданих територіям видобування корисних копалин на території Житомирського Полісся.
- окремі положення розробленої методики можуть застосовуватись при інших геологічних роботах (наприклад, при пошуках кімберлітових тіл на досліджуваній в роботі території).

Особистий внесок здобувача полягає в тому, що основні результати дисертаційного дослідження отримані здобувачем особисто. Автором проаналізовано більшість з-поміж існуючих на теперішній час підходів до дистанційного вивчення гірничих територій, що викладено у понад 50 наукових роботах, переважно іноземних авторів. Дисертантом було самостійно оброблено

понад 100 супутникових знімків отриманих різними сенсорами за період з 1984 по 2019 рік та проведено польові роботи на семи тестових ділянках, розташованих у кількох адміністративних районах Житомирської області.

Основні результати дисертаційного дослідження висвітлені у ряді наукових праць. Серед праць опублікованих у співавторстві внесок здобувача полягає у наступному:

- у роботах [1, 9, 10] – розроблено часткову методику експрес-оцінки завданих державі збитків внаслідок нелегального видобування бурштину на основі супутникових даних;

- у роботі [2, 12] – запропоновано спосіб вивчення флюїдопровідності геологічного середовища за матеріалами супутникової зйомки в довгохвильовому інфрачервоному діапазоні;

- у роботі [8] – удосконалено метод ідентифікації гірничих виробок кристалічних порід шляхом застосування ЦМР;

- у роботі [13] – удосконалено спосіб ідентифікації піщаних відвалів, сформованих в результаті нелегального видобування бурштину, з-поміж піщаних масивів іншого походження;

- у роботах [14, 15] – розроблено методику оцінки якості рекультивації земель, порушених внаслідок видобування ільменіту.

Апробація результатів дисертації

Основні теоретичні та методичні аспекти, а також попередні результати дисертаційного дослідження були представлені, обговорені та отримали схвальні відгуки на засіданні круглого столу «Відновлення територій, порушених внаслідок незаконного видобування бурштину» (м. Олевськ, 5 липня 2016 року), 16-й Української конференції з космічних досліджень (м. Одеса, 22-27 серпня 2016 р.), 15-й Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях» (м. Київ, 3-6 жовтня 2016 року), 16-й Міжнародна науково-практична конференції «Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях» (м. Київ, 3-4 жовтня 2017 року), 17-ій Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях» (м. Київ 24-26 вересня 2018 року), VIII всеукраїнській молодіжній науковій конференції «Ідеї та новації в системі наук про Землю» (м. Київ, 10-12 квітня 2019 р.), 18-ій Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях» (м. Київ, 1-2 жовтня 2019 року), VI міжнародній науково-практичній конференції «Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування» (м. Трускавець 7-11 жовтня 2019 р.).

Структура та обсяг роботи.

Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел (148 найменувань на 15 сторінках) і 7 додатків на 8 сторінках. Робота викладена на 201 сторінці, що містять 160 сторінок основного тексту, 71 рисунок і 21 таблицю.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність створення методики супутникового моніторингу геоecологічного стану територій відкритого видобування корисних копалин. Описано наукову новизну отриманих результатів дисертації, їхнє практичне значення та подано інформацію про особистий внесок здобувача, апробацію роботи, публікації, зв'язок роботи з науковими програмами.

Перший розділ – *«Теоретичні аспекти застосування даних дистанційного зондування Землі для моніторингу територій відкритого видобування корисних копалин»* – присвячений теоретико-методологічному аналізу наукової літератури.

Розглянуто основні наземні методи екологічного моніторингу стану навколишнього природного середовища і територій видобування корисних копалин зокрема. Визначено роль хімічних, фізико-хімічних, фізичних та біологічних методів визначення концентрації хімічних сполук у довкіллі в екологічних дослідженнях. Наведена характеристика наземних спостережень та наземних вимірювань, як методів визначення фізичних параметрів (площа, температура поверхні, вологість) ділянок порушених земель.

Розглянуто дистанційні методи контролю екологічного стану навколишнього середовища. Визначено, що найкращим джерелом даних для моніторингу територій відкритого видобування корисних копалин є мультиспектральні супутникові сканерні знімки.

Проаналізовано теоретичні підходи до моделювання енергомасопереносу на основі структурного дешифрування, басейнового підходу та пластики рельєфу.

Охарактеризовано тектонічну, геологічну та геоморфологічну будову Житомирського Полісся, основні види корисних копалин, що видобуваються відкритим способом. Проаналізовано гіпотези генезису бурштину, ільменіту та граніту Житомирського Полісся, особливості їх локалізації та розробки.

Визначено завдання дослідження та розроблена схема його проведення.

Другий розділ – *«Методика та технологія супутникового моніторингу екологічного стану територій відкритого видобування корисних копалин»* – розглянуто методи обробки супутникових даних та розроблена методика, що включає в себе оцінку порушеності геологічного середовища та оцінку якості проведення рекультивації за даними ДЗЗ.

Обґрунтовано критерії відбору супутникових знімків для проведення досліджень та розглянута їх попередня обробка – радіометричне калібрування і атмосферна корекція. Визначено, що для проведення моніторингу нелегального видобування бурштину на локальному рівні необхідні знімки високого розрізнення, оскільки діаметр поодиноких копанок часто не перевищує 2 м. Нами для таких цілей були застосовані супутникові знімки SPOT 6 і SPOT 7. Для виконання інших задач застосовувалися знімки середнього розрізнення Landsat, Terra (Aster) та Sentinel.

Охарактеризовано методи оцінки порушеності природного середовища внаслідок відкритого видобування корисних копалин на основі виявлення спектральних, текстурних, температурних та гіпсометричних (висотних) відмінностей порушених земель від оточуючих ландшафтів. Дешифрування за спектральними характеристиками може відбуватися візуальним, інтерактивним або автоматичним способом. Наша методика включає лише перші два способи, оскільки алгоритми розпізнавання образів досі не є досконалыми і при автоматичному способі дешифрування, різні за походженням, але подібні за спектральними та

геометричними характеристиками об'єкти можуть бути розпізнані неправильно, що особливо характерно для територій нелегального видобування бурштину. Візуальне дешифрування здійснюється за умови наявності знімків високого розрізнення та при достатньо великих розмірах (площі) гірничого об'єкту. Для ідентифікації техногенних ландшафтів інтерактивним способом, наша методика включає такі методи машинної обробки зображень, як аналіз головних компонент (principle component analysis), спектральне розслоювання (spectral unmixing) та контрольована класифікація (supervised classification). В умовах Житомирського Полісся перші два методи є хорошим інструментом для моніторингу порушених земель на регіональному рівні, коли площа досліджуваної території досягає кількох тисяч км². Для моніторингу на локальному рівні основним інструментом дешифрування за спектральними ознаками є контрольована класифікація. В ході проведених досліджень, що включали наземні завіркові роботи, було визначено, що метод опорних векторів (support vector machine) дає найбільш точні результати класифікації. Дешифрування за текстурними ознаками застосовується при моніторингу територій видобування кристалічних порід: нерівномірне освітлення уступів кар'єру відображається в якості мікротонових відмінностей на космічному зображенні, які і є дешифрувальною ознакою.

Попіксельний розрахунок температури земної поверхні (T) через спектральну щільність енергетичної яскравості здійснюється за оберненою формулою Планка:

$$T = \frac{c_2}{\lambda \ln \left(\frac{\varepsilon \cdot c_1}{\lambda^5 \cdot L_0} + 1 \right)}$$

де $c_1 = 1.191 \cdot 10^{-16}$ Вт·м², $c_2 = 1.439 \cdot 10^{-2}$ м·К – постійні закону Планка, ε – спектральний коефіцієнт теплового випромінювання, λ – довжина хвилі електромагнітного випромінювання, L_0 – спектральна щільність енергетичної яскравості земної поверхні.

Дешифрування на основі температурних відмінностей покладено в основу ідентифікації піщаних відвалів, сформованих в результаті незаконного видобування бурштину, з-поміж піщаних масивів іншого генезису (еолових форм рельєфу, ділянок вирубки лісів тощо). Внаслідок застосування гідравлічних мотопомп, на поверхні залишаються заповнені водою копанки, вода з яких інфільтрується в пісок і охолоджує поверхню, а тому її температура на 2-3°C нижча ніж поверхня піщаних масивів, сформованих, наприклад, вирубкою лісів. При моніторингу територій видобування титанових руд, аналіз температурних відмінностей дозволяє відрізнити діючі кар'єри і хвостосховища від покинутих: діючі постійно зволожуються, тому холодніші.

Аналіз гіпсометричних відмінностей наземних об'єктів дає можливість ідентифікувати гірничі виробки кристалічних порід та відрізнити їх від ділянок виходів кристалічного фундаменту на поверхню, несанкціонованих кам'яних звалищ та відвалів каменеобробних підприємств тощо. Ці об'єкти мають дуже схожі спектральні та температурні, але різні гіпсометричні характеристики. Справа в тому, що гірничі виїмки утворені внаслідок видобування кристалічних порід завжди оточені відвалами розкривних порід та непридатного каменю (так зв. сколи), які можуть досягати більше десяти метрів у висоту. Враховуючи глибину самої виїмки, різниця висот між її підшовою та вершиною відвалу буде ще більшою, тому на

цифрових моделях рельєфу (ЦМР) в межах невеликих за площею ділянок буде значне перевищення висот (рис. 1). В якості вихідних даних для побудови ЦМР автором використовувалися дані SRTM, ASTER GDEM та дані інтерферометричної обробки радіолокаційних знімків Sentinel 1.

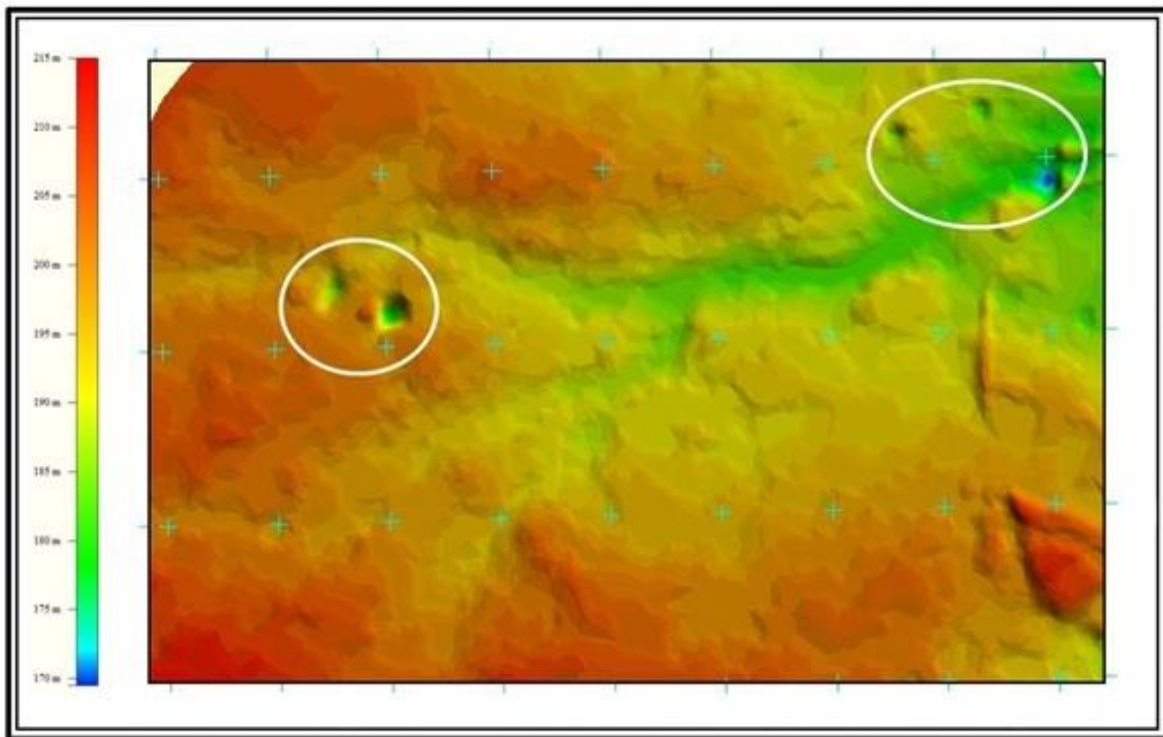


Рис. 1. Ідентифікація гірничих виробок на ЦМР в околицях с. Кам'яний Брід

Обґрунтовано вибір спектральних індексів для ідентифікації та визначення площ гірничих об'єктів. Визначено, що для вирішення таких задач для територій Житомирського Полісся, найбільший інтерес становлять групи вегетаційних та геологічних індексів, дещо менший – водні індекси. Застосування вегетаційних індексів за певних умов дозволяє більш чітко, у порівнянні з контрольованою класифікацією, виділити контури окремих гірничих об'єктів, а отже і підвищити точність обрахунків. Поверхня порушених земель практично повністю позбавлена рослинності і на фоні оточуючих вкритих рослинністю у літній період поліських ландшафтів добре дешифрується на картах поверхневого розподілу значень вегетаційного індексу. Найкращі результати для дешифрування дає розрахунок нормалізованого диференційного вегетаційного індексу (NDVI). Спектральні індекси використовувалися автором переважно при дослідженні територій видобування титанових руд у Хорошівському та Коростенському районах Житомирської області. Серед багатьох індексів з груп геологічних та водних було відібрано два – коефіцієнт окису заліза (IOR) та індекс мутності води (NDTI). Залізо входить до складу основної титановмісної породи – ільменіту ((Fe, Mg, Mn) TiO₃), і при видобуванні та збагаченні останнього оксиди та гідроксиди заліза можуть осідати на поверхні гірничих об'єктів, що й дозволяє ідентифікувати порушені землі (рис. 2.). Індекс мутності води дозволяє виділити гірничі об'єкти, які експлуатуються від тих, що не експлуатуються протягом кількох місяців і більше, оскільки води діючих об'єктів забруднені завислими та розчиненими в них хімічними елементами та сполуками.

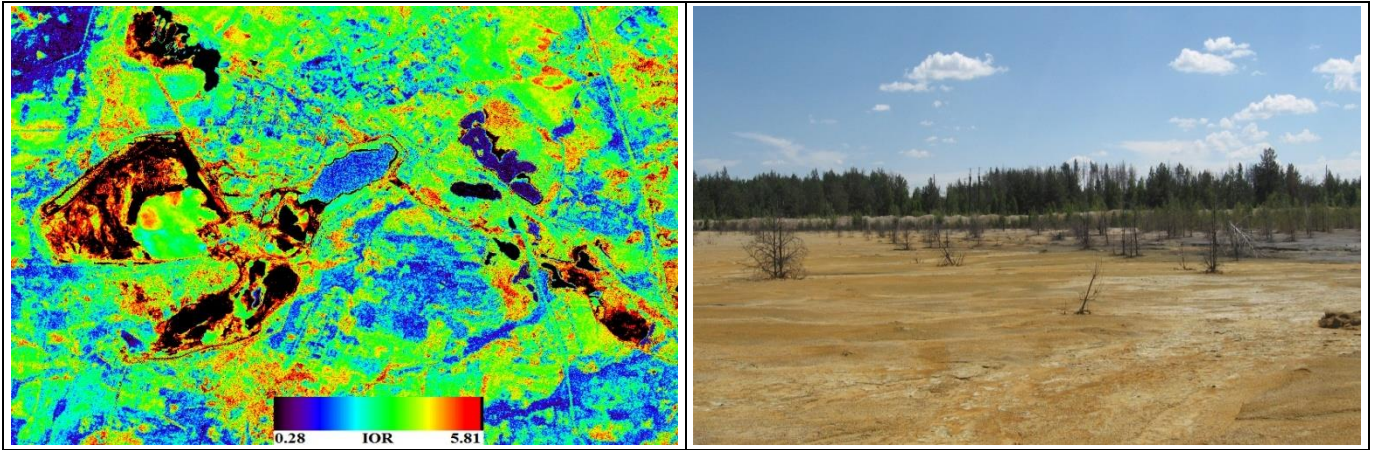


Рис. 2. Розподіл коефіцієнта окису заліза (IOR) на територіях видобування титанової руди між селами Лісівщина та Ковалі (зліва) та затверділа кірка з гідроокисів заліза на поверхні хвостосховища поблизу села Лісівщина (справа).

Для валідації отриманих результатів проводяться польові завіркові дослідження, які включають візуальні спостереження, вимірювання площ та перепадів висот ділянок порушених видобуванням корисних копалин, аерозйомку з БПЛА, відбір зразків для спектрального та хімічного аналізу. Польові дослідження проводилися автором протягом чотирьох років (з 2016 по 2019 рік включно) на семи еталонних ділянках у шести адміністративних районах Житомирської області. Результати наземних досліджень підтвердили високу достовірність запропонованої методики. На основі хімічного аналізу встановлено, що вода в діючих хвостосховищах гірничозбагачувальних фабрик ільменіту, кисла, має сильно підвищений вміст заліза та натрію, проте радіус її забруднюючого впливу на верхній водоносний горизонт незначний. Також було сформовано базу спектральних бібліотек поверхневих відкладів на ділянках нелегального видобування бурштину (рис. 3.)

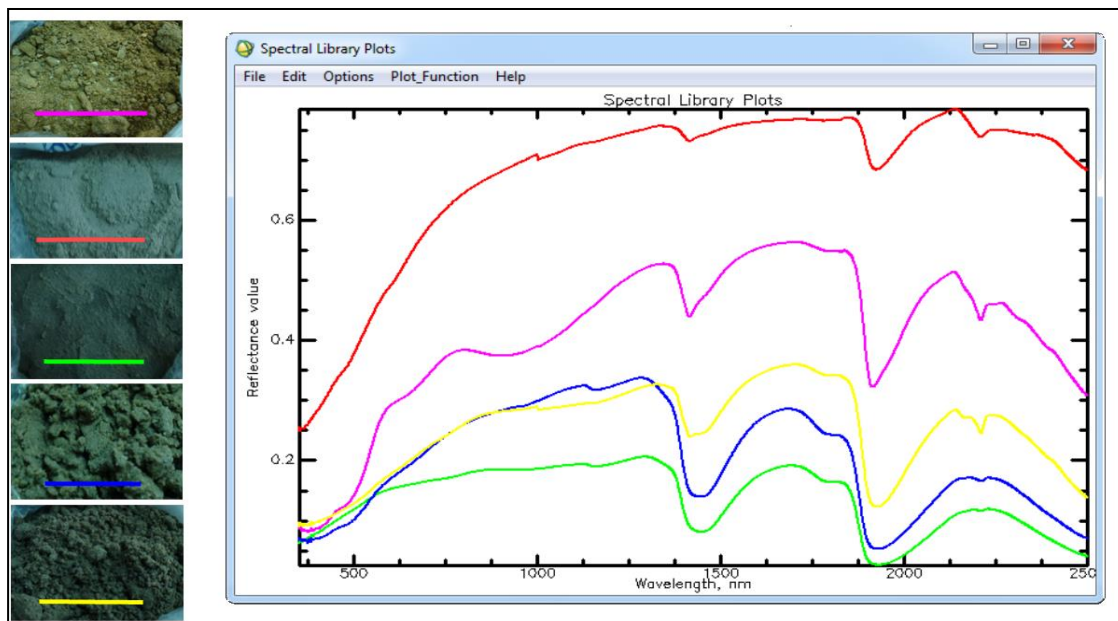


Рис. 3. Спектральні характеристики поверхневих відкладів ділянки нелегального видобування бурштину поблизу с. Юрове Олевського району.

Наведено методи аналізу рельєфу досліджуваних територій для моделювання напрямків латеральної міграції речовини та прогнозування впливу видобування на навколишнє середовище. Вони включають виявлення розривних порушень, басейновий підхід та метод пластики рельєфу. На основі цих методів, шляхом комплексування карт каркасної структури рельєфу, карт лініментів та карт пластики рельєфу створюються цифрові картографічні моделі латеральних речовинних потоків. Побудова таких моделей дає можливість отримати цілісну інформацію про латеральне переміщення літомас, а разом з ними і забруднюючих речовин у межах гірничопромислових територій. Співставлення цих моделей з картами порушеності геологічного середовища або картами забруднення (наприклад окисами заліза на основі індексу IOR) дає можливість прогнозування негативного екологічного впливу на навколишнє середовище. Так якщо порушена ділянка знаходиться у верхів'ї потоку, забруднюючі речовини з неї внаслідок лінійного або площинного змиву переноситимуться вниз по цьому потоку і осідатимуть в конусах винесення.

Розглянуто особливості використання різночасових супутникових знімків для моніторингу порушених земель та вивчення кількісних і якісних змін об'єктів земної поверхні у просторі і часі. Обґрунтовано періодичність їх оновлення і аналізу нових даних в залежності від поставленої задачі та способу видобування. Використання різночасових супутникових знімків у нашій роботі дозволило вирішити ряд наступних завдань:

- вивчити динаміку зміни площі порушених внаслідок видобування корисних копалин земель;
- визначити вплив гірничої діяльності на навколишнє природне середовище;
- виявити ділянки земель з неякісно проведеною або не проведеною рекультивацією.

Розроблено шкалу оцінки якості рекультивації порушених земель на основі дистанційних даних з урахуванням існуючих державних стандартів. В основу шкали покладені вимоги до біологічної та гірничо-технічної рекультивації, оскільки якість проведення гідротехнічної рекультивації за даними ДЗЗ неможливо. Шкала включає сім балів оцінки, які об'єднуються у три групи: добре, задовільно та незадовільно (Таблиця 1.). Від якості проведення гірничо-технічної рекультивації залежить подальше відновлення ландшафту, тому при розробці критеріїв для кожного балу оцінки вона враховувалася як пріоритетна по відношенню до якості проведення біологічної рекультивації. Запропонована дисертантом шкала оцінки якості рекультивації порушених земель застосовувалась при оцінці проведеної рекультивації на родовищах титанових руд Іршанської групи.

Таблиця 1.

Оцінка стану проведення рекультивації порушених земель внаслідок видобуванням ільменіту

Бал	Гірничо-технічна рекультивація	Біологічна рекультивація	Оцінка
1	Проведена	Проведена	Добре
2	Проведена	Проведена частково або неякісно, ділянка вкрита переважно самосівами рослин	

3	Проведена	Не проведена	Задовільно
4	Не проведена або зроблено часткове вирівнювання	Проведена	
5	Проведена частково (грубе планування)	Не проведена, ділянка позбавлена рослинності, або покрита самосівами	
6	Не проведена	Не проведена, ділянка покрита само насівами рослин	Незадовільно
7	Не проведена	Не проведена, ділянка практично позбавлена рослинності	

Результатом проведених досліджень є розробка методики супутникового моніторингу геоекологічного стану територій відкритого видобування корисних копалин, технологічна схема якої представлена на рис. 4.

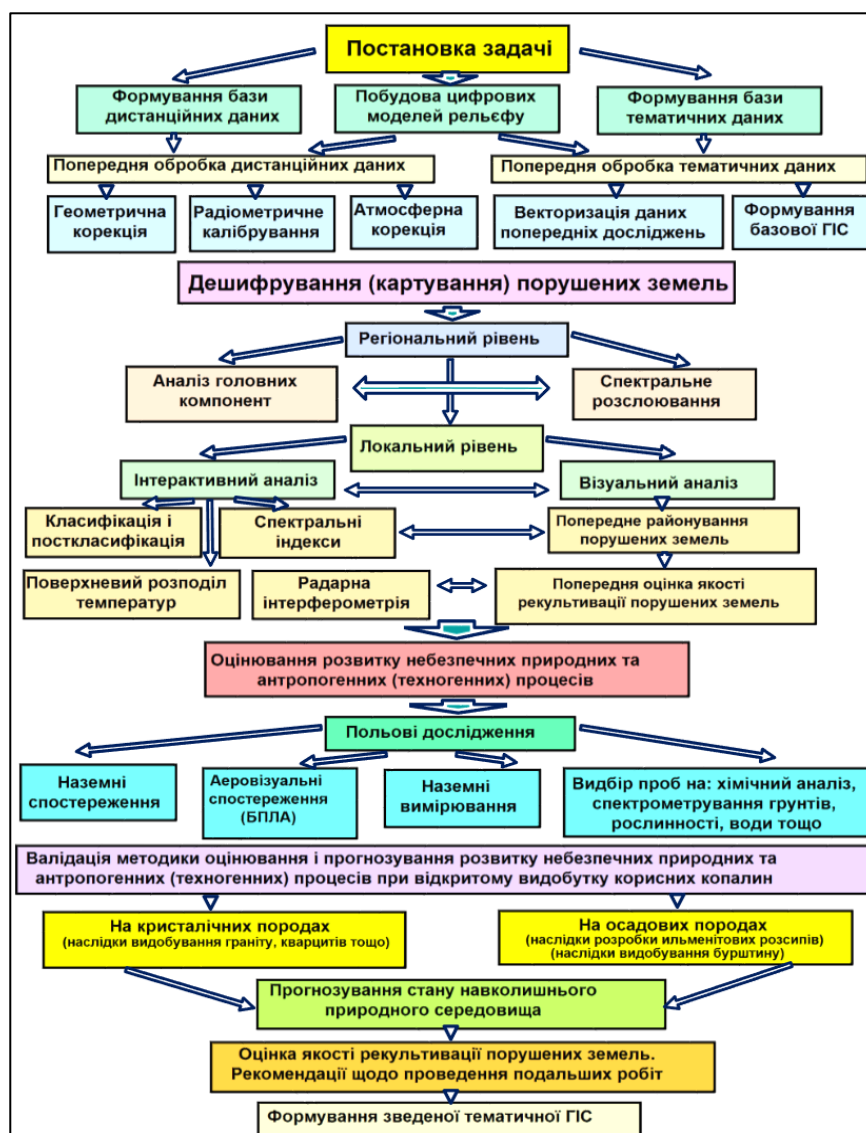


Рис. 4. Візуальне відображення технологічної схеми супутникового моніторингу екологічного стану територій відкритого видобування корисних копалин.

Третій розділ – «Супутниковий моніторинг порушеності геологічного середовища Житомирського Полісся внаслідок відкритого видобування корисних копалин» – представлено результати проведеного супутникового моніторингу за розробленою методикою.

Для проведення моніторингу було побудовано просторово-часові ряди космічних даних, що охоплюють понад 100 супутникових знімків. Найбільше даних було використано при побудові просторово-часового ряду для дослідження територій нелегального видобування бурштину. Просторове охоплення ряду включає усю територію Житомирського Полісся, оскільки існує висока імовірність виникнення нових копанок не лише в межах вивчених родовищ та проявів. Він також відрізняється найвищою частотою оновлення даних, що зумовлено високою інтенсивністю нелегального видобування. Часовий проміжок супутникової зйомки охоплює період від 2013 по 2019 р., проте для дослідження ділянки навколо смт. Клесів використовувались дані починаючи з 2007 року. Вихідними даними для побудови просторово-часового ряду стали знімки супутників Landsat (5, 8), Terra (ASTER), Sentinel (2A, 2B), SPOT (6, 7) та Pleiades-1B. Для побудови просторово-часового ряду території видобування ільменіту використовувались супутникові дані Landsat (5, 7, 8) та Sentinel (2A, 2B). Просторово ряд охоплює Хорошівський та Коростенський райони Житомирської області, а часовий період, знаходиться в межах від 1984 по 2019 р., тобто 36 років. Гірнична діяльність здійснюється на ліцензійних ділянках, тому більшість знімків серії Landsat оновлювалися з частотою один раз в рік. Основою просторово-часового ряду для дослідження територій видобування кристалічних порід послужили супутникові дані Sentinel. Гірничі виробки кристалічних порід зазвичай мають невелику площу (кілька гектарів) і знімки серії Landsat дають лише можливість ідентифікації найбільших із них, тому ці дані використовувались виключно для попиксельного обрахунку розподілу температури земної поверхні у місцях видобування.

Результати дистанційних досліджень порушеності геологічного середовища Житомирського Полісся внаслідок нелегального видобування бурштину показали, найбільш інтенсивно нелегальне видобування проявляється в його північно-західній частині, де розташована Клесівсько-Пержанська бурштиноносна зона. Саме тут площа порушених незаконним промислом земель є найбільшою. В адміністративному відношенні ця територія відповідає Олевському району Житомирської області, Сарненському та Рокитнівському районам Рівненської області. Копанки також виявлені в Ємільчинському, Коростенському та Овруцькому районах Житомирської області. В Олевському районі порушені землі виявлені поблизу сіл Лопатичі, Суцани, Андріївка, Юрове та Перга. Найбільші їх площі знаходяться в околицях сіл Обище та Шебедиха (рис. 5). Ця територія була відібрана в якості еталонної ділянки для проведення польових робіт, які проводилися автором з 2016 по 2019 рік. Найінтенсивніше нелегальна розробка родовищ бурштину тут здійснювалася в період з 2015 по 2016 роки. Так лише на ділянці на південь від с. Обище площа порушеного ґрунтового-рослинного покриву зросла на 48.41 га за 7 місяців з серпня 2015 р по березень 2016 р., при загальній площі ділянки в 295.58 га. У період з травня 2018 по травень 2019 р. активність нелегальних старателів в межах ділянки значно знизилася, проте видобування не припинилося. Загальна площа порушених земель суттєво не змінилася, лише дещо змінилася їх конфігурація. Частина піщаних відвалів за рік покрилася рослинністю внаслідок

самовідновлення ландшафтів, на іншій же частині ґрунтово-рослинний покрив навпаки замінений піщаними відвалами, як результат видобування.

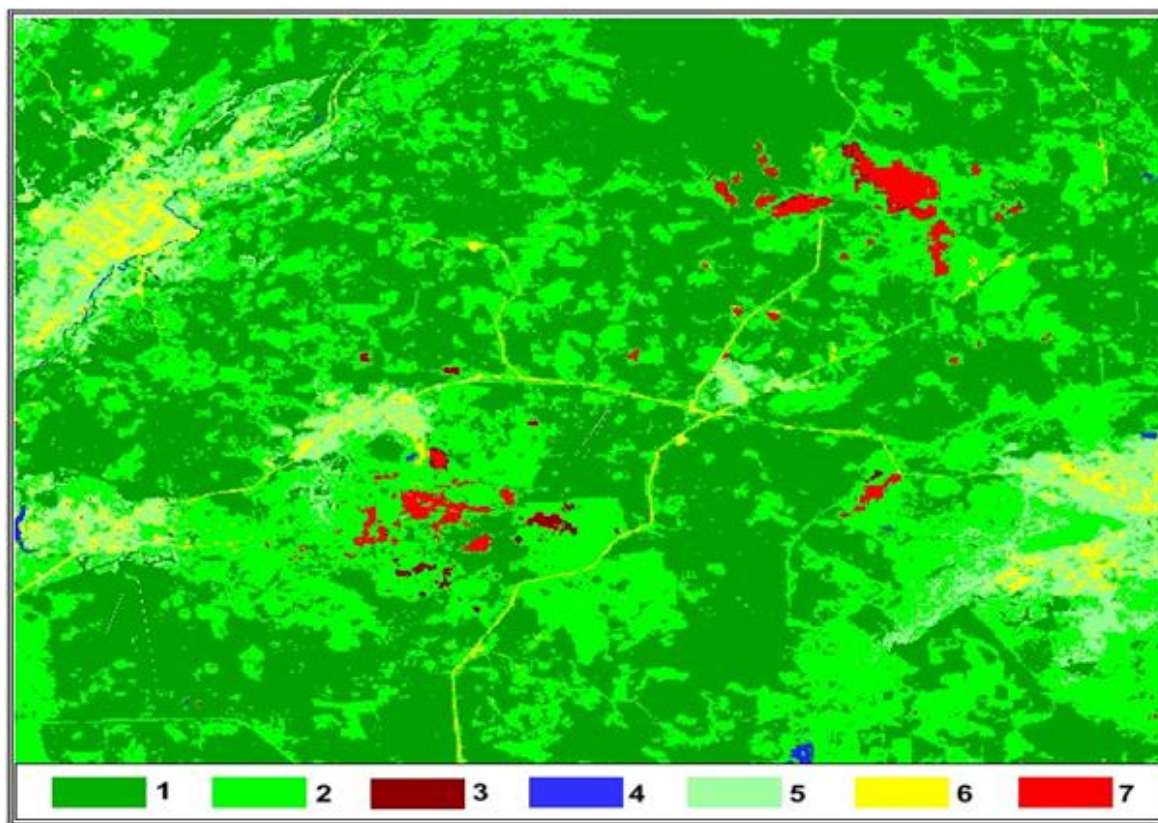


Рис. 5. Картохема розподілу об'єктів земної поверхні на ділянці Обище-Шебедиха за результатами класифікації знімка Sentinel 2A.

Умовні позначення: 1. Ліс. 2. Трав'яний покрив та чагарники. 3. Відкритий ґрунт. 4. Вода. 5. Посіви. 6. Сільська забудова та дороги. 7. Піщані відвали.

Масштаби нелегального видобування за останній рік (2018-2019) значно знизились, або взагалі припинилися на більшій частині території Житомирського Полісся, окрім Клесівської ділянки у Сарненському районі.

Клесівська ділянка є найбільшою за площею в Україні. Ареал порушених земель простягається на довжину понад 25 км з півдня на північ і виходить за межі досліджуваної території, тобто знаходиться і у Житомирському, і у Волинському Поліссі (рис. 6). Протягом останніх чотирьох років площа ареалу постійно зростає, що свідчить про високу інтенсивність видобування. Так за останній рік в період з травня 2018 по квітень 2019 р. загальна площа порушених земель зростає з 243.4 га до 446 га, тобто на 203.4 га за одинадцять місяців з урахуванням зимової пори

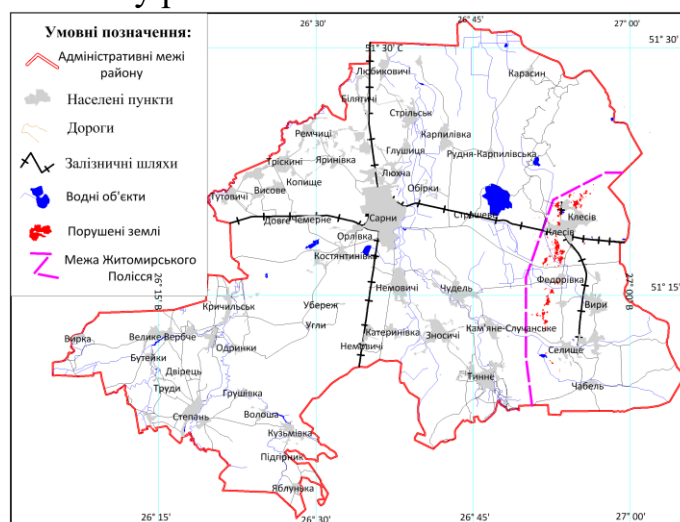


Рис. 6. Карта порушених земель внаслідок нелегального видобування бурштину на території Сарненського району в межах Житомирського Полісся

року коли старательство припиняється через погодні умови (рис. 7). Самі ж відвали уже добре ідентифікуються на знімках Landsat 5 2010 р., попри їх відносно невисоке просторове розрізнення.

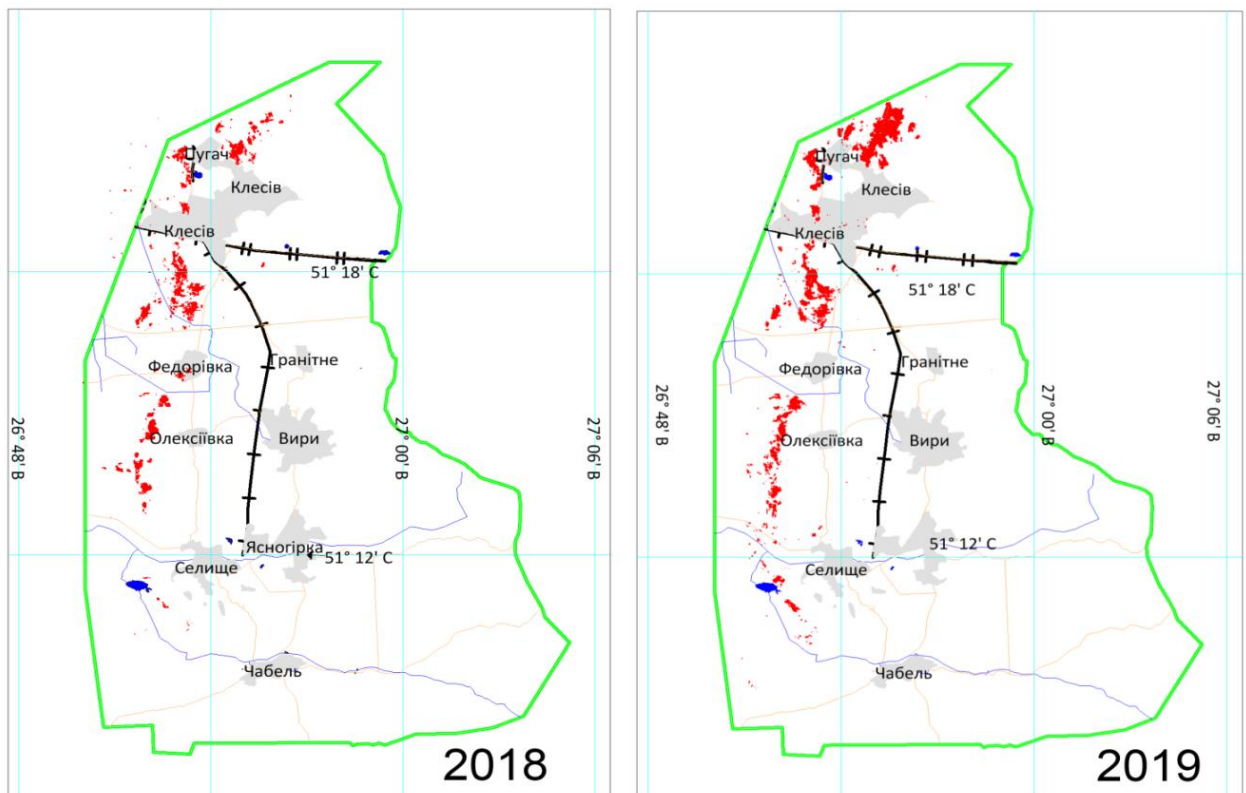


Рис. 7. Динаміка зміни площі піщаних відвалів сформованих внаслідок нелегального видобування бурштину в період з травня 2018 по квітень 2019 р. в межах ділянки Клесів

Видобування титанової руди в межах Житомирського Полісся здійснюється на території Коростенського та Хорошівського районів. Гірнична діяльність розпочалася тут понад шістдесят років тому, відтак за цей період часу конфігурація об'єктів гірничого відводу постійно змінювалася, як за рахунок розробки нових родовищ, так і внаслідок проведення відновлювальних робіт. Оскільки усі порушені землі мають бути відновлені, то побудовані автором картографічні моделі включають не лише дані про стан порушення геологічного середовища та динаміку зміни площ порушених земель, а й інформацію про стан проведення рекультиваційних робіт.

Результати обробки даних супутникової зйомки свідчать про те, що загальна площа порушених земель в межах дослідної ділянки постійно змінювалася, коливаючись в межах від 17.2 км² у 1984 р. до 26.7 км² у 2006 р. У 2018 р. під об'єктами гірничого відводу було зайнято 23.3 км² площі земної поверхні, при цьому загальна площа усіх земель, що піддавалися порушенню в результаті видобування ільменіту за моніторинговий період з 1984 по 2018 р. становить 54.7 км² (рис. 8.). Зауважимо, що при обрахунках площ приймалися до уваги лише піщані відклади, технічні водойми хвостосховищ та затоплені частини кар'єрів, а площі ділянок, на яких розпочалися процеси самовідновлення ландшафтів та утворення ґрунту не рахувалися.

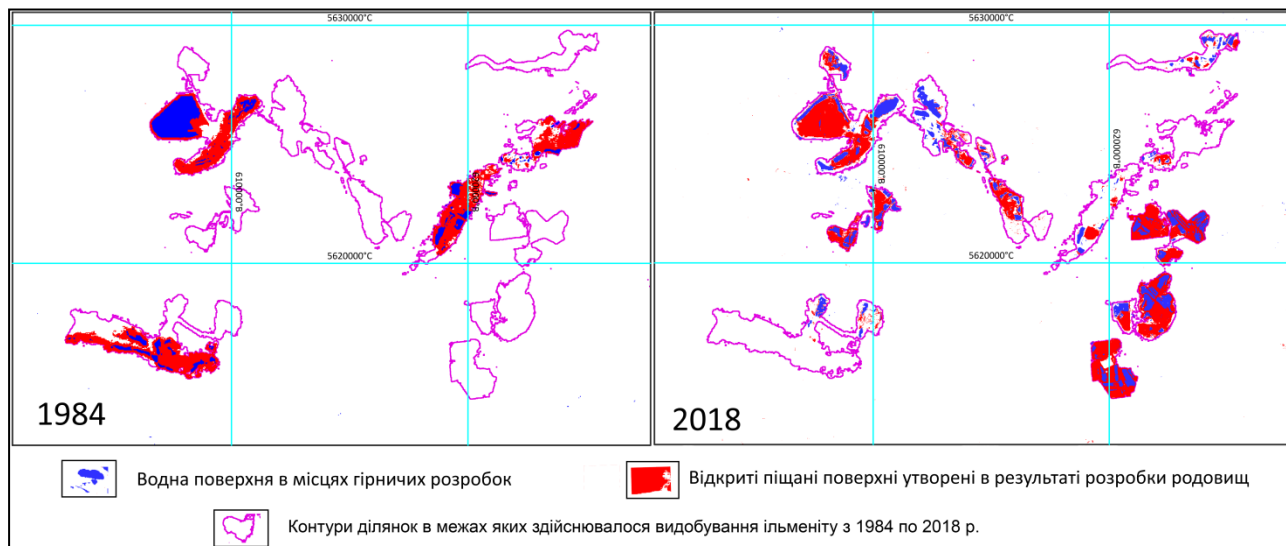


Рис. 8. Ділянки порушеного геологічного середовища внаслідок видобування ільменіту у 1984 та 2018 рр.

Для ідентифікації земель що підлягають рекультивації додатково використовувалися інтерактивна карта спецдозволів та аукціонних ділянок та публічна кадастрова карта. При проведенні порівняльного аналізу даних публічної кадастрової карти та даних супутникового знімання було виявлено ряд ділянок з неякісно проведеною або взагалі не проведеною рекультивацією. Такі ділянки були виявлені в межах Іршинського, Шершнівського та Злобицького родовищ і належать до земель сільськогосподарського та лісгосподарського призначення. Загальна площа порушених земель в межах ділянок лісгосподарського призначення становить 57.94 га, а сільськогосподарського –17.3 га.

Крім того площа порушених земель без кадастрового номера, які підлягають рекультивації становить 202.13 га. Найбільшою ділянкою серед цих земель є територія колишнього гірничого відводу в межах Верхньо-Іршинського родовища між селами Валки та Радівка Хорошівського району Житомирської області. На основі результатів дешифрування супутникових знімків та запропонованої шкали було створено картосхеми стану проведення рекультивації ділянок порушених земель внаслідок видобування ільменіту території Верхньо-Іршинського родовища ільменіт-цирконових руд (рис. 9). Оцінка проводилася в межах порушеного геологічного середовища станом на 2006 р., тоді коли видобування припинилось. Як видно з картосхеми, зображеної на рис. 9, за 13-

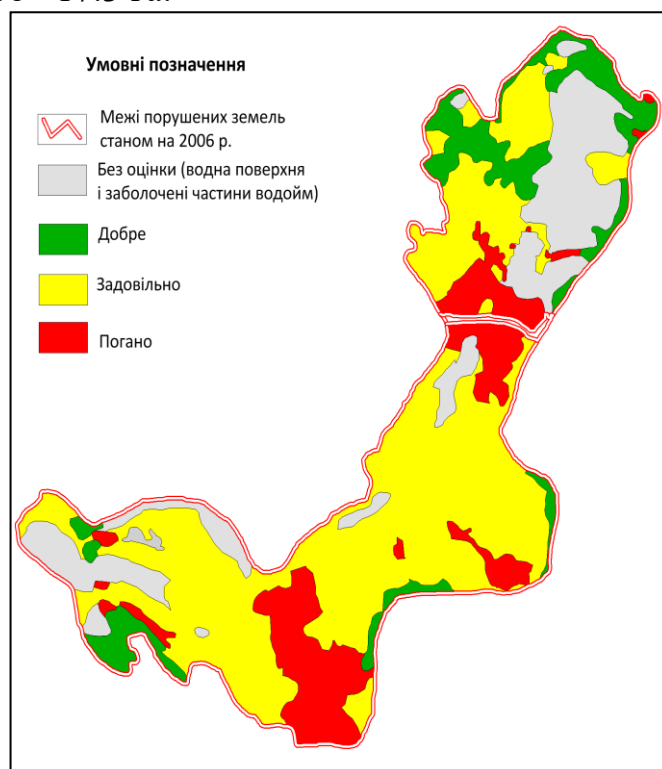


Рис. 9 Картосхема стану проведення рекультивації у 2019 р. в західній частині ділянки Верхньо-Іршинського родовища

річний період з 2006 по 2019 р. лише на незначній частині площі колишніх об'єктів гірничого відводу рекультивація проведена добре, на більшості площ проведено лише гірничо-технічну рекультивацію, а також є ділянки де відновлювальні роботи не проводилися взагалі.

З метою прогнозування негативного впливу видобування ільменіту на навколишнє середовище було проаналізовано моделі латеральних речовинних потоків в межах дослідної ділянки (рис. 10). Було визначено, що частина потоків з ділянок порушених земель спрямована в долину річки Лемня. Вздовж правого берега річки розташовані покинутий кар'єр та діюче хвостосховище. Площинний та лінійний злив з цих ділянок призвели до часткового її замулення та забруднення окисами заліза (див. рис. 2), що буде продовжено і в майбутньому. Проте радіус негативного впливу видобування ільменіту не є значним: сполуки заліза важкі, тому швидко осідають у воді і погано інфільтруються через пісок, відтак забрудненню піддається в основному територія долини річки.

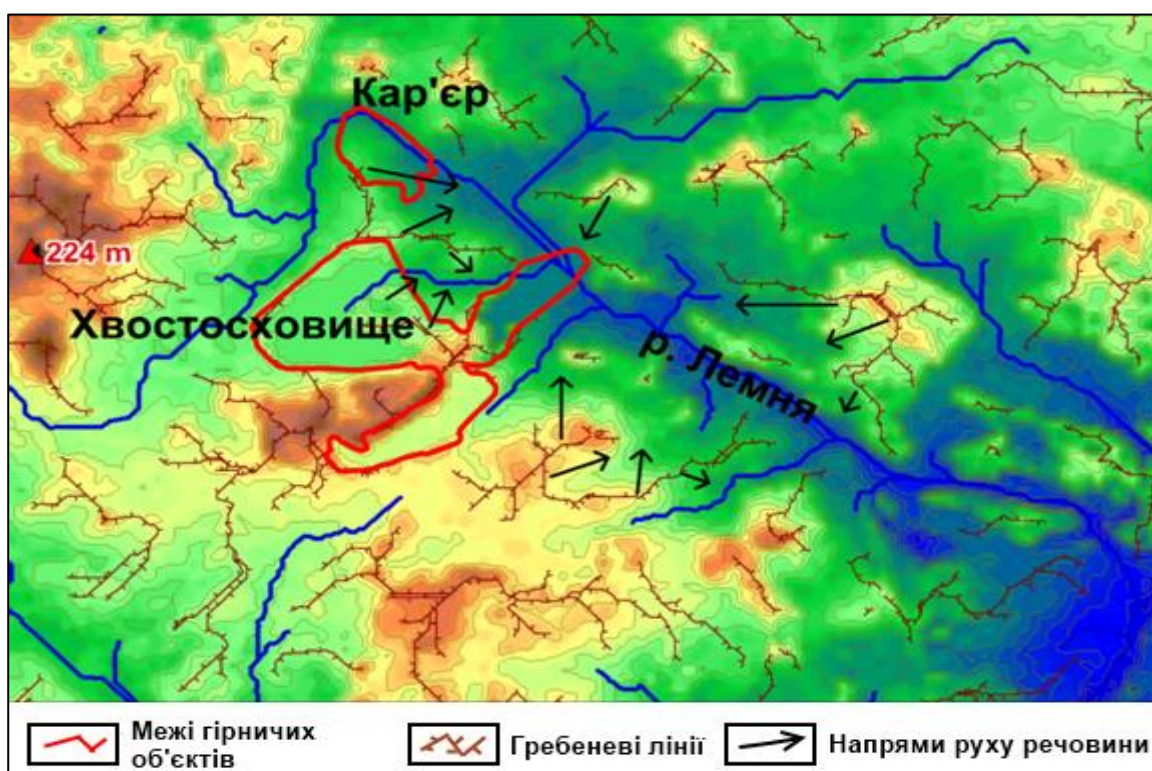


Рис. 10. Картосхема впливу латеральних речовинних потоків на річку Лемня

Гірничі виробки кристалічних порід розміщені по всій території Житомирського Полісся, чому сприяли особливості геологічної будови території цього краю. Малопотужний осадовий чохол та близькість кристалічного фундаменту, який місцями виходять на поверхню призвели тут до розвитку видобувної галузі, продукція якої використовується переважно в якості будівельного та облицювального каменю. Найбільше гірничих виробок сконцентровано у Коростенському та Коростишівському районах Житомирської області. Для проведення досліджень автором були вибрані еталонні ділянки, що знаходяться на території Коростишівського, Черняхівського, Хорошівського та Коростенського районів. Моніторинг територій ведення видобування кристалічних порід спрямований на вирішення ряду цілей, серед яких контроль за здійсненням рекультивації, виявлення порушень законодавства в процесі ведення гірничих робіт

та дослідження впливу на навколишнє природне середовище. Рекультивація 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. Відтак, сильно зростає роль польових робіт. Результати проведених дистанційних та наземних досліджень показали, що рекультивація гірничих об'єктів в межах тестових ділянок проведена належним чином. Прикладом добре проведеної рекультивації є колишні гранітні кар'єри навколо Коростишева, які зараз використовуються в рекреаційних цілях. Один з них, відомий під назвою Коростишівський каньйон, обладнаний альтанками для відпочиваючих, дерев'яним пірсом та спусками до води у формі дерев'яних сходів. Територія «каньйону» також використовується і для екстремальних видів відпочинку, таких як скелелазіння та тролей. Порухень законодавства при видобуванні корисних копалин також виявлено не було: видобування здійснюється в межах ліцензійних ділянок, відвали експлуатуються, фактів нелегального видобування в межах еталонних ділянок теж не виявлено. Винятком є знайдене в лісовому масиві на північ від села Бобрик несанкціоноване звалище відходів виробництва з обробки каменю, що складається з гранітних уламків різної форми та розмірів. В самому селі функціонує цех по обробці граніту, який, імовірно, і є джерелом відходів. Серед факторів негативного екологічного впливу слід виділити пилове забруднення, зумовлене проведенням вибухових робіт на кар'єрах та роботою каменедробильних заводів, та ризик розвантаження зон тріщинуватості, які іноді бувають єдиним джерелом питної води. Загалом видобування кристалічних порід не супроводжується рядом настільки гострих проблем, як при видобуванні ільменіту чи бурштину, в правовому та екологічному аспектах.

На основі даних, отриманих в результаті проведених досліджень, автором вперше було створено ГІС порушених внаслідок відкритого видобування корисних копалин земель в межах Житомирського Полісся. ГІС побудована в форматі MapInfo, зведена у єдину систему координат UTM WGS 84 зона 35 та містить векторні і растрові дані. Структурними елементами ГІС є топографічна основа, дистанційна основа, та фактографічна основа (геологічні, геоморфологічні та інші тематичні дані, результати польових обстежень, цифрові моделі рельєфу, карти розповсюдження порушених територій, карти якості проведеної рекультивації, карти можливого розвитку небезпечних геологічних процесів тощо). Створена ГІС є основою для накопичення та аналізу інформації отриманої в процесі досліджень.

Четвертий розділ – *«Рекомендації щодо використання супутникових даних для окремих екологічних задач»* – присвячено розробці рекомендацій щодо впровадження розробленої методики.

Удосконалено методику оцінки завданих державі збитків, внаслідок нелегального видобування бурштину, шляхом використання даних про площі порушених земель отриманих дистанційними методами. Для розрахунків використовувалися офіційно діючі нормативні документи Міністерства екології та природних ресурсів України:

– методика визначення розмірів відшкодування збитків, заподіяних державі внаслідок самовільного користування надрами;

– методика визначення розміру шкоди, заподіяної внаслідок самовільного зайняття земельних ділянок, використання земельних ділянок не за цільовим призначенням, зняття ґрунтового покриву (родючого шару ґрунту) без спеціального дозволу;

– методика визначення розмірів шкоди, зумовленої забрудненням і засміченням земельних ресурсів через порушення природоохоронного законодавства.

Розрахунки проводилися на прикладі ділянки на південь від села Обище станом на 2016 р. Загальний розмір шкоди, заподіяної внаслідок перелічених вище порушень законодавства склав: 4 266 286 грн., причому без врахування вартості бурштину та шкоди нанесеної лісовому та водному господарству. Враховуючи той факт, що площа усіх порушених внаслідок нелегального видобування бурштину земель, виявлених на території Житомирського Полісся, більш ніж в сотню разів перевищує площу дослідної ділянки, реальні масштаби збитків досягають сотень мільйонів гривень щороку.

Розроблено рекомендації щодо впровадження розробленої методики супутникового моніторингу територій відкритого видобування корисних копалин, які включають вимоги до освіти і професійних навичок користувача, апаратного та програмного забезпечення та до дистанційних даних.

Розроблена методика має універсальний характер і її застосування можливе для проведення геоecологічного моніторингу всіх типів відкритих гірничих виробок.

ВИСНОВКИ.

У дисертаційній роботі вирішено наукову задачу, що полягає в необхідності розробки та впровадження нових підходів до здійснення оперативного контролю змін геоecологічного стану територій відкритого видобування корисних копалин. Ця задача вирішена успішно, мету дисертаційного дослідження досягнуто, на основі отриманих результатів зроблено наступні висновки:

1. Проведено огляд існуючих наземних та дистанційних методів моніторингу територій відкритого видобування корисних копалин.

2. Розроблено спосіб ідентифікації піщаних відвалів, сформованих внаслідок нелегального видобування бурштину, з-поміж піщаних масивів різного генезису.

3. Розроблено метод картування гірничих виробок кристалічних порід на основі їх спектральних та гіпсометричних характеристик.

4. Проведено аналіз латеральних речовинних потоків на основі цифрового моделювання рельєфу та геолого-структурного дешифрування.

5. Проведено оцінки стану порушеності природного середовища за даними ДЗЗ.

6. Розроблено методику оцінки якості проведення рекультивації порушених земель на основі даних ДЗЗ.

7. Проведена наземна валідація отриманих результатів на еталонних ділянках.

8. Розроблено ГІС порушених земель внаслідок видобування кристалічних порід, бурштину та ільменіту на територію Житомирського Полісся.

9. Удосконалено методику експрес-оцінки завданих державі збитків внаслідок нелегального видобування бурштину на основі супутникових даних.

10. Розроблено рекомендації щодо впровадження розробленої методики супутникового моніторингу геоecологічного стану територій відкритого видобування корисних копалин.

Запропонована дисертантом методика має універсальний характер і може бути використана для моніторингу інших гірничих виробок відкритого типу, що було продемонстровано на прикладі моніторингу кар'єру зернистих фосфоритів з метою визначення відповідності ведення видобувних робіт чинному законодавству України.

Отже, в результаті проведеного дослідження розроблена комплексна методика супутникового моніторингу геоecологічного стану територій відкритого видобування корисних копалин, що дозволяє оперативно картографувати гірничі об'єкти, проводити оцінку негативних впливів на довкілля, спричинених порушенням геологічного середовища та оцінку якості рекультивациі.

Подальші дослідження можуть бути спрямовані на удосконалення запропонованої методики шляхом розширення бази вихідних даних, приміром додаванням гіперспектральних знімків, та розширенням набору прийомів і методів обробки вихідних даних.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, у яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Філіпович В. Є. **Шевчук Р. М.** Методика і технологія оцінки шкоди, нанесеної Українській державі внаслідок нелегального видобутку бурштину. *Український журнал дистанційного зондування Землі*. 2016. № 11. С. 15-21.

2. Гейко Ю. В., Приходько В. Л., Філіпович В. Є., Мичак А. Г., **Шевчук Р. М.** Методи пошуків родовищ алмазів на прикладі новоград-волинської площі українського щита. *Мінеральні ресурси України*. 2018. №1. С. 20-28.

3. **Шевчук Р. М.** Моніторинг сучасного стану Милятинського кар'єру зернистих фосфоритів за даними дистанційного зондування Землі. *Геологічний журнал*. 2019. №2. С. 73-78.

4. **Shevchuk R.** Satellite monitoring for detection of reclamation violation over titanium ore mining territories. *Znanstvena misel*. 2018. №21. P. 18-23.

5. **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. V.21(1) P. 26-32.

Опубліковані праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

6. **Шевчук Р. М.** Верифікація результатів супутникового моніторингу територій нелегального видобутку бурштину. *Екологічна безпека та природокористування*. 2017. № 3-4 (24). С.133-137.

7. Філіпович В. Є. **Шевчук Р. М.** Методика виявлення локальних ділянок нелегального видобутку бурштину за матеріалами багатозональної космічної зйомки системи Landsat. *Космічні дослідження в Україні. 2016—2018/* Наук. ред. О. П. Федоров; ІКД НАНУ та ДКАУ. К. : Академперіодика, 2018. С.109-111.

8. **Шевчук Р. М.,** Філіпович В. Є., Мичак А. Г. Лубський М. С. Особливості супутникового моніторингу територій видобутку кристалічних порід в Житомирській області за даними багатоспектральної та радарної космічної зйомки. *Український журнал дистанційного зондування Землі*. 2019. № 22. С. 12-21.

Опубліковані праці апробаційного характеру:

9. Філіпович В. Є., **Шевчук Р. М.** Застосування космічної інформації для оцінки збитків нанесених державі внаслідок нелегального видобутку бурштину. *Тези 16 Української конференції з космічних досліджень*. Одеса, 22-27 серпня 2016. С. 229.

10. Філіпович В. Є., **Шевчук Р. М.** Модернізація методики і технології оцінки шкоди нанесеної державі внаслідок нелегального видобутку бурштину на основі космічного моніторингу земельних ресурсів (на прикладі Олевського району Житомирської області). *Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях*: матеріали 15-ї Міжнар. наук.-практ. конф. Київ, Пуща-Водиця, 2016. С. 85-87.

11. **Шевчук Р. М.** Верифікація результатів супутникового моніторингу територій нелегального видобутку бурштину шляхом спектрального аналізу відібраних проб поверхневих відкладень. *Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях*: колективна монографія за матеріалами 16-ї Міжнар. наук.-практ. конф. Київ, Пуща-Водиця 2017. С. 144-147.

12. Гейко Ю. В., Приходько В. Л., Філіпович В. Є. Мичак А. Г., **Шевчук Р. М.** Використання матеріалів космічної зйомки в комплексі геолого-пошукових робіт з метою виявлення алмазоносних структур. *Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях*: колективна монографія за матеріалами 17-ї Міжнар. наук.-практ. конф. Київ, 2018. С. 37-39.

13. Лубський М. С., **Шевчук Р. М.** Перспективи застосування даних дистанційного зондування для картування осередків незаконного видобутку бурштину. *Ідеї та новації в системі наук про Землю*: Матеріали VIII Всеукр. молод. наук. конф. Київ, 10-12 квітня 2019 р. С. 30-31.

14. **Шевчук Р. М.**, Філіпович В. Є. Супутниковий екомоніторинг територій видобування ільменіту і оцінка якості проведеної рекультивації. *Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях*: колективна монографія за матеріалами 18-ї Міжнар. наук.-практ. конф. Київ, 2019. С. 109-112.

15. **Шевчук Р. М.**, Філіпович В. Є. Контроль якості рекультивації порушених видобуванням ільменіту земель за даними супутникової зйомки. *Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування*: зб. матеріалів VI Міжнар. наук.-практ. конф. Трускавець, 2019. Т. 2. С. 147-152.

АНОТАЦІЯ

Шевчук Р. М. Методика супутникового моніторингу геоекологічного стану територій видобування корисних копалин (на прикладі Житомирського Полісся). – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата геологічних наук за спеціальністю 05.07.12 – Дистанційні аерокосмічні дослідження – Державна установа «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України», Київ, 2019.

Дисертаційна робота присвячена розробці методичних засад супутникового моніторингу територій відкритого видобування корисних копалин з метою оцінки їх

геоекологічного стану. Розроблена методика відрізняється від існуючих більш повним задіянням інформації про характеристики об'єктів земної поверхні, такі як спектрометричні, термометричні та гіпсометричні характеристики.

Удосконалено метод ідентифікації на космічних знімках піщаних відвалів, сформованих нелегальним видобуванням бурштину, з-поміж піщаних масивів іншого антропогенного генезису та еолових форм рельєфу.

Обґрунтовано застосування спектральних індексів для ідентифікації, визначення площ, визначення стану експлуатації об'єктів гірничого відводу та оцінки забруднення територій видобування корисних копалин хімічними сполуками. Оцінено якість проведення рекультивації земель, порушених видобуванням. На основі аналізу латеральних речовинних потоків зроблено прогноз негативного екологічного впливу видобування ільменіту на навколишнє природне середовище.

На основі обрахованих дистанційними методами показників площ порушених земель, проведено еколого-економічну оцінку завданих державі збитків внаслідок нелегального видобування бурштину.

Ключові слова: супутниковий моніторинг, бурштин, спектральні індекси, рекультивація, латеральні речовинні потоки.

АННОТАЦІЯ

Шевчук Р. Н. Методика спутникового моніторинга геоекологічного стану територій добычи полезных ископаемых (на примере Житомирского Полесья). – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата геологических наук по специальности 05.07.12 – Дистанционные аэрокосмические исследования. – Государственное учреждение «Научный центр аэрокосмических исследований Земли ИГН НАН Украины», Киев, 2019.

Диссертационная работа посвящена разработке методических основ спутникового мониторинга территорий открытой добычи полезных ископаемых с целью оценки их геоекологического состояния. Разработанная методика отличается от существующих более полным задействованием информации о характеристиках объектов земной поверхности, таких как спектрометрические, термометрические и гипсометрические характеристики.

Усовершенствован метод идентификации на космических снимках песчаных отвалов, образованных нелегальной добычей янтаря, среди песчаных массивов другого антропогенного генезиса и эоловых форм рельефа.

Обосновано применение спектральных индексов для идентификации, определения площадей, определения состояния эксплуатации объектов горного отвода и оценки загрязнения территорий добычи полезных ископаемых химическими соединениями. Оценено качество проведения рекультивации земель, нарушенных добычей ильменита. На основе анализа латеральных вещественных потоков сделан прогноз негативного экологического воздействия добычи ильменита на окружающую среду.

На основе рассчитанных дистанционными методами показателей площадей нарушенных земель, проведения эколого-экономическую оценку нанесенного государству ущерба в результате нелегальной добычи янтаря.

Ключевые слова: спутниковый мониторинг, янтарь, спектральные индексы, рекультивация, латеральные вещественные потоки.

ANNOTATION

Shevchuk R. M. Technique for satellite monitoring of geocological conditions of mining territories (as an example of Zhitomyr Polesie) – Manuscript

The thesis for the Candidate of Sciences degree on specialty 05.07.12 – remote aerospace research. – State institution “Scientific Centre for Aerospace Research of the Earth, IGS NAS of Ukraine”, Kiev, 2019.

The thesis is devoted to development of methodological foundations for satellite monitoring of open-pit mining areas in order to evaluate their geocological conditions. The developed technique applies more information on the land surface features, such as spectral, thermal and hypsometric properties, in comparison with existing techniques.

The method for the detection of sand dumps formed by illegal amber mining among the other genesis sand dumps and aeolian forms in satellite images has been improved. This aim was achieved by analysis of spectral and thermal properties of sand dumps. As result of aquifer violation and hydraulic motor pump use, the land surface temperature within mining areas is usually lower, which makes their identification possible.

The engagement of spectral indices for identification, surface area estimation, determination of the state of operation of mining concession objects and chemical pollution assessing of mining territories are substantiated. It was found that the most accurate results of satellite images interpretation were obtained by normalized difference vegetation index (NDVI). Nearly all territory of Zhitomyr Polesie is covered with vegetation while mining areas are not. Thus NDVI analysis is very efficient for land surface area estimation. Spectral indices analysis was mainly used for ilmenite mining monitoring. Iron oxide ratio (IOR) analysis was applied for identification of mining areas because surface of tailing dumps are often covered with iron oxides. The use of normalized difference turbidity index (NDTI) allows distinguishing operated mining concession objects from abandoned ones.

The novel rating scale for assessing of land reclamation by means of remote sensing was proposed. It contains seven degrees combined in three marks named as “well-performed”, “satisfactory-performed” and “unsatisfactory-performed”. Based on this scale the quality of the reclamation of land disturbed by the ilmenite mining was assessed. The results of assessment proved that after 13-years period since mineral excavation has been stopped reclamation of some disturbed areas is still not performed.

The forecast of negative environmental impacts of ilmenite mining was made based on the analysis of surface material flows. It was found that processes of siltage and contamination by iron oxides of the river Lemnia valley will be continued.

Based on disturbed land area data derived from satellite images processing, the assessment of environmental and economical damages caused by illegal amber mining was done.

Key words: satellite monitoring, amber, spectral indices, reclamation, surface material flow.