УДК 553.04:004.9(477)

Критична та стратегічна мінеральна сировина України: застосування геоінформаційних технологій для прогнозування перспективних територій

Ковальчук Ангеліна, *аспірантка, ORCID ID 0009-0004-7971-6737,*
e-mail: angel2002koval@gmail.com
Інститут геологічних наук Національної академії наук України, Київ, Україна
ДНВП «Геоінформ України», Київ, Україна

Розглянуто сучасні підходи до розвитку мінерально-сировинної бази критичних та стратегічних корисних копалин України в контексті європейської сировинної політики. Окреслено можливості застосування геоінформаційних технологій і даних дистанційного зондування Землі для комплексного аналізу геологічної інформації та попереднього виділення перспективних територій. На прикладі західного сегменту Українського щита розглянуто використання даних Sentinel-2 як додаткового джерела пошукових ознак. Показано необхідність комплексної інтерпретації результатів дистанційного зондування разом із геологічними, структурними та геохімічними даними.

Ключові слова: критична мінеральна сировина, стратегічна мінеральна сировина, геоінформаційні технології, Sentinel-2, дистанційне зондування Землі, прогнозування.

Critical and strategic mineral raw materials of Ukraine: application of geoinformation technologies for prospectivity mapping

Kovalchuk Anhelina, *PhD student, ORCID ID 0009-0004-7971-6737,*
e-mail: angel2002koval@gmail.com
Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
SRDE "Geoinform of Ukraine", Kyiv, Ukraine

Current approaches to the development of Ukraine's mineral resource base of critical and strategic minerals are considered in the context of European raw materials policy. The potential of geoinformation technologies and Earth observation data for the integrated analysis of geological information and preliminary delineation of prospective areas is outlined. Using the western segment of the Ukrainian Shield as an example, Sentinel-2 data are considered as an additional source of exploration indicators. The results highlight the need for integrated interpretation of remote sensing data together with geological, structural, and geochemical information.

Keywords: critical raw materials, strategic raw materials, geoinformation technologies, Sentinel-2, Earth observation, mineral prospectivity.

Вступ. Питання забезпечення критичною та стратегічною мінеральною сировиною набуло системного значення для промислової, енергетичної та технологічної політики. У Європейському Союзі Regulation (EU) 2024/1252 встановлює окремі переліки стратегічної та критичної сировини. Стратегічні матеріали визначаються з урахуванням їх значення для стратегічних технологій, прогнозованого зростання попиту та складності нарощування виробництва; критичні — з урахуванням економічної важливості та ризику постачання (European Parliament & Council, 2024, Articles 3–4; Annexes I–II).

Регламент також установлює орієнтири ЄС до 2030 р.: видобувні потужності — щонайменше 10 % річного споживання стратегічної сировини, переробні — 40 %, перероблення відходів — 25 %, а залежність від однієї третьої країни для кожної стратегічної сировини на відповідній стадії переробки не повинна перевищувати 65 % (European Parliament & Council, 2024, Article 5). Ці положення демонструють, що питання критичної сировини охоплює не лише геологічну наявність ресурсів, а й стійкість усього ланцюга їх освоєння.

В Україні постановою Кабінету Міністрів України від 14.07.2025 № 845 затверджено переліки корисних копалин та компонентів стратегічного і критичного значення, а також відповідні переліки ділянок надр (Кабінет Міністрів України, 2025). У 2026 р. схвалено Стратегію розвитку галузей промисловості на основі таких корисних копалин та компонентів на період до 2056 року. Її метою визначено розвиток галузей із високою доданою вартістю на основі потенціалу мінерально-сировинної бази України, задоволення потреб національної економіки та інтеграцію у глобальні ланцюги постачання (Кабінет Міністрів України, 2026, розділ «Загальні положення»).

Методичний аспект оцінювання ресурсного потенціалу критичної сировини для України окремо розглянуто S. Lytvyniuk та N. Bariatska. Автори акцентують на відмінностях підходів до оцінювання, класифікації, обліку й управління критичною мінеральною сировиною та необхідності їх стандартизації для формування надійних ланцюгів постачання (Lytvyniuk & Bariatska, 2024, pp. 77–85).

Геоінформаційні технології та ДЗЗ у прогнозуванні. Для територій із великим обсягом різнотипних фондових матеріалів геоінформаційний підхід дає можливість поєднати геологічні карти, структурні дані, геохімічну інформацію, відомості про мінералізацію та матеріали дистанційного зондування в єдиному просторовому середовищі. ДЗЗ у такій системі доцільно розглядати не як метод прямого визначення корисної копалини, а як джерело додаткових просторових ознак, які підлягають геологічній перевірці.

Можливості Sentinel-2 для геологічного дистанційного зондування досліджували H. van der Werff та F. van der Meer. У табл. 2 зазначеної роботи наведено спектральні співвідношення каналів (band ratios) для Sentinel-2A MSI, зокрема B11/B12 для hydroxyl-bearing alteration, B4/B2 для all iron oxides, B4/B3 для ferric iron (Fe3+) та B12/B11 для ferrous silicates (Van der Werff & Van der Meer, 2016, Table 2). Автори підкреслюють, що ці співвідношення є спектральними proxy-показниками для картування особливостей поверхні, а результати мають зіставлятися з геологічною моделлю території (табл.).

Таблиця. Приклади спектральних співвідношень Sentinel-2 для геологічного дистанційного зондування. Джерело формул та інтерпретацій: (Van der Werff & Van der Meer, 2016, Table 2)

Спектральна ознака	Sentinel-2	Інтерпретація	Конкретне джерело
Гідроксилвмісні зміни (hydroxyl-bearing alteration)	B11/B12	можливі OH-вмісні продукти змін	Van der Werff & Van der Meer, 2016, Table 2
Оксиди заліза (all iron oxides)	B4/B2	контрастування залізооксидних особливостей	Van der Werff & Van der Meer, 2016, Table 2
Окиснене залізо Fe^{3+} (ferric iron)	B4/B3	контрастування ознак окисненого заліза	Van der Werff & Van der Meer, 2016, Table 2
Fe^{2+}-вмісні силікати (ferrous silicates)	B12/B11	спектральні ознаки Fe^{2+}-вмісних силікатів	Van der Werff & Van der Meer, 2016, Table 2

Інший підхід до картування залізовмісних мінералів за даними Sentinel-2 представлено у роботі Ge et al. (2020). Автори виконали злиття каналів Sentinel-2 різної просторової розрізненості з приведенням їх до 10 м та для отриманого набору даних запропонували співвідношення B6/B1 для виділення гематиту і гетиту, B6/B8A — гематиту і ярозиту, а (B6+B7)/B8A — суміші залізовмісних мінералів. За результатами дослідження автори показали, що залучення додаткових спектральних каналів та приведення даних до єдиної просторової розрізненості підвищило можливості Sentinel-2 щодо виявлення залізовмісних мінералів (Ge et al., 2020). Наведений приклад також свідчить про важливість урахування способу попередньої обробки даних і конкретного набору спектральних каналів під час вибору та інтерпретації спектральних співвідношень.

Практичне застосування підходу. У межах дослідження автора для західного сегменту Українського щита формується геоінформаційна база, що поєднує оцифровані фондові геологічні матеріали, відомості про пункти мінералізації та геохімічні аномалії із сучасними даними Sentinel-2. На попередньому етапі виконано тестування окремих спектральних співвідношень та їх спільного відображення у вигляді RGB-композиту (рис.). Отриманий RGB-композит використано для попереднього виділення спектрально контрастних ділянок, які на наступних етапах дослідження потребують комплексного зіставлення з геологічними, структурними та геохімічними даними.

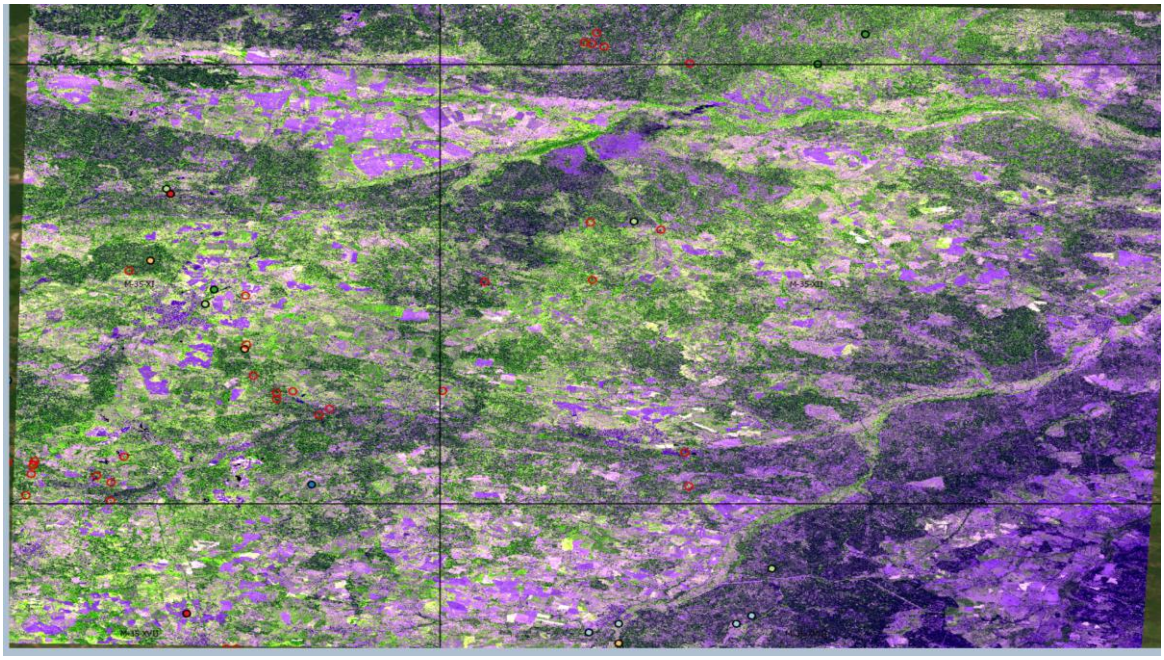

Рис. Приклад RGB-композиту спектральних показників Sentinel-2 для попереднього виділення спектрально контрастних ділянок у межах досліджуваної території (матеріали автора)

Принциповим обмеженням є те, що спектральний контраст не може автоматично трактуватися як ознака конкретної мінералізації. На відгук поверхні впливають рослинність, ґрунтовий покрив, сільськогосподарське використання, сезонність, атмосферні умови та різночасовість сцен. Тому подальша перевірка має ґрунтуватися на комплексуванні дистанційних ознак із геологічними, структурними й геохімічними критеріями та, за можливості, на незалежній валідації.

Висновки. Сучасна політика ЄС та України щодо критичної і стратегічної мінеральної сировини посилює потребу не лише в оцінюванні ресурсної бази, а й у розвитку інструментів, які підвищують ефективність роботи з геологічною інформацією. Геоінформаційні технології створюють основу для інтеграції різнотипних даних, а Sentinel-2 може бути одним із допоміжних джерел спектральних пошукових ознак. Науково обґрунтоване застосування band ratios потребує посилання на конкретні методичні джерела та обов'язкової перевірки їх інформативності в геологічних умовах досліджуваної території. Попередні результати підтверджують доцільність подальшого розвитку комплексного ГІС-підходу з переходом від візуального аналізу спектральних ознак до їх кількісного зіставлення з геологічними, структурними та геохімічними критеріями.

Список використаних джерел:

Кабінет Міністрів України. (2025). *Про затвердження переліків корисних копалин та компонентів стратегічного та критичного значення і переліків ділянок надр (родовищ корисних копалин) стратегічного та (або) критичного значення: Постанова Кабінету Міністрів України від 14 липня 2025 р. № 845*. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/845-2025-%D0%BF

Кабінет Міністрів України. (2026). *Про схвалення Стратегії розвитку галузей промисловості на основі корисних копалин та компонентів стратегічного та критичного значення на період до 2056 року та затвердження операційного плану з її реалізації у 2026–2028 роках: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 27 травня 2026 р. № 569-р*. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/569-2026-%D1%80

European Parliament & Council of the European Union. (2024). *Regulation (EU) 2024/1252 of 11 April 2024 establishing a framework for ensuring a secure and sustainable supply of critical raw materials and amending Regulations (EU) No 168/2013, (EU) 2018/858, (EU) 2018/1724 and (EU) 2019/1020*. *Official Journal of the European Union*. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1252/oj

Ge, W., Cheng, Q., Jing, L., Wang, F., Zhao, M., & Ding, H. (2020). Assessment of the capability of Sentinel-2 imagery for iron-bearing minerals mapping: A case study in the Cuprite Area, Nevada. *Remote Sensing, 12*(18), 3028. https://doi.org/10.3390/rs12183028

Lytvyniuk, S., & Bariatska, N. (2024). Methodological approaches for determination and assessing the resource potential of critical raw materials in Ukraine. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology, 1*(104), 77–85. https://doi.org/10.17721/1728-2713.104.10

Van der Werff, H., & Van der Meer, F. (2016). Sentinel-2A MSI and Landsat 8 OLI provide data continuity for geological remote sensing. *Remote Sensing*, *8*(11), 883. https://doi.org/10.3390/rs8110883

References:

Cabinet of Ministers of Ukraine. (2025). *Pro zatverdzhennia perelikiv korysnykh kopalyn ta komponentiv stratehichnoho ta krytychnoho znachennia i perelikiv dilianok nadr (rodovyshch korysnykh kopalyn) stratehichnoho ta (abo) krytychnoho znachennia* [On approval of the lists of minerals and components of strategic and critical importance and lists of subsoil areas (mineral deposits) of strategic and/or critical importance] (Resolution No. 845, July 14, 2025). https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/845-2025-%D0%BF [in Ukrainian]

Cabinet of Ministers of Ukraine. (2026). *Pro skhvalennia Stratehii rozvytku haluzei promyslovosti na osnovi korysnykh kopalyn ta komponentiv stratehichnoho ta krytychnoho znachennia na period do 2056 roku ta zatverdzhennia operatsiinoho planu z yii realizatsii u 2026–2028 rokakh* [On approval of the Strategy for the development of industries based on minerals and components of strategic and critical importance until 2056 and approval of the operational plan for its implementation in 2026–2028] (Order No. 569-r, May 27, 2026). https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/569-2026-%D1%80 [in Ukrainian]

European Parliament & Council of the European Union. (2024). *Regulation (EU) 2024/1252 of 11 April 2024 establishing a framework for ensuring a secure and sustainable supply of critical raw materials and amending Regulations (EU) No 168/2013, (EU) 2018/858, (EU) 2018/1724 and (EU) 2019/1020*. *Official Journal of the European Union*. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1252/oj

Ge, W., Cheng, Q., Jing, L., Wang, F., Zhao, M., & Ding, H. (2020). Assessment of the capability of Sentinel-2 imagery for iron-bearing minerals mapping: A case study in the Cuprite Area, Nevada. *Remote Sensing, 12*(18), 3028. https://doi.org/10.3390/rs12183028

Lytvyniuk, S., & Bariatska, N. (2024). Methodological approaches for determination and assessing the resource potential of critical raw materials in Ukraine. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, *1*(104), 77–85. https://doi.org/10.17721/1728-2713.104.10

Van der Werff, H., & Van der Meer, F. (2016). Sentinel-2A MSI and Landsat 8 OLI provide data continuity for geological remote sensing. *Remote Sensing*, *8*(11), 883. https://doi.org/10.3390/rs8110883