

Особливості комплексування дистанційних та традиційних геологічних методів при пошуках руд кольорових металів

В. Є. Філіпович¹, В. Л. Приходько², Д. О. Тарангул¹

¹Центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук НАН України, Київ

²Північне державне регіональне геологічне підприємство «Північгеологія», Київ

Нагальна потреба забезпечення України власними сировинними ресурсами вимагає впровадження у практику геолого-пошукових робіт нетрадиційних методів дослідження геологічного середовища. Одним із таких методів є дистанційне зондування Землі на основі використання мультиспектральної аерокосмічної інформації високої роздільної здатності. Історія застосування матеріалів ДЗЗ у пошуках, зокрема рудної геології налічує багато років. Незважаючи на виконані великі об'єми дешифрування, особливо при геологічній зйомці, воно, як правило, обмежувалось структурно-тектонічним та структурно-формаційним дешифруванням інтегральних чорно-білих, рідше спектрональних та радіолокаційних знімків, і мало підпорядковане значення.

З розвитком в останні роки знімальної апаратури, а також впровадженням нових технологій обробки аерокосмічної інформації впритул наблизило дистанційне зондування до вирішення завдань прямих пошуків корисних копалин [8].

Одним із таких методів, що активно розвивається у Центрі аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук НАН України (ЦАКДЗ ІГН НАН України), є метод, який базується на вивченні змін оптичних характеристик рослинності і фіксації їх на матеріалах ДЗЗ. Впровадження цих розробок у нафтогазопошукові та геоекологічні дослідження вже дало позитивні результати [5, 7].

Застосування цього методу у рудній геології базується на таких передумовах:

1. Руди кольорових металів, до складу яких відносяться мідь, свинець, цинк, нікель та сурма [2] містять найбільш небезпечні для біосфери метали-мікроелементи, причому найотруйніші для рослинності є Cu, Ni та Pb [5].

2. Завдяки формуванню над покладами кольорових металів геохімічних ореолів розсіювання у ґрунтовому шарі формуються підвищені концент-

рації рудоносних мікроелементів, частина з яких у рухомих формах поступає у наземну рослинність, де і накопичується у корінні, деревині, корі та листі [1, 9].

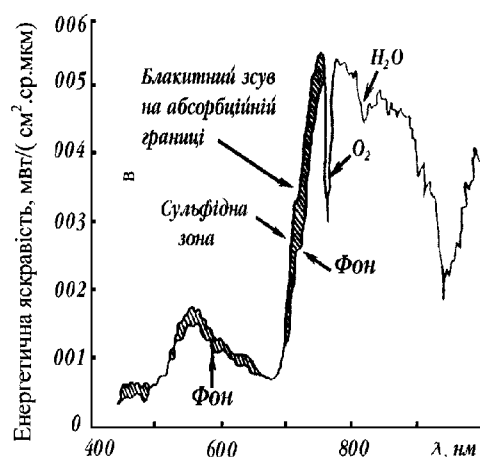
Підвищені концентрації мікроелементів у рослинності впливають певним чином (пригнічення або інтенсифікація процесів життєдіяльності) на їхні біологічні властивості та на хімічний склад. Це явище покладено в основу трудомістких геоботанічного та біогеохімічного методів наземних пошукових робіт.

3. При дистанційних дослідженнях на перший план виступає можливість фіксування не стільки морфологічних змін рослинних об'єктів (не кажучи вже про зміни хімічного складу), а змін спектральних характеристик відбитого випромінювання фітоценозів у оптичній та ближній інфрачервоній зонах спектру.

Спектрометричними дослідженнями рослинного стресу, спровокованого підвищеними концентраціями металів (у тому числі Cu, Zn, Pb, Ni), що були виконані з авіаційних носіїв, та у лабораторних умовах виявлено зміщення червоного краю спектру (680—750 мкм) у бік його короткохвильової частини (рисунок).

Розподіл елементів-індикаторів кольорових металів в рослинності (з використанням даних [9])

Елемент	Характер розподілу
Мідь	Найбільший вміст у корінні. У деревині стовбура, гілках та листях вміст однаковий. Також концентрується у стеблах і сухих плодах травостою
Свинець	Накопичується у корінні у найбільшій кількості. У деревині стовбура, гілках та листях вміст близький
Цинк	Найбільший вміст у листях. У корінні та корі вміст більший
Нікель	Накопичується у деревині. Концентрується у листях та стеблах травостою



Спектральна енергетична яскравість рослинності на грунтах з нормальним та підвищеним вмістом важких металів халькофільної групи [11]

Цей ефект дістав назву «блакитного зсуву» і на сучасному етапі вважається універсальним для більшості зелених рослин [5, 10]. При цьому найзначніший стрес за даними лабораторних досліджень навіть у достатньо малих концентраціях (300—500 мг/кг) викликають Cu та Zn; Ni — при малих концентраціях (100—200 мкг/кг) дає невеликий стрес, а у великих — він дуже токсичний, і рослини гинуть. Свинець призводить до незначних змін спектру, а в концентраціях 200—400 мг/кг навіть корисний для рослинності — збільшує біомасу та кількість хлорофілу [5, 10].

Таким чином, «металевий стрес» викликає зміни спектральних властивостей відбитого в області червоного краю випромінювання, а оптичні характеристики у червоній та ближній інфрачервоній областях спектру є безпосередніми носіями дистанційної інформації про стан фітоценозів і, як наслідок, про накопичення рудних елементів у ґрунтово-рослинному шарі.

На сучасному етапі розвитку фітоіндикації для вирішення пошукових завдань методами ДЗЗ [5, 7, 8] застосовується комплекс, що включає у різних співвідношеннях три види досліджень: наземне спектро- або фотометрування рослинності (польове та лабораторне); спектрометрування з авіаційних носіїв; визначення спектральної яскравості рослинності за даними багатозональної аеро- та космічної фотозйомки високої роздільної здатності.

З розвитком і удосконаленням знімальної апаратури та методів обробки інформації дослідження матеріалів аеро- та космічних зйомок у видимому та ближньому інфрачервоному діапазонах стає більш актуальним.

Для дослідження геологічного середовища, виявлення основних тектонічних елементів, визначення

важливих дешифрувальних ознак рудоконтролюючих структур найбільш перспективним серед сучасних методів ДЗЗ є спосіб роздільної фіксації кожної зони спектру, що реалізується як за допомогою аналогових фотографічних, так і цифрових сканерних систем знімання. Так, у фотосистемах він здійснюється за допомогою широко відомих по використанню на ШСЗ серії «Ресурс-Ф» камер KATE-200 і МК-4.

Однак такі «багатозональні» зйомки у фотографічному варіанті мають багато недоліків для роботи зі знімками в комп'ютерних системах. Тому останнім часом найбільший інтерес викликають і мають широке застосування космічні цифрові знімальні системи («Spot», «Landsat» та ін.), які дають знімки з роздільною здатністю від 1—2 до 10—30 м. Число каналів (спектральних зон), що знімаються цифровими системами, коливається від 1—3 («Spot») до 7 («Landsat») і навіть до багатьох десятків і декількох сотень (гіперспектральні). Останні практично застосовуються тільки в авіаційному варіанті. Узагальнюючи все вище викладене з позицій реалізації методів, що розглядаються для задач геологічної практики, необхідно підкреслити два основних моменти.

По-перше, застосування аерокосмічних методів ДЗЗ дозволяє зробити істотний внесок у вивчення структур рудних полів на основі спектральних характеристик геологічних об'єктів в різних зонах спектру. Розробити спектральні образи рудних площ і родовищ, які визначаються літологічними особливостями порід, мінеральною формою знаходження в них рудних компонентів, видом і ступенем деформованості порід, характерними асоціаціями навколорудних змін порід і т. п.

По-друге, дані про основні елементи структури рудних полів і родовищ дозволяють виявити типові спектрально-геометричні образи локальних рудоносних площ, характерних для того чи іншого рудного району. Разом з цим слід відмітити, що на стадії ще відносно низького рівня розробки прогнозних критеріїв всі типи віддешифрованих структурних елементів необхідно вивчати у процесі пошукових робіт. Як показує досвід, тут може бути отриманий фактичний матеріал, який дозволить по-новому трактувати структурні умови рудоутворень і ставити питання про нові методичні способи проведення пошуків кольорових металів.

Серед кольорових металів за рівнем використання найважливіше місце займає мідь. Потреби економіки України в ній величезні і за даними Програми розвитку кольорової металургії України у 2000 р. становили 145 тис. т на рік, а у 2010 очікуються до 175 тис. т [3].

Нині в Україні немає розвіданих родовищ міді. Найперспективнішими вважаються зруднення са-

мородної міді у базальтах трапової формації Волині, де роботами Північного державного регіонального геологічного підприємства (ПДРГП) «Північгеологія» виявлено Волинський міднорудний район площею до 10 тис. км². Прогнозні ресурси оцінюються в 25 млн т міді, а в окремих рудних вузлах — від 2 до 6 млн т [3, 4].

З 1997 р. ПДРГП «Північгеологія» розпочаті цілеспрямовані пошуки біляповерхневих покладів міді в межах Рафалівського рудного вузла, де зруднення встановлено від поверхні до глибини 150—250 м, а в Рафалівському кар'єрі був знайдений найбільший самородок міді вагою понад 700 г [3].

Методично пошуки ведуться на основі комплексу геофізичних методів та бурінням. Геофізичними методами картографуються рудовміщуючі товщі трапової формації, які в залежності від складу фіксуються аномаліями магнітного та гравітаційного полів різного знаку та морфології.

Структури, що служили каналами і осередками вивержень тріщинного та центрального типів, відзначаються у фізичних полях позитивними магнітними і гравітаційними аномаліями, верхня крайка яких розміщується на рівні поверхні кристалічного фундаменту. Аномалії мають кільцеву, овально-зональну морфологію з радіальним розташуванням тектонічних порушень, отже, характеризуються цілком визначеними ознаками вулканоплутогенних структур.

Основним наземним геофізичним методом, що застосовується при пошукових і пошуково-оцінювальних роботах на самородну мідь, є електро-розвідувальний метод викликаного поляризації (ВП) у модифікаціях зондування, профілювання, «зарядженого» тіла. В основі застосування методу ВП лежить досить складна залежність поляризації середовища від кількісного вмісту в ній самородної міді, що вивчена лабораторними методами на основі колекції рудовміщуючих порід. Ця залежність наближається до прямої при вмісті міді 0.8—1.0 % і вище. При вмісті міді в зразках від 0.3 до 0.8 % використовуються особливості частотних чи тимчасових характеристик спаду процесу ВП.

Використання методу ВП дозволяє картографувати аномалії підвищеної поляризації, аномалії швидкості спаду їхніх частотних характеристик у плані, розрізі й білясвердловинному просторі, що мають зв'язок із самородномідним зруденінням. Застосування методу ВП при пошукових роботах, виконаних у межах Рафалівського рудного вузла, дозволило підняти ефективність геолого-розвідувальних робіт з 22 % до 47 % при класі вмісту міді в підсічених інтервалах понад 0.1 %.

З другої половини 2001 року з метою підвищення ефективності пошуково-розвідувальних робіт

ЦАКДЗ ІГН НАНУ розпочато дослідно-методичні роботи з комплексної інтерпретації матеріалів аерокосмічних та геолого-геофізичних зйомок.

На першому етапі, на основі структурно-тектонічного дешифрування матеріалів ДЗЗ та аналізу даних геолого-геофізичних досліджень, побудована регіональна геодинамічна модель, в основу якої покладена розломно-блокова тектоніка та радіально-концентрична система розломів вулканоплутогенних структур. Для вирішення задач на детальному рівні пошукових робіт запропоновано, поряд із структурним довивченням, застосувати дослідження оптичних характеристик рослинності і відображення останніх на матеріалах ДЗЗ. Перспективи цього напрямку підтверджуються наземними геофізичними дослідженнями, виконаними співробітниками ПДРГП «Північгеологія» у 2001 році. Так, над виходами рудовміщуючих порід, що вклинюються у приповерхневі горизонти, виявлені аномалії концентрацій міді у водних витяжках з підгрунтя. Це дозволяє зробити висновок про її вертикальну міграцію до ґрунтового-рослинного шару і, таким чином, очікувати накопичення міді та її сполук у рослинному покриві. З другого боку, Рафалівська площа характеризується наявністю великих масивів соснових та змішаних лісів, серед яких переважають сосна, береза, дуб, ялина. Останні відносяться до стійких рослин — фітоіндикаторів [5, 7, 11]. Зауважимо, що уперше явище «блакитного» зсуву у інтервалі довжин хвиль 710—740 нм було виявлено Коллінзом та іншими [11] саме у спектрах відбитого випромінювання хвойних дерев (переважно сосна, ялина), які розміщені на породах з підвищеними концентраціями халькофільних елементів (рисунок).

Досвід, накопичений у ЦАКДЗ, при розробці запропонованого методу [5—7], дозволяє сформулювати комплекс необхідних прийомів:

1. Ландшафтне районування з детальним вивченням ґрунтового-рослинного покриву за матеріалами ДЗЗ та наземними спостереженнями.
2. Виділення тестових ділянок (родовище, фон).
3. Багатоканальна аероспектретрична зйомка та спеціалізована попередня обробка даних.
4. Наземне фотометрування рослинності (польове і лабораторне) та попередня обробка даних.
5. Вивчення матеріалів багатозональної космічної зйомки переважно у області червоного краю та виявлення оптичних аномалій.
6. Аналіз результатів досліджень, внесення необхідних коригувань, виділення перспективних на руди ділянок.

Зауважимо, що у сучасних економічних умовах, використання аероспектретрії у повному об'ємі досить проблематичне. У зв'язку з цим більший обсяг досліджень повинен припадати на аналіз

мультиспектральної цифрової супутникової інформації, насамперед, з високою спектрометричною роздільною здатністю.

При комплексуванні дистанційних та традиційних геологічних методів при пошуках кольорових металів, на наш погляд, доцільно розрізняти роль ДЗЗ на регіональному рівні (масштаб досліджень 1:200 000 — 1:100 000) та етапах детальних робіт (М 1:50 000 — 1:10 000).

На регіональному рівні приріст геологічної інформації відбувається завдяки структурно — тектонічному дешифруванню переважно матеріалів середньої й високої роздільної здатності (перші сотні й десятки метрів). Завдяки генералізації та охопленню значних територій матеріали ДЗЗ дозволяють підвищити якість інтерпретації даних геофізичних робіт, які по суті є методами точково-профільних досліджень.

На етапах детальних робіт разом з довивченням структури пошукових ділянок у комплексі з геофізичними методами, важливе значення набуває аналіз та інтерпретація матеріалів інтегральної та багатозональної зйомки з високою роздільною здатністю (від 1 до 10 м). У комплексі з геохімічними методами та бурінням ці матеріали, на основі вивчення змін оптичних характеристик спектру відбитого випромінювання та текстури зображення, можуть застосовуватися при локалізації ділянок із рудовміщуючими породами, а в окремих випадках виступати і як прямі ознаки руд кольорових металів.

Відносно малі затрати на отримання даних ДЗЗ (150—200 тис. грн на рік, де 50—60 % вартості припадає на цифрову супутникову інформацію з зарубіжних носіїв) у порівнянні з загальною вартістю пошукових робіт, навіть на таких невеликих ділянках, як Рафалівська (за попередніми геолого-геофізичними даними першочергова площа пошукових робіт становить 32 км², а загальна вартість оцінюється в 5 млн грн [3]) дозволять не тільки підвищити геологічну, а й економічну ефективність

комплексу геолого-розвідувальних робіт.

Таким чином, комплексування дистанційних та традиційних геологічних методів при дослідженні структур рудних районів і полів дозволяє більш ефективно вивчати важливі, як в теоретичному, так і в практичному відношенні закономірності розміщення зруденіння.

1. Барсуков В. Л., Григорян С. В., Овчинников Л. Н. Геохимические методы поисков рудных месторождений. М.: Наука, 1981.—320 с.
2. Горная энциклопедия. В 5 т. / М.: Советская энциклопедия, 1989.—т. 4. 415 с.
3. Гурський Д. С., Калінін В. І., Пижук І. П. та інші. Стан мінерально-сировинної бази кольорових металів України // Мінеральні ресурси України.—2000.—№ 4.—С. 2—4.
4. Гурський Д. С., Приходько В. Л., Білоус В. В. Самородна мідь Волині // Мінеральні ресурси України.—1995.—№ 1.—С. 6.
5. Лялько В. И., Вульфсон Л. Д., Жарый В. Ю. и др. Аэрокосмические методы в геоэкологии. — К.: Наук. думка, 1992.—206 с.
6. Лялько В. И., Вульфсон Л. Д., Котляр А. Л. Ландшафтная классификация и оценка фитометрических параметров растительного покрова с использованием многозональных снимков в оптическом диапазоне сканера МСУ-В КА «Океан-О» // Матеріали третьої Української наради користувачів аерокосмічної інформації (20-24 листопада 2000 р., м. Київ. — К.: Знання України, 2001.—С. 77—85.
7. Лялько В. И., Федоровський О. Д., Перерва В. М. та ін. Нові методи в аерокосмічному землезнавстві. Методичний посібник по тематичній інтерпретації матеріалів аерокосмічних зйомок. — К.: 1999.—264 с.
8. Перерва В. М., Лялько В. И., Архипов А. И. и др. Прямой поиск залежей нефти и газа дистанционными методами (предварительный опыт, перспективы развития). — К.: 1995. — 83 с. (Препринт / НАН Украины. ИГН; 95-95)
9. Поликарпочкин В. В., Поликарпочкина Р. Г., Биогеохимические поиски месторождений полезных ископаемых. М.: Наука, 1964. — 98 с.
10. Chang S. H., Collins W. Confirmation of the Airborne Biogeophysical Mineral Exploration Technique Using Laboratory Methods // Econ. Geol. —1983.—N 78(4).—P. 723—736.
11. Collins W., Chang S. H., Raines G., et al. Airborne biogeophysical mapping of hidden mineral deposits // Econ. Geol.—1983.—N 78(4).—P. 737—749.