

УДК 550.835(553.43/553.41)

Р. І. ГРИНІН, головний геофізик,
Г. В. СКІРТА, начальник Каротажної партії (ПДРГП "Північгеологія")

РОЗРОБКА ТА ВПРОВАДЖЕННЯ СПЕКТРОМЕТРИЧНОГО НЕЙТРОН-АКТИВАЦІЙНОГО КАРОТАЖУ З ГЕНЕРАТОРОМ НЕЙТРОНІВ 14 MeV ПІД ЧАС ПОШУКОВИХ РОБІТ НА МІДЬ

У статті показано можливість визначення наявності та кількості міді не тільки у стінках свердловин, а й в навколосвердловинному просторі. Об'єм породи, яка вивчається, досягає 250—280 кг замість перших кілограмів під час вивчення kernового матеріалу. Розроблена методика каротажних досліджень особливо ефективна в разі пошуків і розвідки об'єктів, які характеризуються малим вмістом і значною неоднорідністю мінералізації.

Пошуки та розвідка окремих типів корисних копалин, які характеризуються невеликим (частки процента або перші грами на тону руди) вмістом і вкрай неоднорідним розподілом рудної сировини, викликають великі труднощі. Завдання ще більш ускладнюється, коли відсутні чіткі геологічні або геохімічні ознаки, які б свідчили про наявність у навколосвердловинному просторі рудних утворень. Під час використання бурових свердловин позитивні результати можна отримати тільки в разі, коли стовбур свердловини безпосередньо перетне інтервал з підвищеним вмістом рудної мінералізації.

Ще одним чинником, який негативно впливає на ефективність пошукових робіт на вищевказані типи корисних копалин, є невелика маса матеріалу, який вивчається під час стандартного геологічного опробування.

Вага цього матеріалу не перевищує перші кілограми.

Одним з об'єктів, пошуки якого проводяться на теренах України і який за будовою характеризується великою неоднорідністю рудної мінералізації і відносно невеликим її середнім вмістом, є поклади самородної міді. Самородна мідь лавових потоків представлена як у вигляді окремих зерняток, вага яких не перевищує частку грама, так і окремими самородками у вигляді жовен, дротин, примазок тощо вагою 0,5—0,7 кг. Розподіл міді в породі може бути у вигляді окремих згущень ("гнізд"), відстань між котрими досягає десятків сантиметрів або кількох метрів.

Для підвищення ефективності геологорозвідувальних робіт під час пошукових робіт на мідь необхідно розробити та впровадити такий метод геофізичних досліджень, який дав би можливість оперативно вивчати не тільки стінки свердловини, а й навколо-

свердловинний простір з метою визначення наявності чи відсутності мідної мінералізації та оцінки її вмісту у великих за об'ємом масах гірської породи. Саме такий підхід, урахувавши вкрай неоднорідний характер рудної мінералізації, є найефективнішим.

Для підвищення загальної ефективності пошукових робіт було використано ефект утворення нових короткоіснуючих ізотопів міді внаслідок дії потоку нейтронів.

Метод нейтрон-активаційного каротажу з ампульними джерелами нейтронного випромінювання широко використовується у практиці геологорозвідувальних робіт. Відомі приклади ефективного використання цього методу під час розвідки родовищ флюориту, бокситів, марганцю тощо. Але в усіх цих випадках об'єкт дослідження являє собою утворення з чіткими геологічними границями, в яких вміст корисних копалин може досягати десятків процентів. Водночас

попередні дослідження лавових потоків показали, що вміст міді в більшості пошукових свердловин вимірюється тільки десятими частками процента.

На рис. 1 показано спектри вторинного гамма-випромінювання, отримані після опромінювання породи з вмістом міді 0,46 % нейтронами від ампульного джерела (спектр 2) і нейтронами енергією 14 MeV від генератора нейтронів (спектр 1).

Не вдаючись до характеристики фізичної природи отриманих спектрів, можна зробити висновок, що використання серійних ампульних джерел (Po-Be, Pu-Be) з виходом нейтронів на рівні $n \cdot 10^7$ н/с для забезпечення пошукових робіт на самородну мідь з наявним її вмістом у лавових потоках на рівні 0,5 % і нижче неефективне. Водночас використання генераторів нейтронів енергією 14 MeV дає змогу виявляти незначну кількість міді безпосередньо у свердловинах в умовах її природного залягання. Це відкриває нові можли-

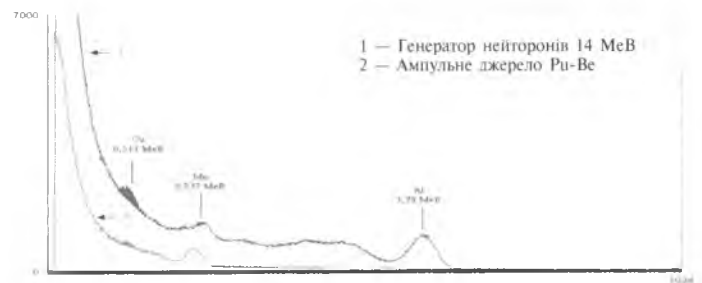


Рис. 1. Визначення наявності міді в породі під час її опромінення від генератора нейтронів або Pu-Be джерела. Вміст міді в породі 0,46 %

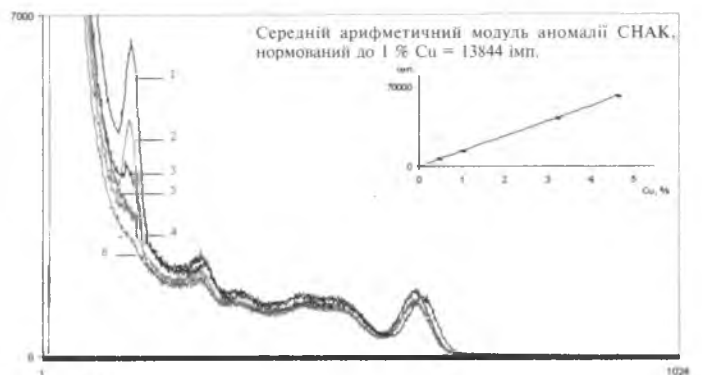


Рис. 2. Визначення кореляційного зв'язку між вмістом міді в породі та модулем аномалій (1—4,64 % Cu; 2—3,23 % Cu; 3—0,99 % Cu; 4—0,46 % Cu; 5-баз. 0 % Cu; 6-туф 0 % Cu)

вості підвищення ефективності геологорозвідувальних робіт під час пошуків самородної міді.

Фізико-геологічною основою, яка забезпечує переваги використання саме генераторів нейтронів, є:

1. Можливість виконання прямого методу пошуків, при якому аномальні геофізичні ефекти виникають і фіксуються тільки за наявності в породі самородної міді.

2. Підвищення інтенсивності нейтронного опромінювання, що дає змогу визначити в породі нижчі концентрації міді.

3. Можливість здійснення високоенергетичної реакції на швидких нейтронах $^{63}\text{Cu}(n, 2n)^{62}\text{Cu}$ з порогом 10,96 МеВ, періодом напіврозпаду 9,76 хв і виходом гамма-квантів на рівні 195 % на розпад. Це не тільки суттєво зменшує час опромінювання

породи, а й дає можливість отримувати при цьому значніший порівняно з іншими активаційними реакціями на мідь вторинний потік гамма-квантів.

4. Можливість отримання додаткових гамма-квантів від інших ізотопів міді в разі подальшого уповільнення нейтронів до теплових, що також сприяє підвищенню чутливості досліджень.

Для забезпечення впровадження нового ефективного методу пошуків родовищ самородної міді було виконано великий обсяг технічних і методичних робіт.

Було створено апаратний комплекс, який залучав блок ініціювання штучного нейтронного потоку великої енергії, блок реєстрації вторинного гамма-випромінювання, блок спектрометричної обробки гамма-випромінювання, набір відповідних блоків живлення, засоби загального керування апаратним комплексом. Одночасно з розробкою та виготовленням апаратного комплексу було розроблено методи-

ку виконання польових робіт та методику інтерпретації слабконтрастних аномалій з використанням спеціального програмного продукту, пристосованого до обробки спектрів, отриманих під час досліджень у свердловинах на мідь.

Для калібрування та забезпечення кількісної інтерпретації матеріалів польових досліджень було побудовано спеціальну свердловину, яка складалась з блоків з вмістом міді (у %) 0; 0,46; 0,99; 3,23; 4,64. Виготовлення штучних зразків мідної руди було проведено відповідно до чинних нормативних документів (галузевий стандарт ОСТ 41-08-252-85, ГОСТ 27872-88 та ін.). Виготовлені зразки у відповідності з досягнутими параметрами відносно кількості середніх незалежних результатів визначення вмісту міді, похибки та відносної похибки вмісту міді у стандартному зразку, параметра однорідності та параметра "К" відповідають III категорії аналізів і як штучні зразки породи можуть надалі використовуватись для забезпечення спектрометричного нейтронно-активаційного каротажу в пошукових свердловинах.

Роботи, які виконано створеним комплектом апаратури з використанням штучних зразків породи відповідно до розроблених методик польових робіт та інтерпретації слабконтрастних аномалій, довели принципову можливість виконання пошукових робіт на самородну мідь з використанням генераторів нейтронів енергією 14 МеВ. На рис. 2 показано окремі спектри, отримані на блоках з різним вмістом міді, і кореляційну залежність між вмістом міді та отриманим аномальним ефектом. Лінійна залежність цих двох параметрів дає змогу використовувати метод спектрометричного нейтронно-активаційного каротажу з генератором нейтронів енергією 14 МеВ (СНАК) не лише для виявлення наявності чи відсутності міді у

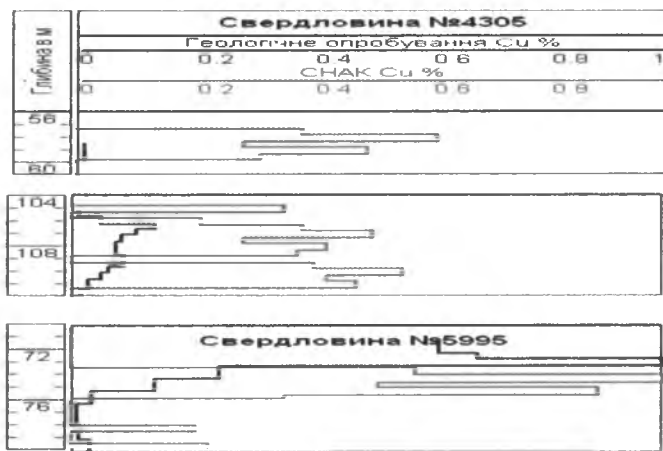


Рис. 3. Зіставлення результатів геологічного опробування свердловин на мідь з даними СНАК з генератором нейтронів

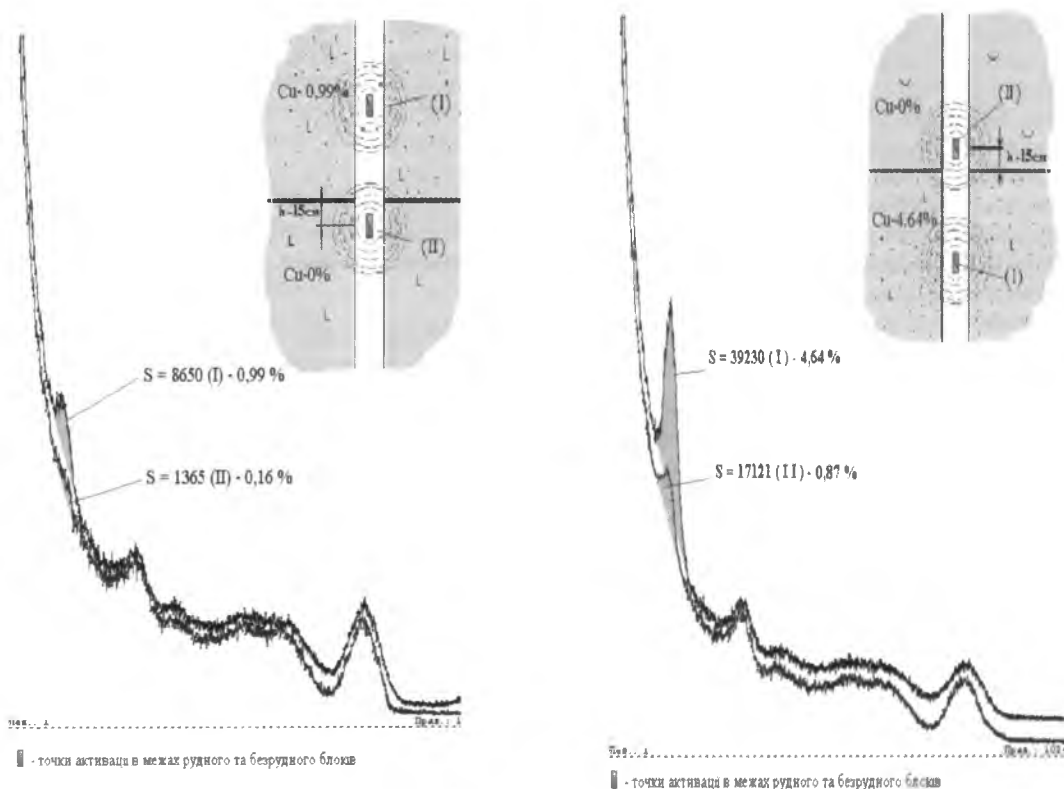


Рис. 4. Визначення наявності міді в навколосвердловинному просторі в разі її відсутності у стінках свердловини та керні

свердловинах, а й для визначення її кількісного вмісту в породі.

Розроблені технічні та методичні засоби використання спектрометричного нейтронно-активаційного каротажу з генератором нейтронів енергією 14 MeV (СНАК) дали змогу розпочати його широке впровадження у практику геологорозвідувальних робіт. Останнім часом цим способом дослідження було охоплено кілька десятків свердловин. На рис. 3 показано деякі результати, які було отримано у виробничих умовах геологорозвідувальних робіт.

У свердловині № 5995 результати каротажу й геологічного опробування збігаються. Деяке розходження у глибинах викликане звичайними відмінностями між глибиною, визначеною по керну й каротажу.

У свердловині № 4305 інтервали мідної мінералізації збігаються, але за даними каротажу вміст міді вищий, ніж вміст, визначений за даними хімічного аналізу.

У тій само свердловині 4305 в інтервалі 57—62 м за даними геологічного опробування мідь відсутня. Водночас за даними каротажу вона наявна на рівні приблизно 0,5 %.

Ці три приклади є типовими під час зіставлення матеріалів геологічного опробування, виконаного за допомогою хімічних аналізів і результатів каротажу. Причини розходження наступні.

Дослідні роботи, виконані на блоках з відомим вмістом міді, показали, що під час нейтронно-активаційного каротажу з генератором нейтронів одночасно досліджується блок породи радіусом 30 см. Вага такого блоку при середній щільності $2,567 \text{ г/см}^3$ становить приблизно 280 кг. Розрахункові та експериментальні роботи дають можливість стверджувати, що блок породи вагою 280 кг вивчається з порогом чутливості на мідь 0,1—0,15 % Cu. Водночас вага керна з інтервалу дослідження не перевищує декількох

кілограмів. Мідь, урахувуючи велику неоднорідність мінералізації, може бути зосереджена як біля стінок свердловини, так і на деякій відстані від них. Десятки досліджень блоків породи, в яких мідь відсутня, не виявили жодного випадку виникнення хибної аномалії. Тому можна стверджувати, що наявність активаційної аномалії безпосередньо свідчить про наявність міді в навколосвердловинному просторі навіть у тому разі, коли вона відсутня в керні та стінках свердловин.

На рис. 4 наведено експериментальні результати, які підтверджують висловлену вище думку. В обох випадках апаратура розміщена у блоці породи, де мідь відсутня: до інтервалів мідної мінералізації 15 см. Але в обох випадках отримані спектри вторинного гамма-випромінювання фіксують наявність міді. Інтенсивність аномалій залежить від кількості міді в навколосвердловинному просторі. Коли її більше (4,64 %), то і аномалія в безрудній точці на відстані 15 см від руди більша (0,87 %). Коли кількість міді зменшується (до 0,99 %), то і подібна аномалія зменшується (до 0,16 %).

Наведені дані промислових досліджень, результати експериментів і теоретичних розрахунків підтверджують ефективність упровадженого методу спектрометричного нейтронно-активаційного каротажу з генератором нейтронів енергією 14 MeV під час пошуків об'єктів, які характеризуються не тільки їх невеликим вмістом у породі, а й дуже великою неоднорідністю мінералізації. Як приклад таких робіт є пошуки самородної міді. Але, власне кажучи, такий підхід можна використовувати і під час пошуків інших корисних копалин, які мають приблизно такі само параметри свого просторового поширення.