

THE MIGRATION OF COPPER IN THE BIOTITE GNEISES WEATHERING CRUST AT THE CENTRAL PART OF THE UKRAINIAN SHIELD

G.S. Kompanets, O.Yu. Shestakov, L.I. Moroz

МІГРАЦІЯ МІДІ В КОРАХ ВИВІТРЮВАННЯ БІОТИТОВИХ ГНЕЙСІВ ЦЕНТРАЛЬНОЇ ЧАСТИНИ УКРАЇНСЬКОГО ЩИТА

Г.С. Компанець, О.Ю. Шестаков, Л.І. Мороз

The most valid factor of mobilization of copper particularly in the terrestrial parts of the world is the hypergene process. On an example of the Ingul-Ingulets series Proterozoic biotite gneisses weathering crust (the central part of the Ukrainian shield) the behaviour of copper – its mobilization, redistribution and concentration in different zones of weathering crust was studied. The activity and spreading of these processes in gneisses weathering crust, genesis of associations of copper with other elements caused by a different level of decomposition and desintegration of parental rocks.

Key words: weathering crust, copper, kaolinite, hydromica, biotite gneisses.

Найбільш вагомим фактором мобілізації міді на суші є елювіальний процес. На прикладі кір вивітрювання біотитових гнейсів інгуло-інгулецької серії протерозою центральної частини Українського щита вивчено поведінку міді – її мобілізація, перерозподіл та концентрація в різних зонах профілю кори вивітрювання. Встановлено, що активність і масштабність цих процесів у корах вивітрювання гнейсів, утворення асоціацій міді з іншими елементами зумовлені різним ступенем розкладення і дезінтеграції материнських порід.

Ключові слова: кори вивітрювання, мідь, каолінит, гідрослюди, біотитові гнейси.

Фактором мобілізації речовини, зокрема міді, на суші є елювіальний процес, який формує кори вивітрювання – залишкові продукти вивітрювання. Роль кір вивітрювання у виносі уламкового та розчинного матеріалу дуже велика. При цьому особливості міграції елементів залежно від складу та стадії розкладення вихідних порід (зони профілю кори) суттєво змінюються.

Мідь в корі вивітрювання – рухомий елемент, який швидко вивільнюється із ґратки первинних мінералів, де він є структурним катіоном при її руйнуванні. Масштабність міденосності гіпергенних утворень значною мірою залежить від міденосного потенціалу порід субстрату, тектонічних, кліматичних умов, характеру, тривалості, інтенсивності процесів гіпергенезу, складу первинних порід. Розкладення порід, як відомо, відбувається під впливом переважно хімічних агентів: води, кисню та вуглекислоти повітря. Вода впливає шляхом безпосереднього розчинення, гідратації (витіснення іоном H^+ лугів із мінералів) та гідролізу, що призводить до повного розкладання мінералів. Кисень є сильним окислювачем, а вуглекислота підвищує хімічну активність вод – збільшує концентрацію водневих іонів. Поряд з фізико-хімічним вивітрюванням велику роль при руйнуванні корінних порід відіграє біохімічне вивітрювання [4].

Мідь належить до важких перехідних металів, які характеризуються недобудованою 3-d електронною оболонкою, що зумовлює високу активність цього елемента. В корі вивітрювання мідь [3] знаходиться у вигляді вільних іонів (Cu^{2+}), легко переходить в форму легкорозчинних солей та їх іонів у розчинах, а також знаходиться у формі важкорозчинних солей та їх іонів у розчинах, як ізоморфна домішка в різних мінералах. Крім того, встановлена висока адсорбційна активність міді (форма знаходження – адсорбовані катіони). Сорбентами слугують різноманітні природні органічні речовини та карбонатні, глинисті мінерали, гідроксиди заліза та марганцю, аморфний кремнезем. Природні органічні сполуки містять електронодонорні атоми та функціональні групи, що й забезпечують утворення металоорганічних комплексів, розчинність яких значно перевищує розчинність неорганічних комплексів металів. Цей фактор сприяє підвищенню міграційних властивостей металів, зокрема міді, в зоні гіпергенезу.

Дослідження умов міграції металів проводили різні дослідники: Б.Ф. Міцкевич, А.Д. Додатко, К.Н. Заруцький, Н.А. Росляков, В.К. Рябчун, В.Н. Кобзар, В.Б. Коваль, Є.М. Гоніондський, Є.О. Куліш, М.С. Ковальчук, Н.А. Лисицина, В.М. Шовкопляс, Ю.О. Новіков, Л.М. Новікова та ін. Найбільш вагомі дослідження в цьому напрямі були проведені Б.Ф. Міцкевичем, яким вперше було досліджено фізико-хімічні умови гіпергенної міграції металів та встановлено ступінь участі хімічних елементів порід докембрійського фундаменту Українського щита в процесах сучасного гіпергенезу. Тобто він розро-

бив теоретичну основу підвищення ефективності пошуків рудних родовищ, пов'язаних з кристалічними породами за їх вторинними ореолами та потоками розсіювання [6].

Авторами досліджувалась поведінка міді – її мобілізація, перерозподіл та концентрація в корах вивітрювання біотитових гнейсів інгуло-інгулецької серії протерозою центральної частини Українського щита, які поряд з корами вивітрювання кислих порід мають найширше розповсюдження в районі досліджень [5].

На досліджуваній площі, як і на Українському щиті загалом, абсолютну перевагу розповсюдження мають кори вивітрювання, що у плані утворення хронологічно належать до пізньомезозойської [5] епохи короутворення (за іншими джерелами [1] – до середньомезозойської). Нижня межа кір вивітрювання датується середньою юрою. Перекриті кори вивітрювання відкладами крейди (на окремих ділянках), палеогену, неогену та антропогену. Короутворенню у вказаному інтервалі сприяли спокійна тектонічна обстановка, теплий та вологий клімат, єдина для усього Українського щита поверхня вирівнювання з хорошими умовами для дренажу поверхневих вод.

Головною рисою кір вивітрювання, що розвиваються на кристалічних утвореннях щита, є їх вертикальна зональність, що супроводжується зміною знизу вгору горизонтів з різним ступенем розкладання і дезінтеграції материнських порід [7].

Далі наводиться більш детальна характеристика будови профілю кір вивітрювання біотитових гнейсів.

I. Зона дезінтеграції (дезінтегровані кори) характеризується початковою стадією гідратації силікатів, інтенсивним фізичним вивітрюванням. Домінують мінерали первинних порід, інтенсивного розвитку набули гідрослюда, гідрохлорити. Дезінтегровані гнейси мають сірий, темно-сірий колір із зеленуватим відтінком. Структура гранолепідобластова, лепідобластова, текстура гнейсоподібна. Основна маса польових шпатів каолінізована.

II. Зона вилуговування (структурні кори) характеризується кінцевою гідратацією силікатів та початком гідролізу. Мінеральний склад такий (%): каолініт – до 50; кварц – 10–30; гідрослюда з гідробіотитом – до 40. Каолініт утворює віяло- та волокноподібні агрегати.

III. Зона остаточного вилуговування та гідролізу представлена каоліновою білою або світло-сірою породою. Мінеральний склад такий (%): каолініт – 60–85; кварц – 15–40. Каолініт, який утворився внаслідок розкладання польових шпатів, утворює тонкодисперсну масу, а той, що внаслідок розкладання слюд – більш крупну волокнисту масу. Відмічається пірит, рідкісними є рутил, турмалін, циркон, ільменіт, лейкоксен, гідрогетит, епідот, гранат, монацит, трапляються поодинокі зерна корунду.

IV. Зона окиснення складається переважно з каолініту. Вцілому мінеральний склад цієї зони аналогічний складу III зони.

Дослідження розподілу міді та її елементів-супутників у різних зонах профілю кори вивітрювання гнейсів, а також у породах кристалічного фундаменту проводилось шляхом застосування математико-статистичних методів, що дало можливість розрахувати статистичні параметри розподілу значень вмісту міді та її елементів-супутників. Було проведено кореляційний та кластерний аналізи на основі даних спектрального аналізу, які здійснювалися за допомогою програмного пакету STATISTIKA-6. У статистику було закладено дані по 123 пробах, з метою визначення вмісту міді, срібла, миш'яку, цинку, свинцю, вісмуту, молібдену, вольфраму, заліза, марганцю, кобальту, нікелю.

Вивчення розподілу міді по профілю кори вивітрювання дозволило виділити дві зони вторинного мідного збагачення – II та IV (структурна та каолінова кори вивітрювання, відповідно). Вміст міді в них відповідно становить 0,00483 та 0,00532 % проти 0,00355 % у I зоні та 0,00380 % у III зоні кори вивітрювання. Вміст міді в гнейсах кристалічного фундаменту – 0,0043 %, тобто порівняно з ним вміст цього металу в I та III зонах зменшений, а у II та IV – збільшений. На основі аналізу вмісту міді по профілю та характеру утворення її асоціацій з іншими елементами були зроблені висновки про фактори, що визначають міграцію та концентрацію міді та елементів-супутників у профілі кір вивітрювання та в біотитових гнейсах кристалічного фундаменту.

Встановлено, що активність і масштабність міграції і концентрації міді у корах вивітрювання гнейсів, утворення асоціацій міді з іншими елементами зумовлені різним ступенем розкладання і дезінтеграції материнських порід, тобто гнейсів, і віддзеркалюють зміни мінерального складу по профілю кори вивітрювання (і, відповідно, сорбційних властивостей і умов існування кір: Eh, pH). Динаміка міді в корах вивітрювання, крім кліматичних (теплий і вологий клімат обумовлює інтенсивний

розвиток кір хімічного вивітрювання), геоморфологічних (пенепленізація рельєфу) умов, визначається тривалістю, інтенсивністю процесів гіпергенезу, складом первинних порід, зональністю вивітрювання, характером, складом і стабільністю рівня ґрунтових вод тощо.

Завдяки мобілізованій міді (яка перерозподіляється, концентрується) відбувається багатостадійний процес природного збагачення кір вивітрювання. Концентрація міді здійснюється шляхом збагачення нею продуктів вивітрювання за рахунок концентрації гіпергенної міді (осадження з розчинів, випадіння колоїдів, коагуляція гелей, адсорбція міді на гідроксидах і оксидах заліза, марганцю, гіпергенних мінералах, органіці, гідрослюдах, каолініті та інших глинистих мінералах) на геохімічних бар'єрах у різних зонах профілю кір вивітрювання утворенням горизонтів вторинного збагачення. Перетворення породоутворюючих і темноколірних мінералів-концентраторів міді в глинисті відбувається практично у всіх зонах вивітрювання. Тому в кожній зоні існує джерело міграційної міді, яка, вивільнюючись з гіпогенних мінералів, раніше або пізніше сорбується новоутвореними мінералами, співосаджується з ними на геохімічних бар'єрах чи виноситься за межі профілю. Мідь, що концентрується у фракції менше 0,001 мм – малорухома, оскільки глинисті мінерали дуже сильні сорбенти міді. Тому окисні, близьконейтральні умови існування гідрослюдисто-каолінітової кори вивітрювання II зони не сприяють перерозподілу міді, внаслідок чого її хемогенна міграція за межі профілю не відбувається, що призвело до зростання вмісту міді в цій зоні.

Встановлено, що серед глинистих мінералів активним осаджувачем міді є каолініт. На каолініті, що характеризується досконалою структурою (зона III), переважає крайова адсорбція міді, що не сприяє зростанню вмісту міді в цій зоні. При недосконалій (пористій) структурі кристалічної ґратки поряд з крайовою, відбувається поверхнева адсорбція міді, що й зумовило зростання вмісту міді у IV зоні профілю.

Характер асоціацій елементів-супутників міді більш-менш пояснюється подібністю їх властивостей згідно з класифікацією В.М. Гольдшмідта [2].

У IV зоні збільшення вмісту міді зумовлене адсорбцією міді мінералами групи каолініту. Значущий позитивний кореляційний зв'язок у цій зоні мідь має із цинком, свинцем, вісмутом, вольфрамом (усі, крім вольфраму – халькофіли, як і сама мідь). У II зоні мідь осаджується разом з цинком, кобальтом, нікелем та сріблом. Кобальт і нікель – сидерофіли, але проявляють і халькофільність за деяких умов [2].

I та III зони профілю кори вивітрювання, які збіднені міддю, характеризуються іншим набором елементів, що корелюють з нею. У I зоні це позитивна кореляція міді з сріблом та вольфрамом та негативна з вісмутом. Така мала кількість корелюючих елементів (це стосується не тільки міді, а й усього набору елементів взагалі) свідчить про слабку розвиненість геохімічних процесів у I зоні. У III зоні з міддю корелюють срібло, свинець, залізо, марганець, кобальт, нікель. На формування цієї асоціації елементів мають вплив гідроксиди – $\text{Fe}(\text{OH})_3$ та $\text{Mn}(\text{OH})_4$, на користь чого свідчать і зв'язки заліза з частиною тих елементів, з якими корелює мідь – це срібло та свинець. Усі елементи, які корелюють з міддю – халькофіли або поєднують ознаки халькофілів та сидерофілів (нікель, кобальт).

III зона – головна зона мобілізації міді і більшості інших елементів, у якій в ході вивітрювання більша частина міді та її елементів-супутників переходять у водорозчинні іонні форми (прості та комплексні).

Таким чином, фактори короутворення, впливаючи на винос чи накопичення міді та інших елементів у профілі кори вивітрювання, визначають і характер асоціацій елементів-супутників міді, що відповідає певним типам геохімічних бар'єрів.

1. Басс Ю.Б., Борисенко С.Т., Кондрачук В.Ю., Эльянов М.Д. Древние коры выветривания Украины // Кора выветривания и связанные с ней полезные ископаемые. – Киев: Наук. думка, 1975. – С. 4–35.
2. Браунлоу А.Х. Геохимия. – М.: Недра, 1984. – 464 с.
3. Войткевич Г.В., Закруткин В.В. Основы геохимии. – М.: Высш. шк., 1976. – 368 с.
4. Геворкьян В.Х., Чугунный Ю.Г. О роли биоса в литогенезе // Геол. журн. – 2008. – № 1. – С. 25–37.
5. Додатко А.Д. Геохимия послепаргейских кор выветривания Украинского щита // Кора выветривания и связанные с ней полезные ископаемые. – Киев: Наук. думка, 1978. – С. 137–146.
6. Міцкевич Б.Ф. Геохімічні ландшафти Українського щита. – К.: Наук. думка, 1971. – 176 с.
7. Никитин К.К. Классификация кор выветривания и связанных с ними месторождений полезных ископаемых // Геология и геохимия кор выветривания / АН СССР. Ин-т геологии руд, месторождений, петрографии, минералогии и геохимии. – М.: Наука, 1968. – С. 30–51.