

Золото та його елементи-супутники в корі вивітрювання родовища Балка Широка

Шестаков О.Ю., Ковал'чук М.С.
Інститут геологічних наук НАН України, Київ

Розглянуто особливості розподілу золота та його елементів-супутників у корі вивітрювання родовища золота Балка Широка. З'ясовано геохімічні бар'єри, які обумовлюють концентрацію цих металів. Зроблено висновок, що надійними критеріями геохімічних процесів, які сприяють концентрації золота у профілі кори вивітрювання є співвідношення геохімічно споріднених елементів.

Вступ. Золото, срібло і мідь є найближчими сусідами в геохімічній таблиці і утворюють так звану "мідно-срібло-золоту вісь". З геохімічної точки зору золото, мідь та срібло належать до халькофільних металів, які об'єднуються загальними особливостями будови атомів, концентрацією в гідротермах тощо. Вказана геохімічна тріада елементів бере участь у всіх циклах ендогенної міграції.

В зоні гіпергенезу золото, мідь і срібло активно мігрують у поверхневих і підземних водах, утворюючи різноманітні комплекси (в тому числі і металоорганічні), активно залишаються до біологічного колообігу, їх сорбують органічна речовина, глинисті мінерали, гідрооксиди заліза та марганцю, кремнезем. Мідь найбільш інтенсивно мігрує в сірчанокислих водах зони окиснення сульфідних руд. Елементи геохімічної тріади добре змішуються в твердих розчинах. Добра змішуваність трьох елементів обумовила значну кількість мінералів цих металів. Для золота, міді і срібла характерна одна споріднена ознака, яка визначає їх найбільшу цінність – здатність утворювати самородки. Елементи, позиції яких у геохімічній таблиці примикають до мідно-срібло-золотої тріади, асоціюють з ними, або утворюють домішки в них.

Однак золото, мідь і срібло не зовсім подібні за низкою властивостей, у тому числі й за потенціалом іонізації. Цим зумовлена самостійність їхньої поведінки в деяких природних процесах, особливо в зоні гіпергенезу, де їх шляхи часто розходяться.

Ідея досліджень. Хоча золото, мідь та срібло вважаються одними з найвивченіших у природних умовах елементами, практика показала, що багато сторін поведінки цих металів у конкретних природних системах вважалися малозначущими або взагалі не враховувалися. Це привело до того, що без наукового обґрунтування були відкриті не тільки нові мінеральні види, а й нові в геохімічному відношенні типи їх природних концентрацій (з органікою в породах, з хлором в соленосних відкладах і т. п.). Ці та інші особливості поведінки золота, срібла і міді підтверджують положення про те, що будь-який елемент, пристосовуючись до системи, починає проявляти її властивості.

Постановка задачі. На прикладі відомого золоторудного родовища Балка Широка, де в рудних тілах відмічений тісний корелятивний зв'язок золота, міді, срібла та інших елементів, прослідкувати шляхи цих елементів у корі вивітрювання золотовмісних порід та встановити ділянки і геохімічні бар'єри, що обумовлюють їх концентрацію в зоні гіпергенезу.

Основна частина. Чортомлицька зеленокам'яна структура вважається однією із найбільш вивчених структур Українського щита, в межах якої встановлено ряд рудопроявів і родовищ золота. На північно-східному її заміканні розташована Широкобалкінська палеовулканічна структура – одна з найбільших структур центрального типу, що має ізометричну форму діаметром 4–5 км. В межах південно-західного фрагменту Широкобалкінської палеовулканічної структури локалізоване найбільш перспективне родовище золота Балка Широка. Геологічний розріз родовища (М.Л. Осадченко та ін., 2000; В.М. Петъко та ін., 2002) розділяється на три частини, що закономірно узгоджуються з вулкано-плутонічною моделлю розвитку даної території і контролюються структурними елементами Широкобалкінського палеовулкану. Східний фланг

родовища знаходитьться у вулканічній улоговині, західний – на схилі палеовулканічної будови; центральна частина, де зосереджені головні рудоносні структури – у пограничній Центральній тектонометасоматичній зоні. Східний фланг родовища складений переважно лавами, туфами і туфітами основного і середнього складу. Західний також переважно ефузивний, з більшою частиною кислих метаefузивів і туфів. Розріз центральної частини родовища представлений більш ніж на 90 % основними породами. Найважливіший елемент розрізу у Центральній частині родовища – залізисті кварцити, що знаходяться у повному структурному парагенезисі з інтузивним комплексом і є субзгодними з інтузивними тілами. У південній частині родовища, окрім субзгодних інтузивних тіл основного і ультраосновного складу, є пострудна дайка долерітів середньопротерозойського віку, що розсікає зони золоторудної мінералізації. Вмісне середовище золоторудних зон у плані їх літологічного контролю представлено усіма типами порід, тобто процеси рудоутворення мали епігенетичний характер за відношенням до вмісних порід.

Середньо-низькотемпературне комплексне золото-срібло-поліметалічне гідротермально-метасоматичне зруденіння центральної частини родовища просторово та генетично пов'язане і контролюване кулісоподібною системою тектонічних порушень радіально-січного плану.

Золоторудні тіла і мінералізовані зони супроводжуються ореолами гідротермально-метасоматично (березит-лиственітового ряду) змінених порід, а також яскраво проявленими ореолами ендогенного розсіювання елементів-супутників (Ag, As, Cu, Pb, Zn, зрідка Mo і Bi). Навколо рудних покладів та в їх межах відмічається суміщення ореолів як мінімум трьох із цих елементів-супутників з аномально високою концентрацією. Розподіл срібла нерівномірний. Досить розповсюдженими компонентами на ділянці родовища є мідь, свинець і цинк. Їх вміст добре корелює з вмістом золота. Зворотна залежність спостерігається лише за умови вмісту золота ~ 2 г/т. Неодмінно супроводжує золото у рудах арсен, особливо за умови вмісту першого 1 г/т і більше – тоді між цими елементами спостерігається прямий кореляційний зв'язок. Вказані елементи утворюють ореоли аномального вмісту навколо золоторудних зон. Спорадично в окремих свердловинах навколо ореолів цих елементів відмічаються точкові, а інколи і розповсюдженні за площею аномалії барію, бісмуту, молібдену, хрому і вольфраму.

Геохімічні аномалії типоморфних елементів мають лінійний характер і часто є морфологічно близькими, встановлені на структурно й генетично різних ділянках, сприятливих для локалізації золота і елементів-супутників.

Для родовища Балка Широка характерна наявність кори вивітрювання палеозой-мерозойського віку по золотоносних породах фундаменту, потужність якої коливається від 25 до 83 м. Профіль кори вивітрювання складається з таких зон (знизу вгору): 1 – зона щебнистої кори, представлена уламками материнських порід, або зона дезінтеграції; 2 – зона структурної кори, з гідрослюдою, гідрохлоритом по метабазитах, серицитом, кварцом, частково каолінітом, або зона гідролізу; 3 – зона каолінової кори, червоного та оранжевого забарвлення, з гетитом, гідрогетитом, сидеритом, або зона кінцевого гідролізу та окиснення. Профіль кори вивітрювання є неповним і слаборозчленованим на зони.

Кора вивітрювання містить золото залишкове (продовження ендогенних рудоносних зон у корі вивітрювання), гідрогенне та гіпергенне.

Дослідженю механізму міграції та концентрації золота у профілі кори вивітрювання має передувати встановлення його супутників, що мігрують за схемою, подібною до схеми міграції золота, отже можуть слугувати пошуковими ознаками золота.

З метою вивчення відмінностей геохімічних процесів (ГХП), що впливають на міграцію і концентрацію золота, профіль кори вивітрювання був розбитий на шість рівних за потужністю горизонтів.

Для визначення прогнозно-пошукових критеріїв золотого зруденіння і розробки методів його пошуків у кристалічному фундаменті з використанням даних опробування кори вивітрювання був вивчений механізм міграції та концентрації золота, срібла і міді у профілі кори вивітрювання. Припускалося, що ці елементи – такі, що утворюють у аномальних по золоту горизонтах комплексні аномалії з ним.

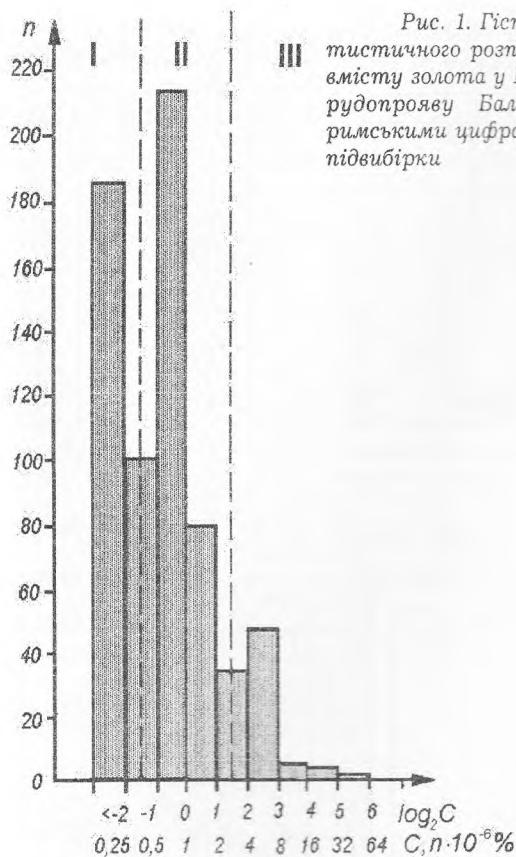


Рис. 1. Гістограма статистичного розподілу значень вмісту золота у КВ на ділянці рудопрояву Балка Широка; римськими цифрами позначені підвіборки

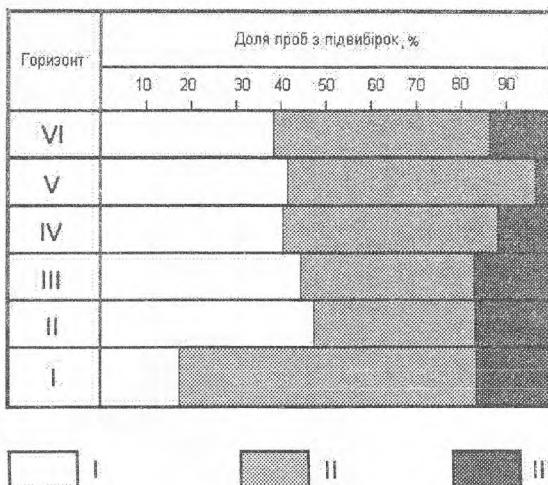
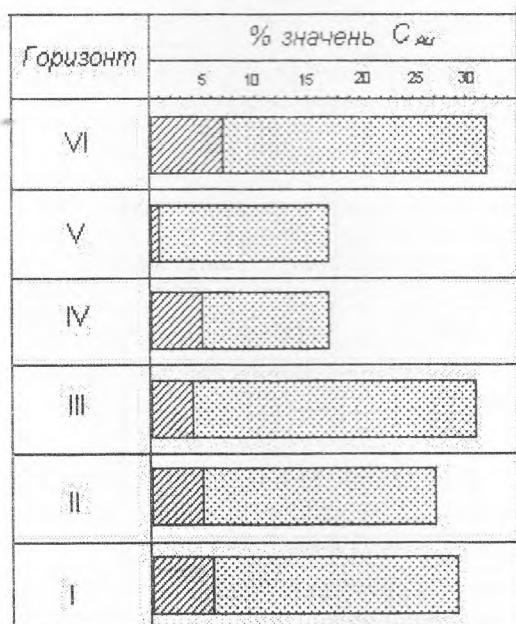


Рис. 2. Діаграма розподілу значень вмісту золота у горизонтах КВ по підвіборках (I–III) на ділянці рудопрояву Балка Широка



■ $C > \text{ВМФ}$ (аномальні)
▨ $C_{\text{фо}} < C < \text{ВМФ}$

Рис. 3. Діаграма розповсюдженості аномальних та вищих від модального (C_{mod}) значень вмісту золота у горизонтах КВ на ділянці рудопрояву Балка Широка. ВМФ – верхня межа фону

Верхні межі фонових значень вмісту (ВМФ) визначали за допомогою побудови кумулятивних графіків логарифмічно- нормальному розподілу на ймовірносному трафареті [8, 15], логарифми використано двоїчні. На наявність комплексності проаналізовано не лише аномалії елементів, а й такі значення їх вмісту, що перевищують модальне (відповідне піку кривої розподілу) значення. Загалом статистична обробка була виконана для підвіборки з 660 проб. Вміст золота змінюється у інтервалі $0 - 200 \cdot 10^{-6} \%$, модальне значення його $- 0,71 \cdot 10^{-6} \%$, $\text{ВМФ} = 7,03 \cdot 10^{-6} \%$. На рис. 1 чітко визначаються три підвіборки: I – з вмістом золота менше $0,35 \cdot 10^{-6} \%$; II – з вмістом його $(0,35-2,83) \cdot 10^{-6} \%$; III – з вмістом більше $2,83 \cdot 10^{-6} \%$ (до останньої належать також аномальні значення).

На рис. 2 зображено діаграму розподілу значень вмісту золота у горизонтах кори вивітрювання за підвіборками.

У профілі кори вивітрювання чітко визначаються три горизонти збагачення золотом та його елементами-супутниками – нижній, середній і верхній (рис. 2, 3, 4). Найбільша концентрація аномальних значень спостерігається у I, IV, VI горизонтах, а значень, що перевищують модальне – у I, II, III та VI; у I, III, і VI горизонтах значень того або другого класу найбільше, і тому ці горизонти надалі розглядаємося ретельніше. Горизонти збіднення, зокрема V, переважно є відповідними I підвіборці на гістограмі, збагачення – III; II підвіборка містить значення фонового інтервалу, властиві профілю кори вивітрювання загалом.

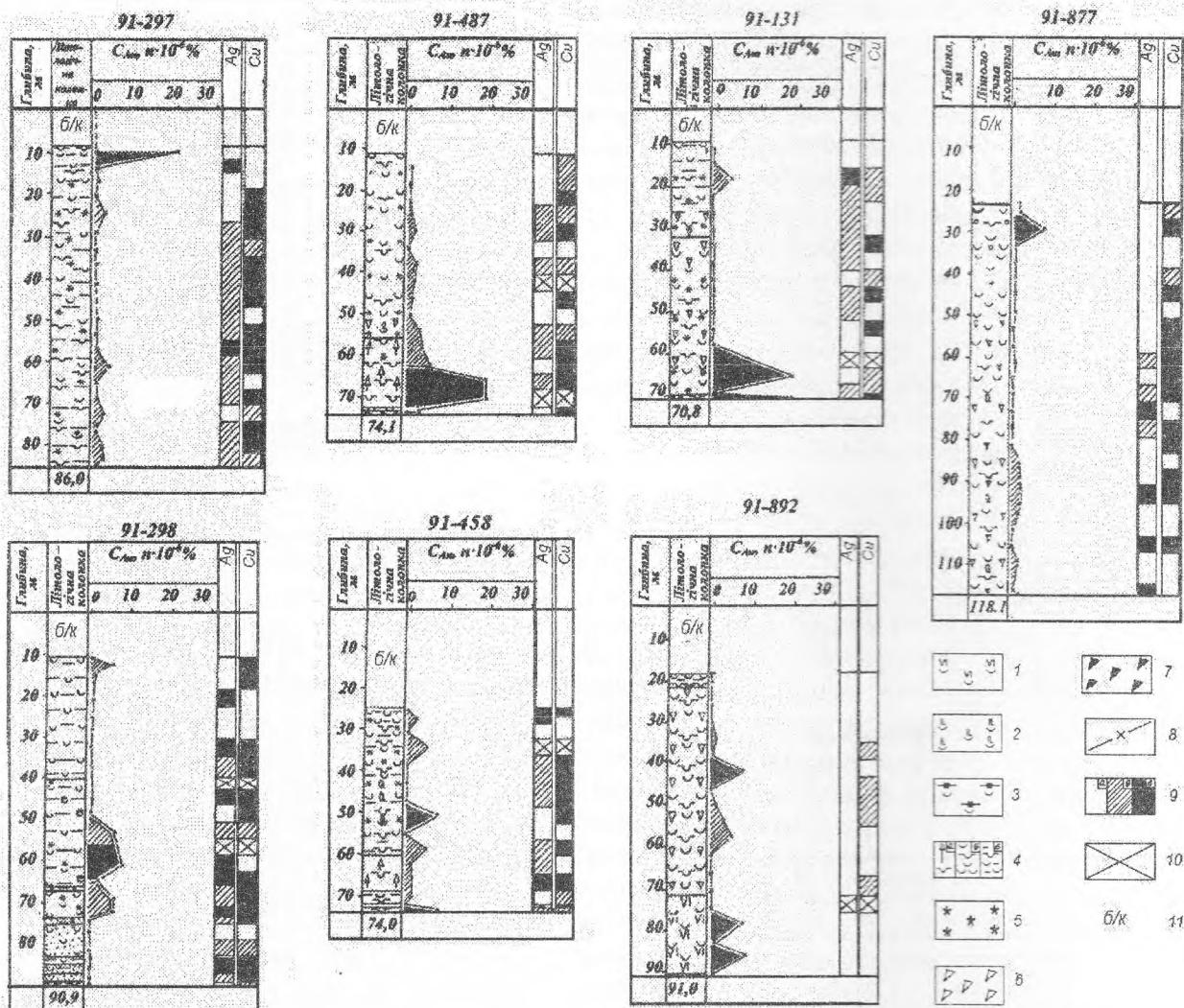


Рис. 4. Літологічні колонки свердловин, розташованих у межах найбільшої аномальної ділянки. Кора вивітрювання гідрослюдиста палеозой-мезозойська: 1 – по метабазитах; 2 – по метадіабазах; 3 – по залізистих кварцитах; 4 – кора вивітрювання палеозой-мезозойська по сланцях (а – структурна, б – гідрослюдиста, в – каолінова); 5 – збагачення залізом; 6 – уламки кварцу; 7 – уламки порід кристалічного фундаменту; 8 – графіки вмісту золота на колонках; 9 – інтервали вмісту елементів (а – $C < C_{mod}$, б – $C < C_{mod} < BMF$, в – $C > BMF$ (значення BMF та C_{mod} відповідно: Au – $7,03 \cdot 10^{-6}$ та $0,71 \cdot 10^{-6}$ %, Ag – $0,27 \cdot 10^{-4}$ та $0,03 \cdot 10^{-4}$ %, Cu – $10,56 \cdot 10^{-3}$ та $5,66 \cdot 10^{-3}$ %, для Au та Ag за модальне прийнято значення, що відповідає найвищому піку полімодальній гістограми розподілу); 10 – немає даних; 11 – буріння без відбору керну

Аналізуючи характер розподілу золота, срібла і міді у корі вивітрювання, робимо наступні висновки про походження їх аномалій. Аномалії у I горизонті є успадкованими від кристалічного фундаменту, збагачення у III горизонті утворене лужним геохімічним бар'єром, а у VI – сорбційним. Докази саме такої природи аномалій (i, відповідно, збагачення золотом) наступні.

Якщо порівняти для кристалічного фундаменту та I горизонту кори вивітрювання середні значення вмісту золота і дисперсії статистичного розподілу його значень [15], то розходження між ними виявляється випадковим. Кумулятивні графіки розподілу значень вмісту золота у кристалічному фундаменті та I горизонті кори вивітрювання мають достатньо подібний вигляд, на відміну від графіків для II та III горизонтів (рис. 5). Такі факти є беззаперечним доказом успадкованого характеру розподілу золота і його аномалій у I горизонті.

У III горизонті ми спостерігаємо типову для родовищ даної формациї (руди зі значною кількістю сульфідів) картину виникнення вторинного золотого збагачення в результаті привнесення золота з верхніх горизонтів у процесі вивітрювання з подальшим осадженням

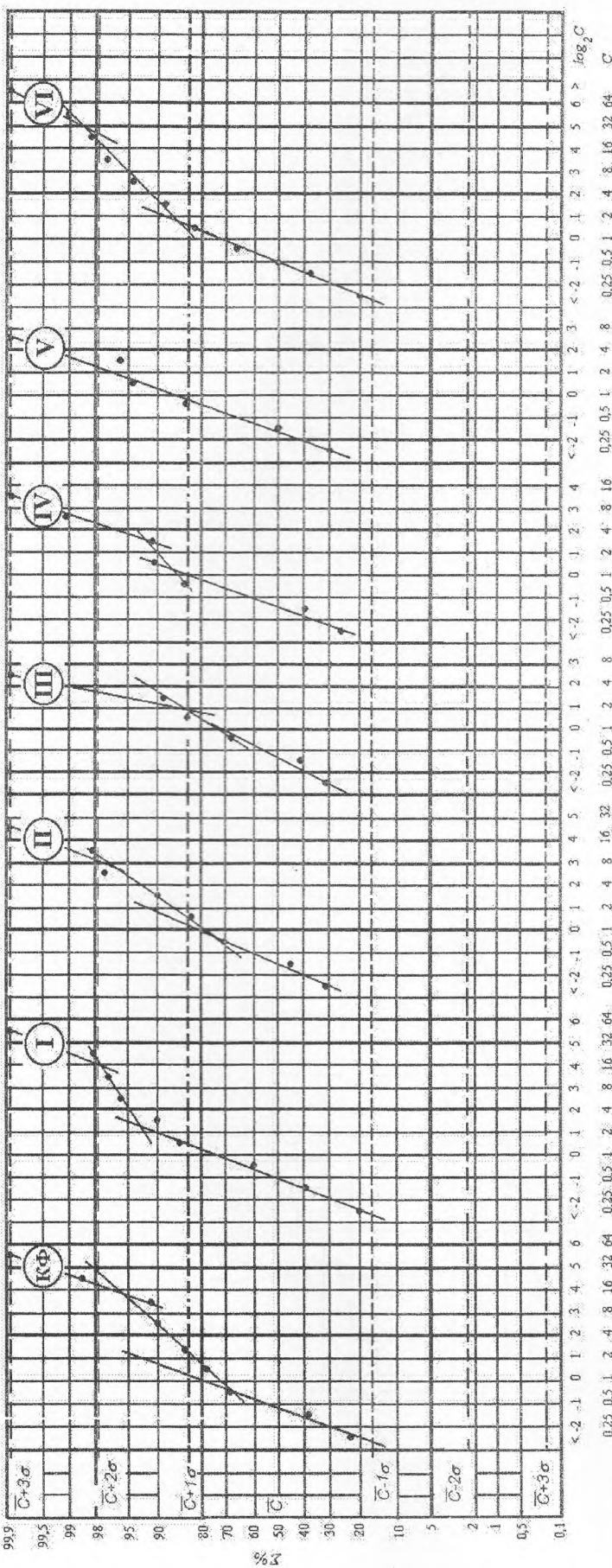


Рис. 5. Кумулятивні графіки статистичного розподілу значень вмісту золота у КВ (позначення КФ) і КВ (позначення КФ) на ділянці рудопрояву Балка Широка виділенням горизонтами

елементів на лужному бар'єрі, оскільки тут зростає нікель-залізне співвідношення, а нікель є геохімічно спорідненим з залізом (але стоїть у ряді напруг після нього і відповідно осаджується на лужному бар'єрі легше, тому цей факт свідчить про саме такий тип геохімічного бар'єру. Розчинення золотовмісних сполук і перенесення униз металу відбувається услід за пониженням первинного (верхнього) рівня дзеркала ґрунтових вод. Крім того, цей горизонт забагачення розташований біля меж тих чи інших зон кори вивітрювання, а якщо всередині цих зон, то кора змінює свій колір (наприклад, у свердловині 91-458 на глибині 47 м – з бурого на бурувато-червоний, 91-297 на глибині 63 м – з червоного на червоний з жовтувато-коричневим відтінком, 91-892 на глибині 31 м – з рожевого на темно-червоний, на 47 м – з попереднього на темно-вишневий, на 63 м – на червоно-рожевий). На межі зон кори вивітрювання відбуваються процеси гіпергенного перетворення породи, які, згідно [12], спричиняють зростання водневого показника pH. Через це виникає лужний геохімічний бар'єр, що спричиняє руйнування комплексу $[AuCl_4]^-$, у вигляді якого золото знаходиться у розчині [2, 4]. І у плані таких геохімічних процесів можна провести паралель між границями різних зон кори вивітрювання і границями різномолькових підзон певної зони її. У верхньому VI горизонті кори аномалії утворилися внаслідок сорбції елементів глинистими мінералами з розчинів, що виділялися з нашарованих поверх кори вивітрювання осадків у процесі діагенезу, а також, можливо, шляхом сорбції

з підземних вод водоносного горизонту пісків сарматського ярусу міоцену, для яких кора вивітрування є водоупором. Про це свідчить конфігурація аномальних контурів золота у верхньому горизонті – вона узгоджується з напрямком руху підземних вод водоносного горизонту сарматських пісків, які зносять золото з аномальної ділянки (і відповідно – з напрямом гіпсометричного пониження поверхні кори вивітрування). На користь наявності саме сорбційного геохімічного бар'єру для золота та елементів-супутників у верхньому горизонті КВ свідчить пряма залежність коефіцієнту кореляції цих елементів із золотом від тих характеристик їх іонів, що визначають здатність сорбуватися – заряду іону та іонного радіусу. У порядку зменшення коефіцієнту кореляції супутники золота розташовані так (у дужках вказано заряди іонів та іонні радіуси відносно радіусу іону кисню O^{2-} за [5]): As (+3 та 0,69), W (+4 та 0,68), Pb (+2 та 1,26), Mo (+4 та 0,68). А іон сорбується тим краще, чим більші його заряд та радіус [11].

Доказ того, що сорбентом виступають саме глинисті мінерали, а не гідроксид заліза (ІІІ), – відсутність кореляції усіх елементів з залізом.

Узгодженість аномалій срібла та міді у профілі кори вивітрування з золотом (і між собою) досить слабка. На колонках (рис. 4) видно їх взаємозв'язок у верхньому (св. 91-458) та нижньому (св. 91-297, 91-298, 91-877) горизонтах каолінової кори вивітрування по сланцях. Спираючись на дані щодо місцевознаходження аномалій золота, срібла і міді (комплексних і окремих), робимо висновок про спільну природу геохімічних бар'єрів, що осаджують ці елементи і утворюють горизонти їх концентрації. Але відмінності хімічних властивостей часто викликають неузгодженість реакції на однотипні геохімічні бар'єри і, як наслідок, призводять до неспівпадіння горизонтів збагачення у профілі кори вивітрування. Тому, як виявляється, срібло і мідь можуть бути індикаторами золотого зруденіння не завжди.

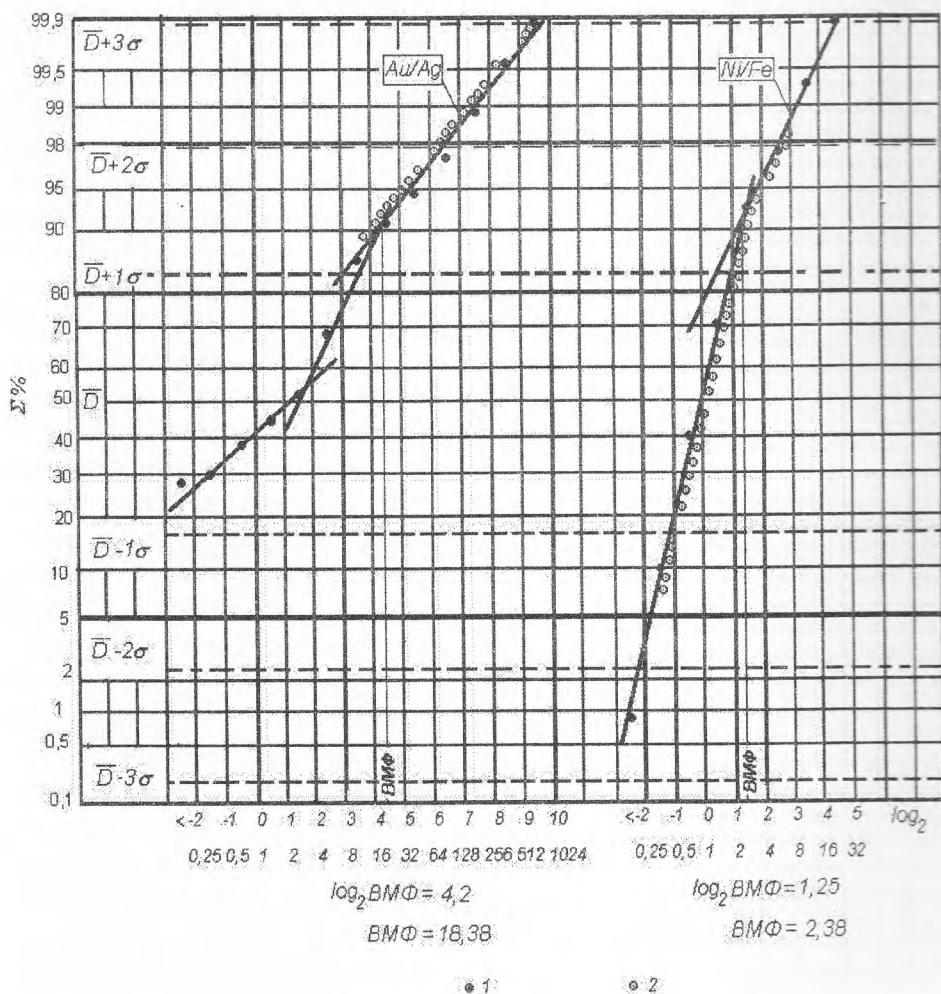
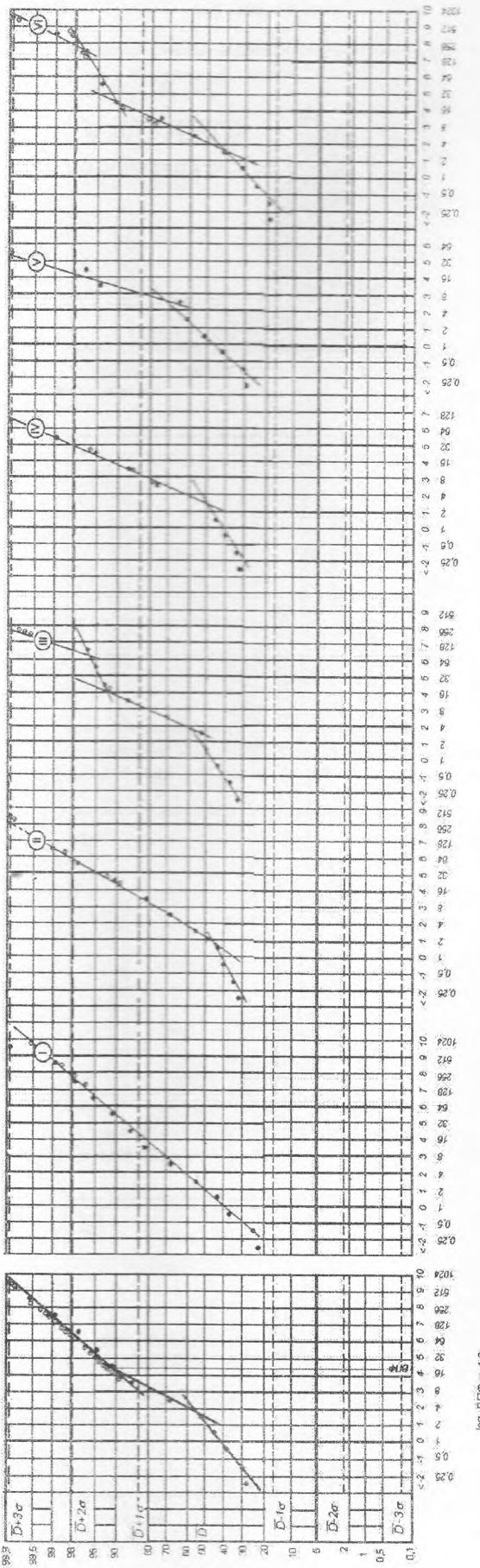


Рис. 6. Кумулятивні графіки розподілу значень золото-срібного (Au/Ag) та нікель-залізного (Ni/Fe) співвідношень (D) у КВ на ділянці рудопрояву Балка Широка, побудовані на їхніх логарифмічних значеннях $\log_2 Au/Ag$ та $\log_2 Ni/Fe$, низкий рядок – самі значення Au/Ag ($n \cdot 10^{-2}$) та Ni/Fe ($n \cdot 10^{-3}$); 1 – точки побудови графіків, 2 – точки з аномальним вмістом золота



ПРОФІЛЬ КВ У ЦІЛОМУ

Рис. 7. Кумулятивні графіки розподілу значень золото-срібного співвідношення Au/Ag (D) у горизонтах КВ на фільтрі рудопрояву Балка Широка, побудовані на її місцебудувальному трафареті. Верхній рядок по осі абсцис – значення двоїчних логарифмів Au/Ag та Ni/Fe , нижній – значення Au/Ag ($n \cdot 10^{-3}$) та Ni/Fe ($n \cdot 10^{-3}$); 1 – точки побудови графіків, 2 – точки з аномальним вмістом золота

ПОГОРИЗОНННО

Фракціонування геохімічно споріднених елементів у профілі кори вівітрювання та змінення відповідного йому показника – співвідношення їхніх концентрацій – є однією з важливих характеристик ГХП у геологічному середовищі взагалі і таких, що формують рудні поклади, зокрема. Дослідимо відзеркалення процесів міграції та концентрації золота у зміненнях співвідношень таких елементів, як золото і срібло (Au/Ag), та нікель і залізо (Ni/Fe).

Відношення Au/Ag є дуже важливим універсальним геохімічним індикатором у гірських породах і рудах, який використовується для з'ясування ГХП їх формування (Білоус та ін., 2000). Згаданими авторами був зроблений аналіз відображення умов формування руд золота у зміненні Au/Ag для різних горизонтів рудних зон кристалічного фундаменту даного родовища і чітко визначено зростання вмісту золота відповідно зростанню Au/Ag . Також відмічається значне посилення кореляції золота зі сріблом у горизонтах з різким підвищенням значення Au/Ag . Прослідкуємо, чи для кори вивітрювання Au/Ag теж є суттєвою характеристикою ГХП, які формують горизонти збагачення золотом.

На рис. 6 (у позначеннях на ньому D є $\log_2(\text{Au}/\text{Ag})$ і $\log_2(\text{Ni}/\text{Fe})$) зображені кумулятивні графіки розподілу Au/Ag та Ni/Fe для профілю кори вивітрювання в цілому, на рис. 7 – їх же для Au/Ag у різних горизонтах кори вивітрювання, на рис. 8 – частотні гістограми розподілу цих показників, загальні та погоризонтні.

Як зазначено вище, наявні три горизонти збагачення золотом – I, III та VI, сформовані завдяки лужним і сорбційним геохімічним бар'єрам. На рис. 7 показано, що аномальний вміст золота зосереджений у підвибірці значень Au/Ag , яка відповідає III ланці графіку (нумерація – знизу вгору) та аномальним значенням цього показника.

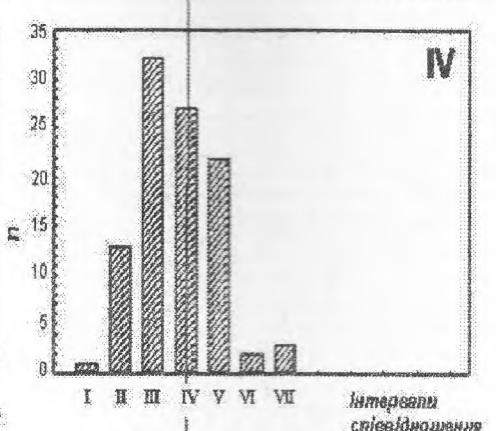
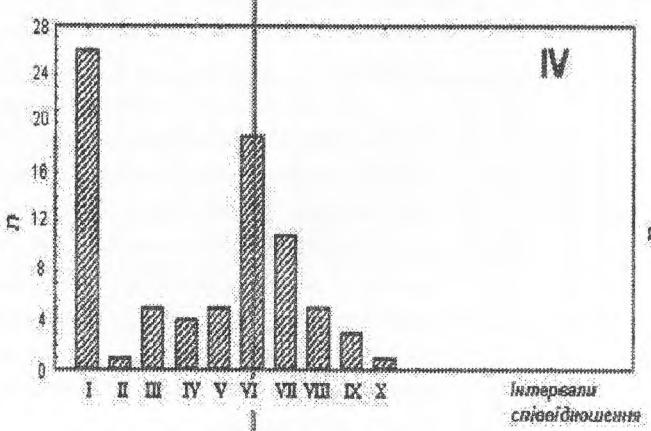
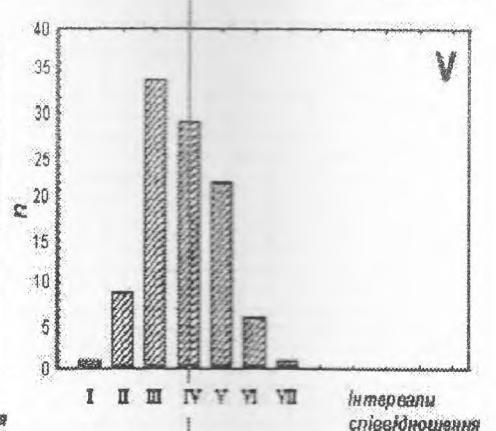
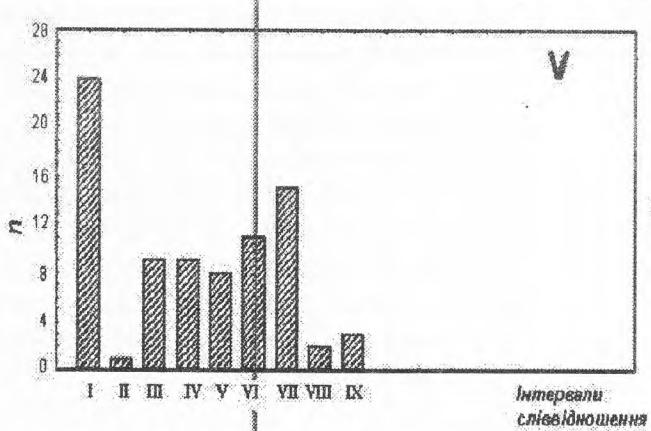
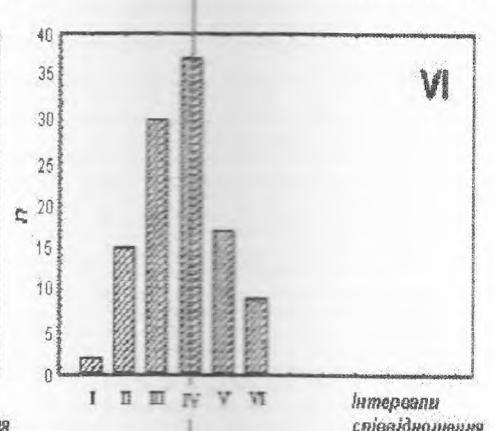
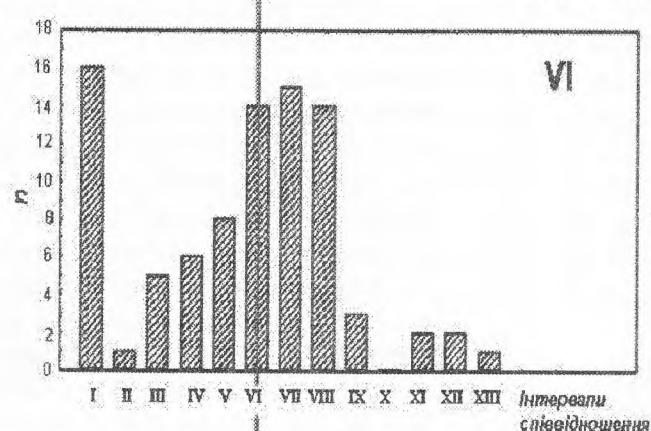
Au/Ag



Ni/Fe



Рис. 8.



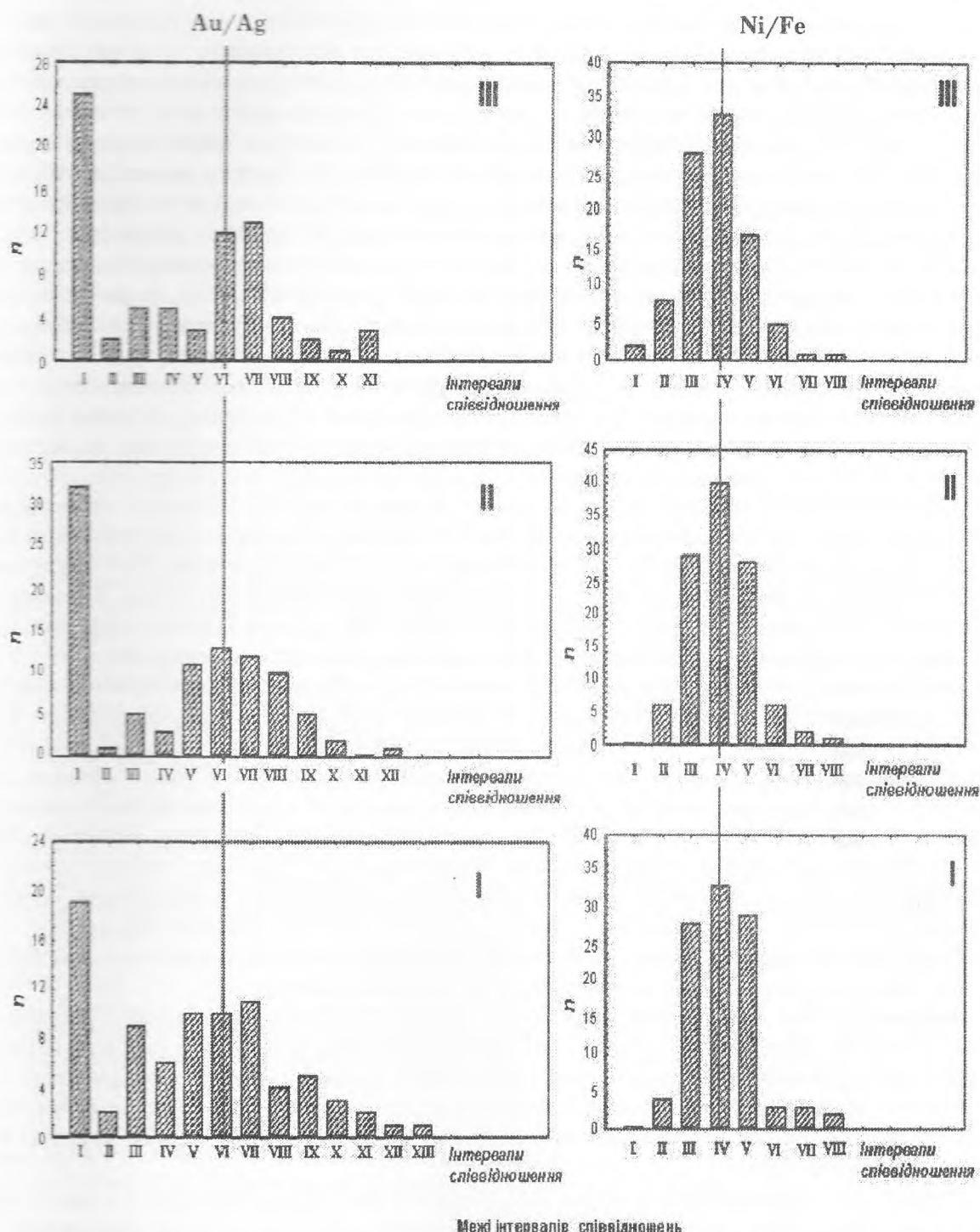


Рис. 8. Частотні гістограми розподілу значень золото-срібного та нікель-залізного співвідношень у горизонтах КВ наділянці родовища Балка Широка (значення Au/Ag дано у $n \cdot 10^{-2}$, Ni/Fe – у $n \cdot 10^{-3}$)

На відміну від графіку для Au/Ag , на графіку для Ni/Fe ми бачимо рівномірну розпорашеність аномалій золота (хоча все одно зв'язок цього показника з вмістом золота є, що буде показано далі).

Au/Ag є, виходячи зі сказаного вище, стрижневим показником, який відзеркалює ГХП, що впливають на міграцію золота та формування збагачених ним (і рудних зокрема) горизонтів у профілі кори вивітрювання. Спираючись на цей висновок, аналізуємо зв'язок характеру розподілу значень Au/Ag і наявності аномалій золота у площині розрізу кори вивітрювання. Перш за все, на графіках для усіх горизонтів помітний зв'язок більшості аномалій золота з групами значень Au/Ag, для яких перевищено значення $\bar{D}+1\sigma$ (рис. 7). Графіки, відповідні III та VI горизонтам, чітко показують тяжіння аномалій золота до груп значень (чи то підвибірок), які, окрім перевищення $\bar{D}+1\sigma$, порушують однорідність розподілу значень логарифмів Au/Ag. Наявність таких груп значень логарифмів Au/Ag є індикатором процесу накопичення золота на ділянках (чи у горизонтах) відбору відповідних ним проб. На графіках, побудованих для інших горизонтів (окрім V, де спостерігається найбільший винос золота і його аномалій на відповідному графіку взагалі нема), теж спостерігається тяжіння аномалій золота до груп найбільших значень, хоча ці графіки показують і більшу однорідність розподілу показника, що розглядається. Частотні гістограми розподілу (рис. 8) теж показують збільшення значення Au/Ag у горизонтах збагачення золотом зміщенням своїх піків вправо відносно таких на загальній гістограмі і гістограмах для інших горизонтів.

Відношення Ni/Fe ілюструє не такий явний, непрямий зв'язок. Аномальні за значенням вмісту золота точки, як вказано вище, рівномірно розповсюджені по загальному для всього профілю КВ графіку розподілу (рис. 6), а тому зв'язку Au – Ni/Fe нібито нема. Проте гістограми частотного розподілу значень Ni/Fe, відповідні збагаченям золотом горизонтам (рис. 8) показують узгодженість накопичення золота зі зміщенням іхніх піків вправо відносно піків загальної гістограми та гістограм, що відповідають горизонтам з максимальним виносом золота – IV і V (це зумовлене, зокрема, наявністю лужного геохімічного бар'єру у III горизонті та є його індикатором). На III горизонт також припадають аномальні значення Ni/Fe > ВМФ (ВМФ дорівнює 1,74), визначені за графіком кумулятивного розподілу (рис. 7) – це є ще одним індикатором геохімічного бар'єру вказаного типу. У цьому ж горизонті розподіл значень Ni/Fe також неоднорідний. Коефіцієнт контингенції для зв'язку приналежності значень вмісту золота до III підвибірки з аномальністю значень Ni/Fe становить 0,24 і є статистично значущим (для рівня значущості 0,05).

Ми отримали вагоме підтвердження визначальності чинника впливу лужності геохімічного середовища на концентрацію золота у III горизонті кори вивітрювання, а також, що геохімічний бар'єр, який осаджує цей метал, належить саме до лужного типу.

Таким чином, співвідношення геохімічно споріднених елементів є надійними критеріями ГХП, які сприяють концентрації золота у профілі кори вивітрювання.

Висновки. У корі вивітрювання родовища Балка Широка наявне залишкове, гідрогенне та гіпергенне золото. Провідна роль у мобілізації, міграції та концентрації золота в корі вивітрювання належить флювіальним, біохімічним і геохімічним процесам. Цілком ймовірно, що біохімічні процеси обумовлюють вивільнення золота з вмісних мінералів і переведення його у золотоносні розчини. Флювіальні процеси забезпечують міграцію металу та його супутників у профілі кори вивітрювання.

Розчинення і перевідкладення золота відбувається у три етапи. На першому з них за умов середовища нейтрального-слаболужного або за дуже кислого відбувається утворення розчинів, агресивних до сполук золота. У нейтральному-слаболужному середовищі окиснення сульфідів призводить до появи тіосульфатів у розчинах, що здатні розчинити сполуки золота. За більш окисних умов та наявності хлоридів сполуки золота розчиняються. Іон двовалентного заліза, який вивільняється на фронті вивітрювання внаслідок окиснення сульфідів та вивітрювання порід, що залягають нижче, дифундує в напрямку дзеркала ґрунтових вод і джерела кисню, де відбувається окиснення з вивільненням іону водню. Ця реакція забезпечує формування "відновного фронту". Як кислотно-хлоридний тип розчинення, так і тіосульфатна ремобілізація можуть проявлятися в межах одного родовища чиrudoproyavu. Okиснення заліза й утворення його гідроксидів обумовлюють формування кислого середовища у верхніх частинах профілю. На другому етапі відбувається розчинення сполук золота. У процесі мікробіологічного і хімічного окиснення сульфідів (пірит,

галеніт, сфалерит) окрім сульфатів утворюються іони тіосульфату і політіонати, котрі розчиняють золото. Розчинення сполук золота за участю тіосульфатів спостерігається поблизу джерела, яке містить вивітрені сульфіди, в той час як розчинення за участі кислотно-хлоридного механізму відбувається вище за профілем за вищих значень Eh і концентрації кисню, коли сульфіди вже зникають. На третьому етапі відбувається перевідкладення золота (зокрема, із залізом як відновником). Розчинення золотовмісних сполук і перенесення золота з верхніх горизонтів кори вивітрювання в нижні відбувається услід за пониженнем первинного (верхнього) рівня дзеркала ґрунтових вод.

Отже, міграція золота передбачається як сума багаторазово повторюваних процесів розчинення, міграції металу у вигляді істинних та колоїдних розчинів і його осадження. В результаті таких численних циклів золото поступово накопичується в зоні, де окиснювальні і розчинні агенти відсутні. Вмісне середовище, підсилене біохімічними процесами, створює різкий геохімічний бар'єр, що обумовлює концентрацію золота та його елементів-супутників.

Шляхи міграції золота, міді та срібла в корі вивітрювання родовища Балка Широка розходяться і тому мідь і срібло не можуть бути індикаторами наявності золота. Надійними критеріями геохімічних процесів, які сприяють концентрації золота у профілі кори вивітрювання є співвідношення геохімічно споріднених елементів (зокрема Au/Ag та Ni/Fe).

1. Барабанов В.Ф. Геохимия / Барабанов В.Ф. – М. : Недра, 1984. – 463 с.
2. Голева Г.А. Гидрохимия рудных элементов / Голева Г.А. – М. : Недра, 1977. – 216 с.
3. Золото в древних корах выветривания каолинового типа / Н.А. Росляков, Ф.В. Сухоруков, Б.Л. Щербов [и др.] // Минералогия и геохимия рудных месторождений Сибири. – Новосибирск : Наука, 1977. – (Тр. АН СССР, Сиб. отд.-ние. Ин-т геологии и геофизики. – Вып. 370). – С. 46–75.
4. Кислый сорбционный барьер для золота в зоне гипергенеза рудных месторождений / Б.А. Колотов, Т.С. Спасская, Л.И. Миначева, Б.Б. Вагнер // Геохимия. – 1975. – № 12. – С. 1898–1900.
5. Кулиш Е.А. Вещественно-генетические типы гипергенных концентраций золота и их перспективы в Украине / Е.А. Кулиш, И.Л. Комов, Н.И. Лебедь // Проблемы золотоносности недр Украины. – К., 1997. – С. 245–276.
6. Лисицына Н.А. Типы кор выветривания основных и кислых пород и вынос химических элементов при их формировании / Н.А. Лисицына // Кора выветривания и связанные с ней полезные ископаемые. – К. : Наук. думка, 1975. – С. 142–161.
7. Никитин К.К. Классификация кор выветривания и связанных с ними месторождений полезных ископаемых / К.К. Никитин // Геология и геохимия кор выветривания / АН СССР, Ин-т геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии. – М. : Наука, 1968.– (Кора выветривания. – Вып. 10) – С. 30–51.
8. Основы гидрохимических поисков рудных месторождений / [Б.А. Колотов, С.Р. Крайнов, В.З. Рубейкин и др.] – М. : Недра, 1983. – 199 с.
9. Перельман А.И. Геохимия элементов в зоне гипергенеза / Перельман А.И. – М. : Недра, 1972. – 288 с.
10. Перельман А.И. Геохимия эпигенетических процессов / Перельман А.И. – М. : Недра, 1965. – 272 с.
11. Пит'єва К.Е. Гидрохимия / Пит'єва К.Е. – М. : Изд-во Моск. гос. ун-та, 1988. – 316 с.
12. Росляков Н.А. Геохимия золота в зоне гипергенеза / Росляков Н.А. – Новосибирск : Наука, 1981. – 240 с.
13. Фомин Ю.А. Генетические типы золотого оруденения архейских зеленокаменных структур Украинского щита / Ю.А. Фомин, Ю.Н. Демихов, Е.Е. Лазаренко // Минерал. журн. – 2003. – 25, № 1. – С. 95–103.
14. Фомин Ю.А. Золото-полиметаллическое рудопроявление Балка Широкая (Среднее Приднепровье) / Ю.А. Фомин, Ю.Н. Демихов, Ю.А. Шибецкий // Минерал. журн. – 1996. – 18, № 1. – С. 74–87.
15. Шарапов И.П. Применение математической статистики в геологии / Шарапов И.П. – М. : Недра, 1971. – 248 с.

РЕЗЮМЕ. Рассмотрены особенности распределения золота и его элементов-спутников в коре выветривания месторождения золота Балка Широкая. Установлены геохимические барьеры, обуславливающие концентрацию этих металлов. Сделан вывод, что надежными критериями геохимических процессов, которые оказывают содействие концентрации золота в профиле коры выветривания есть соотношения геохимически родственных элементов.

SUMMARY. The features of distribution of gold and its element-companion in weathering crust of the gold deposit Balka Shiroka are considered. The geochemical barriers causing concentration of these metals are established. To draw a conclusion which, correlation geochemical sibling connection elements are reliable criterion of the geochemical processes, that exert for concentration of gold in profile residual soil.