

УДК 550.4:553.411(477.63)

Геохімічні аномалії золота і його супутників у породах осадового чохла на ділянці золоторудного родовища Балка Широка та їх пошукове значення

Шестаков О.Ю.

Інститут геологічних наук, м Київ

представлена науковим керівником к.г.н.Ковальчуком М.С.

Показаний зв'язок вторинних аномалій золота і його супутників (міді, нікелю, цинку) в осадовому чохлі з рудопроявами золота у кристалічному фундаменті, що виникає внаслідок переносу цих елементів підземними водами водоносного горизонту сарматських відкладів міоцену від ділянок рудопоявів до сорбційних геохімічних бар'єрів, утворених аномальними концентраціями гідроксиду заліза (III) і глинистими мінералами. Виявлено відмінності у здатності елементів до осаджування на бар'єрах, що утворені двома цими сорбентами. Вказано можливість пошуків рудопоявів у кристалічному фундаменті за методикою комплексного врахування місць розташування вторинних аномалій і шляхів міграції елементів з підземними водами.

Аномалії вмісту золота і його супутників у породах осадового чохла мають особливе значення при пошуках родовищ у кристалічному фундаменті з причини не тільки значної дешевизни робіт по опробуванню таких порід, але й у зв'язку з можливістю встановлення місцезнаходження корінних джерел золота за допомогою визначення шляхів його міграції з осадовим матеріалом та підземними водами згідно з розташуванням вторинних аномалій елементів у плані відносно зустрінутих ними геохімічних бар'єрів, що утворились в умовах даної геохімічної фації. Методика визначення місцезнаходження рудопоявів золота у породах кристалічного фундаменту шляхом комплексного врахування геолого-літологічного, літогеохімічного, гідрогеохімічного та гідрогеологічного чинників формування таких аномалій золота та елементів-супутників у породах осадового чохла на прикладі родовища Балка Широка (Дніпропетровська обл.) і є предметом розгляду даного дослідження.

Породи осадового чохла на ділянці родовища Балка Широка залягають на палеозой-мезозойських корах вивітрювання порід докембрійського кристалічного фундаменту, переважно габро, габбродіабазів, метабазитів, джеспілітів (до останніх тяжіють зони рудопоявів, що мають північно-західне простягання; руди належать до золото-сульфідної формації середньо-протерозойського віку). Кора вивітрювання переважно гідрослюдиста, меншою мірою — щербениста і каолінова, збагачена залізом, червоного та бурого кольорів. На корах вивітрю-

вання залягають породи бучацького ярусу еоцену, представлені каоліновими глинами від білого і сірого до вишневого та бурого кольору, що містять уламки кварцу та джеспіліту. Вище залягають сірі піски і чорні, сірі, зеленувато-сірі глини, сарматського ярусу міоцену та коричневі глини понтичного ярусу; у неогенових відкладах часто зустрічаються черепашки моллюсків. Палеогенові та неогенові відклади карбонатизовані, вуглефіковані, дуже часто збагачені залізом, рідше — марганцем. Вище за розрізом залягають коричневі карбонатизовані суглинки четвертинного віку.

Піски середнього сармату є водоносними, їх водоносний горизонт є головним чинником переносу золота і його супутників від ділянок рудних зон до геохімічних бар'єрів з подальшим осадженням елементів, внаслідок якого утворюються вторинні аномалії.

Аномальні значення вмісту елементів визначалися як такі, що перевищують верхню межу фону (ВМФ). ВМФ визначалися шляхом побудови кумулятивних графіків розподілу на ймовірному графареті. Об'єм статистичної виборки — 50 проб. Приймається гіпотеза, що статистичний розподіл логнормальний [1], при визначенні ВМФ застосовуються двоїчні логарифми:

$$ВМФ = 2^{\bar{c} + \sigma}, \quad (1)$$

$$c = \log_2 C, \quad (2)$$

де \bar{c} — середнє значення величини C ,
 σ — середньоквадратичне відхилення c ,
 C — вміст елементу у пробі.

Золото корелює з цинком, нікелем, міддю (його супутники, що виступають індикаторами) і залізом (осаджувач, що утворює геохімічний бар'єр). Коефіцієнти кореляції становлять 0,50, 0,35, 0,34 і 0,40 відповідно і є статистично значущими для рівню 0,05 і вище при даному об'ємі виборки [1]. Наявність кореляції визначалася шляхом розрахунку рангового коефіцієнту кореляції Спірмена r_s за допомогою програмного пакету STATISTICA. Окрім згаданих елементів, r_s розраховувався для зв'язку золота з сріблом, миш'яком, свинцем, вісмутом, молібденом, вольфрамом, марганцем, але виявився негативним значущим для вісмуту й незначущим – для всіх інших елементів.

Інтервали змінення вмісту елементів та значення ВМФ: золото – 0-100 та $1,0 \times 10^{-6}\%$; мідь – 0-60 та $8,00 \times 10^{-3}\%$; цинк – 0-20 та $8,57 \times 10^{-3}\%$; нікель – 0,6-20 та $6,50 \times 10^{-3}\%$. Для заліза для подальших статистичних розрахунків використано, окрім аномальних, і значення, що лише перевищує модальне; інтервал змінення вмісту, модальне значення C_{mod} і ВМФ для заліза становлять відповідно 1-10,4 та 5,28% (рис. 1).

Геохімічний бар'єр є сорбційним – його утворюють гідроксид заліза (III), наявність якого відмічається візуально за кольором порід, і глинисті породи. На користь такого висновку свідчать розрахунки інформаційних коефіцієнтів кореляції для зв'язку вмісту золота і його супутників з вмістом заліза та типом порід; дані для розрахунків – у таблицях 1 – 9 (для інтервалів значень вмісту вказані їхні верхні межі).

Таблиця 1
Розподіл значень вмісту золота в залежності від типу порід

Породи	$\log_2 C_{Au}/C_{Fe}, 10^{-6}\%$					Σ
	$\leq -1/0,5$	0/1	1/2	2/4	$\geq 3/8$	
Глини	16	6	2	3	1	28
Суглинки	3	5	0	0	1	9
Піски	7	0	0	1	0	8
Σ	26	11	2	4	2	45

Таблиця 2
Розподіл значень вмісту заліза в залежності від типу порід

Породи	$\log_2 C_{Fe}/C_{Fe}, \%$					Σ
	$\leq 0/1$	1/2	2/4	3/8	$\geq 4/16$	
Глини	1	5	10	14	2	32
Суглинки	0	0	4	5	1	10
Піски	0	1	3	4	4	8
Σ	1	6	17	23	3	50

Таблиця 3
Розподіл значень вмісту цинку в залежності від типу порід

Породи	$\log_2 C_{Zn}/C_{Zn}, 10^{-3}\%$					Σ
	$\leq 0/1$	1/2	2/4	3/8	$\geq 4/16$	
Глини	4	2	2	13	12	33
Суглинки	1	0	0	5	4	10
Піски	0	0	1	5	2	8
Σ	5	2	3	23	18	51

Таблиця 4
Розподіл значень вмісту нікелю в залежності від типу порід

Породи	$\log_2 C_{Ni}/C_{Ni}, 10^{-3}\%$					Σ
	$\leq 0/1$	1/2	2/4	3/8	$\geq 4/16$	
Глини	3	5	12	9	3	32
Суглинки	0	0	5	4	1	10
Піски	0	0	5	2	1	8
Σ	3	5	22	15	5	50

Таблиця 5
Розподіл значень вмісту міді в залежності від типу порід

Породи	$\log_2 C_{Cu}/C_{Cu}, 10^{-3}\%$					Σ
	$\leq 0/1$	1/2	2/4	3/8	$\geq 4/16$	
Глини	1	10	8	7	7	33
Суглинки	0	4	0	3	3	10
Піски	0	0	4	3	1	8
Σ	1	14	12	13	11	51

Таблиця 6
Розподіл значень вмісту золота в залежності від вмісту заліза

Вміст заліза	$\log_2 C_{Au}/C_{Au}, \%$					Σ
	$\leq -1/0,5$	0/1	1/2	2/4	$\geq 3/8$	
$< C_{mod}$	17	1	1	0	0	19
$< C_{mod}$ ВМФ	1	4	1	0	1	7
ВМФ	8	6	0	1	1	16
Σ	26	11	2	1	2	42

Таблиця 7
Розподіл значень вмісту цинку в залежності від вмісту заліза

Вміст заліза	$\log_2 C_{Zn}/C_{Zn}, 10^{-3}\%$					Σ
	$\leq 0/1$	1/2	2/4	3/8	$\geq 4/16$	
$< C_{mod}$	5	2	3	12	2	24
$< C_{mod}$ ВМФ	0	0	0	5	2	7
ВМФ	0	0	0	6	13	19
Σ	5	2	3	23	17	50

Таблиця 8
Розподіл значень вмісту нікелю
в залежності від вмісту заліза

Вміст заліза	$\log_2 C_{Ni} / C_{Fe} \cdot 10^{-3} \%$					Σ
	$\leq 0/1$	1/2	2/4	3/8	$\geq 4/16$	
$< C_{mod}$	3	5	12	4	0	24
$< C_{mod}$	0	0	3	3	1	7
ВМФ	0	0	7	8	4	19
Σ	3	5	22	15	5	50

Таблиця 9
Розподіл значень вмісту міді
в залежності від вмісту заліза

Вміст заліза	$\log_2 C_{Cu} / C_{Fe} \cdot 10^{-3} \%$					Σ
	$\leq 0/1$	1/2	2/4	3/8	$\geq 4/16$	
$< C_{mod}$	1	12	7	2	2	24
$< C_{mod}$	0	1	0	1	5	7
ВМФ	0	1	5	10	3	19
Σ	1	14	12	13	10	50

Інформаційний коефіцієнт кореляції розраховується за формулою:

$$r_I = \sqrt{1 - e^{-2I}}, \quad (3)$$

де I — незміщена оцінка кількості інформації про параметри, що досліджуються [2].

$$\hat{I} = \frac{I - (n-1)(m-1)}{2N}, \quad (4)$$

$$I = 2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m n_{ij} \ln \frac{N n_{ij}}{n_i n_j}, \quad (5)$$

де I — подвійна інформаційна кількість;
 n — кількість строк у таблиці розподілу значень показника;

m — кількість стовпців у ній;

n_{ij} — кількість значень у клітці на

перехресті i -ї строки та j -го стовпця;

N — загальна кількість значень у виборці;

n_i — сумарна кількість значень i -ї строки;

n_j — те ж, j -го стовпця.

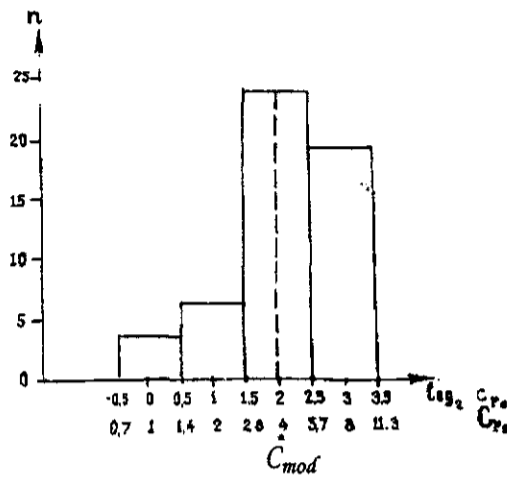


Рис. 1. Розподіл значень вмісту заліза C_{Fe} у породах осадового чохла на ділянці золоторудного родовища Балка Широка та визначення за нею модального значення його вмісту (C_{mod})

Зв'язок визнається існуючим, якщо $I > \chi^2$ для $(n-1)(m-1)$ ступенів свободи та рівню значущості, що становить 0.05 ($\chi^2_{0.05; (n-1)(m-1)}$); значення розподілу χ^2 наведено у таблиці [3]. Результати розрахунків наведено у таблиці 10, згідно якої значущим для вмісту золота і супутників є лише зв'язок з вмістом заліза (порядок зростання сили зв'язку їх вмісту з вмістом заліза за значенням r_j : Ni, Au, Zn, Cu); з типом порід він є (але все одно незначущий) тільки для золота і міді. Отже, сорбентом, що відіграє суттєву роль, виступає гідроксид заліза (III), тому що глинисті мінерали слабші від нього за сорбційною здатністю і можуть сорбувати лише ці найменш активні (відповідно місцю у електрохімічному ряді напруг) елементи.

Таблиця 10
Результати розрахунків інформаційного коефіцієнту кореляції r_I і подвійної інформаційної кількості I для зв'язку вмісту золота та супутників з типом порід (чисельник) та вмістом заліза (знаменник)

Показники	Елементи			
	Au	Zn	Ni	Cu
r_I	0,202/0,430	-0,529	-0,420	0,183/0,556
I	13,880/20,582	-5,778/28,429	-3,438/21,698	13,744/30,510
χ^2	15,507/20,090	15,507/26,125	15,507/20,090	15,507/26,125
Наявність зв'язку	Немає	Немає	Немає	Немає
Рівень значущості при 8 ступенях свободи	0,05/0,01	0,05/0,001	0,05/0,01	0,05/0,001

Вміст заліза від типу порід не залежить — r_1 не розраховується для зв'язку цих показників взагалі, $I = -6,903 \ll \chi^2_{0,05;8}$, тобто гідроксид заліза (III) та глинисті мінерали діють як сорбенти незалежно один від одного.

На рисунку 2 видно, що джерело золота та супутників знаходиться, ймовірно, на ділянці аномалій золота у кристалічному фундаменті. Води сарматського водоносного горизонту, промиваючи корінні рудовміщуючі породи на ділянках аномалій золота у кристалічному фундаменті, переносять золото та його супутники до геохімічного бар'єру осадового чохла.

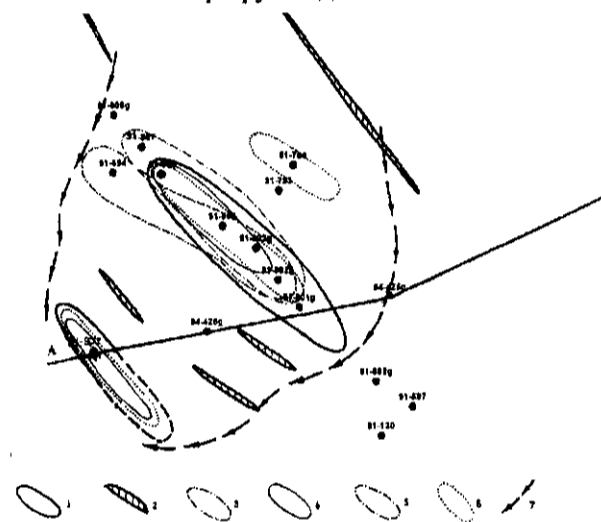


Рисунок 2. Аномальні ореоли елементів на ділянці золоторудного родовища Балка Широка: 1 — золота в осадовому чохлі, 2 — золота у кристалічному фундаменті, 3 — міді, 4 — нікелю, 5 — цинку, 6 — заліза в осадовому чохлі, 7 — напрямок руху підземних вод сарматського водоносного горизонту; А — В — траса розрізу.

На рисунку 3 зображені літологічні колонки свердловин, що знаходяться у межах найбільшого аномального контуру, з інтервалами аномального вмісту елементів — 91-902g, 91-903g, 91-904g, 91-906. Видно, що аномалії дійсно тяжіють до горизонту порід з аномальним чи перевищуючим модальний вмістом заліза, і до горизонтів глин.

Таким чином, літогеохімічні пошуки родовищ золота та інших рудних корисних копалин за даними опробування порід осадового чохла можуть бути ефективними за умови системного підходу з комплексним урахуванням геолого-літологічних, геохімічних, гідрогео-

логічних чинників, а також застосування математичних методів, що дозволяють виявити чітку картину взаємозв'язків кількісних і якісних показників та характер їх зміння у плані і розрізі. Зокрема, завдяки відмінностям у реагуванні різних елементів на геохімічні бар'єри однакових типів і утворенню внаслідок цього зональності літогеохімічних аномалій при проходженні бар'єру підземними водами з мігруючими елементами, можна прослідкувати напрями їх міграції і визначити джерело цих елементів (корінний чи інший рудопрояв).

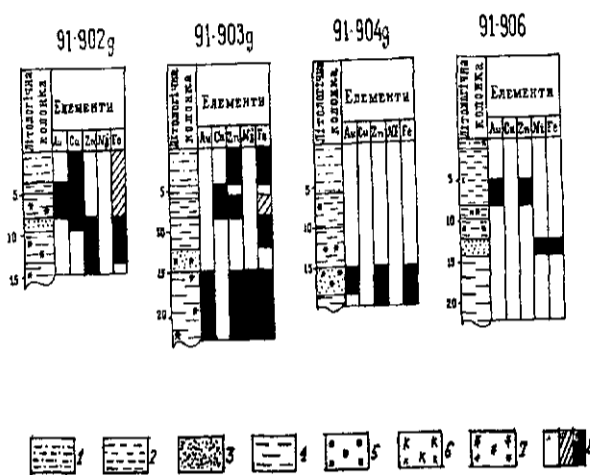


Рисунок 3. Літологічні колонки свердловин, розташованих у межах найбільшої аномальної ділянки. 1 — суглинки четвертинні коричневі; 2 — глини чорні, сірі, зеленкувато-сірі сарматського ярусу; 3 — піски сірі сарматського ярусу; 4 — глини каолінові від білого і сірого до вишневого та бурого кольору, з уламками кварцу та джестіліту буцацького ярусу; 5 — вуглефікація; 6 — карбонатизація; 7 — збагачення залізом; 8 — вміст елементів: а — $C < Stod$; б — $Stod < C < VMФ$; в — $C > VMФ$.

Подальший напрямок роботи — розробка методик з'ясування і диференціації впливу геохімічних бар'єрів різних типів на золото та елементи-супутники, з'ясування типів геохімічних фацій, які сприяють переходу у розчин, міграції і осадженню золота, і, головне, частково пов'язане з першими двома завданнями — розробка методик встановлення шляхів міграції елементів від джерел до ділянок вторинних аномалій, зокрема, математичних методів літогеохімічних пошуків.

1. Колотов Б.А., Крайнов С.Р., Рубейкин В.З. и др. Основы гидрогеохимических поисков рудных месторождений. — М.: Недра, 1983. — 199 с.
2. Вистелиус А.Б. Задачи геохимии и информационные меры. // Сов. геология. — 1964. — № 12.
3. Шарапов И.П. Применение математической статистики в геологии. — М.: Недра, 1971. — 248 с.

Показана связь вторичных аномалий золота и его спутников (меди, никеля, цинка) в осадочном чехле с рудопроявлениями золота в кристаллическом фундаменте, возникающая вследствие переноса этих элементов подземными водами водоносного горизонта сарматских отложений миоцена от участков рудопроявлений к участкам сорбционных геохимических барьеров, образованных аномальными содержаниями гидроксида железа (III) и глинистыми минералами. Выяснено различие элементов по способности осаждаться на барьерах, образованных этими двумя сорбентами. Указано на возможность поисков рудопроявлений в кристаллическом фундаменте по методике комплексного учета месторасположения вторичных аномалий и путей миграции элементов с подземными водами.

The relation of Au and its satellites (Cu, Ni, Zn) second anomalies in sedimental cover rocks with ore bodies of crystalline rocks base is showed. This relation arises in consequence of migration of elements from lots of ore deposits to lots of sorbtional geochemical barriers (sorbets — $\text{Fe}(\text{OH})_3$ and clay minerals). The difference of abilities of elements to be sorbted by this sorbets is elucidated. It is showed that the possibility of search of ore deposits which are situated in crystalline base rocks using method of complex accounting of anomalies in sedimental rocks and ways of migration of elements with ground waters exists.