

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ  
ІНСТИТУТ ГЕОХІМІЇ, МІНЕРАЛОГІЇ І РУДОУТВОРЕННЯ  
ВІДДІЛЕННЯ МЕТАЛОГЕНІЇ

На правах рукопису

УДК 550.42 : 546.59

ШИБЕЦЬКИЙ ЮРІЙ ОЛЕКСАНДРОВИЧ

ІЗОТОПНО-ГЕОХІМІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА  
ЗОЛОТОГО ЗРУДЕНІННЯ БАЛКИ ШИРОКОЇ

Спеціальність 04.00.11 – геологія, пошуки і розвідка  
рудних і нерудних родовищ; металогенія.

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

дисертації на здобуття вченого ступеню  
кандидата геолого-мінералогічних наук

Київ – 1994

АВ 30.67

Робота виконана у Відділенні металогенії Інституту геохімії,  
мінералогії і рудоутворення НАН України

Науковий керівник: доктор геолого-мінералогічних  
наук В. Б. Коваль

Офіційні опоненти: доктор геолого-мінералогічних  
наук Ю. М. Коптюк  
/ВМ ІГМР НАН України/  
доктор геолого-мінералогічних  
наук В. М. Загнітко  
/ІГМР НАН України/

Провідна організація: Державне геологічне  
підприємство "Кіровгеологія"  
/м. Київ/

Захист відбудеться **6 жовтня** 1994р. в **10** годин на засіданні  
спеціалізованої ради Д016.17.02 у Відділенні металогенії  
ІГМР НАН України за адресою: 252142, Київ-142, пр. Палладіна, 34

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Інституту гео-  
хімії, мінералогії і рудоутворення НАН України.

Автореферат розіслано "19 **серпня**" 1994р.

Вчення писар спеціалізованої  
ради доктор геол.-мін. наук

*В. П.*

В. П. Бухарев

ЛННБ України ім. В. Стефаніка



00756666 (-)

ЛНБ ім. В. Стефаніка  
АН України

## ВСТУП

В дисертаційній роботі на основі узагальнення великого фактичного матеріалу та особистих досліджень автора по вивченню складу стабільних ізотопів легких елементів (Н, С, О та S) в мінералах і компонентах газозво-вільних включень вміщуючих зеленокам'яних порід, білярудних метасоматитів і рудних зон розглянуто питання генезису золотого зруденіння в межах Чортомлицької зеленокам'яної структури. Основна увага приділялася вивченню джерел рудних розчинів і їх рудного навантаження, а також фізико-хімічних умов формування золотої мінералізації.

Актуальність роботи. З набуттям Україною незалежності, особливого значення набуває проблема створення сировинної бази для власної золотодобувної промисловості. Тенденція розвитку цієї гірничої галузі в провідних країнах світу (Канада, Австралія, ПАР, Бразилія та ін.) показує, що впродовж останніх десятиріч до 40 відсотків золота добувається з родовищ, які локалізовані в архейських зеленокам'яних структурах древніх щитів. Разом з тим, в Середньопридніпровській граніт-зеленокам'яній області відомі численні прояви і відкрито кілька родовищ золота (в тому числі і "Балка Широка"). Це визначає актуальність вивчення золотої мінералізації в зазначених геологічних обставинах.

Досвід геологічних досліджень свідчить, що без чіткого уявлення про генетичні особливості зруденіння неможливо достатньо ефективно проводити пошукові роботи. Саме тому, вивчення умов формування родовищ має не тільки наукове, але й практичне значення.

Метою проведених досліджень було:

- 1) встановлення джерел рудоутворюючих розчинів і рудних компонентів;
- 2) визначення умов та фізико-хімічних параметрів утворення метасоматичних зон, які вміщують золоту мінералізацію;
- 3) вивчення еволюції ізотопного складу сірки сульфідів та вуглецю, кисню карбонатів в процесі становлення Чортумлицької структури;
- 4) порівняння золотої мінералізації Чортумлицької структури і аналогічних закордонних родовищ по комплексу ізотопних та термобарогеохімічних даних;
- 5) встановлення ізотопних пошукових критеріїв золотого зруденіння.

Основним методом дослідження було ізотопно-геохімічне вивчення мінералів і розчинів газозво-рідких включень (ГРВ) в системі: вміщуючі зеленокам'яні породи - білярудні метасоматити - руди. Ізотопні дослідження доповнювалися термобарогеохімічними даними та результатами золото-спектрального аналізу.

Фактичний матеріал, який використано в роботі, було зібрано в 1990-1992 роках при виконанні госпдоговірних досліджень (спільно з В.Ф.Лапустою), отримано при лабораторних дослідженнях та вивченні фондових матеріалів. Всього було вивчено біля 300 зразків кам'яного матеріалу (буровий керн) по 67 свердловинам. Для всіх зразків виготовлено і вивчено шліфи та аншлифи. Визначено ізотопний склад порід, мінералів та складових ГРВ (390 вимірів), у тому числі: 270 -  $\delta^{34}\text{S}$  сульфідів (пірит -218 або 82% від загальної кількості, піротин - 26(9%), халькопірит - 23(8%), арсенопірит - 2 та галеніт -1); 37 -  $\delta^{13}\text{C}$  та 35 -  $\delta^{18}\text{O}$  карбонатів (анкерит, доло-

міт, кальцит); по 8 вимірів  $\delta D$  і  $\delta^{18}O$  води, а також  $\delta^{13}C$  та  $\delta^{18}O$  вуглекислого газу; 6 -  $\delta^{18}O$  кварцю. У 8 зразках встановлено кількість  $H_2O$  і  $CO_2$  в складі включень. У трьох зразках жильного кварцю встановлено кількість водню, в двох - вивчався хімічний склад газів в ГРВ.

Зазначені дослідження виконано в лабораторії Відділу геохімії стабільних ізотопів Відділення металогені ІГМР НАН України. Визначення  $\delta^{34}S$  сульфідів,  $\delta^{13}C$  та  $\delta^{18}O$  карбонатів виконано автором;  $\delta D$ ,  $\delta^{13}C$  та  $\delta^{18}O$   $H_2O$  і  $CO_2$  включень, а також  $\delta^{18}O$  кварцю і кількості  $H_2O$  і  $CO_2$  - Ю.Н. Деміковим. В п'яти зразках (17 вимірів) вивчалася температура гомогенізації включень (К.І. Деревська). У роботі використано матеріали:

Ю.А. Фоміна - по мікроскопічному вивченню шліфів та аншліфів, ізотопному складу елементів; Н.В. Гостяєвої, О.О. Лазаренко, С.І. Терещенко - по термобарогеохімічним властивостям рудних розчинів; В.Ф. Лапусти - по валовому вмісту золота в породі.

У процесі досліджень автором були розроблені деякі програми (для обчислювального комплексу СМ-1800 мас-спектрометра МІ-1201Е), які використовувались при обчисленні коефіцієнтів кореляції та ізотопної температури мінералоутворення.

Виконані дослідження дозволили висунути для захисту наступні положення:

1. У період становлення осадно-вулканогенної товщі конкської світи накопичувалася сірка переважно мантийного походження. При метаморфізмі зеленсланцевої фації відбувалася деяка гомогенізація її ізотопного складу. У подальшому сірка перерозподілялася на глибоких рівнях земної кори з помітним накопиченням важкого ізотопу при формуванні золотого зруденіння Балки Широкої.

Вуглець і кисень карбонатів золоторудних зон успадкува-

ли ізотопний склад первинно-осадовчих карбонатів із втратою важких ізотопів  $^{13}\text{C}$  та  $^{18}\text{O}$ .

2. На родовищі Балка Широкая рудоутворюючий флюїд відзначається стабільним ізотопним складом кисню і широкими коливаннями вмісту дейтерію, причиною яких були процеси контакто-реакційної взаємодії в зоні рудогенезу. Гідротермальна система характеризується високим співвідношенням вода/порода з переважаанням метеорної складової.

3. Формування золото-джеспілітових руд Балки Широка відбувалося з білянейтральних чи слаболужових розчинів в умовах падіння температури і тиску на фоні підвищення відновлювальних властивостей середовища.

Наукова новизна роботи. Запропонована робота є першим, такого ґатунку, узагальненням ізотопних даних стосовно питань металогеніи золота в межах Чортомлицької структури. На основі ізотопно-геохімічних та термобарогеохімічних досліджень показано, що ізотопний склад сірки сульфідів, вуглецю і кисню карбонатів еволюціонував при перебігу геологічних процесів (регіональний метаморфізм, діафторез, гідротермально-метасоматична діяльність), які супроводжували становлення структури, успадковуючи склад вихідних резервуарів сірки і вуглецю: було встановлено джерела сірки і вуглецю мінералів золото-джеспілітових руд Балки Широкої; висловлено припущення про важливу роль метеорної води у формуванні рудних розчинів і проведено оцінку їх мінімальної кількості; показано об'єктивність визначення температури формування кварцю і карбонатів білярудних метасоматитів за ізотопними даними, шляхом порівняння їх з даними про температуру гомогенізації вклучень; обмірковано механізми зміни ізотопного складу водню води вклучень у рудному процесі; проведено

оцінку деяких фізико-хімічних параметрів золоторудного процесу ( $T^{\circ}C$ ,  $I_{gf}O_2$ ); встановлено деякі ізотопні пошукові критерії; виконано порівняння золотого зрудення Балки Широкої з аналогічними родовищами золота Канади, Австралії і Бразилії за комплексом ізотопних та термобарогеохімічних даних.

Апробація роботи. Основні тези дисертації доповідалися на міжрегіональній конференції по стратиформним родовищам (Чита, 1990), II і III міжвідомчих нарадах "Критерії пошуків і перспективи промислової золотоносності України" (Одеса, 1992; Київ, 1994). По результатах досліджень було написано кілька звітів, що містять практичні рекомендації, які застосовувалися в ДП "Кіровгеологія".

Матеріали дисертації доповідалися автором і обговорювалися на засіданнях відділу геохімії стабільних ізотопів та Вченої ради Відділення металогенії Інституту геохімії, мінералогії і рудоутворення в 1993-1994 роках.

Публікації. З теми дисертації опубліковано 4 роботи. Ще 3 роботи знаходяться в редакції журналу "Доповіді АН України" і вийдуть друком в 1994-1995 роках.

Об'єм і структура дисертації. Робота складається з вступу, п'яти розділів і висновків. Загальний об'єм її складає 140 сторінок. Текстовий матеріал викладено на 80 сторінках крім того дисертація містить 9 ілюстрацій, 9 таблиць, список використаної літератури із 192 назв та два додатки.

Робота виконана у відділі геохімії стабільних ізотопів Відділення металогенії ІГМР НАН України.

Автор висловляє глибоку вдячність: кандидату геолого-мінералогічних наук В.Ф. Лапусті за допомогу при зборі мате-

ріалів; завідуючому лабораторією кандидату геолого-мінералогічних наук Ю.М. Демікову, провідному інженеру Ф.І. Березовському, інженеру З.М. Кравчук - за сприяння у виконанні аналітичних досліджень; завідуючому відділом кандидату геолого-мінералогічних наук Ю.О. Фоміну - за допомогу при з'ясуванні геологічних особливостей досліджуваних об'єктів і цінні зауваження при роботі над рукописом дисертації; Ю.М. Демікову і Ф.І. Березовському за консультації у питаннях фізико-хімічних основ фракціонування ізотопів; провідному інженеру В.Г. Іванові, інженерам С.П. Новицькому і Т.І. Шибецькій за допомогу при оформленні дисертації.

Автор щиро вдячний своєму науковому керівнику доктору геолого-мінералогічних наук В.Б. Ковалю за постійну увагу і діяльну допомогу на протязі всього періоду виконання і написання роботи.

#### Основні положення дисертації.

Перша теза. У період становлення осадовчо-вулканогенної товщі конкської світи не накопичувалася сірка переважно мантийного походження. При метаморфізмі відбувалася деяка гомогенізація її ізотопного складу. У подальшому сірка переподілялася на глибоких рівнях земної кори з помітним накопиченням важкого ізотопу при формуванні золотого зруденіння Балки Широкої.

Вуглець і кисень карбонатів золоторудних зон успадкували ізотопний склад первинноосадовчих карбонатів із втратою важких ізотопів  $^{13}\text{C}$  і  $^{18}\text{O}$ .

Для обґрунтування першої тези автором вивчався розподіл  $\delta^{34}\text{S}$  сульфідів та  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$  карбонатів по площі Чортмилицької структури з деталізацією на родовищі Балка Ши-

рока.

$\delta^{34}\text{S}$  змінюється від  $-29,5$  до  $+11,2\%$  (рис.1). Геохімічний фон утворюють сульфіди з вмістом ізотопу  $^{34}\text{S}$  від  $-2,5$  до  $+3,5\%$  (в середньому  $+1\%$ ). Це дає підставу вважати, що генеральним вихідним джерелом сірки для порід конкської світи була мантия. Слід зауважити, що згідно з даними (Skyring et Donnelly, 1982) такий розподіл  $\delta^{34}\text{S}$  є типовим для зеленокам'яних поясів архейського віку. Статистично виділяються п'ять груп сульфідів, що мають характерні генетичні ознаки. За винятком сульфідів третьої групи, всі інші могли осаджуватися з гідротермальних розчинів з  $\delta^{34}\text{S}$  сумарної сірки біля  $+1\%$ , тобто поєднані спільністю джерела. Головна причина коливань ізотопного складу сірки – зміна фізико-хімічних умов ( $T^\circ\text{C}$ ,  $\text{pH}$  та  $E_h$ ), в яких осаджувалися сульфіди (Ohmoto, 1972).

У першу групу з фоновими значеннями  $\delta^{34}\text{S}$  входять сульфіди колчеданних відокремлень та синвулканічних метасоматитів (Фомін, 1993): метаморфічних асоціацій та зовнішніх (частково безрудних) фацій метасоматитів. Таких сульфідів –  $75\%$ . До другої групи ( $\delta^{34}\text{S} = +3,5 \dots 8,0\%$ ) потрапили сульфіди рудних зон метасоматитів і, частково, метаморфічних асоціацій. Вони зафіксовані в  $15\%$  випадків, їх ізотопний склад сформувався при дегазації сірки з магматичного осередку переважно в формі  $\text{SO}_2$ . До четвертої ( $5\%$ ) та п'ятої ( $1\%$ ) груп відієно сульфіди,  $\delta^{34}\text{S}$  яких складає  $-7,5 \dots -2,5$  та  $-29,5 \dots -10,0\%$ , відповідно. Перші визначено в складі центральних, як правило, безрудних фацій метасоматичної колонки, останні – виділені з січної карбонатної жилки. Ці сульфіди утворилися в умовах підвищення фугитивності кисню. Третю групу ( $\delta^{34}\text{S} = +8,0 \dots +11,2\%$ ) утворюють сульфіди, що були виділені в зовнішніх зонах метасоматитів і вмшючих зрудення металорід. Джерелом сірки для них були найдревніші седименто-

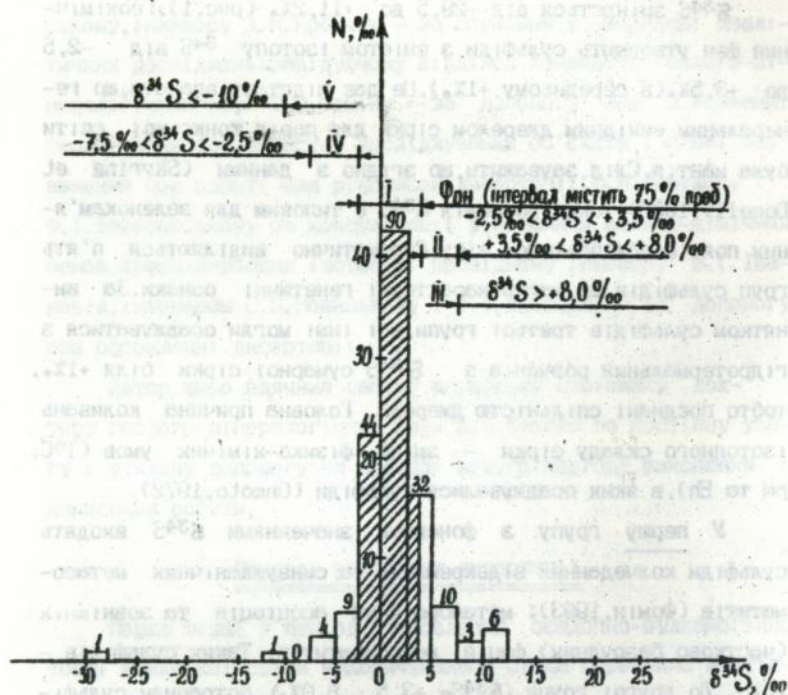


Рис. 1. Розподіл  $\delta^{34}S$  сульфідів Чортомлицької зеленікаміяної структури.

генні сульфати.

В цілому, по Чортомлицькій структурі спостерігається позитивна кореляція ізотопного складу сірки сульфідів та валового вмісту золота в породі ( $S_{Au}$ ). Коефіцієнт кореляції ( $r$ ) для вибірки із 134 проб складає  $+0,26$ , при  $r_{кр} = 0,17$  (критичне значення коефіцієнта кореляції при п'ятипроцентному рівні значущості).  $r$  зростає з розвитком золоторудного процесу:  $r=0,38$ , при  $S_{Au} > 0,05$  г/т;  $r = 0,45$  при  $S_{Au} > 0,1$  г/т. Тільки для метасоматичних сульфідів другої групи  $r=0,54$  і перевищує  $r_{кр}$ . По розрізу родовища Балка Широка від вмичуючих порід до рудних інтервалів відбувається збільшення вмісту в сульфідах ізотопу  $^{34}S$  і зменшення діапазону варіації  $\delta^{34}S$ .

Ізотопний склад вуглецю та кисню визначається у карбонатах (анкерит, доломіт, кальцит) з кварц-карбонатних прожилків в зонах метасоматичного перетворення metabazitів, амфіболітів, кислих ефузивів та залізистих кварцитів. По ізотопному складу карбонати можна розділити на три групи:

1. З підвищеним вмістом важких ізотопів вуглецю і кисню ( $\delta^{13}C = -3...-1$ ;  $\delta^{18}O = +13,7...+20,7\%$ );

2. Із зниженим вмістом  $^{18}O$  ( $\delta^{13}C = -1,5...0$ ;  $\delta^{18}O = +8...+13,5\%$ );

3. З низькими значеннями  $^{13}C$  та  $^{18}O$  ( $\delta^{13}C = -5,5...-2,5$ ;  $\delta^{18}O = +8...+13\%$ ).

Для порід, які вмичують карбонати другої і третьої груп, відмічається наростання метасоматичних змін. Ізотопний склад карбонатів золоторудних інтервалів потрапляє в поля 2 і 3 груп. Найвірогідніше, ми маємо справу з єдиною послідовністю карбонатів, джерелом вуглецю для яких виступає карбонатна речовина морського походження. Одночасне зменшення  $\delta^{13}C$  і  $\delta^{18}O$  від 1 до 3 групи, пояснюється звитриванням  $CO_2$  внаслідок реакції метаморфічної декарбонатизації (Valley, 1986).

Зменшення вмісту  $^{18}\text{O}$  при постійному значенні  $\delta^{13}\text{C}$  від першої до другої групи відбувається при обмінній взаємодії карбонатів з флюїдом, що містить воду з низьким значенням  $\delta^{18}\text{O}$ .

Геологічна ідентифікація джерел сірки та вуглецю на стадії рудогенезу, коли відомо ізотопний склад вихідних джерел, потребує врахування історичної послідовності геологічних подій, які відповідають за формування граніт-зеленокам'яної області Середнього Приднір'я. До основи історичного аналізу еволюції ізотопного складу сульфідів та карбонатів покладено модель рифтогенного походження зеленокам'яних поясів (Каляев, 1984).

У період становлення архейської вулкано-плутонічної асоціації (конкська осадовчо-вулканогенна світа + сурський плагіогранітний комплекс) формується три резервуари сірки: сульфіди, розсіяні у вулканітах ( $\delta^{34}\text{S} = -0,4 \dots +3,9\%$ ); сконцентровані в колчеданних утвореннях ( $\delta^{34}\text{S} = -0,2 \dots +5,2\%$ ); седиментогенні сульфати ( $\delta^{34}\text{S} > +8,5\%$ ) та відкладаються морські карбонати з ізотопним складом:  $\delta^{13}\text{C} = \pm 2$ ,  $\delta^{18}\text{O} = +18 \dots +25\%$ . Сульфати та дометаморфічні карбонати в межах структури достовірно не зафіксовані, тому наведено їх передрачуваний склад (Луговая, Савченко, 1988; Загнитко и др., 1982).

Регіональний метаморфізм зеленосланцевого ступеню, внаслідок обмеженої рухливості летких компонентів ( $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ , сполуки сірки), майже не впливає на ізотопний склад виділених резервуарів. Вірогідними є лише деяка гомогенізація та перерозподіл сірки в об'ємі порід світи, а також деяке збільшення  $\delta^{34}\text{S}$  сульфідів метаморфічних асоціацій (Хефс, 1982). Сульфати в зазначених умовах (Гричук, 1987) легко відновлюються і фіксуються як сульфіди третьої групи. Карбонати втрачають частку ізотопів  $^{13}\text{C}$  та  $^{18}\text{O}$  і набувають ізотопного складу карбонатів першої групи.

Постметаморфічна тектоно-магматична активізація (калієвий гранітоїдний магматизм) та пов'язана з нею гідротермаль-но-метасоматична діяльність перебігають за умов активної міграції  $H_2O$ ,  $CO_2$  і сполук сірки. При цьому в умовах магматичного осередку відбувається гомогенізація ізотопного складу сірки. Внаслідок обмеженості такого осередку та дегазації сполук сірки у відновлювальних умовах відкладаються метасоматичні сульфіди золоторудних зон з характерним складом від +3,5 до +8,0% (Taylor, 1966). Якщо метасоматичні сульфіди формуються при збільшенні фугитивності кисню, вони накопичують переважно легкий ізотоп  $^{32}S$  (Ohmoto, 1972). Карбонати золоторудних зон втрачають важкий ізотоп кисню при обмінній взаємодії з "легким" рудоносним флюїдом.

Друга теза. На родовищі Балка Широка рудоутворюючий флюїд відзначається стабільним ізотопним складом кисню і широкими коливаннями вмісту деутерію, причиною яких були процеси контактово-реакційної взаємодії в зоні рудогенезу. Гідротермальна система характеризується високим співвідношенням вода/порода з переважанням метеорної складової.

Ізотопний склад водню і кисню води визначався у розчинах газово-рідких включень (ГРВ) в кварці з кварц-карбонатних жил  $\delta^{18}O$   $H_2O$  коливається від -3,5 до -2,0, а  $\delta D$  змінюється від -82 до +47 ‰ з відчутним поважчанням в рудній зоні. Вода ГРВ (рис. 2) розташовується між полями магматичної та метаморфічної  $H_2O$  і лінією метеорних вод. На думку (Тейлор, 1976; Хефс, 1982; Есиков, 1989), таке розташування могло б свідчити про змішування розчинів різного походження. Однак, цьому суперечать стабільність ізотопного складу кисню та неможливість пояснення додатніх значень  $\delta D$ , так як зазначені величини відмічено лише для деяких замкнених во-



дойм аридних ландшафтів (Ферронский, Поляков, 1983).

Причиною незначних коливань (до 30%)  $\delta D$  розчинів у вмшючих породах та білярудних метасоматитах були, навітро-гідніше, процеси метасоматичного ослюденіння порід з початковим польовошпатевим складом. Згідно розрахунків, залишкова вода поважчає на 30%, якщо на утворення OH-радикала слюди витратиться 50%  $H_2O$  вихідного розчину.

Максимальний ізотопний ефект (+120%) можуть забезпечити лише такі реакції, внаслідок яких вода відновлюється до водню, бо це чи не єдиний випадок, коли коефіцієнт розподілу ізотопів у системі  $H_2-H_2O$ , значно перевищує встановлені коливання. Наявність таких реакцій підтверджується відновлювальними умовами рудогенезу: зменшенням кількості води і збільшенням кількості  $H_2$  в кварці золоторудних жил. Останнє підкріплюється даними В.С. Монахова (1983, 1985) по дослідженню золотовмісних жил Сурської структури. Як приклад реакції зазначеного типу можна навести:

1) реакція окислення сидериту водою з утворенням магнетиту, окису вуглецю та водню:

2) реакція між сульфідами заліза і водою з утворенням магнетиту, сірководню та водню:

3) реакція конверсії окису вуглецю (між  $CO$  та  $H_2O$ , з утворенням  $CO_2$  та  $H_2$ ).

Розрахунки показують, що збільшення  $\delta D$   $H_2O$  в рудній зоні на 120% відбудеться при відновленні 15 - 20% води вихідного флюїду.

Визначена нами кількість водню у вклученнях ( $X_{H_2} \sim 0,02$ ) не може забезпечити таке поважчення. Однак, в рудній зоні відбувається падіння тиску, що повинно було викликати дегазацію, а можливо, і кипіння рудоутворюючих флюїдів. Процеси виділення водню з розчинів, згідно з принципом Ле-Шательє, по-

винні зсувати рівновагу перебігаючих реакції в бік підвищеного його виходу. Таким чином, звітрювання водню на стадії відкладання руд підсилює ізотопний ефект, викликаний відновленням  $H_2O$  до  $H_2$ .

Найбільш вірогідним джерелом води рудних розчинів були води первинно-метеорної природи, включаючи тріщинно-порові, формаційні або глибинні циркуляції (Sheppard, 1986). Про це свідчать наступні факти: абсолютні значення  $\delta^{18}O$   $H_2O$  ГРВ (від -3,6 до -2,0‰); зменшення вмісту ізотопу  $^{18}O$  в карбонатах на 2...4‰ та магнетиті на 5...7‰ (Фомін, 1993) від периферійних зон до рудних інтервалів; тяжіння найбільш низьких значень  $\delta D$  до зони тектонічних порушень; наявність в метаморфізованій товщі осадовчно-вулканогенних порід кварцю з низькими до +6...+8‰ значеннями  $\delta^{18}O$ . Цей висновок збігається з даними вивчення сучасних діючих гідротерм та рудних розчинів молодих Au-Ag родовищ, для яких частка води неметеороного походження не перевищує 10...15% (Уайт, 1982). Виходячи з діапазону значень  $\delta D$  води ГРВ вмшуючих порід та зони білярудних змін, а також кореляції величин  $\delta D$  і  $\delta^{18}O$  метеорних вод (Craig, 1963), ізотопний склад води вихідного розчину міг би становити -60...-70‰ по водню та -8...-9‰ по кисню.

Мінімальне вагове співвідношення вода/порода, яке розраховувалося за методом Тейлора (1977), складає 1 до 10. В дійсності, воно було значно більшим, так як величезні маси води дренують породи без ізотопного обміну з ними (Ray, Ohmoto, 1986). Це підтверджується ще і тим, що діапазон варіації  $\delta^{18}O$  води (1,5‰) менший ніж у карбонатів (2,5‰) і кварці (4,5‰).

Третя теза. Формування золото-жеспілітових руд Балки Широкої відбувалося з білянейтральних чи слаболужових розчинів в умовах падіння температури і тиску на фоні підвищення

відновлювальних властивостей середовища.

Температура утворення кварцю і карбонатів обчислювалася по фракціонуванню ізотопів кисню в системі мінерал - вода ГРВ. Рудний кварц відкладався при температурі 200...210°C. Безрудний кварц білярудних метасоматитів дає вищі температури - 230...300°C. Температура утворення карбонатів нижча (170°C), що пояснюється належністю карбонатів до більш пізніх парагенетичних асоціацій (Фомін, 1992). Наведені дані дуже добре узгоджуються з незалежними розрахунками Ю.О.Фоміна (1994). Про об'єктивність отриманих результатів свідчить добра кореляція ізотопних температур та температур гомогенізації включень.

Температура формування сульфідів визначалася за парами мінералів пірит-піротин та пірит-халькопірит, при цьому - з більш як десяти пар співіснуючих сульфідів, лише для трьох встановлено закономірне фракціонування ізотопів сірки. Вивчення відповідних аншілфів показало, що пірит і халькопірит осаджувалися одночасно, контакти між зернами мінералів - пасивні, тобто утворення відбувалося в умовах близьких до рівноважних. Для сульфідів з рудних зон температура становить 230°C, а з білярудних метасоматитів - 220...340°C. Деяка розбіжність сульфідного і кисневого геотермометрів пояснюється тим, що точність визначення температур в першому випадку значно нижча і складає 40...80°C (при 15...20°C для кисневого геотермометра).

При термобарогеохімічному вивченні ГРВ в кварці встановлено, що в рудній зоні з посиленням кварц-карбонат-сульфідного метасоматозу збільшується кількість включень, розмір їх зменшується і відбувається зменшення тиску до 0,8...1,0 кбар (Терещенко, 1990). Останнє підкріплюється та-

кож даними Гостяєвої і Лазаренко (1992). Верхня межа тиску у включеннях мінералів з вмщючих порід досягає 1,5...2 кбар.

Рудовідкладення перебігало у відновлювальних умовах, про що свідчить хімічний склад газової складової включень рудних жил. Нами і іншими авторами зафіксовані:  $H_2$ ,  $CO$ ,  $CH_4$  і інші вуглеводні. Фугітивність кисню у розчинах продуктивної товщі (зони білярудних змін) була більш високою. Це підтверджується зменшенням кількості  $CO$  в ГРВ, появою сульфідів з низькими значеннями  $\delta^{34}S$  (до  $-4,6\%$ ), низькими значеннями  $\delta D$   $H_2O$  ГРВ (до  $-72...-82\%$ ).

Для визначення меж коливань  $pH$  та  $fO_2$  в зоні рудогенезу аналізувалися діаграми стійкості мінералів системи  $Fe-S-O$  ( $T=250^\circ C$ ;  $\delta^{34}S_{\Sigma S} = 0\%$ ;  $\Sigma S = 0,001...0,1$  моль/кг) та стійкості кальциту і графіту ( $T = 250^\circ C$ ;  $\delta^{13}C_{\Sigma C} = -5\%$ ;  $\Sigma C = -0,1$  моль/кг), на яких відображені також і ізолнії ізотопного складу сірки і вуглецю (Рай і Омото, 1977). На діаграмі  $Fe-S-O$  умови відкладення руд ( $pH = 6...8$ ;  $lg fO_2 = -38...-40$ ) відповідають положенню потрібної точки пирит - піротин - магнетит, яке залежить від кількості сірки в системі. Це положення, крім того, характеризується підвищеними значеннями  $\delta^{34}S$  піриту (до  $+3...+5\%$ ), близькими до встановлених для рудних сульфідів Балки Широкої. На вуглецевій діаграмі зазначені характеристики визначалися за додержанням умови близькості величин  $\delta^{13}C$   $CO_2$  ГРВ і  $\delta^{13}C$  карбонату (що спостерігається в рудній зоні). Ця умова виконується при  $pH < 7$  та  $lg fO_2 > -39$ . Таким чином, порівняння ізоліній ізотопного складу сірки і вуглецю, полів стійкості піриту, піротину, магнетиту і кальциту та отриманих нами середніх значень  $\delta^{34}S$  та  $\delta^{13}C$  в рудах свідчить, що відкладення руд на Балці Широкій перебігало в діапазонах  $pH$  від 6 до 8, і  $lg fO_2$  від  $-38$  до  $-39$ .

Висновок про слаболугову чи близьку до нейтральної реакцію рудогенеруючих розчинів підтверджується також присутністю у включеннях рудного кварцю бікарбонат - іонів.

#### Основні висновки:

По результатам досліджень можна зробити наступні висновки:

1.  $\delta^{34}\text{S}$  сульфідів рудних зразків родовища Балка Широка на 2 і більше проміле перевищує  $\delta^{34}\text{S}$  сульфідів продуктивної товщі та вмшючих порід і досягає +2,4...+8,5 (в середньому +5,1)‰. Діапазон коливань вмісту ізотопу  $^{34}\text{S}$  зменшується від вмшючих порід до руд. В цілому, по Чортомлицькій структурі виявлено позитивну кореляцію  $\delta^{34}\text{S}$  та  $\text{Cu}$  ( $r = -0,54$ ) для сульфідів з ізотопним складом сірки від +3,5 до +8,0‰. Для зразків з вмістом золота більше ніж 0,1 г/т зазначена величина складає 0,45.

2. На родовищі спостерігається добра узгодженість  $\delta^{13}\text{C}$  карбонатів і  $\delta^{13}\text{C}$   $\text{CO}_2$  ГРВ.  $\delta^{18}\text{O}$  карбонатів продуктивної зони зменшується на 1,5 - 2‰ відносно вмшючих порід.

3.  $\delta\text{D}$  води ГРВ збільшується у рудних зразках до -40...+47‰ (у воді включень безрудного кварцю вміст деїтерію складає -82...-55‰). Спостерігається деяке зменшення кількості  $\text{H}_2\text{O}$  в рудних інтервалах від 0,3...0,5 до 0,1...0,2 мг/г кварцю.  $\delta^{18}\text{O}$  води включень мало змінюється по розрізу родовища і складає -3,5...+2,0‰.

4. Температура формування рудного кварцю (обчислена по різниці ізотопного складу кисню матриці і води включень) нижча ніж безрудного (200...210 та 230...300°C відповідно). Інформативність ізотопної температури підтверджується

ЛНБ ім. В. Стефанишин  
АН України

доброю кореляцією останньої з температурою гомогенізації ГРВ.

5. Аналіз ізотопного складу сірки сульфідів, вуглецю карбонатів: полів стійкості піриту, піротину, магнетиту і кальциту; хімічного складу ГРВ рудного кварцю свідчить про відновлювальні і близькі до нейтральних умови середовища рудоутворення:  $pH = 6 \dots 8$ ,  $fO_2 = -39 \dots -38$ .

6. Причинами дестабілізації золотомісних комплексів в розчинах були: наявність геохімічного бар'єру (окислювально-відновного типу); падіння температури і тиску (останнє викликало закипання розчинів).


7. Хоча і не вдалося остаточно ідентифікувати джерело води гідротермальної системи родовища, ряд фактів свідчить про вірогідну участь в її складі метеорної води. Мінімальне вагове співвідношення метеорна вода/порода може складати 1:10.

8. Розрахункові оцінки ізотопних ефектів, які викликалися реакціями між водою рудних розчинів і мінералами оточуючих порід вказують, що максимальні коливання  $\delta D$  неможливо пояснити простим змішуванням розчинів різного походження з контрастним вмістом детерію. Механізм варіації  $\delta D$  води ГРВ вмшуючих порід і порід продуктивної зони зумовлений, найвірогідніше, метасоматичними змінами (серіцитизація, біотитизація, хлоритизація та інші) зеленокам'яних порід. Максимальні значення  $\delta D H_2O$  найбільш рудних ділянок кварцових жил можна пояснити лише перебігом реакції з утворенням водню (що накопичує протія в значних кількостях) з наступним його звітриванням із зони реакції.

9. Порівняння значень  $\delta^{34}S$  сульфідів;  $\delta^{13}C$  та  $\delta^{18}O$  карбонатів, температури, тиску, хімічного і сольового складу руд-

них розчинів Балки Широкої і аналогічних закордонних родовищ виявило високий ступінь їх подібності. Розбіжності зафіксовані в величинах  $\delta D$  і  $\delta^{18}O$  води ГРВ рудних стадій.

10. Ізотопний склад сірки сульфідів, вуглецю та кисню карбонатів еволюціонував з розвитком геологічних процесів (метаморфізм, діафорез, гідротермально-метасоматична діяльність), які супроводжували становлення Чортомлицької зеленокам'яної структури, наслідуючи ізотопний склад вихідних резервуарів сірки і карбонатної речовини.

 Шибенський Д.О.

Список работ опубликованных з теми

дисертаційної роботи.

1. Золотонакопление в углеродсодержащих толщах докембрия (по изотопно-геохимическим данным)  
//Тезисы Межрегион. конф. по стратиформн. м-ниям. -Чита, 1990. -ч. II -с.161-162.  
(Совместно с В.Б.Ковалем, В.Ф.Лапустой).
2. Сопоставление золотого оруденения Чертомлыкской и Сурской структур (по комплексу изотопно-геохимических данных)  
//Критерии поисков и перспективы промышленной золотоносности Украины, (Матер. совещ. ). -Киев: Изд. ИГМР АН Украины, 1993. -т. II. -с.163-174.  
(Совместно с В.Б.Ковалем, В.Ф.Лапустой)
3. Изотопно-геохімічне вивчення рудопрояву Балки Широка  
//Допов. АН України. -1993. -№4. -с112-116.  
(Спільно з В.Ф.Лапустою та Ю.М.Деміховим).
4. Генетические аспекты изотопного состава серы сульфидов золоторудных проявлений Чертомлыкской зеленокаменной структуры //Докл. АН Украины. -1993. -№10. -с136-140.  
(Совместно с В.Б.Ковалем и В.Ф.Лапустой).

Підл. до друку 27.07.99 Формат 60×84 Папір офс. Друк. офс.  
Друк. офс. Умовн. друк. арк. 1,16 Обл.-вид. арк. 0,43 Тир.100.  
Зам. 4-3620.

Київська книжкова друкарня наукової книги, Київ, Б. Хмельницького, 19.

458878

AB 30672

**AB 30.672**