

УДК: 553.072; 553.41

doi: 10.55959/MSU0579-9406-4-2023-63-5-18-25

ГЕНЕЗИС И СТАДИЙНОСТЬ МИНЕРАЛООБРАЗОВАНИЯ ЗОЛОТО-СЕРЕБРЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЗУН-ОСПА (ВОСТОЧНЫЙ САЯН)

Михаил Александрович Богуславский¹✉, Дмитрий Александрович Ханин²,
Валерия Олеговна Перетьяко³

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; mikhail@geol.msu.ru ✉

² Институт экспериментальной минералогии имени академика Д.С. Коржинского, Черногоровка, Россия;
mamontenok49@yandex.ru

³ ООО «Купол Майнинг Сервис», Магадан, Россия; Valeriya.Peretyatko@fareastgold.ru

Аннотация. В работе представлена общая характеристика золоторудного месторождения Зун-Оспа. Приведен минеральный состав руд. По данным минералогических исследований установлены два этапа минералообразования: гидротермальный, который был разделен на четыре стадии, и гипергенный. Представлены данные микронзондового анализа минеральных фаз, составляющих руды месторождения. Самородное золото описано двух генераций, отличающихся как составом, так ассоциациями.

Ключевые слова: Зун-Оспа, ялпаит, жеффруаит, штроймерит, фрайбергит, рудообразующие минералы, сульфосоли висмута и серебра

Для цитирования: Богуславский М.А., Ханин Д.А., Перетьяко В.О. Генезис и стадийность минералообразования золото-серебряного месторождения Зун-Оспа (Восточный Саян) // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2023. № 5. С. 18–25.

GENESIS AND STAGES OF MINERAL FORMATION OF THE ZUN-OSPA GOLD AND SILVER DEPOSIT (EASTERN SAYAN)

Mikhail A. Boguslavskiy¹✉, Dmitri A. Khanin², Valeria O. Peretyatko³

¹ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; mikhail@geol.msu.ru ✉

² D.S. Korzhinsky Institute of Experimental Mineralogy, Chernogolovka, Russia; mamontenok49@yandex.ru

³ Kupol Mining Service LLC, Magadan, Russia; Valeriya.Peretyatko@fareastgold.ru

Abstract. The paper presents the general characteristics of the Zun-Ospa gold deposit. The mineral composition of ores is given. According to mineralogical studies we have been established two stages of mineralization: the first stage (hydrothermal), which was divided into four stages and the second hypergenic. The data of microprobe analysis of the mineral phases that make up the ores of the deposit are presented. We described gold in two generations, which are different both in composition and associations.

Keywords: Zun-Ospa, yalpaite, geffroaite, stroymerite, freibergite, ore-forming minerals, bismuth and silver sulfosalt

For citation: Boguslavskiy M.A., Khanin D.A., Peretyatko V.O. Genesis and stages of mineral formation of the Zun-Ospa gold and silver deposit (Eastern Sayan). *Moscow University Geol. Bull.* 2023; 5: 18–25. (In Russ.).

Введение. В административном отношении Зун-Оспинский рудный район относится к Окинскому району Республики Бурятия, расположенному близ границы с Монголией (рис. 1). Юго-восточная часть Восточного Саяна, к которому структурно относится Зун-Оспинское месторождение, имеет сложное геологическое строение. Она представляет собой типичную складчатую область с широким развитием покровно-складчатых структур, сложенных разнообразными литокомплексами от раннедокембрийского до позднепалеозойского возраста. Также присутствуют кайнозойские базальты и современные отложения. Магматические образования юго-восточной части Восточного Саяна изучены значительно меньше, в особенности это относится

к гранитоидному магматизму. Так, до настоящего времени существует некоторая неопределенность в отнесении гранитоидов к тем или иным интрузивным комплексам, что объясняется малым числом геохронологических данных, отчасти, недостаточным количеством палеонтологических описаний вмещающих стратифицированных отложений [Дамдинов, 2019].

Зун-Оспинское рудное поле приурочено к сочленению северной части Оспинской структурно-формационной зоны (вещественным выражением которой являются офиолитовая и карбонатно-вулканогенно-терригенная формации) и обширной области куполообразования, протягивающейся в целом параллельно Главному Саянскому разлому.

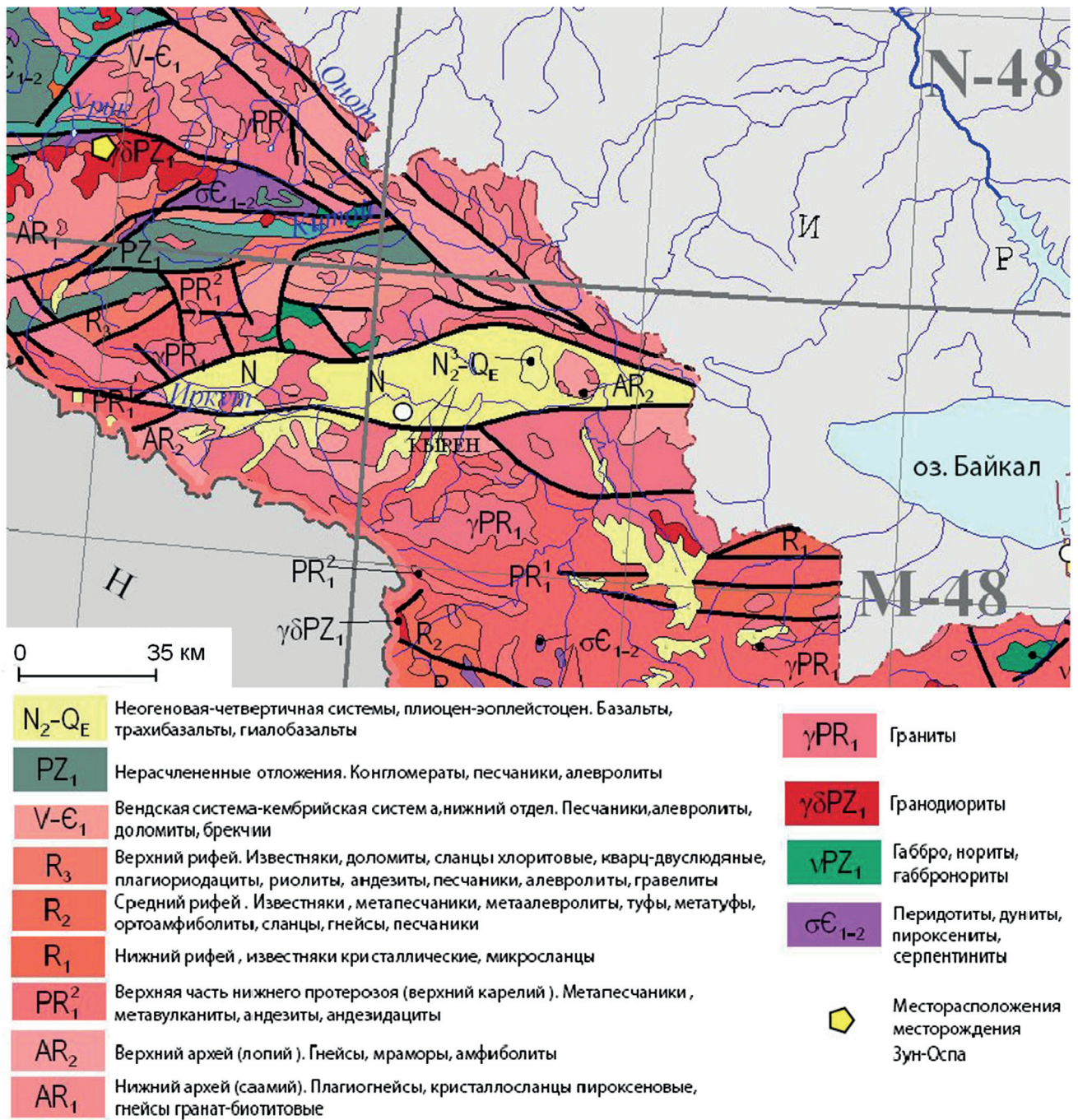


Рис. 1. Позиция месторождения Зун-Оспа (по материалам Скопинцева В.Г. с изм.и и доп.)

Эта область отчетливо выделяется ассоциацией гранитоидных комплексов — урикского (сумсунурского) и сархойского, тоналит-трондьемит-гранодиоритовой (ТТГ) серии, возраст которого оценивается в 790 млн лет [Кузьмичев, 2004].

В структурном отношении месторождение тяготеет к участку сочленения северо-западной и юго-восточной ветвей гипербазитового пояса и приурочено к юго-западной части межкупольной складки-перемычки. Рудные тела месторождения локализируются в мощной Оспа-Ильчирской зоне ме-

ланжированных пород субширотного простирания. Зона меланжа приурочена к лежащему боку синклинальной складки и полого падает на северо-восток под углом 45–50° [Арсентьев, 1960]. Протяженность рудовмещающей структуры ~12 км, ширина ее изменяется от 250 до 750 м. Рудные тела месторождения выявлены среди покровных образований Оспинского офиолитового покрова, в который вовлечены отложения оспинской свиты, гипербазиты ильчирского и гранитоиды сумсунурского интрузивного комплекса.

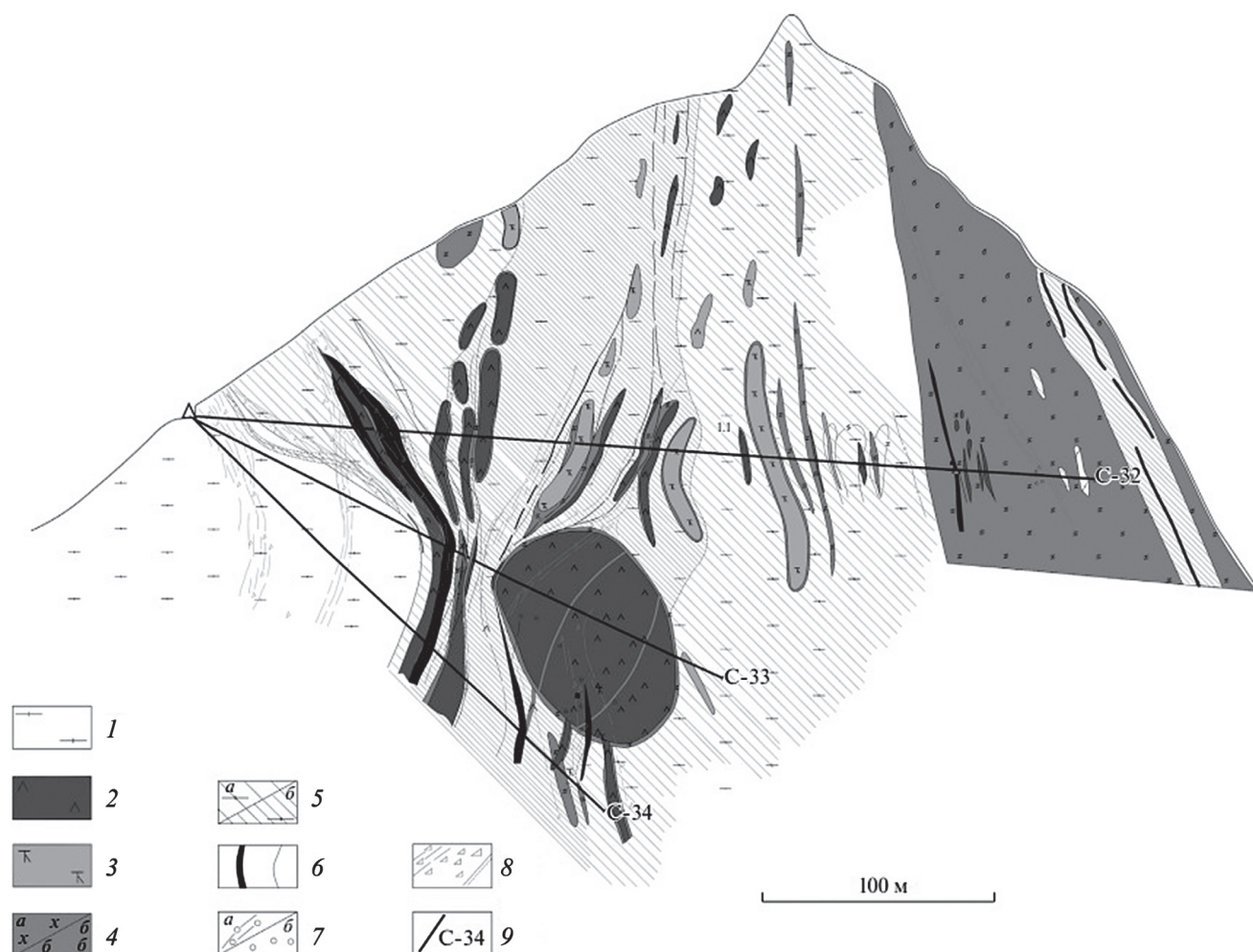


Рис. 2. Геологический разрез (составлен по материалам ООО «С/А Китой», Поселенов и др., 2012ф). 1 — измененные катаклазированные гранитоиды; 2 — листовиты кварц-карбонатные и карбонат-кварцевые; 3 — тальк-карбонатные и карбонат-тальковые породы, талькиты; 4 — тектоно-метасоматиты пропилитоподобные: кварц-карбонат-хлоритовые (а), кварц-карбонат-биотитовые (б); 5 — тектоно-метасоматиты березитоподобные: а — карбонат-серицит-хлорит-кварцевые, б — хлорит-серицит-кварцевые и серицит-кварцевые; б — кварцевые жилы и прожилки; 7 — окварцевание: а — прожилковое, б — линзовидно-гнездовое; 8 — зоны дробления, брекчирования, тектонические швы с глиной трения; 9 — проекции скважин и их номер

Методы исследований. В ходе полевых работ на месторождении проводились геологические наблюдения взаимоотношений руд и вмещающего субстрата, сопровождавшиеся отбором образцов и штучных проб.

Изучение химического состава минералов проведено в Институте экспериментальной минералогии с помощью сканирующего электронного микроскопа Camscan MV2300 с энергодисперсионным спектрометром INCA Energy 450 с полупроводниковым Si(Li) детектором INCA PentaFET x3. Условия съемки: ускоряющее напряжение 20 кВ, ток зонда на образце 1,5 нА, время накопления 70 с.

Изучение петрографических шлифов и аншлифов проводилось на поляризационных микроскопах ZEISS Axilskop 40 и Полам Р-312. В лаборатории рудной микроскопии на кафедре геологии, геохимии и экономики полезных ископаемых геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова.

Геологическое строение месторождения. Основной вмещающей породой является кварц-

карбонат-серицитовый сланец. Текстура породы массивная. Основные минералы, слагающие породу — кварц и плагиоклаз (чаще всего представлен олигоклазом, но не редко встречаются метасоматиты характеризующиеся альбитизацией плагиоклаза вмещающих габбро); порода разбита трещинами заполненными хлоритом, серицитом и кальцитом. В случае развития большого количества прожилков, текстура становится слоистой с упорядоченным чередованием слоев с серицитом и кальцитом. Рудные минералы приурочены к подобным трещинам. Распределение рудных минералов хаотично — они встречаются как в кальците, так и в сериците образуя порфиробластовую структуру. Все породы в той или иной мере изменены метасоматическими процессами.

Жилы обрамляются оторочками окварцованных пород, сложенных разноморфным кварцем с аллотриоморфнозернистой микроструктурой, хотя часть жил отчетливых околожильных оторочек не имеет, а заключена непосредственно среди тектонитов по

породам различного состава, в которых отмечаются лишь тонкие (менее 1 см) оперяющие и послонные прожилки сульфидно-кварцевого состава. Нередко жилы группируются в прожилково-жильные зоны общей мощностью до первых метров (рис. 2). Возраст руд определялся путем Ar-Ar-датирования Sr-мусковита (фуксита) из околожильных тектонизированных лиственитов. Полученное значение возраста соответствует раннему карбону — 352,3 млн лет [Дамдинов, 2018]. Таким образом, возраст руд намного отличается от возраста гранитоидов сумсунурского комплекса, присутствующих в рудном поле.

На месторождении выделяется 6 рудных тел (рис. 3). Наиболее изучеными является Главное рудное тело № 1. Оно представлено простой формы жилой, которая осложнена более поздней тектоникой. В северной части тело выклинивается «конским хвостом», в южной выклинивание происходит без расщепления. Центральная часть смята в складку. Аналогичное строение прослеживается у тела по штольням № 1 и 2 на глубине 30 и 78 м соответственно. Мощность минерализованной зоны изменяется в широких пределах от минимальной 6,2 м на поверхности до 14,7 м на горизонте штольни № 2 [Поселенов, 2012]. Рудное тело № 1 выполнено светло-серым до белого тонкозернистым кварцем. Сульфидная минерализация сконцентрирована висячем боку в основном в средней максимально мощной части. Лежачий бок сложен кварцем с редкой сульфидной вкрапленностью.

Наиболее богатыми по содержанию золота и серебра являются окисленные кварц-гематитовые руды. В целом же на месторождении выделяют еще три типа руд: полисульфидные, кварц-сульфидные и сульфидно-кварцевые. В полисульфидных рудах, кроме высокого содержания благородных металлов, отмечается высокое содержание цинка (32%) и свинца (7%), а в окисленных кварц-гематитовых рудах практический интерес могут представлять медь и свинец.

Также стоит отметить, что в полисульфидной руде содержание кадмия достигает 0,5% [Поселенов, 2012]. Судя по данным наших исследований кадмий является изоморфной примесью в поздней генерации сфалерита.

Минеральный состав руд. Исследование образцов, взятых по всей площади рудного тела № 1 из двух штолен. Одна штольня заложена выше по разрезу, другая ниже для прослеживания изменения минерального состава с глубиной. Изучение заключалось как в макроскопическом описании, так и исследовании под микроскопом шлифов руд, а также определении химического состава минералов с использованием микрозонда.

Минеральный состав руд из приповерхностной части следующий: главные минералы — пирит, халькопирит, сфалерит, галенит. Минеральный состав руд рудной зоны № 1 на глубине 30 м: главные минералы — пирит, халькопирит.

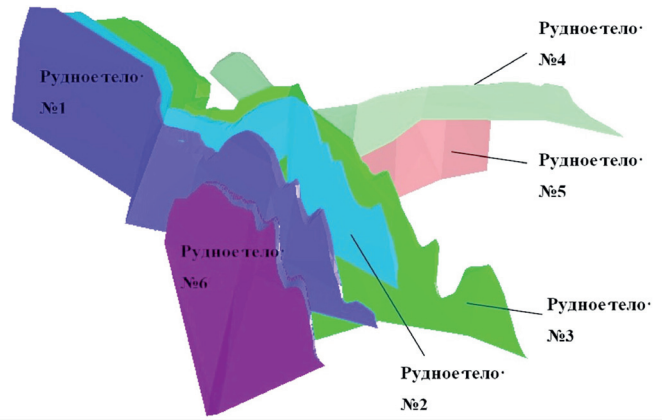


Рис. 3. Объемная модель месторождения Зун-Оспа. Модель месторождения построена по ограниченному количеству поисково-оценочных скважин в программе Micromine Studio

Второстепенные минералы с глубиной практически не меняются — это магнетит, пирротин, борнит, молибденит, кобальтин, марказит, блеклые руды (фрейбергит), гематит, самородное золото, сульфиды серебра (штрмейерит и жеффруаит); вторичные минералы: ковеллин, халькозин, малахит, гидроокислы железа. Однако, на нижележащих горизонтах в качестве постоянно присутствующего второстепенного минерала появляется арсенопирит.

Интересно, что предыдущие исследователи [Дамдинов, 2018; Поселенов, 2012] не выделяли среди минералов руд арсенопирит, который часто встречается, хотя и в качестве второстепенного минерала, в наших образцах. Учитывая особенности состава руд, возможно, этот факт может дать дополнительные данные для усовершенствования схемы обогащения.

Серебро. Серебро на месторождении встречено в двух основных разновидностях: в виде сульфосоли (фрейбергит) и в виде сульфидов серебра.

Фрейбергит образуется в полисульфидной стадии. Ассоциирует с кадмий содержащим сфалеритом в полисульфидных рудах, реже галенитом (рис. 4). Размер выделений в среднем составляет 0,03 мм. Содержание кадмия в сфалерите этой генерации достигает 1,9 мас.% (табл. 1), что может свидетельствовать о том, что это поздняя генерация сфалерита [Юшко, 1984]. В предыдущих исследованиях отмечено, что

Таблица 1

Химический состав основных минералов (содержание элементов указано в вес. %)

Точка анализа	S	Fe	Cu	Zn	Ag	Cd	Sb	Pb	Сумма
21_61	13,50	0,96	—	—	—	—	—	85,82	100,28
21_62	13,00	1,90	—	—	—	—	—	86,38	101,28
21_63	33,56	4,98	—	61,48	—	1,82	—	—	101,84
21_64	26,22	11,37	20,07	1,41	21,57	—	20,65	—	101,29

Примечание. «—» — содержание элементов ниже предела обнаружения.

Таблица 2

Химический состав сульфидов меди и сульфидов серебра
(содержание элементов указано в вес. %)

Точка анализа	S, %	Fe, %	Co, %	Ni, %	Cu, %	Ag, %	Cd, %	Сумма, %
РС-1_3	18,72	9,50	0,08	0,20	69,99	3,03	–	101,52
РС-1_4	18,72	9,05	0,14	–	70,36	3,20	–	101,47
РС-1_5	18,74	8,29	–	0,21	70,67	3,20	–	101,11
РС-1_6	16,09	9,86	–	–	46,15	25,68	–	97,78
РС-1_7	16,01	0,48	–	–	33,61	49,47	–	99,57
РС-1_8	15,77	3,69	0,11	0,06	43,27	36,03	1,62	100,55
РС-1_9	15,37	0,77	–	0,22	32,03	50,96	–	99,35
РС-1_10	15,80	0,91	0,07	0,17	34,37	47,84	0,89	100,05

Примечание: «–» — содержание элементов ниже предела обнаружения.

в полисульфидных рудах кадмий может достигать 0,5 масс.% [Поселенов, 2012].

Сульфиды серебра, встреченные на месторождении представлены штромейеритом (CuAgS) (табл. 2, точки 7, 9, 10) и жеффруаит ($(\text{Cu,Fe,Ag})_9(\text{Se,S})_8$) (табл. 2, точки 6, 8). В подобных условиях штромейерит в гипергенных процессах замещается самородным серебром [Коваленкер, 2011]. В нашем случае штромейерит не подвергся гипергенным изменениям. Разделение этих двух фаз затруднитель-

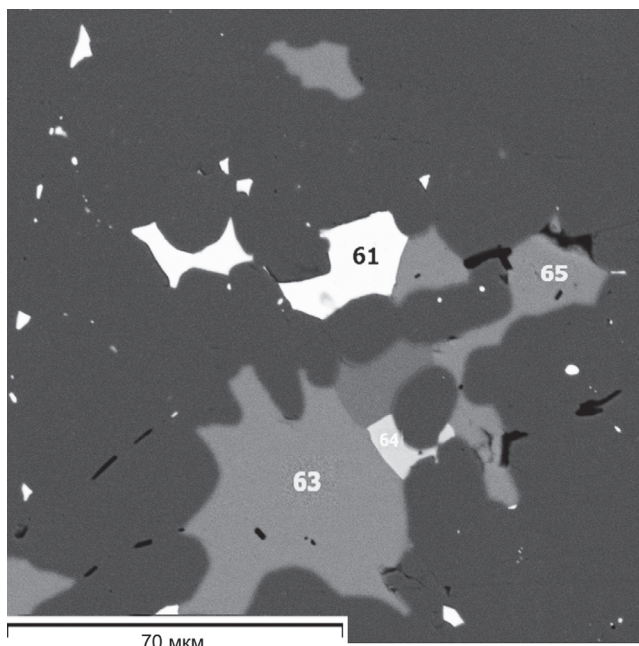


Рис. 4. Фрейбергит (64), сфалерит (63), галенит (61)

но. В целом данные минеральные фазы встречены в оторочках обрастания халькопирита и халькозина с точным повторением контура (рис. 5). Ширина этих оторочек колеблется от 0,05 до 0,2 мм, в среднем составляя 0,1 мм. Структура руды в этих зонах порфириновая, поэтому эти крупные зерна халькопирита, реже халькозина размером до 0,5 мм находятся

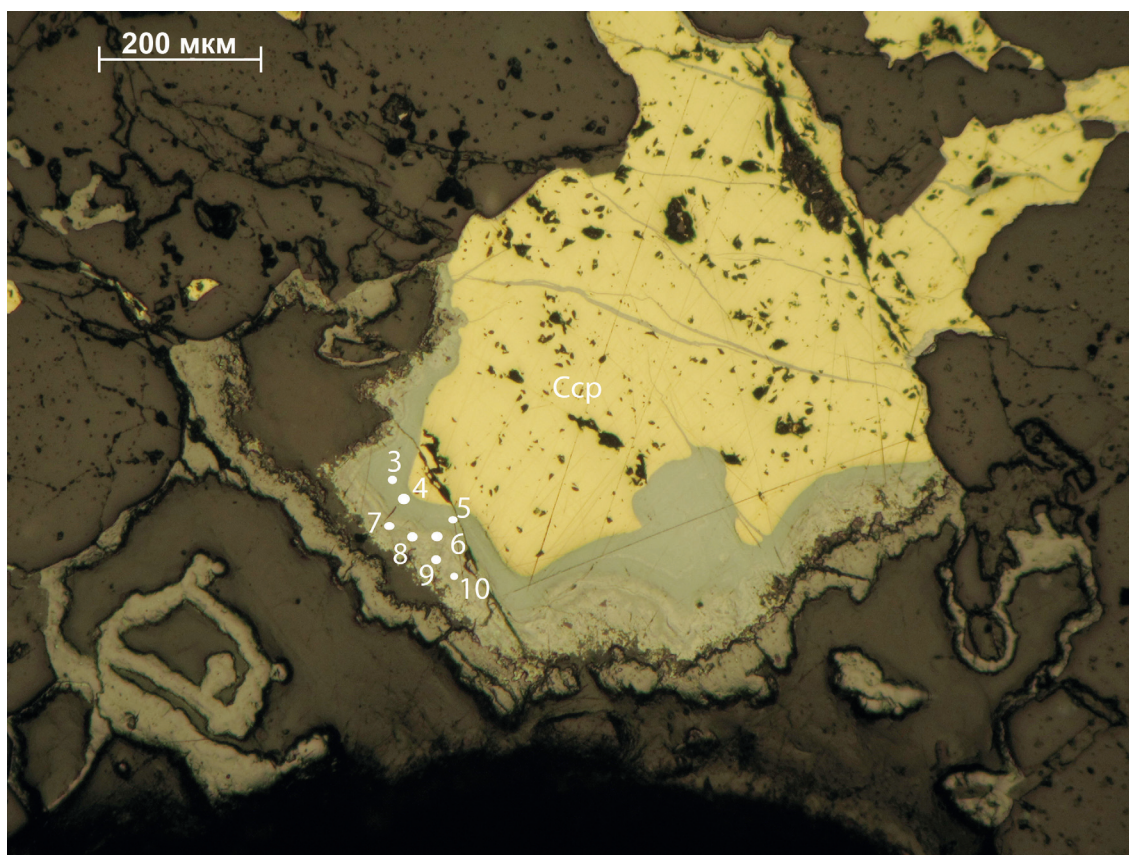


Рис. 5. Сульфиды серебра в оторочке халькозина и халькопирита. Точками отмечены места проведения микрозондовых исследований. Ссп — халькопирит

в массе нерудного. Штроемейерит является типичным минералом гидротермальных месторождений серебра.

Золото. Золото встречено двух разных генераций. Отличается как составом, так ассоциациями. Самородное золото было обнаружено в виде мелких 0,01–0,05 мм изометричных зерен внутри зерен пирита. Золото, обнаруженное пирите (рис. 6, Б), имеет более высокую пробность (табл. 3, анализ 1, 2). Эта генерация золота отнесена к более ранней стадии минералообразования.

Другая генерация золота ассоциирует со сфалеритом (рис. 6, А) и располагается в нерудной массе. Также со сфалеритом ассоциирует и серебросодержащие сульфосоли. Эта генерацию золота скорее можно отнести к электруму (табл. 3, строчка 3, 4).

Никель. При описании аншлифов руд был встречен пентландит, содержание которого в некоторых образцах достигает 2%. Обычно пентландит ассоциирует с пиритом, при этом этот пирит не содержит примеси мышьяка (рис. 7). Пентландит может содержать незначительную примесь этого элемента (табл. 4).

Молибден. Молибденит тяготеет к рудам содержащим пентландит. Зерна молибденита часто наблюдаются в виде веерообразных сростков, размером до 0,1 мм. Основной примесью в молибдените является рений. Стоит отметить, что содержания рения в молибдените аналогично содержанию (табл. 5), в молибдените из месторождения Чикой, Мыс Павлович [Максимюк, 2013] и Михеевского [Грабежев, 2010], которые относятся к медно-порфировому типу.

Мышьяк. В целом в сульфидах месторождения не встречено значительных содержаний мышьяка, лишь в редких случаях на более глубоких горизонтах встречается арсенопирит. Тогда как на территориально близких объектах встречается, в том числе маухерит [Шведов, 2016].

Последовательность минералообразования. По результатам микроскопического исследования было выделено два этапа рудообразования: первый

Таблица 3
Химический состав золота разных генераций (содержание элементов указано в вес. %)

№ анализа	Cu, %	Ag, %	Au, %	Te, %	Hg, %	Сумма, %
1	0,79	17,30	79,37	–	1,70	99,16
2	0,81	17,26	79,19	–	1,60	98,86
3	0,40	32,69	65,10	0,11	0,90	99,20
4	0,35	32,80	65,06	0,92	0,79	99,92

Примечание. «–» — содержание элементов ниже предела обнаружения.

Таблица 4
Химический состав никель содержащих фаз (содержание элементов указано в вес. %)

Точка анализа	S, %	Fe, %	Co, %	Ni, %	As, %	Сумма, %
29_83	32,46	26,12	0,26	41,22	0,08	100,14
29_84	32,91	26,14	0,31	41,34	0,08	100,79
29_85	52,16	45,77	0,35	1,01	0	99,29
29_86	52,88	46,48	0,48	0,39	0	100,23

Примечание: «–» — содержание элементов ниже предела обнаружения.

Таблица 5
Химический состав молибденита (содержание элементов указано в вес. %)

Точка анализа	S, %	Mo, %	Re, %	Сумма, %
32_91	39,96	60,10	0,12	100,18
32_92	39,90	60,06	–	99,96
32_97	38,23	60,63	0,21	99,07

Примечания: «–» — содержание элементов ниже предела обнаружения.

этап (гидротермальный), который был разделен на четыре стадии и второй этап — гипергенный.

Стадийность рудообразования: первой выделяется дорудная стадия, которая хорошо картируется при текстурно-структурном анализе; минерализованные зоны представляют собой интенсивно метасома-

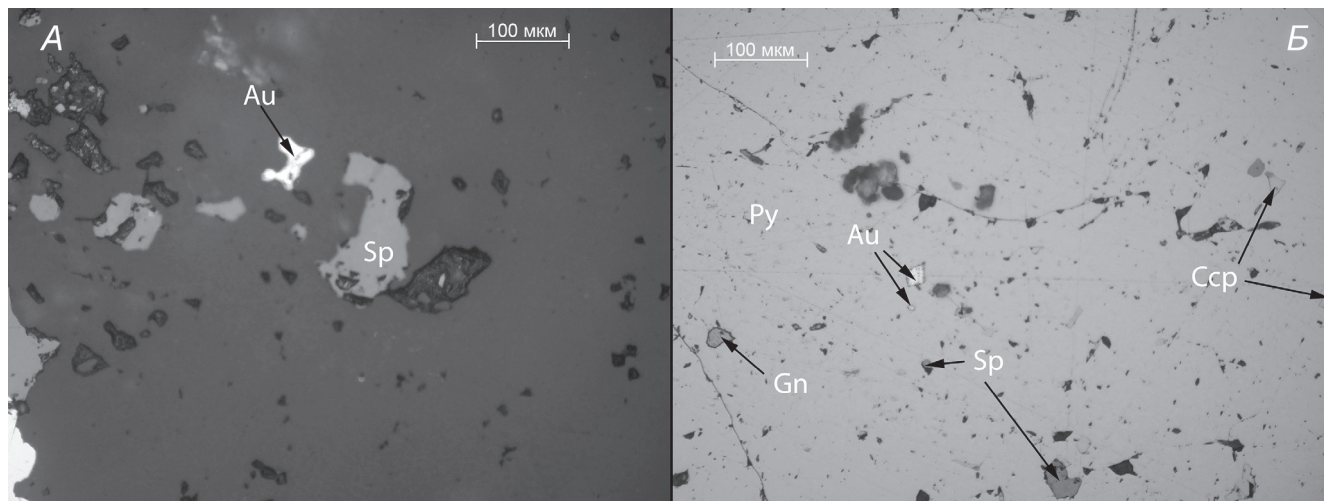


Рис. 6. Две генерации золота. А — первая генерация золота по составу относится к электруму. Б — вторая генерации золота — более чистая и ближе к серебросодержащему золоту

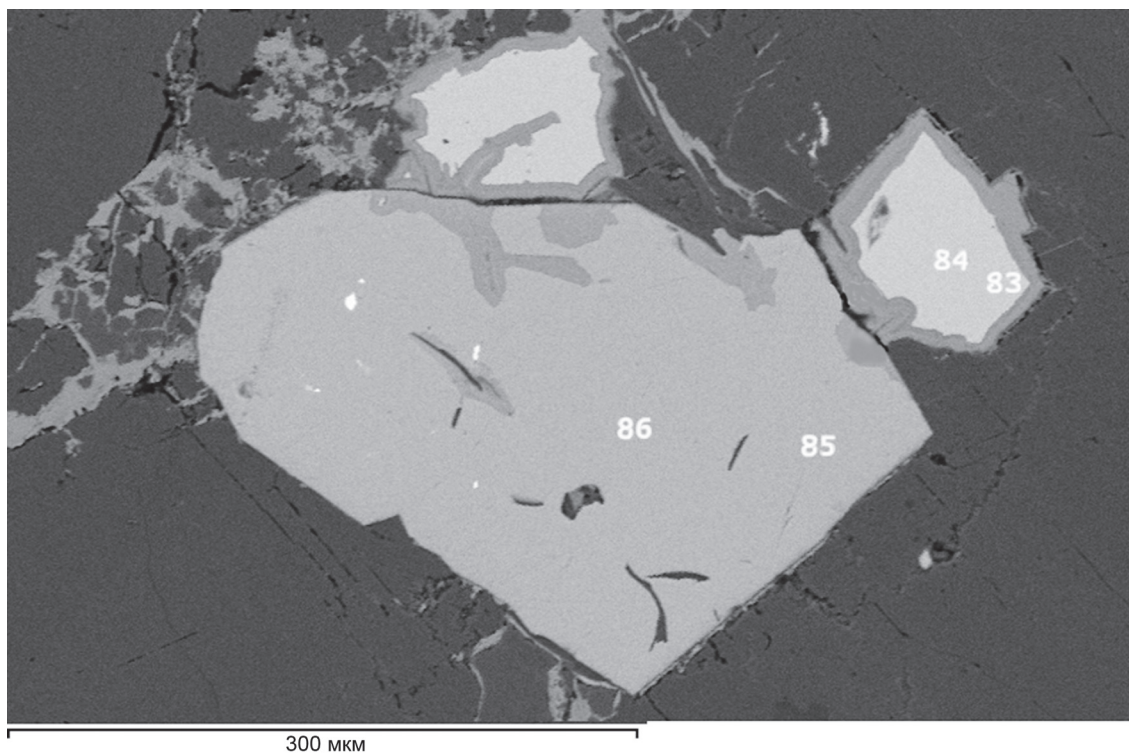


Рис. 7. Пентландит в ассоциации с пиритом

тически измененные минерализованные граниты (березиты) с кварцевыми жилами и прожилками, несущими полисульфидную минерализацию, минерализованные листвениты и карбонат-тальковые породы, окварцованные и минерализованные слюдиты. Следующую стадию можно назвать свинцово-цинковой, она выделяется благодаря включениям галенита и сфалерита из матрикса в метакристаллах пирита. Золото первой генерации, встреченное в пирите, скорее всего принадлежит к этой стадии. Третья стадия — медная, с образованием халькопирита, а затем халькозина; на последнем этапе данной стадии образовывались собственные минералы серебра в оторочках обрастания. Завершающая стадия гидротермального этапа представляет собой цинково-серебряную и представлена выделениями сфалерита с высоким содержанием кадмия, который указывает на окончание гидротермального процесса; к этой же стадии относится более низкопробное золото и фрейбергит. Позицию пентландита оценить сложно. Нередко пентландит встречается с оторочками сфалерита, но его взаимоотношение с медной ассоциацией остается не выясненной.

Предыдущие исследователи [Дамдинов, 2018] относили самородное золото к более поздним стадиям минералообразования, ими более высокопробное золото обнаружено в пирите, который, однако, согласно их схеме минералообразования, на этих стадиях уже не образовывался. Нами самородное золото отнесено к более ранним стадиям.

На завершающем этапе происходили гипергенные изменения с образованием небольшого количества малахита и гидроокислов железа, с кото-

рыми ассоциирует золото. Очевидно, гидроокислы железа образовались по пириту. Гипергенный этап широко проявлен только в приповерхностной части месторождения.

По процентному соотношению минералов, представленных в аншлифах, руды можно отнести к кварц-сульфидной, сульфидно-кварцевой разновидности.

Генезис месторождения. Золото-серебро-полиметаллическое оруденение на месторождении генетически связано с зонами тектонической активизации в Ильчирской линейной зоне и интрузиями лейкократовых гранитов. Непосредственно обусловлено постмагматическими процессами внедрения последних.

В рудогенном процессе определенно проявились два этапа рудообразования: гидротермальный и гипергенный. На дорудном этапе в зонах тектонических дислокаций образованы жильные вторичные кварциты и сопровождающие их породы березит-лиственитовой формации. На гидротермальном рудном этапе — кварц-сульфидные руды и околорудные березиты (листвениты). Этапы «разделены» тектонической подвижкой с инъекциями гидротермальных кварцевых жил. Образование кварцитов непосредственно связано с инъекциями лейкогранитов, в которых кварциты образуются как автотетраэдриты. На завершающем этапе образовывались гипергенные минералы.

Кварцевые тела в контурах минерализованной зоны являлись основными рудолокализирующими элементами (ловушками). Максимальные концентрации и количества золота находятся именно в них.

Распределение благородных металлов крайне неравномерное. Кварцевые тела содержат небольшое количество магнезиально-железистого карбоната, хлорита и турмалина. Содержание рудных минералов варьирует в значительных интервалах, достигая в крайних значениях 5% и 40%. Визуально чаще всего отмечаются пирит в виде скоплений неправильной формы и галенит, образующий довольно крупные (до 0,8 см) скопления мелких индивидов. Золото макроскопически ориентировано вдоль тонких трещин в кварце и пространственно тяготеет к гидроокислами железа в верхней окисленной части. Микроскопически золото встречено двух разных генераций, которые отличаются как составом, так и ассоциациями. Золото, обнаруженное в пирите, имеет более высокую пробность. Вторая генерация золота ассоциирует со сфалеритом (рис. 6, А) и располагается в нерудной массе. Эту генерацию золота можно отнести к электруму.

Серебро в рудах также встречено в двух различных минеральных ассоциациях: фрейбергит из ассоциации со сфалеритом в полисульфидных рудах, а также сульфиды серебра — это штроейерит и жеффруаит в ассоциации с халькопиритом. Данные минеральные фазы встречены в оторочках обрастания халькопирита и халькозина с точным повторением контура.

Широкое распространение никеля в рудах, а также наличие гипербазитов в структурах месторождения позволяет прогнозировать потенциал платиновой минерализации в рудах данного месторождения [Маракушев, 1994; Шведов, 2016].

Источником рудного вещества являются вмещающие породы, вовлеченные в тектоно-метасоматические

преобразования. В целом месторождение относится к модели метаморфогенно-гидротермального рудообразования. На это указывают следующие факторы:

- оруденение представлено зонами сближенных кварцевых жил и прожилков с вкрапленной сульфидной минерализацией;
- рудовмещающие протерозойские толщи метаморфизованы в зеленосланцевой фации;
- многостадийность рудообразования (золотоносной является рудная стадия);
- золото-кварц-сульфидная, золото-сульфидно-кварцевая формации.

Заключение. Месторождение Зун-Оспа относится к модели метаморфогенно-гидротермального рудообразования.

Высокие содержания кадмия (до 0,5 масс.%) в рудах подтверждают потенциальную перспективу вовлечения его как попутного компонента при отработке месторождения. Дополнительный интерес может представлять рений в молибдените, относящийся к дефицитному минеральному сырью для РФ и ранее на месторождении не описанный.

Золото на месторождении встречено двух основных генераций: более высокопробное золото приуроченное к пириту и его окислам (в верхней зоне месторождения); более низкопробное золото тяготеет к зонам распространения полисульфидных руд.

Серебро на месторождении также встречено в двух основных разновидностях: в виде сульфосоли (фрейбергит) и в виде сульфида серебра. При этом эти две генерации представляют разные ассоциации: фрейбергит тяготеет к сульфидам свинца и цинка, а сульфиды серебра встречены только в ассоциации с халькозином и халькопиритом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арсентьев В.П. Краткий очерк тектоники Юго-Восточной части Восточного Саяна. Тр. Бурят. компл. НИИ СО АН СССР, сер. геол.-геогр. Улан-Удэ: Бурят. кн. изд., 1960. Вып. 2. С. 39–50.
2. Грабчев А.И., Шагалов Е.С. Распределение рения в молибдените по результатам микроразночного сканирования (медно-порфровые месторождения, Урал) // Доклады Академии наук. 2010. Т. 431, № 2. С. 233–237.
3. Дамдинов Б.Б. Минеральные типы месторождений золота и закономерности их размещения в юго-восточной части Восточного Саяна // Геология рудных месторождений. 2019. Т. 61, № 2. С. 23–38.
4. Дамдинов Б.Б., Дамдинова Л.Б. Зун-Оспинское золоторудное месторождение (Восточный Саян): особенности геологического строения, состав руд и генезис // Геология рудных месторождений. 2018. Т. 60, № 3. С. 274–300.
5. Коваленкер В.А., Киселева Г.Д., Крылова Т.Л., Андреева О.В. Минералогия и условия формирования руд золотоносного W-Mo-порфирирового Бугдаинского месторождения (Восточное Забайкалье, Россия) // Геология рудных месторождений. 2011. Т. 53, № 2. С. 107–142.
6. Кузьмичев А.Б. Тектоническая история Тувино-Монгольского массива: раннебайкальский, позднебайкальский и раннекаледонский этапы. М.: Пробел-2000, 2004. 192 с.
7. Максимюк И.Е., Куликова И.М. Форма нахождения рения в молибдените из месторождений различных генетических типов // Записки Российского минералогического общества. 2013. Т. 142, № 2. С. 94–106.
8. Маракушев А.А. Положение платиновых металлов в системе экстремальных состояний химических элементов и формационные типы их месторождений // Платина России. Проблемы развития минерально-сырьевой базы платиновых металлов. М.: Геоинформмарк, 1994. С. 206–227.
9. Поселенов Т.В. Отчет о результатах поисковых и оценочных работ по рудной зоне «Ананинская» за 2004–2012 гг. с подсчетом запасов золота и серебра на 01.01.2013. Улан-Удэ, Иркутск, 2012.
10. Шведов Г.И. Барков А.Ю., Олешкевич О.И. Рудные минеральные ассоциации в ультрамафитах массива Огнит, Иркутская область, Восточный Саян // Вестник Воронежского государственного университета. 2016. № 1. С. 49–60.
11. Юшко С.А. Методы лабораторного исследования руд: Учеб. пособие для вузов. 5-е изд. М.: Недра, 1984. 389 с.

Статья поступила в редакцию 02.05.2023, одобрена после рецензирования 12.06.2023, принята к публикации 22.09.2023