

УДК 552.11: 552:551:550.42

НОВЫЕ ДАННЫЕ ПО ВЕЩЕСТВЕННОМУ СОСТАВУ РУД УЛЬМЕНСКОГО ЗОЛОТО-МЕДНО-СКАРНОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ГОРНЫЙ АЛТАЙ)

А.И. Гусев¹, Н.И. Гусев²¹Алтайский государственный гуманитарно-педагогический университет им. В.М. Шукина, Бийск²Всероссийский геологический институт им. А.П. Карпинского, Санкт-Петербург,
E-mail: anzerg@mail.ru, nikolay_gusev@vsegei.ru

Приведены данные о минеральном составе руд, термо-барометрических особенностях флюидных включений в ретроградных скарнах, пропилитах и березитах. Сопоставлены рудные стадии и ассоциирующие с ними интрузивные фазы рудогенерирующего магматизма. Рассмотрены магнезиальные и известковые скарны. Приведены температуры гомогенизации газовой-жидких включений и давления в растворах. Установлены различия в составе руд и сопутствующих рудных компонентов для разных участков Ульменского месторождения. На Центральном участке, где главную роль играют габбро и сиениты, руды сложены золотом и медью, а на Западном участке с габбро, пироксенитами и сиенитами к золоту и меди присоединены кобальт и никель. В рудах проявлены два типа тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ – М- и W-типы, указывающие на резко менявшиеся режимы и составы флюидов. Проанализированы особенности поведения изотопов серы в сульфидах и изотопов углерода и кислорода в карбонатах.

Ключевые слова: Горный Алтай, скарны, медь, золото, серебро, висмут, кобальт, никель, изотопы серы, углерода, кислорода.

DOI: 10.24411/2410-1192-2020-15703

Дата поступления 31.05.2020

Спецификой оруденения Горного Алтая является доминирование среди золотой и медной минерализации скарновых образований (Мурзинское, Атуринское, Баянихинское, Ульменское золото-медно-скарновые месторождения) [1]. Самое крупное среди них – Синюхинское золото-медно-скарновое месторождение – в настоящее время перешло в разряд крупных объектов с запасами золота более 100 т. Все указанные объекты сопровождаются россыпями золота.

Ульменское золото-скарновое месторождение изучалось в 1960-е гг. и относится к объектам недоизученным, поскольку штольня на Центральном участке пройдена на выклинках рудонесной зоны и, по сути, не выполнила своего предназначения. И не вызывает сомнения актуальность изучения этого месторождения, представляющего весьма перспективный объект, т.к. в последнее время рядом с Центральным участком обнаружено жильное золото-кварцевое оруденение, сопровождаю-

щееся россыпью (ручей Медвежонок). Цель исследования – изучить вещественный состав руд месторождения, т.к. он является часто указателем на перспективы подобных объектов. Изучение состава руд привязывалось к главным фазам внедрения рудогенерирующего интрузивного магматизма и акцентировалось на физико-химических и термо-барометрических особенностях рудного процесса.

Методы исследования

Силикатные анализы на главные компоненты, а также на сопутствующие элементы выполнены методом ICP-MS и ICP-AES в Лабораториях ВСЕГЕИ (Санкт-Петербург) и ИМГРЭ (Москва). Изотопный состав серы, кислорода и углерода определен на масс-спектрометре Finnigan MAT 253 в Институте геологии и минералогии СО РАН (Новосибирск). Водно-солевые растворы флюидных включений в минералах ретроградных скарнов и гидротермально-метасоматических образований Ульменского месторождения были исследованы методами крио-, термометрии (микротермокамера THMSG-600 фирмы «Linkam» с диапазоном измерений $-196...+600^{\circ}\text{C}$, ИГМ СО РАН). Изучение состава газовой фазы и определение отдельных твердых фаз включений проводилось методом КР-спектроскопии при помощи спектрометра JobinYvon Lab RAM HR800 (ИГМ СО РАН, Новосибирск). Соленость растворов во флюидных включениях оценена с использованием систем системы $\text{MgCl}_2\text{-NaCl-H}_2\text{O}$ [2], $\text{CaCl}_2\text{-NaCl-H}_2\text{O}$ [3], $\text{KCl-NaCl-H}_2\text{O}$ [4-5].

Вещественный состав руд месторождения

Ульменское месторождение располагается в северной части Горного Алтая и приурочено к полосе разломной тектоники и распространения габбро-сиенитовых образований среднекембрийского возраста по рекам Ушпа,

Ульмень и Сия, имеющим северо-восточную ориентировку. На контактах интрузивных тел с мраморами образовались скарны различного состава: по габбро и пироксенитам – гранатовые, пироксен-гранатовые, везувиановые, по сиенитам – гранат-плагиоклазовые, а по мраморам – пироксен-гранатовые и волластонитовые. Ульменское рудное поле локализует различные типы оруденения, однако, превалирует в нем золото-медно-скарновый. Различаются магнезиальные и известковые скарны. Первые встречены на Западном и Центральном участках рудного поля, которые имеют небольшие размеры от нескольких метров по мощности и до десятков метров по простиранию. Известковые скарны превалируют и имеют значительно большие параметры (от десятков метров – по мощности и до нескольких сотен метров – по простиранию). Они распространены на всех 9 участках рудного поля: Центральном, Восточном, Западном, Каменном, Южном, Северном, Берёзово-Макарьевском, Первом, Нижнем (рис. 1).

На Центральном участке магнезиальные проградирующие скарны образуют линзу в контакте габброидов и доломитов мощностью до 1,3 м и протяженностью до 12 м, вскрытые штольней, и сложенные форстеритом, магнетитом в ассоциации с людвигитом, серпентином, флогопитом, везувианом. Несколько меньшими параметрами характеризуются магнезиальные скарны на Западном участке (линза размером $0,5 \times 3,5$ м). По составу и температурам кристаллизации магнезиальные скарны относятся к форстерит-шпинелевой фации. В мезоабиссальной фации магнезиальные скарны образуются при давлениях 1-3 кбар и температурах $800-900^{\circ}\text{C}$ [6]. Форстерит отмечается в виде изометричных выделений размерами 0,5-1 мм тесно ассоциирует с магнетитом и шпинелью. Изредка форстерит замещается серпентином и магнезиальным хлоритом, близким по оптическим характеристикам к амезиту.

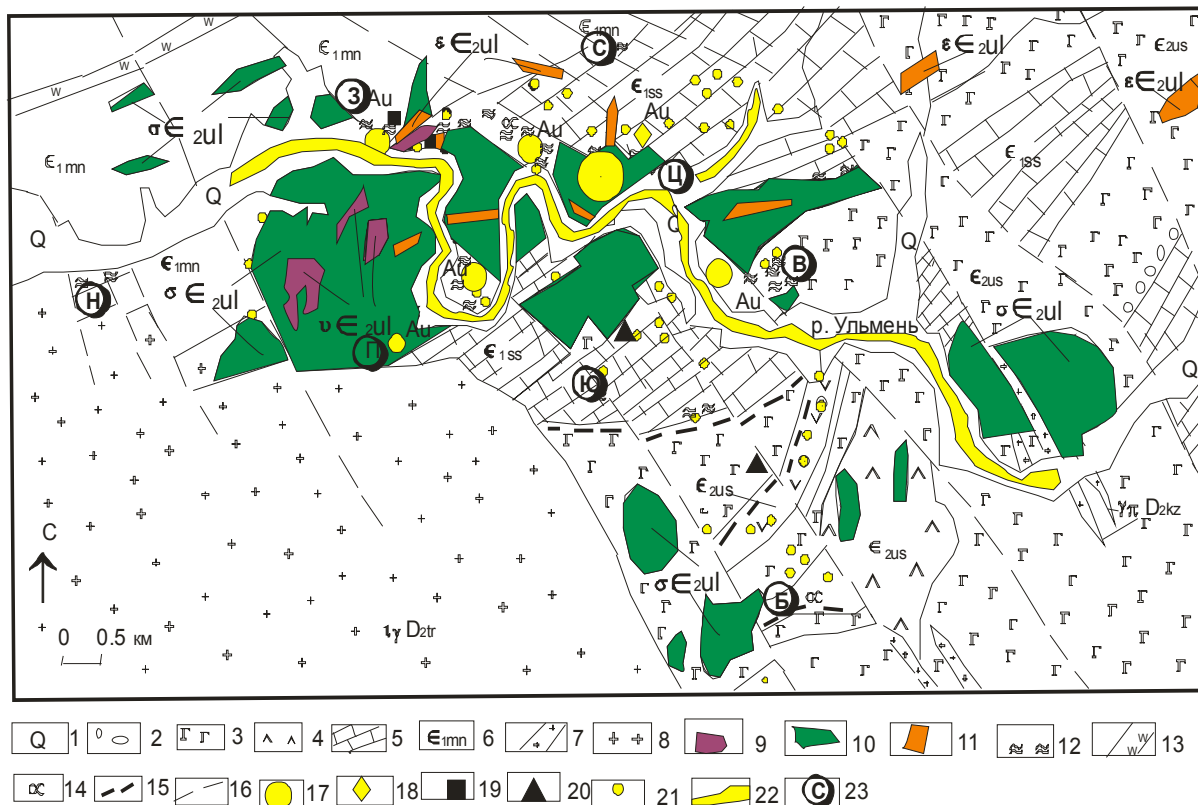


Рис. 1. Схематическая геологическая карта и золотоносность Ульменского рудного поля (составлена А.И. Гусевым с учетом материалов Ю. Тверитинова):

1 – современные аллювиальные образования. Усть-се́минская свита: 2 – конгломераты; 3 – лавы туфы базальтов и трахибазальтов; 4 – лавы и туфы андезитов, трахиандезитов; 5 – известняки и мраморы сиинской свиты; 6 – алевролиты, туфы, сланцы, базальты манжерокской свиты; 7 – гранит-порфиры кызыл-ташского комплекса; 8 – граниты, лейкограниты турочакского комплекса. Ульменский комплекс: 9 – пироксениты, габбро-пироксениты первой фазы; 10 – габбро второй фазы; 11 – монзониты, кварцевые щелочные сиениты и сиениты третьей фазы; 12 – скарны; 13 – кварциты; 14 – зоны лимонитизации; 15 – зоны рассланцевания; 16 – разломы; 17 – золото-медно-скарновые руды; 18 – золото-сульфидно-кварцевые проявления; 19 – «железные шляпы» и лимонитовые «сухари»; 20 – проявления магнетита; 21 – находки золота в шлихах; 22 – россыпи золота; 23 – золотоносные участки рудного поля (Ц – Центральный; В – Восточный; З – Западный; К – Каменный; Ю – Южный; С – Северный; П – Первый; Н – Нижний; Б – Берёзовско-Макарьевский).

Химический состав форстерита Центрального участка (мас.%): SiO_2 – 42,26, FeO^* – 4,68, MnO – 0,12, MgO – 52,35. Расплавные включения в форстерите содержат такие летучие, как хлор и углекислоту, при явном преобладании первого. По данным А.Ф. Коробейникова, минералы магнизиальных скарнов, в отличие от минералов известковых скарнов Алтае-Саянской складчатой области, несут повышенные содержания Mg и Cl в растворах включений с отношениями $\text{Na} : \text{K} = 1,2 : 1-2 : 1$, $\text{Cl} : \text{F} = 33 : 1-50 : 1$, $\text{Cl}^- : \text{HCO}_3^- : \text{SO}_4^{2-} = 1 : 1,4 : 0 - 7 : 10 : 1$ [7]. В катионной части резко преоблада-

ет магний над кальцием и калием. Кристаллизация форстерита при высоких температурах происходит только при очень малых активностях кальция, или при низком парциальном давлении углекислоты [8].

Судя по концентрациям анионов в составе газовой-жидких включений, давление углекислоты было высоким. Следовательно, кристаллизация форстерита определялась более высокой активностью магния, чем кальция в растворах. Гомогенизация газовой-жидких включений в форстерите Ульменского месторождения варьирует от 840 до 860°C.

По экспериментальным данным поле устойчивости форстерита в магнезиальных скарнах отвечает давлению не ниже 5 кбар. Из элементов-примесей в форстерите присутствуют: Cu – 0,05-0,1 %, Cr – 0,08-0,2 %, V – 0,07-0,35 %, Zn – 0,05-0,15 %, Co – 0,03-0,5 %, Ni – 0,06-0,15 %, B – 0,08-0,25 %.

Магнетит кристаллизовался позже форстерита в виде идиоморфных кристаллов размерами 0,3-0,8 мм, нередко имеющих зональное строение. В краевой зоне крупных кристаллов при больших увеличениях (300-500) наблюдаются структуры распада твердых растворов с ламеллями ильменита и шпинели. Температуры декрепитации магнетита без включений ильменита и шпинели составляют 825-840°C. Эти данные указывают на формирование магнетита ранней генерации в магматический этап кристаллизации. Химический состав магнетита 1-й генерации Центрального участка (мас.%): SiO₂ – 0,20, TiO₂ – 0,27, Al₂O₃ – 0,36, FeO* – 90,47, MnO – 0,65, MgO – 1,65, B₂O₃ – 0,35. Содержания элементов-примесей в магнетите составляют (г/т): Cu – 0,5-2,8, Zn – 3-10,5, Co – 2-5,9, Ni – 0,5-2,5, Pb – 0,8-5,7, Cr – 1,5-10, Mn – 55-115, V – 5-15.

Людвигит встречен в форстерит-магнетитовых скарнах в виде тонких прожилков мощностью 1-2 мм, а также в виде гнезд размером 0,5×0,8 см. Местами отмечается редкая тонкая вкрапленность людвигита в контакте доломитов и флогопит-магнетитовых скарнов, а также в самих доломитах. Таким образом, помимо магнетита в скарнах Ульмени присутствует и сопутствующее оруденение железо-магнезиальных боратов, целенаправленные поиски которых в рудном поле не проводились.

Флогопит наблюдается в виде гнезд и линзочек среди форстерита и магнетита. Иногда скопления флогопита достигают 5×7 см. Он образует идиоиморфные выделения и коррозионные границы с форстеритом. Вероятно, его образование связано с гистерогенным про-

цессом преобразования первичных магнетит-форстеритовых скарнов раннего этапа. Химический состав флогопита (мас.%): SiO₂ – 36,72, TiO₂ – 0,40, Al₂O₃ – 15,53, FeO* – 9,07, MgO – 24,10, K₂O – 9,14, H₂O – 3,98, F – 0,86, B₂O₃ – 0,54.

Везувиан отмечен в ассоциации с хлоритом. Он образует хорошо ограниченные пирамидальные кристаллы размером от 0,5 до 1,5 см на контакте флогопит-магнетитовых скарнов и доломитов. Химический состав везувиана (в мас.%): SiO₂ – 36,5, TiO₂ – 0,6, MnO – 0,34, CaO – 36,8, Al₂O₃ – 15,2, MgO – 2,7, FeO* – 2,6, Na₂O – 0,8, K₂O – 0,7, H₂O – 2,1, B₂O₃ – 0,9.

Людвигит встречен также в виде линзовидных обособлений размером от 0,2×0,8 до 0,5×1,2 см в обломке магнетитовой руды участка Западный потенциального Ульменского рудного поля. Следует отметить, что магнезиальные скарны Западного участка обнаруживают много сходных черт с таковыми Центрального участка Ульменского рудного поля.

Преобладают в рудном поле *известковые* скарны. На контактах интрузивных тел с известковистыми мраморами образовались проградирующие скарны различного состава. Эндоскарны: по габбро и пироксенитам – гранатовые, пироксен-гранатовые, везувиановые, по сиенитам – гранат-плаггиоклазовые, а по мраморам – экзоскарны пироксен-гранатовые и волластонитовые. Общая последовательность минералообразования для скарнов и гидротермальных стадий Центрального участка Ульменского месторождения показана на таблице 1.

На отдельных участках отмечается зональное строение скарнов относительно контакта габброидов: в эндоконтакте пироксеновые, представленные геденбергитом, далее следует пироксен-гранатовый скарн, гранатовый и в контакте с мраморами – волластонитовый. Зона геденбергитового скарна имеет ширину от 0,5 до 2,8 м. Геденбергит об-

разует анхимономинеральный агрегат и замещает темноцветные минералы габбро.

Зона пироксен-гранатового и гранатового скарнов образуется за счет андезитов усть-семиной свиты и относится к экзоскарновой ассоциации. Это сливные скарны, в которых гранат представлен зернами бурой окраски, иногда дающих правильные кристаллы размером до 1,5 см. Пироксен в этой зоне диагностируется диопсидом. Ширина зоны варьирует от 0,9 до 10 м. Волластонитовый скарн образует линзы

мощностью от 0,5 до 3,5 м. Местами волластонит ассоциирует с бустамитом и родонитом, которые корродируют метасиликат кальция. Эти взаимоотношения минералов указывают на кристаллизацию минералов в условиях повышенной кислотности среды минералообразования. Если волластонит кристаллизуется в более щелочных условиях, о чем свидетельствует потенциал ионизации его ($y=186,8$), то бустамит и родонит выделялись в обстановке, близкой к нейтральной ($y=192,6$ и $198,4$, соответственно) [9].

Таблица 1

Последовательность скарнообразования и гидротермальных процессов, ассоциирующих с интрузивными фазами ульменского комплекса

Минералы	Пироксиниты, габро	Кварцевые щелочные сиениты, сиениты			
	ПС	РС	I стадия	II стадия	III стадия
Геденбергит	■				
Плаггиоклаз	■		■		
Диопсид	■				
Гранат 1	■				
Спессартин	■				
Магнетит		■			
Датолит		■			
Данбургит		■			
Актинолит		■			
Доломит		■			
Волластонит		■			
Везувиан		■			
Кварц 1			■		
Хлорит			■		
Пирит			■	■	
Кальцит			■		■
Сидерит			■	■	
Кварц 2					
Гроссуляр				■	
Рутил				■	
Тремолит				■	
Анкерит				■	
Борнит				■	
Халькозин				■	
Халькопирит 1				■	
Халькопирит 2					■
Сфалерит				■	■
Кварц 3					■
Тетрадимит					■
Золото				■	■
Алтаит					■

Примечание: ПС – проградирующие скарны; РС – ретроградные скарны. Толщиной линий показана распространенность минералов.

Температуры гомогенизации волластонита оцениваются в интервале 220–240°C. Низкие значения температур явились, вероятно, решающим фактором, разделения кальция и марганца в гидротермальных растворах в процессе кристаллизации волластонита и бустамита. Это разделение, вероятно, обусловило несмесимость миналов волластонита и бустамита и более позднюю кристаллизацию последнего. По данным Б. Масона [10] на основе субсолидных взаимоотношений волластонита и бустамита, в оценке смесимости двух миналов большое значение имеет температура. Несмесимость обеспечивается при относительно низкой температуре, что имело место при формировании скарнов с волластонитом и бустамитом на Центральном участке.

По составу, температурам гомогенизации газовой-жидких включений в минералах скарновых парагенезисов известковые скарны Центрального участка относятся к волластонитовой и пироксен-гранатовой фациям, по В.А. Жарикову и др. [6].

Теоретические и экспериментальные данные показали, что образование магнезиальных и известковых скарнов зависит от активности Mg и Ca в магматических и постмагматических условиях: для первых активность оксида магния должна быть не менее $10^{-2,1}$ (и малой активности оксида кальция, $\lg a_{CaO}$ должна быть менее –6,0), тогда как для вторых известковые силикаты и алюмосиликаты возникают при активности оксида кальция $10^{-4,5}$ – $10^{-5,5}$. Образование магнезиальных и известковых скарнов осуществляется при различных градиентах активности магния и кальция между гранитоидами (эндо) и карбонатами (экзо): у первых градиент более значителен для оксида магния и менее для оксида кальция, а для известковых скарнов – наоборот [6].

На скарны наложена гидротермально-метасоматическая ассоциация (ретроградные скарны) актинолита, тремо-

лита, эпидота, альбита, магнетита 2-й генерации, кварца 1-й генерации. Эта ассоциация развита в виде пятен неправильной формы, линз размерами 0,5×3,5 м. и жилами мощностью 10–20 см, секущими скарновые минералы первого этапа. В других местах отмечена ассоциация датолита и аксинита в виде прожилков мощностью от 0,5 до 5 см. Редко аксинит-датолитовый агрегат образует жилы до 20 см мощностью. Данбурит кристаллизовался ранее датолита и наблюдается в виде включений в последнем. Нередко отмечаются коррозионные границы боросиликатных минералов, указывающие на позднюю кристаллизацию датолита. Магнетитовая и боросиликатная минерализация относятся к сопутствующему оруденению. Однако пространственно они разобщены. Если магнетитовое оруденение тяготеет к магнезиальным скарнам, то боросиликатное – к известковистым, удаленным от контакта на расстояние более 10 м, т.е. в дистальной фации. Физико-химические условия кристаллизации данбурита и датолита были различны. В шлифах отмечается близко одновременная кристаллизация позднего граната и данбурита, подтверждаемая взаимно коррозионными границами между ними. По данным В.А. Жарикова [9], боросиликаты приурочены к фации известковых скарнов пониженной кислотности с константой равновесия между сосуществующими клинопироксеном и гранатом $K_p^{Пп/Гр}$ меньше 1. При этом данбурит кристаллизуется в условиях большей кислотности ($K_p=0,18$ – $0,42$), чем датолит ($K_p=0,03$ – $0,15$). Этот вывод подтверждается также и значениями условного потенциала ионизации минералов (y датолита – $y=208,7$, y данбурита – $y=218,6$). Условия кристаллизации аксинита осуществлялись в обстановке, близкой к нейтральной ($y=201,3$) [9]. Замечено, что формирование ретроградных скарнов связано с воздействием сиенитов и кварцевых щелочных сиенитов.

Позднее происходило формирование агрегата кварца 2-й генерации в виде прожилков мощностью 0,5-5 см. Кварц в зальбандах часто ассоциирует с альбитом и хлоритом. В нем отмечается вкрапленность пирита и пирротина. Гомогенизация газовой-жидких включений в кварце 2-й генерации происходит в интервале 270-330°C. Во включениях преобладают CO₂, SO₂, H₂O, HF, HCl.

Облагораживающая нагрузка охватывает вкрапленность, гнезда, прожилки халькопирита, борнита, халькозина, пирита, пирротина, реже – арсенопирита, халькопирротина, сфалерита, галенита, висмутита, тетрадимита, мелонита, алтаита в ассоциации с кварцем 3-й генерации. Кварц присутствует в трех генерациях, поздняя из них наиболее продуктивна в отношении золота, которое образует пленочки, комковатые, губчатые, крючковатые формы, изредка правильные октаэдрические кристаллики. Размеры выделений свободного золота – от 0,2 до 5 мм. Пробность золота по трем пробам составляет 920, 970 и 988 ‰. Преобладают в золоте 1-й генерации следующие элементы-примеси: Cu, Ag, Te, Bi. В тонкодисперсной форме золота присутствует (в г/т): в халькозине (60-180), борните (20-60), халькопирите (4-6), пирите III (5,5), магнетите (1,3).

Золото-сульфидное оруденение относится к наложенной, или отстающей, минерализации. Скарновые минералы выступали в качестве благоприятной «литологической» среды для отложения рудной нагрузки.

Среди сульфидов преобладает халькопирит, встречающийся в двух генерациях. Ранняя ассоциирует с кварцем 2-й, анкеритом, борнитом, халькозином. Рентгеноструктурным анализом установлено, что медный колчедан этой генерации представлен смесью двух модификаций (тетрагональной – 80 %, и неупорядоченной кубической – 20 %). Халькопирит 2-й генерации ассоциирует с кварцем 3-й, кальцитом, мусковитом.

Он сложен полностью упорядоченной тетрагональной модификацией. Кварц 3-й генерации более мелкозернистый, чем ранние генерации. Имеет, преимущественно, нормальное угасание. В нем отмечается редкая вкрапленность халькопирита 2-й и сфалерита. В этой ассоциации отмечено золото 2-й генерации с более низкой пробностью (880-915 ‰). Преобладающие элементы – примеси в этой генерации золота: Te, Hg, V.

В халькопиритах разных генераций проведено сопоставление элементов-примесей. Халькопирит ранней генерации содержит более высокие концентрации цинка, кобальта, висмута, теллура и несколько повышенные концентрации золота. Халькопирит 2-й генерации имеет большие концентрации свинца, серебра, марганца, стронция, бора. Более высокие концентрации бора во 2-й генерации указывают на то, что флюиды завершающего этапа сульфидного и золотого отложения содержали в значительных количествах комплексы бора.

Характерно, что в местах проявления даек сиенитов заметно улучшается оруденение золота и меди. В таких участках содержание золота достигает 59,6 г/т, серебра – 103 г/т, меди – 10,4 %, висмута – 0,08 %. На участке Центральном выявлено 6 мелких рудных тел мощностью от 12 до 80 м и прослеженной глубиной до 40 м. Среднее содержание золота в рудных телах этого участка 6,6 г/т, серебра – 31 г/т, меди – 4,2 %, висмута – 0,018 %. Единичные определения изотопов серы сульфидов Центрального участка показывают незначительные отклонения от метеоритного стандарта в пользу более тяжелого изотопа. В пирите 1-й генерации δ^{34} (‰) составляет (+2,9) – (+3,1), в пирите II – (+2,7) – (+2,9), в пирите III – (+2,0) – (+2,1), в халькопирите I – (+3,1) – (+3,2), в халькопирите II – (+2,8) – (+3,0), борните – (+1,2) – (+1,8). Приведенные характеристики соотношений изотопов серы указывают на ее магма-

тический источник, характерный для не контаминированных мантийных магм.

Формирование продуктивных гидротермальных руд меди и золота сопровождалось пропилитовыми и филлитовыми метасоматическими процессами. При этом золото-медный парагенезис 2-й стадии минерализации тесно ассоциирует с пропилитами, а золото-теллуридная парагенетическая ассоциация 3-й стадии сопровождается березитами, содержащими кварц, пирит, серицит, редко каолинит.

Типизация флюидных включений в минералах гидротермальных ассоциаций

Восхождение магм из глубинных очагов к близповерхностным уровням,

флюиды которых насыщены различными летучими компонентами, имеет огромное фундаментальное значение для понимания рудообразования и генетических проблем связи магматизма и оруденения [11-14]. Изучению флюидных включений в рудных образованиях, наследующих флюидную матрицу рудогенерирующего магматита придается кардинальное значение для познания особенностей генезиса различных типов месторождений, в т.ч. и золоторудных [15]. Особенности состава и P-T параметров флюидных включений в метасоматических и гидротермальных образованиях рудных залежей Ульменского месторождения сведены в таблице 2.

Таблица 2

Типизация флюидных включений в минералах метасоматических и гидротермальных ассоциаций руд

Минералы	Размеры флюидных включений, $\mu\text{м}$	Состав флюидных включений	$T_{\text{п}}$	$T_{\text{к}}$	$T_{\text{г}}$	Оценка солености, вес. %	Оценка давления, bar и $T_{\text{гк}}$
<i>Ретроградные скарны</i>							
Гранат темно-коричневый	6-36	17-22 об. % газа; 3-7 твердой фазы ~23-42 об.%; галит	от – 37,1 до – 34,0	от – 22 до – 19,8	до жидкости: газ при 172-182	$\text{MgCl}_2 + \text{NaCl}$ 21-25 [2]	2,6±0,5 kbar [16-17] 225-235
<i>Пропилитовые метасоматиты (эпидот, кварц, амфибол, хлорит)</i>							
Эпидот	5-25	25-32 об. % газа; 0-5 твердой фазы; сульфиды	от – 54 до – 56,8	от – 14,6 до – 10,9	до жидкости: газ при 325-365	$\text{CaCl}_2 + \text{NaCl}$ от 17 до 21,7 [3, 18]	0,8-0,9 kbar [16-17] 50-8
<i>Березитовые метасоматиты (кварц, серицит)</i>							
Кварц из кварц-сульфидных прожилков	5-30	10-15 об. % газа; 3-й твердой фазы ~30-40 об. %	от – 56 до – 49	от – 23,8 до – 25,1	до жидкости: газ при 130-135; сильвин при 170-180; галит при 270-285	KCl 23, NaCl 19, CaCl_2 11 [4-5]	1,3±0,1 kbar [19] 145

Примечание: $T_{\text{п}}$ – эвтектическая температура, или первичная температура плавления, °C; $T_{\text{к}}$ – температура конечного плавления льда, °C; $T_{\text{г}}$ – температура гомогенизации газово-жидких флюидов, °C; $T_{\text{гк}}$ – коррекционная температура, °C.

Флюидные включения в темно-коричневом гранате ретроградных скарнов встречаются как индивидуальные обособления и групповые размерами 6-36 мкм. Они содержат небольшие газовые пузырьки 17-22 объемных % и 3-7 твердой фазы или примерно ~23-42 объемных %. Такие параметры флюидных включений указывают на концентрированные рассолы, достигавших предела насыщения. Поэтому в твердой фазе различимы мельчайшие кристаллики галита. При нагревании после замораживания флюидные включения показывают эвтектическую температуру плавления – 36°C, что указывает на присутствие доминирующих $MgCl_2$ и $NaCl$ в растворе [20] (рис. 2а).

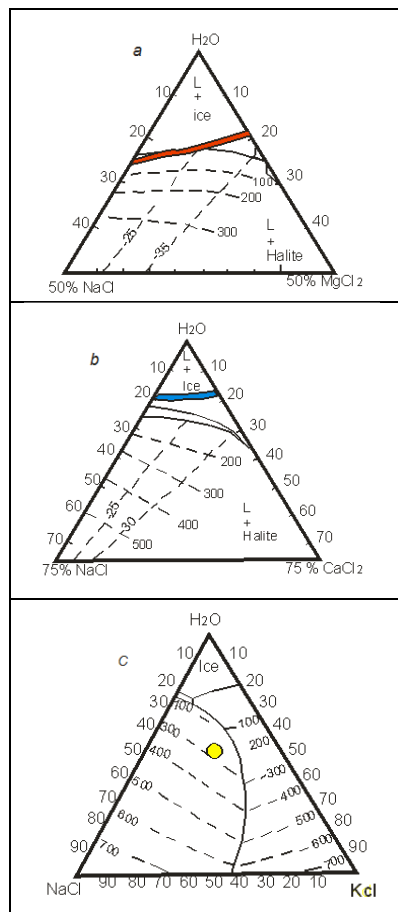


Рис. 2. Фазовые диаграммы флюидных включений минералов для ретроградных скарнов и метасоматитов Ульменского месторождения:

а – $NaCl-MgCl_2-H_2O$ [2]; б – $NaCl-CaCl_2-H_2O$ [3]; в – $KCl-NaCl-H_2O$ [4-5].

Теплота исчезновения газовых пузырьков составляет 172-182 °С. Коррекционная температура выше – 225-235 °С, что вызвано декрепитацией твердых включений включений при этой температуре. Давление оценено примерно 2,6 kbar.

В эпидоте пропилитовых метасоматитов наблюдается повышение температур гомогенизации до 325-365°C и снижении давления до 0,8-0,9 kbar. Температура эвтектического плавления после замораживания варьирует от –54 до –56, указывающая на доминантную роль $CaCl_2$ и $NaCl$ в растворах [20-21]. Повышение температуры гомогенизации флюидных включений по сравнению с таковой в ретроградных скарнах объясняется эффектом декрепитации твердых включений при температуре 525-540°C. Соленость растворов определена по системе $CaCl_2-NaCl-H_2O$ на основе температуры плавления льда, указывающая на соленость от 17 до 21,7 по [3] (рис. 2б). В твердой фазе включений отмечены сульфиды, среди которых уверенно диагностируется халькопирит. Это указывает на то, что основную полезную нагрузку в становлении руд несли гидротермы, сопровождавшиеся пропилитовыми метасоматитами, происхождение которых связывается напрямую с глубинным очагом, поставившим и сиениты и растворы, из которых кристаллизовались медные минералы и золото.

В кварце березитовых метасоматитов произошло снижение температур гомогенизации в широком диапазоне температур для разных минералов от 130 до 285°C и повышении давлений до 1,3 kbar (табл. 2). Флюидные включения в кварце из березитовых метасоматитов содержат мультитвердые кристаллические фазы сильвина и галита, а также анизотропные твердые фазы. Эвтектическая температура плавления после замораживания варьировала от –49 до –56, что указывает на присутствие $CaCl_2$ в растворах [20]. Повышение темпера-

туры вызвано проявлением декрепитации анизотропных фаз при температурах 420-435°C. Поскольку во флюидных включениях присутствуют силвин и галит, то оценка солености проведена с использованием системы KCl-NaCl-H₂O. Для указанных условий во флюидах кварца березитовых метасоматитов оценки концентраций составляют: KCl – 23 весовых %, NaCl – 19 весовых % (рис. 2с).

Геохимические особенности руд

Золото-медно-скарновые руды Центрального и Западного участков месторождения проанализированы на комплекс главных компонентов и элементов-примесей, результаты которых приведены в таблице 3.

Анализ данных таблицы 3 показывает, что состав руд Центрального и Западного участков различаются как по содержаниям рудообразующих оксидов, так главных рудных элементов. Руды Центрального участка в основном кремнисто-железо-кальциевые с медью, висмутом и золотом, а руды Западного участка – кремнисто-железистые с золотом, серебром, кобальтом, цинком, сурьмой, барием и никелем. Колебания содержания золота в рудах варьируют от 2,3 до 26, 8 г/т, а суммарных концентраций редкоземельных элементов – от 34,3 до 319,1 г/т. При этом отмечается более высокое содержание иттрия, гадолиния, иттербия в рудах Западного участка. Возможно, эти отличия в концентрациях основных рудных и сопутствующих элементов в рудах сравниваемых участков связаны с различиями магматических пород, слагающих их, и соответственно, глубинных магматических очагов, вырабатывавших флюиды, которые по-разному экстрагировали и переносили рудные компоненты. Если на Центральном участке скарны тесно ассоциируют с габбро и дайками сиенитов, то на Западном участке эта ассоциация охватывает габбро, дайки сиенитов и тела пироксенитов. Последние, види-

мо, особенно влияли на состав руд Западного участка, где в значительных количествах присутствуют кобальт и никель. Следует отметить, что отложение руд сопровождалось проявлением тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ как М-типа ($TE_{1,3}$ более 1,1), так и W-типа ($TE_{1,3}$ менее 0,9), что указывает на весьма сложные изменения флюидного режима при образовании руд. Косвенным подтверждением этого являются очень высокие нормированные отношения легких РЗЭ к тяжелым (отношения $(La/Yb)_N$ колеблются от 9,8 до 271,3), свидетельствующие о разной интенсивности фракционирования РЗЭ в гидротермальных растворах.

Изотопный состав серы, углерода и кислорода в минералах Ульменского месторождения

Наблюдается общая тенденция снижения температур кристаллизации минералов от ретроградных скарнов к пострудным прожилкам и параллельное уменьшение таких параметров, как соленость растворов, содержание тяжелого изотопа серы в сульфидах, а также изотопов кислорода и углерода, указывающих на переход от магматогенных значений серы, углерода и кислорода к смешанным ювенильно-вадозным (табл. 4, рис. 3).

Интерпретация результатов

Новые данные по вещественному составу руд Ульменского месторождения показывают, что изменение состава минеральных перагенезисов эволюционировало во времени со сменой прогрессирующих скарнов, связанных с ранними фазами внедрения габброидов и пироксенитов, ретроградными, обусловленными воздействием ранних сиенитов (кварцевых щелочных сиенитов). Наложенная продуктивная золото-медная минерализация, вероятно, связана с более поздними фазами сиенитов.

Таблица 3

Химический состав руд Ульменского месторождения (оксиды – %, элементы – в г/т)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SiO ₂	38,7	34,1	34,9	37	36,9	40,8	43,6	35,1	41,1	40,9
TiO ₂	0,013	0,014	0,014	0,084	0,084	0,012	<0,1	0,015	0,05	0,048
Al ₂ O ₃	1,37	3,54	2,97	8,49	8,17	2,04	1,41	3,1	8,2	8,09
Fe ₂ O ₃ t	24,2	31,4	31,9	13,2	13,3	16,1	18,9	31,5	30,2	30,5
MnO	0,29	0,3	0,3	0,54	0,54	0,3	0,24	0,34	0,77	0,75
MgO	0,81	1,64	1,36	3,41	3,21	6,43	4,18	1,32	2,6	2,5
CaO	32,4	28,5	28,9	33,5	33,7	29,3	24,7	29,3	2,8	1,11
Na ₂ O	0,26	0,35	0,37	0,22	0,19	0,19	0,33	0,32	0,6	0,59
K ₂ O	0,023	0,11	0,078	0,086	0,052	0,054	0,1	0,09	0,16	0,19
P ₂ O ₅	<0,5	0,13	0,093	<0,5	<0,5	0,53	0,73	0,11	0,22	0,25
V	<0,005	0,0051	0,0056	0,0068	0,0074	<0,005	0,0054	0,006	0,03	0,024
Li	1,58	1,97	1,85	2,7	2,69	4,93	10,7	1,9	4,2	4,3
Sc	0,24	0,59	0,57	3,1	3,03	0,49	0,6	0,6	2,0	1,6
Co	8,07	119	113	22,5	21,6	18	105	116	1854	1760
Ni	3,77	10,8	10,6	6,32	6,27	7,82	21	11,1	18,1	17
Cu	3640	53800	55000	5470	5350	11600	48300	54500	121500	120400
Zn	29,7	71,7	68	30,4	39,2	38	95,8	70	385	377
Ag	0,8	11,3	11,1	1,42	1,36	2,16	12,7	12,1	71,1	70,9
Au	2,3	26,8	31,6	12,7	13,1	2,8	25,9	18,3	14,6	4,2
Sb	0,37	0,37	0,31	0,61	0,58	0,55	1,42	0,4	12,9	13,2
Pb	2,85	13,5	13,8	24,2	23,8	4,67	66,1	14,5	13,2	12,5
Bi	5,06	109	109	26,5	26,8	20,7	70,5	112	1,2	0,83
Cr	11,5	23,1	28,9	6,83	6,37	8,75	12	27,9	14,8	15,8
Ga	20,7	8,34	7,9	12,5	12,4	9,19	4,43	8,0	4,4	4,35
Rb	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	2,2	3,1	4,14
Sr	27,8	15,3	15	84,3	85,4	98,9	66,9	17	54,8	52,7
Y	1,09	2,85	2,96	13,4	13,9	1,45	3,38	3,1	22,3	21,4
Zr	13,1	20	16,7	185	182	7,48	19,7	17,3	28,4	27,8
Nb	0,8	2,84	2,69	14,2	14,1	1,23	2,37	2,8	8,4	8,32
Mo	1,42	4,55	6,15	47,6	41,5	1,03	2,74	6,0	2,4	2,32
Sn	7,6	5,3	7,31	3,06	3,81	2,14	1,65	7,3	0,22	0,27
Cs	<0,1	<0,1	<0,1	0,12	<0,1	0,11	<0,1	0,1	0,4	0,32
Ba	<3	3,37	3,41	6	7,27	5,12	41,3	3,6	125	118
La	11,5	65,8	66,9	27,4	27,6	7,57	9,58	70,1	32,1	30,4
Ce	28,6	190	193	41,8	40,9	18,8	17,9	194	57,2	56,7
Pr	2,33	16,4	16,3	3,35	3,19	1,54	1,46	16,5	6,6	6,7
Nd	3,9	33,9	34	11,3	11,2	3,91	4,36	34,2	38,9	27,7
Sm	0,13	1,55	1,52	1,96	1,83	0,32	0,69	1,55	5,6	5,51
Eu	0,086	0,57	0,44	0,5	0,42	0,13	0,15	0,48	1,2	1,28
Gd	0,41	1,03	1,15	1,98	1,97	0,24	0,53	1,2	5,1	4,83
Tb	0,024	0,14	0,17	0,26	0,28	0,039	0,088	0,18	0,7	0,68
Dy	0,13	0,43	0,35	1,65	1,64	0,17	0,43	0,36	3,9	3,76
Ho	0,021	0,067	0,058	0,39	0,42	0,029	0,076	0,08	0,74	0,78
Er	0,039	0,2	0,17	1,15	1,25	0,069	0,19	0,18	2,1	1,99
Tm	0,0095	0,035	0,027	0,23	0,22	0,019	0,035	0,04	0,33	0,31
Yb	0,036	0,18	0,2	1,5	1,68	0,057	0,24	0,22	1,9	1,83
Lu	9,912	0,029	0,021	0,26	0,23	0,01	0,042	0,023	0,4	0,31
Hf	0,12	0,57	0,53	5,2	4,8	0,24	0,46	0,55	0,6	0,57
Ta	<0,1	<0,1	<0,1	0,58	0,55	<0,1	<0,1	0,1	0,2	<0,1
W	94	1,9	1,44	2,09	2,47	40	63	1,5	75,1	73,1
Th	1,28	15,3	15,9	14,1	13,1	3,46	1,2	16,2	1,7	1,64
U	24,6	57,7	60,8	9,16	8,83	16,5	20,4	55,8	19,3	20,2
ΣREE	48,32	313,18	317,3	107,1	106,7	34,35	39,15	319,1	156,8	164,2
Eu/Eu*	1,06	1,17	0,99	0,78	0,68	1,4	0,74	1,05	0,68	0,75
(La/Yb) _N	214,7	242,9	271,3	12,0	10,8	88,9	26,4	209,9	11,2	10,9
TE _{1,3}	1,2	0,86	0,85	0,88	0,87	1,23	1,08	1,28	0,85	0,92

Примечание: ΣREE – сумма редкоземельных элементов; N – элементы нормированы по [21]. Eu* = (Sm_N + Gd_N)/2. TE_{1,3} – тетрадный эффект фракционирования РЗЭ (среднее между первой и третьей тетрадами) по [22]. Золото-медно-скарновые руды Ульменского месторождения: 1-8 – Центрального участка, 9-10 – Западного участка.

Переломный ход событий от габброидов к сиенитам предполагает «катастрофический» этап в становлении глубинного очага, в его контрастном изменении и последующем генерировании продуктивных ассоциаций золота и меди. В сложных комплексных скарновых объектах такой ход изменения событий отмечался и для других подобных объектов [25-26].

Впервые для Ульменского месторождения установлено, что продуктивные парагенезисы на разных участках

месторождения имеют специфический набор сопутствующих металлов, определявшихся характером сочетания основных, ультраосновных и сиенитоидных дериватов глубинного очага. Западный участок месторождения, где проявлены пироксениты, к меди и золоту добавляются кобальт и никель, имеющие явно ультраосновную природу. На Центральном участке, где развиты габброиды и сиениты, в рудах присутствуют золото и медь, а отсутствуют кобальт и никель.

Таблица 4

Термобаро-геохимические и изотопные данные исследований минералов Ульменского месторождения

Минерал	n	T _{гом.} , °C	Соленость, масс. %-экв.	$\delta^{34}\text{S}, \text{‰}$	$\delta^{13}\text{C}, \text{‰}$	$\delta^{18}\text{O}, \text{‰}$
Везувиан из ретроградных скарнов	5	440-450	24-28	—	—	—
Кварц из прожилков с сульфидами	4	275-285	13,4-13,1	—	—	—
Пирит из скарнов	3	—	—	(-1,1) – (-1,7)	—	—
Пирит 1-й генерации из прожилков	3	—	—	(+2,9) – (+3,1)	—	—
Пирит 2-й генерации	3	—	—	(+2,7) – (+2,9)	—	—
Пирит 3-й генерации	2	—	—	(+2,0) – (+2,1)	—	—
Кальцит из кальцит-эпидот-везувиановых ретроградных скарнов	2	420-430	22-24	—	(-5,1) – (-5,4)	9,5-10,1
Кальцит из пострудных прожилков	2	165-170	4,1-5,0	—	(-1,2) – (-1,8)	19,0-20,1

Примечание: изотопный состав серы, кислорода и углерода определен на масс-спектрометре МИ 1201В в Институте геологии и минералогии СО РАН (Новосибирск).

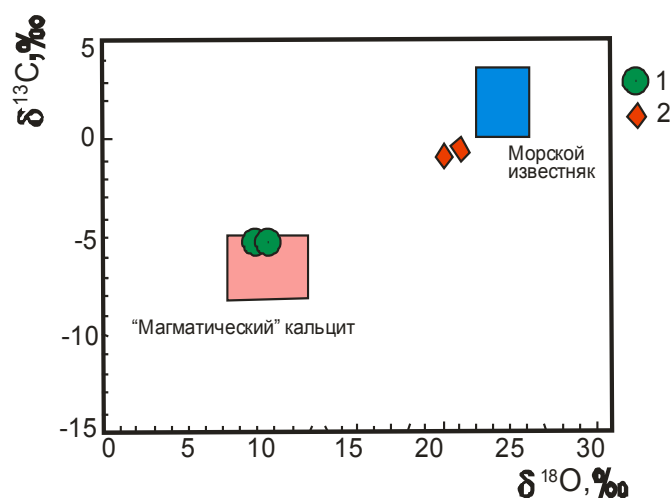


Рис. 3. Соотношение $\delta^{13}\text{C} - \delta^{18}\text{O}$ для карбонатов Ульменского месторождения
Цветные поля для «магматического» кальцита и морского известняка на диаграмме выделены по данным [23-24]: 1 – кальцит из кальцит-эпидот-везувиановых ретроградных скарнов; 2 – кальцит из пострудных прожилков.

Заключение

Детальное изучение вещественного состава руд Ульменского месторождения и соотнесение главных метасоматических и гидротермальных событий с фазами рудогенерирующего магматизма показало, что формирование каждой интрузивной инъекции сопровождалось образованием определенной стадии рудных залежей. Внедрению пироксенитов и габбро соответствует образованию ранних проградирующих магнезиальных и известковых скарнов, отличавшихся параметрами кислотности/основности среды кристаллизации. Ранним кварцевым щелочным сиенитам соответствуют ретроградные скарны, в которых появляются водо-содержащие минералы – эпидот, амфиболы. Чем сильнее проявлены ретроградные скарны, тем концентрированнее и масштабнее последующее наложенное оруденение меди и золота. Поздним березитам отвечают заключительные наиболее дифференцированные дайки сиенитов. От ретроградных скарнов к заключительным березитам происходит законо-

мерное изменение состава флюидных включений, температур гомогенизации газовой-жидких включений и давлений.

Состав руд на разных участках месторождения менялся в зависимости от набора ассоциирующих рудогенерирующих дериватов. С появлением ультраосновных пород (пироксенитов) происходит изменение состава руд: к золоту и меди присоединяются никель и кобальт (Западный участок). В рудах проявлены два типа тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ М- и W-тип, указывающие на значительную изменчивость параметров флюидного режима. Указанные закономерности изменения состава и термодинамических параметров рудообразования подтверждаются и изменениями изотопов серы в сульфидах, а также изотопов углерода и кислорода в карбонатах. Изотопы серы, углерода и кислорода в ранних парагенезисах указывают на магматогенный источник, а в поздних жильных образованиях происходило смешение ювенильной и вадозной составляющих.

Список литературы

1. Гусев А.И. Металлогения золота Горного Алтая и южной части Горной Шории. – Томск, Изд-во STT, 2003. – 308 с.
2. Dubois M., Marignac C. The H_2O - $NaCl$ - $MgCl_2$ ternary phase diagram with special application to fluid inclusion studies // *Econ. Geol.* – 1997. – V. 92. – P. 114-119.
3. Vanko D.A., Bodnar R.J., Sterner S.M. Synthetic fluid inclusion: VIII. Vapor saturated halite solubility in part of the system $NaCl$ - $CaCl_2$ - H_2O , with application to fluid inclusions from oceanic hydrothermal systems // *Geochim. Cosmochim. Acta* – 1988. – V. 52. – P. 2451-2456.
4. Roedder E. Fluid inclusions studies on the porphyry-type ore deposits at Bingham, Utah, Butte, Montana, and Climax, Colorado // *Econ. Geol.* – 1971. – V. 66. – P. 98-120.
5. Sterner S.M., Hall D.L., Bodnar R.J. Synthetic fluid inclusions - V. Solubility relations in the system $NaCl$ - KCl - H_2O under vapor-saturated conditions // *Geochim. Cosmochim. Acta*. – 1988. – V. 52. – P. 989-1005.
6. Жариков В.А., Аксюк А.М., Зарайский Г.П. Физико-химические условия скарнообразования // *Условия образования рудных месторождений: тр. VI симп. МАГРМ.* – Тбилиси, 1986. – Т. 2. – С. 560-568.
7. Коробейников А.Ф. Закономерности формирования месторождений золото-скарновой формации // *Скарны и руды.* – Новосибирск: Наука, 1983. – С. 50-55.
8. Жариков В.А., Русинов В.Л., Маракушев А.А. Метасоматизм и метасоматические породы. – М.: Научный Мир, 1998. – 492 с.

9. Жариков В.А. Кислотно-основные характеристики минералов // Геол. рудных месторождений. – 1967. – №5. – С. 75-89.
10. Mason B. Compositional Limits of Wollastonite and Bustamite // Amer. Mineral. – 1975. – V. 60. – № 3-4. – P. 158-170.
11. Candela P. A., Holland H. D. The partitioning of copper and molybdenum between silicate melts and aqueous fluids // Geochim. Cosmochim. Acta. – 1984. – V. 48. – P. 373-380.
12. Hedenquist J.W., Lowenstern J.B. The role of magmas in the formation of hydrothermal ore deposits // Nature. – 1994. – V. 370. – P. 519-527.
13. Williams-Jones A.E., Heinrich C.A. 100-th Anniversary Special Paper: Vapor transport of metals and the formation of magmatic-hydrothermal ore deposits // Econ. Geol. – 2005. – V. 100. – P. 1287-1312.
14. Feng C., Bi X. et al. Fluid inclusion, rare earth element geochemistry, and isotopic characteristics of the eastern ore zone of the Baiyangping polymetallic Ore district, northwestern Yunnan Province, China // J. of Asian Earth Sciences. – 2014. – V. 85. – P. 140-153.
15. Wen B.-J., Fan H.-R. et al. Fluid evolution and ore genesis of the giant Sanshandao gold deposit, Jiaodong gold province, China: Constrains from geology, fluid inclusions and H-O-S-He-Ar isotopic compositions // J. of Geochemical Exploration. – 2016. – V. 171. – P. 96-112.
16. Roedder E. Fluid inclusions in minerals // Rev. Mineral. – 1984. – V. 12. – P. 644.
17. Bodnar R.J., Vityk M.O. Interpretation of microthermometric data for H₂O-NaCl fluid inclusions // De Vivo, B., Frezzotti, M.L. (Eds.), Fluid Inclusions in Minerals, Methods and Applications. – Virginia Tech, Blacksburg, 1994. – P. 117-130.
18. Oakes C.S., Bodnar R.J., Simonson J.M., 1990. The system NaCl-CaCl₂-H₂O: 1. The ice liquidus at 1 atm total pressure // Geochim. Cosmochim. Acta. – 1990. – V. 54. – P. 603-610.
19. Becker S.P., Fall A., Bodnar R.J. Synthetic fluid inclusions. XVII. PVTX properties of high-salinity H₂O-NaCl solutions (> 30 wt.% NaCl): applications to fluid inclusions that homogenize by halite disappearance from porphyry copper and other hydrothermal ore deposits // Econ. Geol. – 2008. – V. 103. – P. 539-544.
20. Crawford M.L. Phase equilibria in aqueous fluid inclusions // Fluid Inclusions: Application to Petrology. Min. Assoc. – Canada Short Course Handbook, Calgary, 1981. – P. 75-100.
21. Anders E., Greevesse N. Abundances of the elements: meteoric // Geochim. Cosmochim. Acta. – 1989. – V. 53. – P. 197-214.
22. Irber W. The lanthanide tetrad effect and its correlation with K/Rb, Eu/Eu*, Sr/Eu, Y/Ho, and Zr/Hf of evolving peraluminous granite suites // Geochim Cosmochim Acta. – 1999. – Vol.63. – № 3-4. – P. 489-508.
23. Ohmoto H., Rye R.O. Isotopes of sulfur and carbon // Geochemistry of hydrothermal ore deposits. – N.Y.: Wiley Interscience, 1979. – P. 509-567.
24. Porter T.M. Hydrothermal Iron Oxide Copper Gold and Related Deposits: A Global Perspective. – PGC Publishing Adelaide, 2000. – 350 p.
25. Meinert L.D. Igneous petrogenesis and skarn deposits // Mineral Deposit Modeling. – Canada: Ontario, 1995. – P. 569-584.
26. Коробейников А.Ф., Зотов И.А. Закономерности формирования месторождений золото-скарновой формации. – Томск: Изд-во ТПУ, 2006. – 235 с.

References

1. Gusev A.I. Metallogeniya zolota Gornogo Altaya i yuzhnoy chasti Gornoy Shorii. – Tomsk, Izd-vo STT, 2003. – 308 s.
2. Dubois M., Marignac C. The H₂O-NaCl-MgCl₂ ternary phase diagram with special application to fluid inclusion studies // Econ. Geol. – 1997. – V. 92. – P 114-119.

3. Vanko D.A., Bodnar R.J., Sterner S.M. Synthetic fluid inclusion: VIII. Vapor saturated halite solubility in part of the system $\text{NaCl-CaCl}_2\text{-H}_2\text{O}$, with application to fluid inclusions from oceanic hydrothermal systems // *Geochim. Cosmochim. Acta* – 1988. – V. 52. – P. 2451-2456.
4. Roedder E. Fluid inclusions studies on the porphyry-type ore deposits at Bingham, Utah, Butte, Montana, and Climax, Colorado // *Econ. Geol.* – 1971. – V. 66. – P. 98-120.
5. Sterner S.M., Hall D.L., Bodnar R.J. Synthetic fluid inclusions - V. Solubility relations in the system $\text{NaCl-KCl-H}_2\text{O}$ under vapor-saturated conditions // *Geochim. Cosmochim. Acta*. – 1988. – V. 52. – P. 989-1005.
6. Zharikov V.A., Aksyuk A.M., Zaraysky G.P. Fiziko-khimicheskiye usloviya skarnoobrazovaniya // *Usloviya obrazovaniya rudnykh mestorozhdeniy: tr. VI simp. MAGRM.* – Tbilisi, 1986. – T. 2. – S. 560-568.
7. Korobeynikov A.F. Zakonomernosti formirovaniya mestorozhdeniy zoloto-skarnovoy formatsii // *Skarny i rudy.* – Novosibirsk: Nauka, 1983. – S. 50-55.
8. Zharikov V.A., Rusinov V.L., Marakushev A.A. Metasomatizm i metasomaticheskiye porody. – M.: Nauchny Mir, 1998. – 492 s.
9. Zharikov V.A. Kislotno-osnovnyye kharakteristiki mineralov // *Geol. rudnykh mestorozhdeniy.* – 1967. – №5. – S. 75-89.
10. Mason B. Compositional Limits of Wollastonite and Bustamite // *Amer. Mineral.* – 1975. – V. 60. – № 3-4. – P. 158-170.
11. Candela P. A., Holland H. D. The partitioning of copper and molybdenum between silicate melts and aqueous fluids // *Geochim. Cosmochim. Acta.* – 1984. – V. 48. – P. 373-380.
12. Hedenquist J.W., Lowenstern J.B. The role of magmas in the formation of hydrothermal ore deposits // *Nature.* – 1994. – V. 370. – P. 519-527.
13. Williams-Jones A.E., Heinrich C.A. 100-th Anniversary Special Paper: Vapor transport of metals and the formation of magmatic-hydrothermal ore deposits // *Econ. Geol.* – 2005. – V. 100. – P. 1287-1312.
14. Feng C., Bi X. et al. Fluid inclusion, rare earth element geochemistry, and isotopic characteristics of the eastern ore zone of the Baiyangping polymetallic Ore district, northwestern Yunnan Province, China // *J. of Asian Earth Sciences.* – 2014. – V. 85. – P. 140-153.
15. Wen B.-J., Fan H.-R. et al. Fluid evolution and ore genesis of the giant Sanshandao gold deposit, Jiaodong gold province, China: Constrains from geology, fluid inclusions and H-O-S-He-Ar isotopic compositions // *J. of Geochemical Exploration.* – 2016. – V. 171. – P. 96-112.
16. Roedder E. Fluid inclusions in minerals // *Rev. Mineral.* – 1984. – V. 12. – P. 644.
17. Bodnar R.J., Vityk M.O. Interpretation of microthermometric data for $\text{H}_2\text{O-NaCl}$ fluid inclusions // De Vivo, B., Frezzotti, M.L. (Eds.), *Fluid Inclusions in Minerals, Methods and Applications.* – Virginia Tech, Blacksburg, 1994. – P. 117-130.
18. Oakes C.S., Bodnar R.J., Simonson J.M., 1990. The system $\text{NaCl-CaCl}_2\text{-H}_2\text{O}$: 1. The ice liquidus at 1 atm total pressure // *Geochim. Cosmochim. Acta.* – 1990. – V. 54. – P. 603-610.
19. Becker S.P., Fall A., Bodnar R.J. Synthetic fluid inclusions. XVII. PVTX properties of high-salinity $\text{H}_2\text{O-NaCl}$ solutions (> 30 wt.% NaCl): applications to fluid inclusions that homogenize by halite disappearance from porphyry copper and other hydrothermal ore deposits // *Econ. Geol.* – 2008. – V. 103. – P. 539-544.
20. Crawford M.L. Phase equilibria in aqueous fluid inclusions // *Fluid Inclusions: Application to Petrology.* Min. Assoc. – Canada Short Course Handbook, Calgary, 1981. – P. 75-100.
21. Anders E., Greevesse N. Abundences of the elements: meteoric // *Geochim. Cosmochim. Acta.* – 1989. – V. 53. – P. 197-214.

22. Irber W. The lanthanide tetrad effect and its correlation with K/Rb, Eu/Eu*, Sr/Eu, Y/Ho, and Zr/Hf of evolving peraluminous granite suites // *Geochim Comochim Acta.* – 1999. – Vol.63. – № 3-4. – P. 489-508.
23. Ohmoto H., Rye R.O. Isotopes of sulfur and carbon // *Geochemistry of hydrothermal ore deposits.* – N.Y.: Wiley Interscience, 1979. – P. 509-567.
24. Porter T.M. Hydrothermal Iron Oxide Copper Gold and Related Deposits: A Global Perspective. – PGC Publishing Adelaide, 2000. – 350 p.
25. Meinert L.D. Igneous petrogenesis and skarn deposits // *Mineral Deposit Modeling.* – Canada: Ontario, 1995. – P. 569-584.
26. Korobeynikov A.F., Zotov I.A. Zakonomernosti formirovaniya mestorozhdeny zoloto-skarnovoy formatsii. – Tomsk: Izd-vo TPU, 2006. – 235 s.

NEW DATA ON MATERIAL COMPOSITION OF ORES ULMENSKOE GOLD-COPPER-SKARN DEPOSIT (GORNYI ALTAY)

A.I. Gusev¹, N.I. Gusev²

¹Shukshin Altai State University for Humanities & Pedagogy, Biysk, E-mail: anzerg@mail.ru

²A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute, St Petersburg, E-mail: nikolay_gusev@vsegei.ru

Data about mineral composition of ores, thermobarometers peculiarities of fluid inclusions in retrograde skarns, propylites, breccias lead. Ore stages and associated with its intrusive phases of ore generating magmatism compared. Magnesian and calcareous skarns discerned. The temperatures of homogenization of gas-liquid inclusions and pressures in solutions resulted. Distinctions in composition ores and accompany ore components for different sections Ulmen deposit arrange. The basic role for Central section of deposit play gabbro and syenites ores composed by gold and copper for of Western section with gabbro, pyroxenites and syenites to and copper connected cobalt and nickel. Two types of tetradic effect fractionation of REE M- and W-types display in ores that it indicate on the sharp changing regime and compositions of fluid. Peculiarities of conduct of isotopes sulfur in sulfides and isotopes of carbon and oxygen analyzed in carbonite minerals.

Key words: Gornyy Altay, skarns, copper, gold, silver, bismuth, cobalt, nickel, isotopes sulfur, carbon, oxygen.

Received May 31, 2020