

УДК 553.242.4:553.444

ОКОЛОРУДНЫЕ МЕТАСОМАТИТЫ БАРИТ-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗМЕИНОГОРСКОГО РУДНОГО РАЙОНА (РУДНЫЙ АЛТАЙ)

Бестемьянова Ксения Викторовна¹,
KsenijaVT@mail.ru

Гринев Олег Михайлович¹,
tomskgrom@yandex.ru

¹ Национальный исследовательский Томский государственный университет,
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36.

Актуальность работы обусловлена необходимостью поиска новых скрытых объектов барит-полиметаллических руд в северо-западной части Рудноалтайского региона в связи с истощением минеральных ресурсов района. Околорудноизмененные породы неотъемлемо сопровождают оруденение, в связи с этим их выявление и детальное изучение позволит в определенной степени прогнозировать наличие скрытого полиметаллического оруденения в пределах Змеиногорского рудного района.

Цель работы: выявление петрографических, минералогических и некоторых генетических характеристик околорудноизмененных пород Зареченского и Стрижковского барит-полиметаллических месторождений северо-западной части Змеиногорского рудного района (Рудный Алтай).

Методы исследования. Проведено комплексное исследование околорудноизмененных пород, включающее характеристику нерудной и рудной минерализации в поляризационном микроскопе, а также исследование пород и минералов рентгеновским энерго-дисперсионным микроанализом, рентгенолюминесцентным, рентгенофлуоресцентным (РФА), атомно-абсорбционным анализами.

Результаты. Изученные околорудноизмененные породы Зареченского и Стрижковского барит-полиметаллических месторождений имеют схожий минеральный состав и относятся к бескарбонатной фации березитов. Главными породообразующими минералами изученных пород являются кварц, хлорит, серицит; второстепенными – пирит, а также в малом количестве, преимущественно в виде прожилков, присутствуют сульфиды непосредственно рудного этапа (сфалерит, галенит, халькопирит); редкими минералами околорудных пород являются апатит, циркон, рутил, также установлено наличие редкоземельной минерализации.

Выявлены некоторые типоморфные особенности основных, второстепенных и редких минералов. Установлено наличие трех генераций кварца в исследуемых породах, выявлены центры свечения для кварца I в диапазоне 320...340 нм, 600...620 нм, для кварца II – 280...300 нм. Хлорит изученных пород, относящийся к ряду клинохлор – пеннин, был использован в качестве природного геотермометра для определения примерного температурного интервала формирования изучаемых околорудных пород, расчетная температура образования которого составила для Зареченского месторождения – 210...240 °С, для Стрижковского месторождения – 220...230 °С. Промышленных содержаний золота и серебра в изученных породах не выявлено.

Ключевые слова:

Околорудноизмененные породы, метасоматиты, минеральный парагенезис, барит-полиметаллическое оруденение, Рудный Алтай.

Введение

Для изучения петрографических и минералогических характеристик околорудноизмененных пород были отобраны штучные образцы двух барит-полиметаллических месторождений – Зареченского и Стрижковского, находящихся в северо-западной части Змеиногорского рудного района. Змеиногорский рудный район входит в состав северо-западной российской части Рудного Алтая и является старейшим горнорудным районом России, имеющим почти трехсотлетнюю историю исследования и освоения. Район крайне богат минеральными ресурсами, большая часть которых приходится на полиметаллические руды, преимущественно Cu, Pb, Zn, соотношение которых определяется как 1:4:7 [1].

В Змеиногорском рудном районе находятся месторождения сразу двух субформаций – колчеданно-полиметаллической и барит-полиметаллической. Месторождения данных субформаций залегают в нескольких различных геологических условиях (даже в пределах одной субформации) и име-

ют определенные отличия в минеральном составе. По запасам основных компонентов (Cu, Pb, Zn) преобладает колчеданно-полиметаллическая субформация, а по минеральному разнообразию и по содержанию благородных металлов (золота и серебра) – барит-полиметаллическая [2].

С 2011 г. в Змеиногорском рудном районе началась активная разработка одного из крупнейших месторождений Рудного Алтая – Корбалихинского колчеданно-полиметаллического месторождения, в связи с чем к данному объекту было приковано внимание многих российских исследователей. В настоящее время месторождение довольно детально исследовано, в том числе изучены его околорудноизмененные породы, которые имеют разнообразный минеральный состав и невыдержанное распространение в пространстве. Их ассоциативный ряд и распределение по разрезу рассмотрены в работе [3].

Околорудноизмененные породы барит-полиметаллических месторождений, напротив, оставались до недавнего времени слабо изученными, хо-

тя играют немаловажную генетическую роль в рудном процессе, а также являются одним из поисковых признаков, указывающих на наличие скрытого оруденения.

Геологическая характеристика исследуемых объектов

Змеиногорский рудный район (рис. 1) располагается в северо-западной части Рудноалтайского мегапрогиба, который в ряде работ рассматривается в ранге структурно-фациальной зоны (СФЗ) и характеризуется длительной историей развития и сложным геологическим строением. В региональном плане Рудноалтайский мегапрогиб граничит на юго-западе с Иртышской зоной смятия, отделяясь от нее Иртышско-Маркакольским глубинным разломом, а на северо-востоке – с Северо-Восточной зоной смятия, отделяясь от нее Локтевско-Маркакольским глубинным разломом. В свою очередь Иртышская зона смятия с запада обрамляется Калба-Нарымской СФЗ карбоновых черных сланцев, принадлежавших герцинской Обь-Зайсанской складчатой области и прорванных средне-, верхнепалеозойскими гранитоидами Калбинского батолитового пояса.

Северо-Восточная зона смятия с востока обрамляется СФЗ поздних каледонид Горного Алтая, представленных горноалтайской зеленосланцевой серией, а также динамометаморфитами байкалид Теректинского горста.

Структурный план Рудноалтайского мегапрогиба определяется обрамляющими его наиболее древними северо-западными разломными зонами линейного типа, к которым приурочены прибортовые девонские прогибы, ограничивающие мегапрогиб и зоны смятия. Внутренняя структура мегапрогиба предопределена совокупностью северо-западных линейных элементов и сопряженными с ними субмеридиональными нарушениями, расположенными примерно на равных расстояниях друг от друга. К последним разломам приурочены длинные структурные оси основных антиклинориев и синклинориев мегапрогиба (Алейского, Синушкинского, Быструшинского, Белоубинского). Субмеридиональные разломы имеют S-образные очертания и по совокупности данных имеют каледонский возраст заложения, отвечающий этапу формирования догерцинского позднекаледонского зеленосланцевого основания мегапрогиба. В совокупности обрамляющие северо-западные и внутренние субмеридиональные разломы определяют левосдвиговое дуплексное строение не только додевонского цоколя, но и основных герцинских морфоструктур мегапрогиба (антиклинориев и синклинориев), что подтверждается их сопряженным характером, приуроченностью к ним основных зон динамометаморфизма и S-образной геометрией субмеридиональных зон [4].

Прибортовые девонские вулканогенно-терригенные депрессионные зоны мегапрогиба разделе-

ны субмеридиональными разломами на ряд сегментов, соответствующих частным прогибам депрессионных зон – Змеиногорско-Быструшинскому, Золотушинскому и другим. На эти структуры наложены прямолинейные субширотные и северо-восточные разломы, развитые по типу регматической сети. Они заложены на герцинском этапе формирования мегапрогиба и получили подновление в неотектонический этап. Развитие этих прямолинейных разломов, по мнению Ю.А. Туркина [5], определяет правосдвиговое дуплексное строение ряда морфоструктур мегапрогиба, формировавшихся в позднем девоне – карбоне.

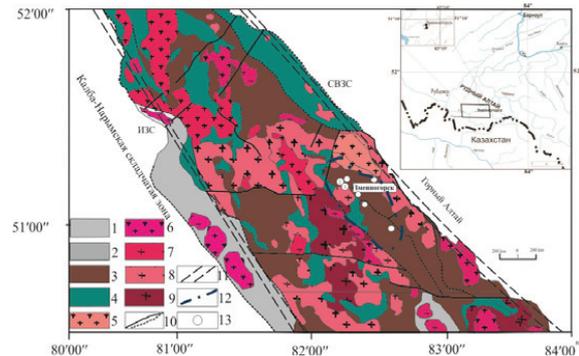


Рис. 1. Схематическая геологическая карта Рудноалтайского мегапрогиба: 1 – осадочные отложения бухтарминской свиты (C_1); 2 – метаморфические комплексы Иртышской складчатой зоны; 3 – вулканогенно-осадочные отложения девона (мельничная, сосновская, заводская, каменевская свиты) D_1 – D_{2-3} ; 4 – метаморфизованные отложения Корбалихинской толщи (Pz_1); 5 – Синушкинский гранодиорит-гранит-лейкогранитовый комплекс (P_1 – T_2); 6 – синклинативные плагиограниты Иртышской складчатой зоны (C_3 – P_1); 7 – Гилевский, Волчихинский габбро-тоналит-гранитовый комплексы (C_{2-3}); 8 – Змеиногорский габбро-плагиогранит-лейкогранитовый комплекс (D_3); 9 – Алейский габбро-плагиогранитовый комплекс (D_1); 10 – разрывные нарушения; 11 – зоны смятия: СВЗС (Северо-восточная) и ИЗС (Иртышская); 12 – границы Змеиногорского рудного района; 13 – месторождения колчеданно-полиметаллической и барит-полиметаллической субформаций, располагающиеся в Змеиногорском рудном районе; непосредственно объекты изучения 1 – Зареченское месторождения, 2 – Стрижковское месторождение

Fig. 1. Schematic geological map of the Rudnoaltaiskii megatrough: 1 – sediments of bukhtarminskaya suite (C_1); 2 – metamorphic complexes of the Irtysh folded area; 3 – Devonian volcanic-sedimentary rocks (melnichnaya, sovnovskaya, zavodskaya, kamenevskaya suits) D_1 – D_{2-3} ; 4 – metamorphosed rocks of Korbalikhinskaya series (Pz_1); 5 – Sinukhinski granodiorite-granite-leucogranite complex (P_1 – T_2); 6 – syntectonic plagiogranites of Irtysh folded area (C_3 – P_1); 7 – Gilevsk, Volchikhensk gabbro-tonalite-granite complexes (C_{2-3}); 8 – Zmeinogorsk gabbro-plagiogranite-leucogranites complex (D_3); 9 – Aleyski gabbro-plagiogranites complex (D_1); 10 – faults; 11 – folded areas: СВЗС (North-east), ИЗС (Irtysh); 12 – boundaries of Zmeinogorsk ore district; 13 – deposits of pyritic-polymetallic and barite-polymetallic subformation, located at Zmeinogorsk ore district; objects of the study 1 – Zarechensk deposit; 2 – Strizhkovsk deposit

Змеиногорский рудный район располагается в северо-западной части Змеиногорско-Быструшинского прибортового прогиба. В геологическом строении прогиба, как и в геологическом строении рудных полей изученных месторождений, принимают участие отложения двух структурных этажей – позднекаледонского и герцинского. При этом позднекаледонский структурный этаж представлен метаморфитами корбалихинской свиты, имеющей по разным оценкам возраст либо нижнепалеозойский (O–S) [6], либо среднепалеозойский S_2 – D_1 [7]. Герцинский структурный этаж, в пределах Змеиногорско-Быструшинского прогиба, представлен вулканогенно-терригенными нижне-, среднедевонскими отложениями мельничной ($D_{1-2}mn$) и сосновской (D_{2ss}) свит.

Стратифицированные стратоны рудных полей изученных месторождений кратко характеризуются следующим образом.

Корбалихинская свита (Pz_1) представлена ассоциацией неравномерно метаморфизованных осадочных образований зеленосланцевой фации, представленных кварц-серицит-хлоритовыми, кварц-хлоритовыми, кварц-эпидот-хлоритовыми, кварц-карбонатными, глинисто-хлоритовыми сланцами, метапесчаниками. Данные породы интенсивно дислоцированы и смяты в напряженные разномасштабные складки и пронизаны сетью маломощных кварцевых жил и прожилков, пересекающихся в пространстве по типу альпийских жил.

Девонская система, нижний–средний отделы, эмский–живетский ярусы.

Мельничная свита ($D_{1-2} ml$). Свита сложена серыми, зелено-серыми, реже красноцветными полимиктовыми и известковистыми алевролитами, глинистыми сланцами, разнозернистыми песчаниками, реже кремнистыми алевролитами, отдельными линзовидными горизонтами органогенных, органогенно-обломочных и глинистых известняков. Относительно широко развиты вулканические породы, представленные преимущественно вулканокластическими и вулканосадочными отложениями, реже наблюдаются лавовые образования кислого, среднего и основного состава. Свита трансгрессивно с угловым несогласием и базальными конгломератами в основании залегает на породах корбалихинской толщи и несогласно перекрывается кислыми вулканитами сосновской свиты.

Сосновская свита (D_{2ss}) представлена зеленовато- и буровато-серыми лавами, лавобрекчиями, игнимбритами, туфами, тефроидами риолитов, риодацитов, редко базальтов и андезибазальтов, линзами и прослоями алевролитов, известковистых и кремнистых аргиллитов, туфопесчаников, песчаников.

В пределах рудных полей месторождений руды имеют два типа рудных тел: секущие вмещающие толщи, а также штокверки и субпластовые залежи. Рудовмещающей толщей, как для Зареченского, так и для Стрижковского месторождений, является мельничная свита, главным образом

ее нижняя подсвита, где в основном прожилковое и вкрапленное оруденение приурочено к нижнему туфовому горизонту, а массивные и сплошные руды – к верхнему туфовому горизонту, либо к терригенно – карбонатной пачке. В верхнемельничной подсвите объем оруденения существенно уменьшается и встречается в основном в ее нижней части. Незначительный объем оруденения (преимущественно вкрапленная медная руда) встречается и в нижнепалеозойской толще [8]. Рудные тела месторождений сопровождаются околорудноизмененными породами, принимающими непосредственное участие в структурах рудных полей рассматриваемых месторождений.

Методы исследования

Характеристика нерудной и рудной минерализации в прозрачных шлифах и аншлифах в околорудноизмененных породах проводилась на поляризационном микроскопе Leica DM 2500P (К.В. Бестемьянова).

Анализ вещественного состава рудных и нерудных минералов, а также качественные изображения характера взаимоотношения минеральных ассоциаций и минеральных индивидов в режиме обратно рассеянных электронов (режим BSE) проводился методом рентгеноспектрального микроанализа на электронном сканирующем микроскопе Tescan Vega II LMU, оборудованном энергодисперсионным спектрометром (с детектором Si (Li) Standart) INCA Energy 350 (аналитик К.В. Бестемьянова). Для этого из отобранных образцов околорудноизмененных пород были изготовлены плоскопараллельные аншлифы толщиной 3...4 мм. Перед проведением аналитических работ на поверхность изучаемых образцов предварительно напылялся слой углерода толщиной 25...30 нм, по рекомендуемым методикам [9, 10].

Рентгенолюминесценция кварца изученных пород проводилась с помощью установки, собранной на базе монохроматора МДР-12 с компьютерным управлением. Источником возбуждения служила рентгеновская трубка БСВ-2 от аппарата УРС-55 с Мо-антикатодом. Спектральная область от 200 до 900 нм охватывалась благодаря использованию ФЭУ-100 и сменных дифракционных решеток с рабочими областями в диапазонах 200...500 и 350...1000 нм [11] (аналитики Н.Н. Борозновская, А.П. Корнева). Изучение минералов на растровом электронном микроскопе, а также рентгенолюминесценция образцов кварца выполнены в аналитическом центре коллективного пользования «Геохимия природных систем» НИ ТГУ (ЦКП «АЦГПС»), г. Томск.

Химический состав пород (оксидная форма компонентов) определялся рентгенофлуоресцентным методом на рентгенофлуоресцентном спектрометре ARL-9900 XL (аналитик Н.Г. Карманова).

Содержания золота и серебра в околорудноизмененных породах определялись атомно-абсорбционным методом (аналитик В.Н. Ильина)

на атомно-абсорбционном спектрофотометре Solar M6 (чувствительность анализа $1 \cdot 10^{-8}$ мас. %). Рентгенофлуоресцентный и атомно-абсорбционный анализ выполнены в аналитическом центре института Геологии и Минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской Академии наук (г. Новосибирск).

Общая характеристика околорудноизмененных пород

Кварц-хлорит-серицитовые, кварц-хлоритовые и кварц-серицитовые метасоматиты – породы светло-серые, иногда белесые с отдельными участками темно-зеленого цвета (за счет присутствия пластинчатых агрегатов хлорита темно-зеленого цвета) с порфириобластовой, гранобластовой, лепидогранобластовой, неравномернозернистой (гетеробластовой) структурами; массивной и вкрапленной, местами прожилковой текстурами. Изученные породы имеют несколько неравномерное распределение в околорудном пространстве, мощность их развития варьирует от 20 до 150 м. Характер распределения данных пород контролировался положением зон развития трещиноватости и расланцевания вмещающих нижнедевонских пород.

Ореол метасоматического изменения вмещающих пород распространяется на 70...100 м в стороны от рудных тел на Зареченском месторождении [12] и на 80...120 м на Стрижковском. При этом минеральный парагенезис метасоматических пород в значительной мере зависит от исходных вмещающих пород. Так, например, породы, образованные по кислым и основным вулканитам (преимущественно туфам кислого, реже основного состава), а также по тонкозернистым терригенным породам, содержат кварц, серицит, хлорит. Метасоматиты, образованные преимущественно по песчаникам и кремнистым породам, представляют собой микрокварциты, в которых основным минералом является кварц, при этом существенно снижается доля серицита, а хлорит исчезает полностью. Химический состав изученных пород представлен в табл. 1. Основными петрогенными окислами изученных пород являются SiO_2 , Al_2O_3 , K_2O и в меньшей степени Fe_2O_3 , MgO .

При слабой степени гидротермального изменения (как правило, такие породы встречаются во внешних зонах метасоматического ореола) сохраняются весьма редкие реликты породообразующих минералов (калиевого полевого шпата, реже плагиоклаза), а также реликтовые микроструктуры замещаемых исходных пород (кристаллокластическая и порфирировая), редко можно наблюдать флюидалность, весьма характерную для исходных вулканитов.

Главными породообразующими минералами изученных околорудных метасоматитов являются: кварц, хлорит, серицит; второстепенными – пирит, редкими – халькопирит, галенит, сфалерит; аксессуарными – рутил, апатит, циркон,

а также отмечается присутствие редкоземельной минерализации (монацит и ксенотим).

Таблица 1. Химический состав околорудноизмененных пород Стрижковского и Зареченского месторождений по данным РФА (мас. %)

Table 1. Chemical composition of the wallrock-altered rocks of Strizhkovsk and Zarechensk deposit according to XRF (wt. %)

Компонент Component	Номер пробы Sample number									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SiO_2	77,4	77,6	81,0	81,3	71,3	71,2	46,0	78,3	45,7	45,9
TiO_2	0,20	0,19	0,10	0,11	0,16	0,28	0,11	0,17	0,10	0,11
Al_2O_3	12,57	12,88	6,96	10,02	11,92	13,50	8,83	11,08	8,90	8,89
Fe_2O_3^*	2,49	2,52	6,98	4,01	4,28	3,17	24,17	2,81	24,24	24,52
MnO	0,02	0,02	0,09	0,04	0,11	0,12	0,08	0,01	0,09	0,09
MgO	0,59	0,65	2,20	0,34	6,21	3,24	3,38	0,83	3,41	3,42
CaO	0,13	0,12	0,12	0,07	0,12	0,14	0,16	0,14	0,15	0,17
Na_2O	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,09	0,06	<0,1	0,05	0,06
K_2O	3,91	3,85	1,53	2,93	1,78	4,11	4,91	3,33	4,82	4,94
P_2O_5	0,05	0,05	0,03	0,02	0,04	0,04	0,04	0,05	0,03	0,03
BaO	0,11	0,13	0,04	0,07	0,13	0,17	0,64	0,12	0,69	0,65
SO_3	0,19	0,18	0,21	0,09	0,50	0,37	0,31	0,23	0,37	0,34
V_2O_5	0,01	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	0,01	0,01
Cr_2O_3	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
NiO	0,02	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	0,01	<0,01	<0,01
Сум- maSum	99,61	100,21	100,05	100,54	99,84	99,42	100,24	99,61	99,78	100,52

*все железо как Fe_2O_3 /all ferrum is as Fe_2O_3

Примечание: 1–5 – образцы околорудноизмененных пород Стрижковского месторождения; 6–10 – образцы околорудноизмененных пород Зареченского месторождения.

Note: 1–5 are the samples of wallrock-altered rocks from Strizhkovsk deposit; 6–10 are the samples of wallrock-altered rocks from Zarechensk deposit.

По результатам исследования содержания благородных металлов в изученных околорудноизмененных породах, а именно вариаций содержания золота и серебра, установлено, что изучаемые породы не представляют практического интереса, так как имеют низкие содержания этих металлов. Так, в кварц-серицитовых породах содержания золота варьируют в пределах 0,02...0,10 г/т; серебра 1,0...2,5 г/т; в кварц-хлорит-серицитовых породах содержания золота 0,12...0,38 г/т, серебра 0,49...2,1 г/т; в кварц-хлоритовых породах содержания золота 0,018...0,12 г/т, серебра 0,49...0,68 г/т. Золото и серебро, по видимому, находятся в рассеянном состоянии в сульфидных минералах, присутствующих в изученных породах.

Породообразующие минералы околорудноизмененных пород

Главным породообразующим минералом изученных пород является кварц, который составляет до 70...80 % общего объема пород. Образует мелко-, средне-, реже крупнозернистые, молочно-белые, бело-серые, реже бесцветные (прозрачные) агрегаты.

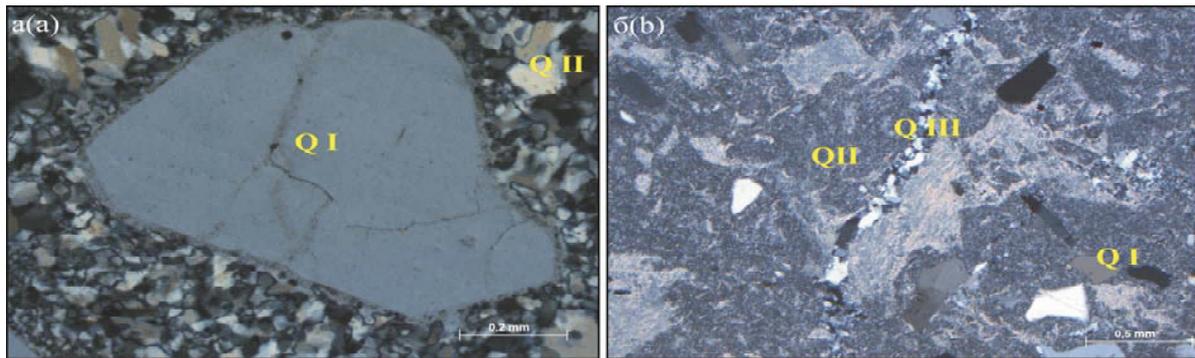


Рис. 2. Характер распределения и форма выделения кварца I, II, III генераций в изученных околорудноизмененных породах: а) порфировый обломок кварца I генерации; б) тонкий прожилок кварца III генерации в общей массе породы. Николы +. Qz – кварц, Ser – серицит

Fig. 2. Distribution character and shape of segregation of quartz I, II, III generations from wallrock-altered rocks: а) porphyric fragment of quartz of the I generation; б) thin veinlet of quartz of the III generation in combined mass of rock. Nicols +. Qz – quartz, Ser – sericite

В изученных околорудноизмененных породах установлено три генерации кварца, первая из которых представляет собой первичный реликтовый кварц (кварц туфов), ко второй генерации относится непосредственно метасоматический кварц. Разделение на генерации было произведено на основании изучения форм выделения, характера взаимоотношений между предполагаемыми генерациями, а также с учетом полученных характеристик рентгенолюминесценции. С целью уточнения люминесцентных характеристик исследовались спектры исходных образцов кварца (РЛ-1), а также спектры после прокаливании до 500 °С (РЛ-2) [13].

Первый тип кварца (рис. 2, а) образует самостоятельные зерна (реликтовые обломки порфировых вкрапленников исходных вмещающих пород ювенильного происхождения), имеющие неравномерное распределение в общей массе породы. Как правило, это остроугольные обломки зерен, гораздо реже можно встретить идиоморфные зерна с угадываемым обликом гексагональной дипирамиды в сечении. Размер зерен кварца I варьирует от 0,5...1,5 мм. На долю кварца I приходится 20...30 % общего объема породы.

Кварц II и III являются непосредственными генерациями метасоматического процесса.

Кварц II (рис. 2, а, б) находится в тонком сростании с серицитом, образуя кварц-серицитовый агрегат, выполняющий основную ткань изучаемых кварц-серицитовых пород (50...60 % общего объема породы). Размер выделений варьирует от 0,05...0,5 мм. Образование кварца II, вероятно, отвечает началу этапа гидротермально-метасоматического преобразования вмещающих пород.

Кварц III является наименее распространенной генерацией. Выполняет небольшие прожилки, секущие кварц I и II, а также в некоторых случаях пирит. Размер выделений варьирует от 0,1...0,25 мм. Размер прожилков, как правило, не превышает 0,1·1...1,5 мм.

По данным рентгенолюминесцентного анализа изученные образцы кварца I и II из околорудноизмененных пород имеют несколько различную интенсивность свечения, а также характеризуются и различными центрами свечения.

Так, для кварца I свойственны отметки интенсивности свечения от 5...22 относительных единиц, в то время как для кварца II в среднем от 1...12 относительных единиц, такое различие интенсивности свечения, вероятно, связано с различными условиями образования, прежде всего с температурным режимом кристаллизации. Также, как было сказано выше, кварц I и II имеют различные центры свечения (рис. 3, а, б). Так, например, для кварца I весьма характерными являются полосы свечения в области 320...340 нм, а также в области 600...620 нм. Полоса свечения в области 320...340 нм отвечает наличию примесных элементов AlO_4^{4-}/Na^+ , Li^+ , H^+ [14]; в области 600...620 нм – наличию собственного центра экситонного типа (вакансия кислорода) [15].

Для кварца II наблюдается характерная полоса свечения лишь в области 280...300 нм, она характеризует наличие собственного центра экситонного типа (вакансия кислорода) [16, 17].

Серицит образует скрыточешуйчатые массы, находящиеся в тесном сростании с кварцем II генерации, и представляет собой кварц-серицитовый агрегат, весьма редко образует самостоятельные выделения бледно-зеленого цвета. Также часто можно наблюдать случаи начинающегося замещения ранее образованных зерен хлорита серицитом, где в основном серицит замещает центральные части зерен хлорита, либо их периферию (рис. 4, а). Чешуйки серицита (также как и чешуйки хлорита), в основной массе пород, не имеют какой-либо ориентировки в распределении и распределены, как правило, хаотично. Размерность выделений колеблется от 0,001 до 0,05 мм. Минерал имеет широкое распространение и отмечается в кварц-серицитовых и кварц-хлорит-сери-

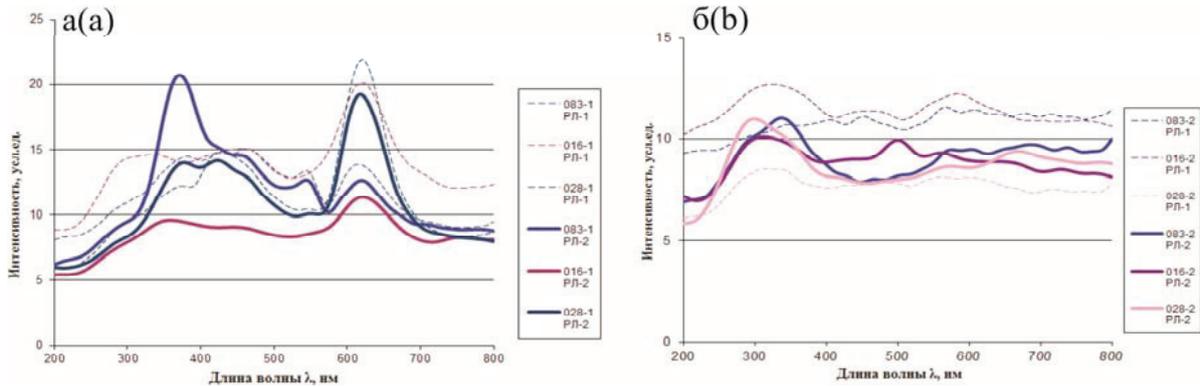


Рис. 3. Спектры РЛ-1 (исходных образцов) и РЛ-2 (после прокаливания) зерен кварца Стрижковского (083-1 РЛ-1, 083-1 РЛ-2, 083-2 РЛ-1, 083-2 РЛ-2) и Зареченского (016-1 РЛ-1, 028-1 РЛ-1, 016-1 РЛ-2, 028-1 РЛ-2, 016-2 РЛ-1, 028-2 РЛ-1, 016-2 РЛ-2, 028-2 РЛ-2) месторождений: а) спектры кварца I генерации; б) кварца второй генерации

Fig. 3. Spectrums of X-ray luminescence РЛ-1 (virgin samples) and РЛ-2 (after ignition) of quartz grains from Strizhkovsk deposit (083-1 РЛ-1, 083-1 РЛ-2, 083-2 РЛ-1, 083-2 РЛ-2) and Zarechensk deposit (016-1 РЛ-1, 028-1 РЛ-1, 016-1 РЛ-2, 028-1 РЛ-2, 016-2 РЛ-1, 028-2 РЛ-1, 016-2 РЛ-2, 028-2 РЛ-2): а) spectrums of quartz of the I generation; б) spectrums of quartz of the II generation

цитовых породах как лежачего, так и висячего боков. Химический состав серицитов околорудноизмененных пород изученных месторождений довольно выдержанный, содержания основных окислов варьируют в следующих пределах: K_2O 7,92...8,79 мас. %, Al_2O_3 28,33...29,21 мас. %, SiO_2 50,17...50,47 мас. %, MgO 2,90...3,13 мас. %, Na_2O 0,33...0,48 мас. %.

Хлорит преимущественно распространен в породах лежачего бока. В околорудноизмененных породах чешуйчатые и пластинчатые агрегаты хлорита размером от 0,0001 до 23 мм, особенно характерны для пород, образуемых по туфам кислого и основного состава, наименее распространен в метасоматитах висячего бока месторождений.

В исследуемых породах в основном наблюдаются зерна таблитчатого, реже призматического облика. Иногда по плоскостям спайности некоторых зерен хлорита можно наблюдать выделения

более поздних минералов, например, выделения рутила (рис. 4, б) или же единичные зерна сульфидов (сфалерита, халькопирита).

Согласно классификационной диаграмме [18], хлориты изученных околорудноизмененных пород (по соотношению Si к $Fe_{общ.}/(Fe_{общ.}+Mg)$) относятся к ряду клинохлор-пеннин (рис. 5). При этом хлориты Зареченского месторождения представлены переходной разностью ряда клинохлор-пеннин, в то время как хлориты Стрижковского месторождения представляют собой преимущественно чистый пеннин.

Для хлоритов околорудноизмененных пород Стрижковского и Зареченского месторождений был определен химический состав, рассчитаны кристаллохимические формулы и кристаллохимические характеристики [19]. Химический состав хлоритов изученных объектов весьма схож с химическим составом хлоритов околорудных по-

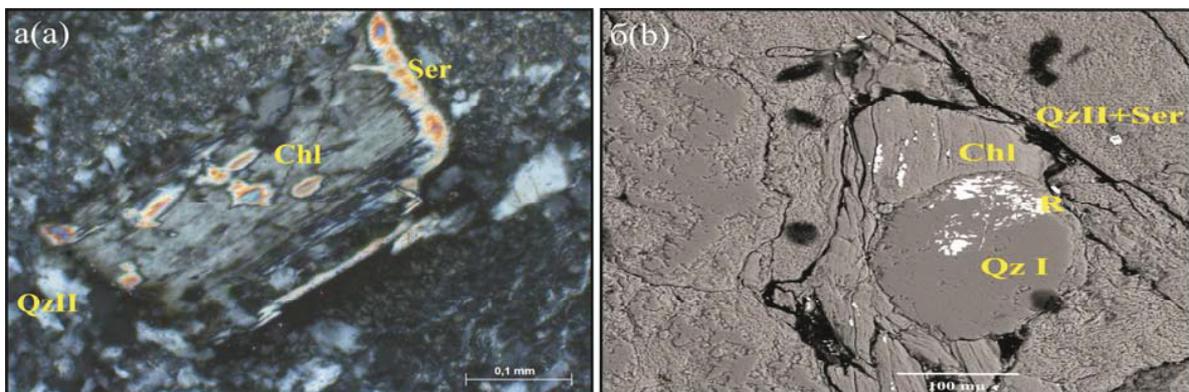


Рис. 4. а) зерно хлорита с замещаемым по периферии и центру серицитом. Никולי скрещены; б) хлорит с выделениями изометрических зерен рутила по плоскости спайности. Изображение BSE. Chl – хлорит; Ser – серицит; Qz I – кварц I генерации; Qz II – кварц II генерации

Fig. 4. а) the grain of chlorites with replaceable sericite on the periphery and in center. Nicols +; б) chlorite with secretions of isometric grains of rutile along the cleavage plane. BSE image. Chl – chlorite; Ser – sericite; Qz I – quartz of the I generation; Qz II – quartz of the II generation

род гидротермальных Cu-Pb-Zn месторождений в целом [20], где основными элементами в их составе являются Mg, Fe, Al и Si, а из примесных отмечается только Mn.

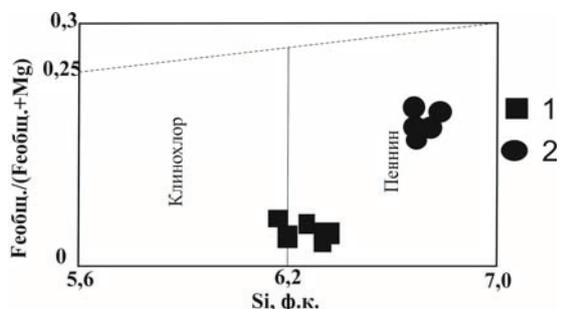


Рис. 5. Классификационная диаграмма хлоритов: 1 – Зареченского и 2 – Стрижковского месторождений. Составлена с учетом характеристик табл. 2

Fig. 5. Classification diagram of chlorites: 1 – from Zarechensk deposit and 2 – from Strizhkovsk deposit, composed together with characteristics from table 2

Таблица 2. Химический состав хлоритов околорудноизмененных пород Зареченского и Стрижковского месторождений, мас. %

Table 2. Chemical composition of chlorites from wallrock-altered rocks of Zarechensk and Strizhkovsk deposits, wt. %

Компонент Component	Хлориты (образцы)/Chlorites (samples)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SiO ₂	33,20	33,06	33,54	33,85	33,25	33,15	32,96	32,82	32,52	32,76
Al ₂ O ₃	17,91	19,19	18,27	20,11	20,55	17,78	17,71	17,73	17,68	17,70
FeO	3,64	3,61	3,61	4,94	4,24	11,40	11,41	11,39	11,37	11,42
MnO	0,36	0,42	0,48	0,53	0,31	0,57	0,60	0,58	0,59	0,61
MgO	33,94	33,63	31,17	30,02	30,15	27,65	27,5	27,48	27,46	27,63
Сумма Sum	89,05	89,97	87,07	89,18	88,5	90,55	90,18	90,00	89,62	90,12
Кристаллохимические формулы/Crystallochemical formulas										
Si	6,34	6,36	6,27	6,60	6,30	6,61	6,55	6,52	6,44	6,51
Al (VIII)	0,35	0,53	0,29	0,86	0,60	0,70	0,63	0,59	0,50	0,59
Al (XII)	1,66	1,64	1,73	1,40	1,70	1,39	1,45	1,48	1,56	1,49
Fe	0,58	0,58	0,56	0,79	0,67	1,90	1,90	1,89	1,88	1,90
Mn	0,06	0,07	0,08	0,09	0,05	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Mg	9,66	9,64	8,69	8,25	8,52	8,22	8,15	8,13	8,10	8,19
Кристаллохимические характеристики/Crystallochemical characteristics										
ΣAl	2,01	2,17	2,02	2,26	2,29	2,09	2,08	2,07	2,06	2,07
Fe/Σ _{Fe+Mg}	0,06	0,05	0,06	0,08	0,07	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19
Fe+Mg	10,24	10,22	9,25	9,04	8,96	10,12	10,05	9,61	9,98	10,09
Al ^{IV} cor	1,70	1,68	1,77	1,46	1,75	1,52	1,57	1,61	1,69	1,62
T, °C	241	255	213	230	237	223	224	226	230	228

Примечание: расчет температур проводился по формуле McDowell, Elders, 1980 [23]. Образцы 1–5 – хлориты околорудных метасоматитов Зареченского месторождения, 6–10 – хлориты околорудных метасоматитов Стрижковского месторождения.

Note: temperatures were calculated by the McDowell, Elders formula, 1980 [23]. Samples 1–5 are the chlorites of wallrock-altered rocks from Zarechensk deposit, 6–10 are the chlorites of wallrock-altered rocks from Strizhkovsk deposit.

С использованием полученных кристаллохимических характеристик, прежде всего с учетом Al в четверной координации [21], по предложенным расчетным методикам [22–24] была вычислена температура образования хлоритов околорудноизмененных пород изученных месторождений (табл. 2).

Значения вычисленных температур варьируют в среднем от 220...250 °С, что вполне соответствует температурам образования хлоритов околорудных метасоматитов подобных месторождений Змеиногорского и смежных рудных районов, где температура их образования была определена по результатам изучения газовой-жидких включений [25].

Рудная минерализация

Рудные минералы в изученных породах развиты незначительно, представлены пиритом, галенитом, сфалеритом, халькопиритом, при этом большее распространение среди них имеет пирит.

Пирит слагает 5...20 % от объема пород. Наибольшее его распространение отмечается в околорудноизмененных породах лежащего бока месторождений, а максимальное характерно для пород, подвергшихся наименьшему изменению, и сохранивших реликтовый структурно-текстурный облик вмещающих пород – мелко-, среднезернистых туфов. Размер выделений зерен пирита варьирует от 0,025 до 0,2 мм.

Облик встречающихся кристаллов пирита несколько различен для Стрижковского и Зареченского месторождений. Так, для околорудноизмененных пород Стрижковского месторождения характерны пириты преимущественно кубического габитуса, реже, и в основном ближе к рудной части разреза, отмечаются кристаллы пентагондодекаэдрического габитуса. В околорудноизмененных породах Зареченского месторождения встречаются пириты кубического габитуса, реже кристаллы, характеризующиеся комбинацией куба и октаэдра, а также комбинацией пентагондодекаэдра с кубом [26]. Почти для всех кристаллов пирита изученных околорудноизмененных пород характерна параллельная штриховка, однако иногда можно встретить и штриховку послойного роста граней, которая отмечается в основном для кристаллов комбинации куба и октаэдра, реже для пентагондодекаэдрических кристаллов.

Часто пирит интенсивно раздроблен и разбит прожилками позднего кварца (кварца третьей генерации), также довольно часто можно наблюдать случаи замещения пирита более поздними сульфидами (преимущественно сфалеритом и галенитом).

Галенит и остальные сульфидные минералы (сфалерит и халькопирит) образуют редкую рассеянную вкрапленность преимущественно в кварцевых породах, слагают, как правило, 3...10 % объема пород. Размер выделения сульфидов варьирует от 0,001...0,15 мм. Они имеют свойственный им химический состав, однако отмечаются и некоторые особенности. Так, для сфалерита

Зареченского месторождения отмечается примесь Cd 0,8...1,1 вес. %, а для пирита Стрижковского месторождения – примесь Ni до 0,3 мас. %.

Барит имеет крайне ограниченное распространение и отмечен лишь в метасоматитах лежащего бока, образованных по туфам кислого состава [27]. Размер выделений колеблется от 0,003 до 0,025 мм. Отмечается в ассоциации с кварцем II. В химическом составе установлено наличие примеси Со до 0,12 мас. %.

Акцессорные минералы

Акцессорные минералы представлены цирконом, апатитом и рутилом. Встречаются эти акцессорные минералы во всех разновидностях околорудноизмененных пород, представленных на изучаемых месторождениях, а именно в кварц-хлорит-серицитовых, в кварц-серицитовых и кварц-хлоритовых разностях.

Циркон отмечается в виде короткостолбчатых, реже изометричных кристаллов (рис. 6, а) или их обломков, размером от 0,0002 до 0,35 мм. Для цирконов отмечена примесь HfO_2 : для Зареченского месторождения от 1,3 до 1,5 мас. %, для Стрижковского от 1,4 до 1,65 мас. %.

Апатит встречается в основном в виде мелких зернистых масс, реже в виде хорошо образованных одиночных призматических кристаллов в кварц-серицитовом агрегате (рис. 6, б). Размер зерен апатита 0,0001 до 0,2 мм. По химическому составу апатиты Зареченского и Стрижковского месторождений относятся к фторапатиту, с содержанием F 5,10...5,32 вес. %.

Рутил в виде столбчатых, часто изогнутых кристаллов, размером от 0,001 до 0,02 мм, зачастую образует плотные зернистые агрегаты в ассоциации с апатитом и кварцем II. Также зерна рутила были отмечены в ассоциации с апатитом по плоскостям деформационной отдельности в зернах хлорита. Для рутила Зареченского месторождения отмечается примесь Fe_2O_3 до 0,6 мас. %, для рутила Стрижковского месторождения отмечается примесь Nb_2O_5 до 1,5 мас. %.

Редкоземельная минерализация

Развита редкоземельная минерализация, минеральной формой которой являются монацит и ксенотим, в кварц-серицитовых и кварц-хлорит-серицитовых породах, микрокварцитах, и менее всего в кварц-хлоритовых породах. Наибольшее распространение минералов редких земель отмечается в кварц-серицитовых породах. Монацит образует таблитчатые, призматические, реже изометрические кристаллы и сплошные зернистые агрегаты. В некоторых образцах можно встретить сростки короткопризматических кристаллов, образующих подобие игольчатых или звездчатых агрегатов (рис. 7, а). Ксенотим образует в основном сплошные мелкозернистые массы (рис. 7, б), и весьма редко единичные кристаллы призматического облика. Размер выделений монацита и ксенотима колеблется в пределах 0,001...0,05 мм.

В химическом составе монацита и ксенотима околорудноизмененных пород (табл. 3) Зареченского и Стрижковского месторождений наблюдаются некоторые отличия. Так, для монацитов Зареченского месторождения отмечается присутствие примеси ThO_2 от 11,35 до 22,50 % (среднее 16,9 мас. %) и отсутствие примеси Al_2O_3 , в то время как для монацитов Стрижковского месторождения примесь ThO_2 не характерна, а Al_2O_3 варьирует от 0,8 до 1,86 мас. %, со средним содержанием 1,3 мас. %.

В химическом составе ксенотима Стрижковского месторождения в малых количествах присутствуют оксиды тория, урана и гольмия, в то время как для ксенотима Зареченского месторождения содержаний этих оксидов не установлены.

Распределение монацита и ксенотима неравномерное, их агрегатные скопления, а также единичные зерна отмечаются как в межзерновом пространстве кварц-серицитового агрегата, так и по границе между зернами пирита и кварц-серицитового агрегата, а также в виде тонких прожилков, разбивающих ранее образованные отдельные зерна и агрегаты апатита.

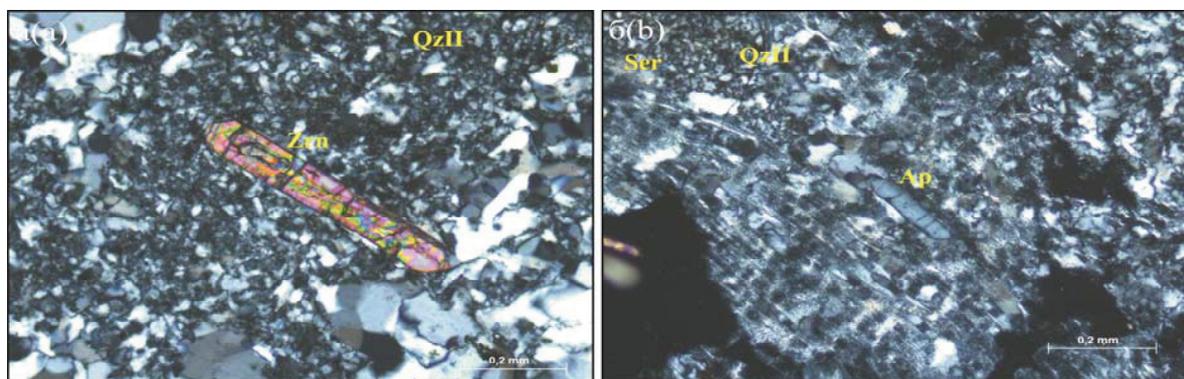


Рис. 6. Акцессорные минералы околорудноизмененных пород: а) дипирамидальное зерно циркона в кварц-серицитовом агрегате; б) призматическое зерно апатита в кварц-серицитовом агрегате. Никולי +

Fig. 6. Accessory minerals of wallrock-altered rocks а) bipyramidal grain of zircon at quartz-sericite aggregate; б) prismatic grain of apatite at quartz-sericite aggregate. Nicols +

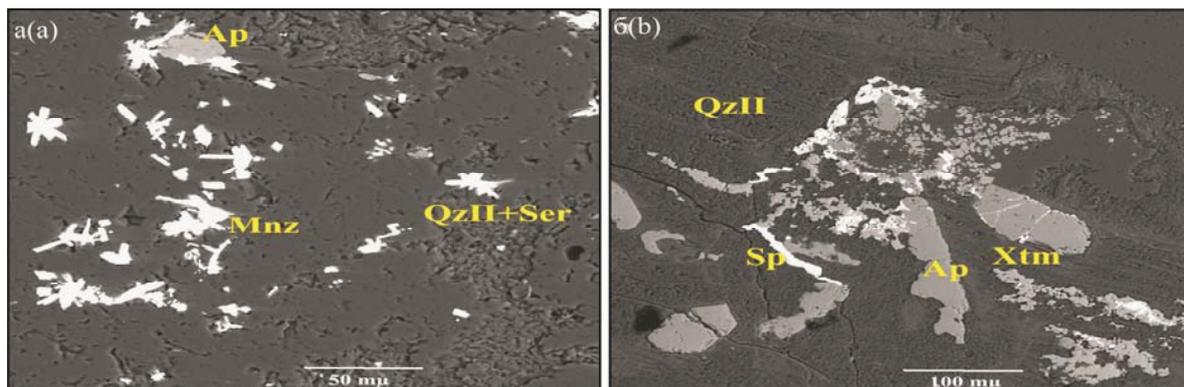


Рис. 7. Распределение редкоземельной минерализации в кварц-серицитовых породах: а) игольчатые выделения монацита между зерен кварца I и II генераций; б) выделения монацита и ксенотима между зернистыми агрегатами апатита и сфалерита. Изображение BSE. Ap – апатит, Mnz – монацит; Qz – кварц; Ser – серицит; Sp – сфалерит; Xtm – ксенотим

Fig. 7. Distribution of REE mineralization at quartz-sericite rocks: a) needle-like precipitate of monazite from quartz of the I and II generation; b) segregation of monazite and xenotime between granular aggregate of apatite and sphalerite. BSE image. Ap – apatite, Mnz – monazite; Qz – quartz; Ser – sericite; Sp – sphalerite; Xtm – xenotime

Таблица 3. Средний химический состав монацита и ксенотима околорудноизмененных пород Зареченского и Стрижковского месторождений, мас. %

Table 3. The average chemical composition of monazite and xenotime of wallrock-altered rocks from Zarechensk and Strizhkovsk deposits, wt. %

Компонент Component Минерал Mineral	Зареченское месторождение Zarechensk deposit		Стрижковское месторождение Strizhkovsk deposit	
	Монацит Monazite	Ксенотим Xenotime	Монацит Monazite	Ксенотим Xenotime
Ce ₂ O ₃	27,4	–	35,09	–
La ₂ O ₃	12,4	–	19,23	–
Nd ₂ O ₃	9,3	–	10,13	–
Y ₂ O ₃	–	48,8	–	52,49
Yb ₂ O ₃	–	2,7	–	3,07
P ₂ O ₅	28,5	32,2	31,43	27,42
Gd ₂ O ₃	–	3,9	–	3,21
Dy ₂ O ₃	–	5,8	–	5,12
Sm ₂ O ₃	–	0–2,0	–	0,77
Er ₂ O ₃	–	0–3,9	–	3,48
ThO ₂	16,9	–	–	1,81
UO ₃	–	–	–	1,59
Ho ₂ O ₃	–	–	–	0,97
Al ₂ O ₃	–	–	1,3	–
SO ₃	1,52	–	0,8	–
CaO	1,9	0–1,2	0,7	–
CoO	–	0–0,45	–	–
SiO ₂	3,09	–	1,84	–
Сумма/Sum	100,21	99,70	99,62	99,89

Детальное изучение минерального парагенезиса околорудных метасоматитов Стрижковского и Зареченского барит-полиметаллических месторождений, позволило сформировать представление о последовательности выделения минералов, слагающих эти породы. Так, на этапе формирования вмещающих пород нижнемелличной свиты (магматический этап) происходило выделение

кварца I генерации, циркона и апатита. В дальнейшем на сформированные вмещающие породы произошло наложение процесса метасоматического замещения (с доминантой окварцевания), вызванного воздействием гидротермальных растворов (гидротермально-метасоматический этап). В результате чего происходило выделение кварца II генерации, хлорита, рутила, серицита, пирита, а также редкоземельной минерализации. В последующем, в ходе эволюции гидротермальных растворов, постепенно приобретавших металлогеническую нагрузку, происходило выделение сульфидных минералов (халькопирита, галенита, сфалерита, барита) а также, вероятно, и кварца III генерации.

Заключение

Анализ полученных данных позволяет сделать следующие выводы, в целом характеризующие околорудные метасоматиты Стрижковского и Зареченского месторождений. Изученные околорудные метасоматиты являются раннедевонскими до-рудными, гидротермальноизмененными породами, сформировавшимися в результате воздействия углекислотных растворов на вмещающие слаблитифицированные нижнедевонские вулканогенно-осадочные породы. Зоны их развития контролируются субширотными и субмеридиональными разрывными нарушениями, а также зонами расланцевания.

Согласно классификационным признакам, разработанным В.А. Жариковым и др., изученные околорудноизмененные породы по их минеральному парагенезису (Qz+Chl+Ser+Py) можно отнести к бескарбонатной фации березитов [28]. Хотя иногда такие кварц-серицитовые метасоматиты выделяют в особую формацию, весьма характерную главным образом для колчеданных и колчеданно-полиметаллических месторождений [29].

Отсутствие же карбонатов в данных породах, вероятно, можно объяснить изначальной обедненностью Са и Mg исходных замещаемых вулканитов, а также интенсивным выносом этих компонентов в процессе метасоматоза.

Изученные околорудноизмененные породы месторождений имеют нечетко выраженное зональное строение, где внутреннюю часть метасоматического ореола выполняют кварц-серицитовые породы, а внешнюю – кварц-хлорит-серицитовые и кварц-хлоритовые породы. Минеральный парагенезис околорудных пород изученных месторождений однотипный, основные минералы – кварц, хлорит, серицит и пирит, второстепенные – циркон, апатит, рутил, редкие – халькопирит, галенит, сфалерит, барит, а также монацит и ксенотим. Проведенный комплекс исследований позволил выявить некоторые типоморфные особенности минералов изученных околорудных пород, в том числе и сходства и различия в химическом составе одних и тех же минеральных видов для ис-

следуемых Зареченского и Стрижковского месторождения.

Температурный интервал формирования околорудных пород соответствует 220...250 °С, что вполне согласуется с теоретическими температурами формирования околорудных пород такой формации [28].

Таким образом, наличие подобных пород в исследуемом рудном поле или в смежных рудных полях и имеющих весьма близкие петрографо-минералогические характеристики к изученным авторами породам, могут являться поисковым признаком, указывающим на присутствие нескрытого барит-полиметаллического оруденения, наложенного на терригенно-осадочно-туфогенные толщи девона. Пространственная локализация зон околорудных метасоматитов в основном определяется разрывной тектоникой района, что упрощает поиск перспективных площадей с развитием скрытого оруденения.

Результаты получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чекалин В.М., Черных А.Ф., Беляев А.П. Морфология, генезис и закономерности размещения полиметаллических месторождений северо-западной части Рудного Алтая // Морфология, генезис и закономерности размещения минеральных образований Алтае-Саянской складчатой области и Сибирской платформы. – Новосибирск: Изд-во Наука, 1985. – С. 56–65.
2. Гаськов И.В. Особенности развития колчеданных рудномагматических систем в островодужных обстановках Рудного Алтая и Южного Урала. // Литосфера. – 2015. – № 2. – С. 17–39.
3. Кашин С.В., Молчанов А.В., Шатов В.В. Гидротермальные метасоматические формации регионального распространения и их использование для прогнозирования скрытого колчеданно – полиметаллического оруденения (на примере Змеиногорского рудного района, Рудный Алтай) // Региональная геология и металлогения. – 2013. – № 56. – С. 65–77.
4. Сравнительная морфотектоника внешних и внутренних структур Рудно-Алтайского мегапрогиба / О.М. Гринев, А.А. Страхов, К.В. Бестемьянова, Р.О. Гринев // Петрология магматических и метаморфических комплексов: Материалы VIII Всероссийской петрографической конференции с международным участием. – Томск, 2016. – С. 118–132.
5. Туркин Ю.А. Особенности тектонического строения и геотектоническая позиция Рудного Алтая // Природные ресурсы Гонного Алтая: сборник научных трудов. – 2010. – Вып. 2. – С. 55–70.
6. Большой Алтай (геология и металлогения). Геологическое строение. Кн. 1 / под ред. Г.Н. Щерба. – Алма-Ата: РИО ВАК РК, 1998. – 304 с.
7. Гутак Я.М., Валиева Ф.Л., Мурзин О.В. Корбалихинская свита Рудного Алтая и проблема возраста Алейского метаморфического комплекса // 300 лет горно-геологической службе России: история горнорудного дела, геологическое строение и полезные ископаемые Алтая. – Барнаул: Изд-во АГУ, 2000. – С. 200–205.
8. Бестемьянова К.В., Гринев О.М. Минералого-геохимическая характеристика вкрапленных медных руд Западно-Стрижковского барит-полиметаллического месторождения (Рудный Алтай) // Вопросы естествознания. – 2015. – № 3 (7). – С. 13–16.
9. Reed S.J.B. Electron microprobe analysis and scanning electron microscopy in geology. – N.Y.: Cambridge University Press, 2005. – 189 p.
10. Taylor C.M., Radtke A.S. Preparation and polishing of ores and mill products for microscopic examination and electron microprobe analysis // Econ. Geol. – 1965. – № 65. – P. 1306–1319.
11. Борозновская Н.Н., Быдтаева Н.Г., Корнева А.П. Люминесцентный анализ качества кварцевого сырья. – Томск: ЦНТИ, 2015. – 101 с.
12. Горжевский Д.И., Чекваидзе В.Б., Исакович И.З. Типы полиметаллических месторождений Рудного Алтая и их происхождение и методы поисков. – М.: Недра, 1977. – 197 с.
13. Gaft M., Reissfeld R., Panczer G. Modern luminescence spectroscopy of minerals and materials. – Berlin; New York: Springer, 2005. – 356 p.
14. Cathodoluminescence of quartz from sandstones: interpretation of the UV range by determination of trace element distribution and fluid-inclusion P-T-X properties in authigenic quartz / C. Demars, M. Pagel, E. Deloule, P. Blanc // Amer. Miner. – 1996. – V. 81. – P. 891–901.
15. Борозновская Н.Н., Быдтаева Н.Г. Люминесценция как индикатор микродефектности при оценке качества кварцевого сырья // Рудные месторождения, минералогия, геохимия. – Томск: ТГУ, 2003. – С. 12–27.
16. Cathodoluminescence and trace element zoning in quartz phenocrysts and xenocrysts / G.R. Watt, P. Wright, S. Galloway, C. McLean // Geochim Cosmochim Acta. – 1997. – № 61 (5). – P. 4337–4348.
17. Pagel M. Cathodoluminescence in geosciences. – Berlin; New York: Springer, 2000. – 514 p.
18. Hey M.H. A new review of the chlorites // Mineralogical magazine. – 1954. – № 30. – P. 277–292.
19. Кепежинская К.Б. Статистический анализ хлоритов и их парагенетические типы. – М.: Акад. наук СССР, Институт геологии и геофизики. Сибирское отделение Наука, 1965. – 135 с.
20. Shikazono N., Kawahata H. Compositional differences in chlorite from hydrothermally altered rocks and hydrothermal ore deposit // Canadian Mineralogist. – 1987. – № 25. – P. 465–474.
21. Jiang W., Peacor D.R., Buseck P.R. Chlorite geothermometry-contamination and apparent octahedral vacancies // Clays and clay minerals. – 1994. – № 5. – P. 593–605.
22. De Caritat P., Hutcheon J., Walshe Jh.L. Chlorite geothermometry // Clays and Minerals. – 1993. – V. 41. – № 2. – P. 219–239.
23. McDowell S.D., Elders W.A. Authigenic layer silicate minerals in borehole Elmore, Salton Sea geothermal field, California, USA // Contrib. Mineral. Petrol. – 1980. – V. 74. P. 293–310.

24. Kranidiotis P., MacLean W.H. Systematics of chlorite alteration at the Phelps Dodge massive sulfide deposit, Matagami, Quebec // *Econ. Geol.* – 1987. – V. 82. – P. 1898–1911.
25. Авдонин В.В. Структурно-морфологические типы и околорудные породы колчеданно-полиметаллических месторождений северо-западной части Рудного Алтая // *Геология рудных месторождений.* – 1980. – № 2. – С. 49–66.
26. Бестемьянова К.В. Околорудноизмененные породы барит-полиметаллических месторождений Змеиногорского рудного района (Рудный Алтай) // *Байкальская молодежная научная конференция по геологии и геофизике.* – Горячинск, 2015. – С. 190–194.
27. Бестемьянова К.В., Гринев О.М. Минеральный состав околорудных метасоматитов барит-полиметаллических месторож-
- дений Змеиногорского рудного района (Рудный Алтай) // *Новое в познании процессов рудообразования: Четвертая Российская молодежная школа с международным участием.* – М.: ИГЕМ РАН, 2014. – С. 67–72.
28. Жариков В.А., Русинов В.Л., Маракушев А.А. *Метасоматизм и метасоматические породы.* – М.: Научный мир, 1998. – 492 с.
29. Жариков В.А., Омеляненко Б.И. Некоторые проблемы изучения изменений вмещающих пород в связи с металлогеническими исследованиями // *Изучение закономерностей минерализации при металлогенических исследованиях.* – М.: Недра, 1965. – С. 119–124.

Поступила 01.07.2017 г.

Информация об авторах

Бестемьянова К.В., младший научный сотрудник лаборатории геохронологии и геодинамики Геолого-географического факультета Национального исследовательского Томского государственного университета.

Гринев О.М., кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры палеонтологии и исторической геологии Геолого-географического факультета Национального исследовательского Томского государственного университета.

UDC 553.242.4: 553.444

WALLROCK METASOMATITES OF BARITE-POLYMETALLIC DEPOSITS OF ZMEINOGORSK ORE DISTRICT (RUDNY ALTAI)

Ksenia V. Bestemianova¹,
KsenijaVT@mail.ru

Oleg M. Grinev¹,
tomskgrom@yandex.ru

¹ National Research Tomsk State University,
36, Lenin Avenue Tomsk, 634050, Russia.

The relevance of the research is caused by depletion of mineral resources of the north-western part of Rudny Altai region. In this relation it is necessary to find new hidden objects of barite-polymetallic ores in this region. As wallrock-altered rocks accompany inherently mineralization, their detailed study will allow predicting the presence of hidden polymetallic mineralization within Zmeinogorsk ore region.

The main aim of the study is to determine petrographic, mineralogical and some genetic characteristics of the wallrock-altered rocks from Zarechensk and Strizhkovsk barite-polymetallic deposits in the north-western part of Zmeinogorsk ore region (Rudny Altai).

Research methods. The authors have carried out the comprehensive study of wallrock-altered rocks, including characteristics of non-metal and ore mineralization on the polarizing microscope, besides the study of rocks and minerals by X-ray energy-dispersive microanalysis, X-ray luminescence, X-ray fluorescence (XRF) and atomic absorption analysis were investigated.

The results. The studied wallrock-altered rocks from Zarechensk and Strizhkovsk barite-polymetallic deposits have similar mineral composition and belong to noncalcareous facies of beresites. The main rock-forming minerals are quartz, chlorite, sericite; secondary minerals include pyrite and in small amounts sulfides of ore step (sphalerite, galena, chalcopyrite), preferably in the form of veinlets; rare minerals are apatite, zircon, and rutile. The presence of rare earth mineralization was found out as well. Some typomorphic features of major, minor and rare minerals were fixed. The existence of three generations of quartz in the studied rocks and their luminescence centers were determined. Chlorite of the studied rocks, belonging to the range clinocllore – pennine, was used as a natural geothermometer for determining the approximate temperature range of wallrock-altered rocks formation. The calculated temperature for chlorites from Zarechensk deposit was 210...240 °C and from those from Strizhkovsk deposit – 220...230 °C. Industrial contents of gold and silver were not identified in the studied rocks.

Key words:

Wallrock-altered rocks, metasomatites, mineral assemblage, barite-polymetallic mineralization, Rudny Altai.

The research was carried out according to the government task of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation.

REFERENCES

1. Chekalin V.M., Chernykh A.F., Belyaev A.P. Morfologiya, genesis i zakonomernosti razmeshcheniya polimetallicheskikh mesotogodny severo-zapadnoy chasti Rudnogo Altaya [Morphology, genesis and patterns of polymetallic deposits distributions in the northwestern part of the Rudny Altai]. *Morfologiya, genesis i zakonomernosti razmeshcheniya mineralnykh obrazovaniy Altae-Sayanskoy skladdchatoi oblasti i Sibirskoy platform* [Morphology, genesis and location regularities of mineral formation of the Altai-Sayan region and Siberian platform]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1985. pp. 56–65.
2. Gaskov I.V. Specific features of pyrite ore-magmatic systems development in the island arc environments of Rudny Altai and Southern Urals. *Litosfera*, 2015, no. 2, pp. 17–39. In Rus.
3. Kashin S.V., Molchanov A.V., Shatov V.V. Gidrotermalnye metasomaticheskie formatsii regionalnogo rasprostraneniya i ikh ispolzovanie dlya prognozirovaniya skrytogo kolchedanno-polimetallicheskogo orudeneniya (na primere Zmeinogorskogo rudnogo raiona, Rudny Altay [Hydrothermal metasomatic formation of the regional distribution and their application to predict hidden pyrite-polymetallic mineralization (for example, Zmeinogorsk ore district, Rudny Altai)]. *Regionalnaya geologiya i metallogeniya*, 2013, no. 56, pp. 65–77.
4. Grinev O.M., Strahov A.A., Bestemianova K.V., Grinev R.O. Sravnitel'naya morfotektonika vneshnikh i vnutrennikh struktur Rudno-Altayskogo megaprogiba [Comparative morphotectonics of external and internal structures of the Rudny Altai megatrough]. *Petrologiya magmaticheskikh i metamorficheskikh kompleksov. Materialy VIII vserossiyskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem* [Proc. 8th science meeting. Petrology of magmatic and metamorphic complexes]. Tomsk, 2016. pp. 118–132.
5. Turkin Yu.A. Osobennosti tektonicheskogo stroeniya i geotektonicheskaya pozitsiya Rudnogo Altaya [The features of tectonic structure and geotectonic position of Rudny Altai]. *Prirodnye resursy Gornogo Altaya*, 2010, no. 2, pp. 55–70.
6. Scherba G.N. *Bolshoy Altay* [Great Altai (Geology and metallogeny)]. Book 1. Almaty, Gylm Publ., 1998, 304 p.
7. Gutak Ya.M., Valieva F.L., Murzin O.V. Korbalikhinskaya svita Rudnogo Altaya i problemy vozrasta Aleyskogo metamorficheskogo kompleksa [Korbalikhinskaya suite of Rudny Altai and problem of the age of Aleisk metamorphic complex]. *300 let gorno-geologicheskoy slugbe Rossii: istoriya gornorudnogo dela, geologicheskoe stroeniye i poleznye iskopaemye Altaya* [300 years of mining-and-geological service of Russia: history of mining, geological structure and minerals of Altai]. Barnaul, 2000. pp. 200–205.
8. Bestemianova K.V., Grinev O.M. Mineralogical and geochemical characteristics of disseminated cooperish ores of the west-Strizhkovskoe barite-polymetallic deposit (Rudny Altai). *The question of natural science*, 2015, no. 3 (7), pp. 13–16. In Rus.
9. Reed S.J.B. *Electron microprobe analysis and scanning electron microscopy in geology*. N.Y., Cambridge University Press, 2005. 189 p.
10. Taylor C.M., Radtke A.S. Preparation and polishing of ores and mill products for microscopic examination and electron microprobe analysis. *Econ. Geol.*, 1965, no. 65, pp. 1306–1319.

11. Boroznovskaya N.N., Bydtaeva N.G., Korneva A.P. *Lyuminest-sentny analiz kachestva kvartsevogo syr'ya* [Luminescent analysis of quality of raw quartz]. Tomsk, TsNTI Publ., 2015. 101 p.
12. Gorgevski D.I., Chekvaizde V.B., Isakovich I.Z. *Tipy polimetallicheskih mestorozhdeniy Rudnogo Altaya i ikh proiskhozhdenie i metody poiskov* [Types of polymetallic deposits of Rudny Altai and their origin and research methods]. Moscow, Nedra Publ., 1977. 197 p.
13. Gaft M., Reisfeld R., Panczer G. *Modern luminescence spectroscopy of minerals and materials*. Berlin; New York, Springer Publ., 2005. 356 p.
14. Demars C., Pagel M., Delouie E., Blanc P. Cathodoluminescence of quartz from sandstones: interpretation of the UV range by determination of trace element distribution and fluid-inclusion P-T-X properties in authigenic quartz. *American Mineralogist*, 1996, vol. 81, pp. 891–901.
15. Boroznovskaya N.N., Bydtaeva N.G. *Luministsentsiya kak indikator mikrodefektnosti pri otsenke kachestva kvartsevogo syr'ya* [Luminescence as micro defect structures indicator in assessing the quality of quartz]. Rudnye mestorozhdeniya, mineralogiya, geokhimiya. Tomsk, TGU Publ., 2003. pp.12–27.
16. Watt G.R., Wright P., Galloway S., McLean C. Cathodoluminescence and trace element zoning in quartz phenocrysts and xenocrysts. *Geochimica and Cosmochimica Acta*, 1997, vol. 61, no. 20, pp. 4337–4348.
17. Pagel M. *Cathodoluminescence in geosciences*. Berlin, Springer, 2000. 514 p.
18. Hey M.H. A new review of the chlorites. *Mineralogical magazine*, 1954, no. 30, pp. 277–292.
19. Kepeginskas K.B. *Statistichesky analiz khloritov i ikh parageneticheskie tipy* [Statistical analysis of chlorite and its paragenetic types]. Moscow, Nauka Publ., 1965. 135 p.
20. Shikazono N., Kawahata H. Compositional differences in chlorite from hydrothermally altered rocks and hydrothermal ore deposit. *Canadian Mineralogist*, 1987, no. 25, pp. 465–474.
21. Jiang W., Peacor D.R., Buseck P.R. Chlorite geothermometry-contamination and apparent octahedral vacancies. *Clays and clay minerals*, 1994, no. 5, pp. 593–605.
22. De Caritat P., Hutcheon J., Walshe Jh.L. Chlorite geothermometry. *Clays and Minerals*, 1993, vol. 41, pp. 219–239.
23. McDowell S.D., Elders W.A. Authigenic layer silicate minerals in borehole Elmore, Salton Sea geothermal field, California, USA. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 1980, vol. 74, pp. 293–310.
24. Kranidiotis P., MacLean W.H. Systematics of chlorite alteration at the Phelps Dodge massive sulfide deposit, Matagami, Quebec. *Econ. Geol.*, 1987, vol. 82, pp. 1898–1911.
25. Avdonin V.V. *Strukturno-morfologicheskie tipy i okolorudnye porody kolchedanno-polimetallicheskih mestorozhdeniy severozapadnoy chasti Rudnogo Altaya* [Structural -morphological types and wallrock-altered rocks of pyrite-polymetallic deposits in the northwestern part of the Rudny Altai]. Geologiya rudnykh mestorozhdeniy, 1980, no. 2, pp. 49–66.
26. Bestemyanova K.V., Grinev O.M. Okolorudnoizmenennyye porody barit-polimetallicheskih mestirogdeniy Zmeinogorskogo rudnogo raiona (Rudny Altai) [Wallrock-altered rocks from barite-polymetallic deposits of Zmeinogorsk ore district (Rudny Altai)]. *Baikalskaya molodezhnaya nauchnaya konferentsiya po geologii i geofizike* [Baikal Youth Scientific Conference on Geology and Geophysics]. Goryachinsk, 2015. pp. 190–194.
27. Bestemyanova K.V., Grinev O.M. Mineralny sostav okolorudnykh metasomatitov barit-polimetallicheskih mestorozhdeniy Zmeinogorskogo rudnogo raiona (Rudny Altai) [Mineralogical composition of wallrock-altered rocks of barite-polymetallic deposits at Zmeinogorsk ore district]. *Novoe v poznanii protsessov rudoobrazovaniya: Materialy chetvertoy rossyskoy molodezhnoy shkoly s mezhdynardnym uchstiem* [New knowledge in mineralization. Proc. of the Fourth Russian Youth School with international participation]. Moscow, 2014. pp. 67–72.
28. Zharikov V.A., Rusinov V.L., Marakushev A.A. *Metasomatizm i metasomaticheskie porody* [Metasomatism and metasomatic rocks]. Moscow, Nauchny mir Publ., 1998. 492 p.
29. Zharikov V.A., Omelyanenko B.I. Nekotorye problemy izucheniya izmeneniya vmeshchayushchikh porod v svyazi s metallogenicheskimi issledovaniyami [Some problems of studying changes in the host rocks in relation to metallogenic studies]. *Izuchenie zakonornosti mineralizatsii pri metallogenicheskikh issledovaniyakh* [The research of mineralization regularities in metallogenic studies]. Moscow, Nedra Publ., 1965. pp. 119–124.

Received: 1 July 2017.

Information about the authors

Ksenia V. Bestemianova, junior researcher, National Research Tomsk State University.

Oleg M. Grinev, Cand. Sc., associate professor, National Research Tomsk State University.