

УДК 553.43:553.21

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ БАРИТА ИЗ РУДНЫХ ФАЦИЙ САФЬЯНОВСКОГО МЕДНО-ЦИНКОВО-КОЛЧЕДАННОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ, СРЕДНИЙ УРАЛ

© 2012 г. Н. П. Сафина*, Н. Н. Анкушева**, В. В. Мурзин***

*Институт минералогии УрО РАН
456317, Челябинская обл., г. Миасс

**Южно-Уральский государственный университет
456316, Челябинская обл., г. Миасс

***Институт геологии и геохимии УрО РАН
620075, г. Екатеринбург, Почтовый пер., 7

Поступила в редакцию 27.04.2011 г.

В статье изложены результаты исследования барита из рудных фаций Сафьяновского колчеданного месторождения – гидротермальной (придонные корки и плиты) и рудокластической (коллювиальные брекчии и сульфидные диагениты), каждая из которых отличается по механизму отложения. Установлены закономерности флюидного режима минералообразования: увеличение температур формирования в ряду гидротермальные руды (барит-1, 165–180°C)–коллювиальные брекчии (барит-2, 130–170°C)–сульфидные диагениты (барит-3, 160–200°C и барит-4, 190–235°C), что согласуется с увеличением степени их постседиментационного преобразования. Значения концентраций солей в растворах попадают в интервал (1.5–7.4 мас. % NaCl-экв.), близкий солености морской воды (3.5 мас. % NaCl-экв.). Повышенные концентрации солей в растворах (барит-2), объясняются участием в минералообразовании растворов глубинной природы. Понижение солености раствора (барит-3) связывается с участием поровых вод при катагенетических преобразованиях барит-сульфидного осадка. Флюидный режим формирования барита-1 в гидротермальных рудах характеризуется максимальным содержанием восстановленных газов (CH_4 , CO, CO_2 и N_2) по сравнению с таковым при цементации серноколчеданных коллювиальных брекчий (барит-2) и появлении новообразованных сульфидов с баритом-3 и 4. Изотопный состав серы баритов располагается в узком интервале значений ($\delta^{34}\text{S} = +24.6 \dots +27.0\text{‰}$) и объясняется вовлечением в минералообразующую систему “морской” серы (сульфатов), выщелоченной из вмещающих пород и биогенной серы, что подтверждается обилием фауны замещенной сульфидами, а также наличием фрамбондов пирита.

Ключевые слова: Урал, колчеданные месторождения, рудные фации, барит, элементы-примеси, флюидные включения, газовая составляющая, изотопия серы.

ВВЕДЕНИЕ

Барит – наиболее распространенный сульфат Сафьяновского медно-цинково-колчеданного месторождения. Он присутствует в виде гнездообразных выделений в цементе обломочных руд, заполняет каналы колчеданно-полиметаллических труб “черных курильщиков”, образует жилы в массе медных и цинковых сплошных руд, а также в располагающихся на флангах тонкослоистых рудах и вмещающих метасоматитах. В данной работе рассмотрены физико-химические условия формирования барита в различных рудных фациях месторождения.

Изучение состава флюидных включений в баритах с позиции рудно-фациального анализа рассмотрены в работах [10, 20, 21]. Под термином “рудная фация” понимаются минеральные скопления со сходными текстурно-структурными и вещественными признаками, свойственными близким обстановкам и процессам минералообразования [18].

Рудные фации являются элементами рудных систем и в залежах минерального сырья образуют закономерные сочетания. Они слагают части рудных тел, отличающиеся от другой части этого же тела важными генетическими признаками, которые отражают специфические условия минералообразования. На колчеданных месторождениях Урала выделены гидротермальные рудные фации – придонная, донная, биогенная, и рудокластические – элювиальные и коллювиальные брекчии, сульфидные песчаники и алевропесчаники [18, 19, 29].

Сафьяновское медно-цинково-колчеданное месторождение выделяется среди колчеданных месторождений Урала низкой степенью метаморфизма и высокой степенью сохранности холмообразной сульфидной постройки, сформированной по модели “черного курильщика” [17]. Именно поэтому данное месторождение является благоприятным объектом для проведения детальных исследовательских работ и сравнительного анализа с древ-

ними или современными колчеданными залежами.

Целью работы стало установление эволюции физико-химических параметров гидротермальных растворов, принимавших участие в формировании отложений донной гидротермальной и рудокластических фаций на базе их сравнительного анализа.

Для оценки температуры, солености и состава растворов, сформировавших рудные фации, был исследован барит из: 1) интерстиций между агрегатами дисульфидов железа в рудах с колломорфной и массивной текстурами (барит-1, донная гидротермальная фация); 2) цемента коллювиальных брекчий, сложенных обломками колломорфных и массивных руд (барит-2, рудокластическая фация); 3) гнезд в галенит-теннантит-сфалеритовых прослоях (барит-3, преобразованная рудокластическая фация); 4) прожилков, рассекающих сульфидно-черносланцевые тонкослоистые отложения (барит-4, преобразованная рудокластическая фация). Бариты-1, 2 и 4 относительно сульфидов являются поздним минералом. Барит-3 находится в тесном сростании с поздним сфалеритом (клеюфаном).

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Полевое исследование месторождения проводилось в карьере с использованием специализированного картирования для выделения рудных фаций. В результате была собрана коллекция крупных рудных образцов, соответствующих определенным разновидностям рудных фаций. Из образцов были изготовлены шлифы для петрографических и аншлифы для минералогических и рентгеноспектральных исследований.

Минералого-петрографические исследования проведены в лаборатории минералогии рудогенеза (ИМин УрО РАН, г. Миасс) на микроскопах Axiolab и Olympus BX51. **Определение химического состава баритов** осуществлялось на растровом электронном микроскопе РЭММА-202 МВ с ЭДП (ИМин УрО РАН, аналитик В.А. Котляров).

Состав элементов-примесей в барите был определен на квадрупольном масс-спектрометре ELAN 9000 (Perkin Elmer) (ИГТ УрО РАН, г. Екатеринбург, аналитик Д.В. Киселева). Разложение проб проводилось в химической лаборатории ИМин УрО РАН по методике [1]. Для отделения сульфидной части от баритовой, проба помещалась в кварцевый тигель с добавлением царской водки. После фильтрования сульфидная часть переходила в раствор, а барит – в осадок. Навеска барита сплавлялась с содой (соотношение 1 : 6) при температуре 900°C. Сплав охлаждался и выщелачивался дистиллированной водой. Затем осадок отфильтровывался и промывался сначала 1% раствором Na_2CO_3 , а затем – дистиллированной водой до исчезновения реакции на SO_4 -ион. Фильтр с осадком переносился в стакан, прибавлялся HCl (1 : 3) до **растворения осадка**. Раствор отфильтровывался от бумажной мас-

сы в мерную колбу на 100 мл. Так как в анализируемом растворе, присутствуют ионы бария и хлора, то в плазме отмечалось полиатомное изобарное наложение $^{135}\text{Ba} + ^{37}\text{Cl}$, что приводило к завышению содержаний ^{172}Yb . Поэтому содержания иттербия, сделанные в программном обеспечении масс-спектрометра ELAN 9000 были скорректированы по более легким РЗЭ, а BaCl не учитывался.

Флюидные включения исследовались микрометрическим методом в прозрачно-полированных шлифах. Исследования проведены в микрокриотермокамере THMSG-600 (Linkam), позволяющей производить измерения температур фазовых переходов в интервале -196 до $+600^\circ\text{C}$, с микроскопом Olympus (геологический факультет Миасского филиала ЮУрГУ, г. Миасс). Управляющее программное обеспечение LinkSys V-2.39. Точность измерений $\pm 0.1^\circ\text{C}$ в интервале температур $-20 \dots +80^\circ\text{C}$ и $\pm 1^\circ\text{C}$ за пределами этого интервала. Для исследований использовались двухфазные включения, состоящие из водного раствора и газового пузырька. Солевой состав гидротермальных растворов во включениях оценивался по температурам эвтектик [6]. Температуры гомогенизации фиксировались в момент исчезновения газового пузырька при нагревании препарата в термокамере и приняты за минимальные температуры процесса минералообразования [13, 27]. Концентрации солей в растворах рассчитывались по температурам плавления последних кристаллических фаз [6, 27, 38]. Для расчета поправок на давление использовалась работа [27].

Методом газовой хроматографии был проанализирован газовый состав флюидных включений в барите (ГЕОХИ РАН, г. Москва, аналитик О.Ф. Мирнова). Анализы выполнены на газовом хроматографе серии “Цвет-100” с пиролитической приставкой П-75. Содержимое включений извлекалось термическим вскрытием и подавалось на детекторы: катарометр – для определения CO_2 и H_2O и пламенно-ионизационный – для определения CH_4 и тяжелых углеводородов. В качестве сорбента использовался “Полисорб-1”. Навеска для поинтервального анализа составляла 50–150 мг. Чувствительность определения газовых компонентов (мкл): N_2 – 0.1, CH_4 – $4 \cdot 10^{-2}$, CO_2 – $3 \cdot 10^{-2}$, H_2O – $5 \cdot 10^{-5}$. Газовыделение образцов начиналось с низких температур и продолжалось в интервале 200 – 500°C .

Пробы сульфидов для изотопного анализа были извлечены с помощью микробура с алмазной насадкой. Измерения в исследуемых образцах были выполнены на масс-спектрометрическом комплексе DELTA Plus XL (ThermoFinnigan, Германия, Бремен) в центре изотопных исследований ВСЕГЕИ (аналитик Т.А. Назарова). Количественные данные об изотопном составе анализируемых проб получены с использованием стандартного образца NBS123 ($\delta^{34}\text{S} = +17.1\text{‰}$ vs CDT, МАГАТЭ, Австрия, Вена).

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ САФЬЯНОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Сафьяновское медно-цинково-колчеданное месторождение, расположенное в Режевском рудном районе на Среднем Урале, сформировалось в девоне–нижнем карбоне в задуговом палеобассейне в период кратковременного затухания риолит-дацит-андезит-базальтового вулканизма [16, 34]. Оно приурочено к южной части Бороухинского тектонического блока, сложенного вулканогенными и осадочными породами девона и нижнего карбона, и залегает в породах риолит-дацит-андезит-базальтового комплекса. В разрезе месторождения выделяются три толщи-пластины: 1) нижняя подрудная – верхнедевонские базальты и андезибазальты; 2) средняя рудовмещающая – дациты, риолиты, их лавокластиты и ксенолавокластиты с прослоями вулканогенно-осадочных пород нижнедевонского возраста; 3) верхняя надрудная, сложенная серпентинитами, габбро и базальтами с прослоями фтанитов, предположительно, силурийского возраста (рис. 1).

На месторождении выявлено более 10 рудных тел, представляющих собой серию этажно расположенных стратиформных линз, сливающихся воедино в местах наибольшей мощности. Большая часть рудной залежи разделена прослоями вулканогенно-осадочных пород мощностью от нескольких сантиметров до 10 и более метров. К северу и югу залежь

расщепляется на серию параллельных линз, разделяемых нерудными прослоями. Мощность отдельных линз достигает 40 м. Рудные линзы залегают на трех горизонтах на глубинах 190–400 м, полого падают на юг и быстро выклиниваются.

Непосредственно над рудными телами на глубине порядка 200 м располагается зона баритизации мощностью 5–7 м (рис. 1). Интенсивная баритовая минерализация была отмечена также в южной части карьера, на выклинивании рудного тела, представленного пластами барит-сфалеритовых отложений мощностью первые метры.

На Сафьяновском месторождении выделены сплошные (медные и медно-цинковые), прожилково-штокверковые медные (рудные столбы), вкрапленные медные и медно-цинковые руды. Запасы сплошных и штокверковых руд сопоставимы, что является особенностью изучаемого месторождения [33].

Главные рудные минералы месторождения – пирит, халькопирит и сфалерит. К второстепенным относятся марказит, галенит, теннантит, тетраэдрит, энаргит и дигенит. Нерудные минералы представлены кварцем, баритом, хлоритом, доломитом, кальцитом, серицитом и гипсом.

По результатам картирования, рудная залежь Сафьяновского месторождения была реконструирована как сильно разрушенный холм “черного курильщика” (рис. 2), расчлененный многочисленными телами дацитового состава [16]. Основу суль-

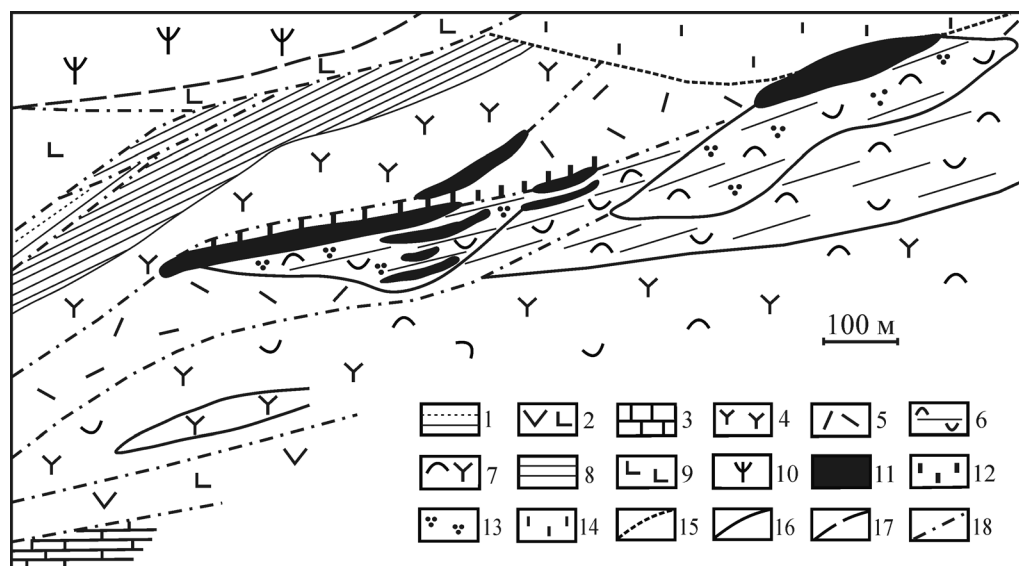


Рис. 1. Геологический разрез Сафьяновского медноколчеданного месторождения (по [43] с дополнениями).

1 – граувакковые флишсоиды; 2 – порфировые базальты и андезибазальты обломочные, часто магнетитсодержащие, гематитизированные; 3 – известняки; 4 – субвулканические крупнокварцевые порфиры (риодациты и их брекчии); 5 – мелко-кварцевые порфиры (риолиты и их брекчии); 6 – слоистые кремнекислые тефроиды; 7 – лавокластиты, брекчии дацитов; 8 – кремни, риодациты обломочные; 9 – спилиты, магнезиальные базальты; 10 – серпентинизированные, рассланцованные ультрабазиты; 11 – рудная залежь; 12 – баритизация; 13 – штокверковые руды; 14 – кора выветривания; 15 – границы коры выветривания; 16 – контур промышленных штокверковых руд; 17 – границы разновозрастных пород; 18 – тектонические нарушения.

фидного холма составляют гидротермальные фации. На склонах и флангах широко распространены отложения рудокластических фаций, составляющие более 50% от объема руд [29].

Донные гидротермальные плиты в кровле сульфидной залежи сложены разнообразными по текстуре ажурными пиритовыми и марказитовыми рудами (рис. 3а). Интерстиции между агрегатами чаще всего заполнены баритом, кварцем, реже сфалеритом и халькопиритом. В ядре холма присутствуют реликтовые участки колломорфного пирита, превращенные в массивные зернистые руды с гнездами сфалерита и барита, заполняющие пустоты или трещины в руде (рис. 3б).

Среди разнообразных жил в рудной залежи и в подрудной толще выделяются халькопирит-пиритовые, халькопиритовые, теннантит-тетраэдритовые, сфалерит-баритовые и баритовые разновидности (рис. 2). В осевой части постройки распространены пирит-халькопиритовые, халькопиритовые, теннантит-тетраэдритовые и баритовые жилы; на склонах и флангах – зональные сфалерит-баритовые или баритовые [23]. Следует отметить, что в штокверковой зоне месторождения жилы, сложенные крупнокристаллическим халькопиритом раздроблены и сцементированы кварц-баритовой массой (рис. 3в).

Среди коллювиальных отложений на склонах сульфидного холма наиболее распространены псефитовые брекчии и псаммито-псефитовые миксти-

ты. На южной выклинке колчеданной залежи отмечаются коллювиальные брекчии, состоящие из сульфидных обломков, представленных колломорфным, губкообразным или массивным пиритом. Цементом является баритовый или галенит-сфалеритовый материал (рис. 3г).

Тонкослоистые алевролит-псаммитовые сульфидные отложения располагаются на выclinках сульфидного холма. В пределах слоев отсутствует вертикальная градиация сульфидного обломочного материала, отмечается ступенчатое распределение обломочного сульфидного материала. Мощность слоев пропорционально уменьшается от 2–5 до 0.2 см.

На южной выclinке Сафьяновского месторождения установлены пиритовые, баритовые и сфалеритовые тонкослоистые разновидности. Первые ассоциируют с сульфидными брекчиями, сложенными марказит-пиритовыми обломками, вторые и третьи – с барит-сфалеритовыми и сфалеритовыми брекчиями, содержащими незначительную примесь рудокластов халькопиритового, пиритового и марказитового состава [29]. Сульфидные прослои утратили признаки обломочного происхождения и, в связи с этим, отнесены к группе диагенитов, являющихся продуктами интенсивного субмаринного преобразования тонкообломочных рудокластиков [18].

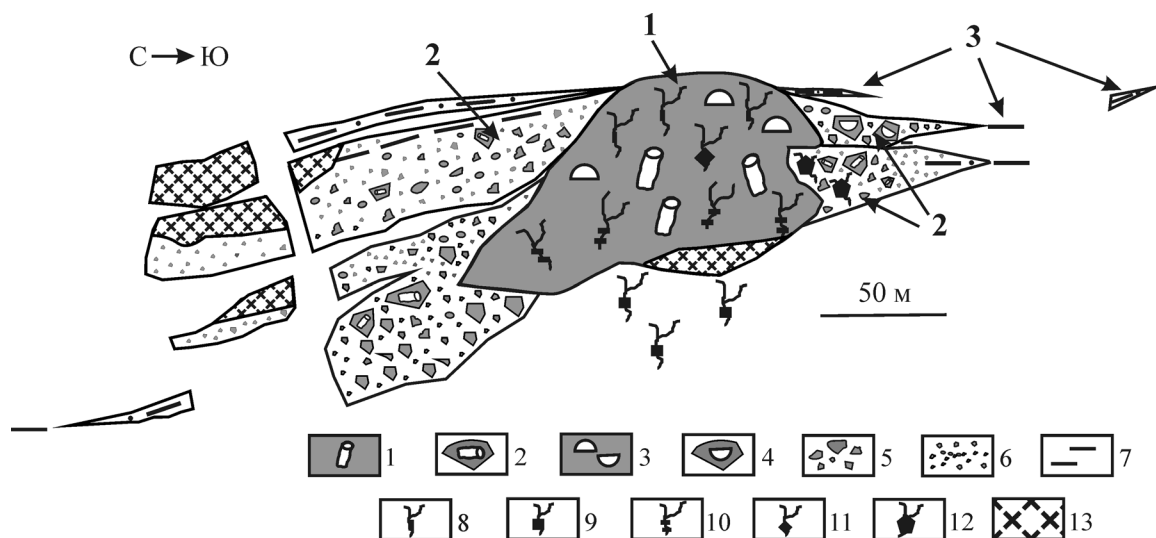


Рис. 2. Реконструкция сульфидного холма Сафьяновского медноколчеданного месторождения (по [18] с дополнениями).

1 – гидротермальные руды с сульфидными трубами “черных курильщиков”; 2 – обломки труб “черных курильщиков”; 3 – гидротермальные руды с оруденелой фауной; 4 – обломки оруденелой фауны; 5–7 – рудокластиты: 5 – сульфидные брекчии, 6 – сульфидные песчаники, 7 – сульфидные алевропесчаники; 8–12 – жилы: 8 – баритовые и кварц-баритовые, 9 – пирит-халькопиритовые, 10 – халькопиритовые, 11 – теннантит-тетраэдритовые, 12 – сфалерит-баритовые; 13 – подрудный штокверк. Цифровые обозначения – рудные фации и места отбора образцов: 1 – гидротермальные; 2–3 – рудокластические; 2 – коллювиальные брекчии, 3 – сульфидные диагениты.

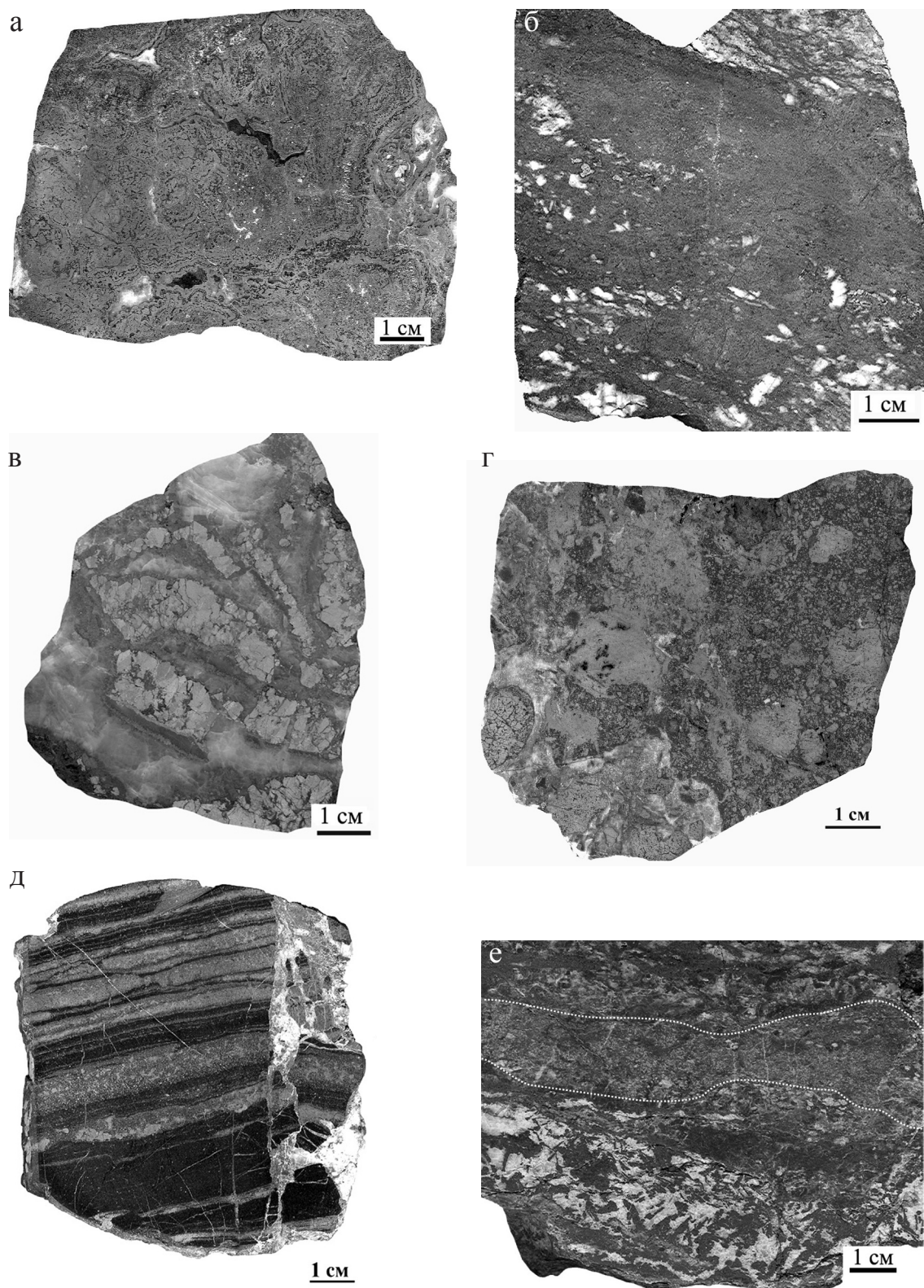


Рис. 3. Барит в рудных фациях Сафьяновского месторождения.

а – колломорфная пиритовая руда с гнездами барита (белое), обр. КЛФ; б – гнезда барита (белое) в сфалерит-пиритовой руде, обр. Саф0510-1; в – жилы крупнокристаллического халькопирита (светло-серое) в кварц-баритовой матрице (серое), обр. Саф09-100–110; г – коллювиальная пиритовая брекчия с баритом в цементе (белое), обр. Саф007; д – прожилки барита в пирит-углеродистых диагенитах, обр. СафЮ3В; е – гнезда барита (белое) в сфалеритовых диагенитах (темное), чередующиеся с кремнистыми пелитолитами (серое), обр. Саф069–78. Границы между прослоями показаны пунктиром.

Пиритовые диагениты, слагающие пласты мощностью до 2 м внутри рудных тел, представляют собой чередование сульфидных слоев, насыщенных фрамбоидами, конкрециями, эвгедральными кристаллами новообразованного пирита и углеродсодержащих пелитолитов [28]. Барит в виде прерывистых прожилков мощностью от 0.2 до 1.0 см рассекает пирит-углеродистые отложения (рис. 3д).

В ритмично-слоистой пачке (мощность 4 м), расположенной на максимальном удалении от сульфидного холма (от 500 м и более), отмечается чередование барит-сфалеритовых и сфалеритовых диагенитов с кремнистыми пелитолитами и вулканомиктовыми песчаниками (рис. 3е). Границы между прослоями нечеткие волнистые. Их мощность изменяется от 1 до 5 см.

ХАРАКТЕРИСТИКА БАРИТА ИЗ РУДНЫХ ФАЦИЙ

Барит в отложениях донной гидротермальной и рудокластических фациях образует прожилки и гнезда в ассоциации с кварцем или сульфидами. Микроскопически разновидности барита различаются морфологией и окраской. Цвет барита изменяется от прозрачного светло-серого (барит-1, 2) до молочно-белого (барит-3 и 4).

В ассоциации с баритом-1 преобладает пирит, очень редко удается обнаружить халькопирит, сфалерит; с баритом-2 (обр. Саф007) и 4 ассоциирует исключительно пирит, с баритом-2 (обр. 0610–34) – пирит, сфалерит и галенит; с баритом-3 – сфалерит, галенит, реже теннантит и пирит.

Барит-1 представлен гнездами кристаллов, заполняющих полости и отдельные каналы в серноколчеданных плитах, сложенных ажурными агрегатами пирита и марказита (рис. 3а). В цементирующей матрице широко распространен кварц в виде кристаллов крупностью до 0.5 мм. Кристаллы барита с хорошо проявленной спайностью, сосредоточенные в этом кварце рассечены и окружены поздней разновидностью мелкокристаллического кварца (рис. 4а), образовавшегося в результате перекристаллизации первого. Размеры кристаллов барита достигают 0.2 мм.

Акцессорные халькопирит и сфалерит в виде включений размером от нескольких до десятков микрометров находятся в пирите.

Барит-2 в серноколчеданных брекчиях характеризуется пластинчатыми, нередко копьевидными и гексагональными агрегатами (рис. 4б). Между отдельными пластинками барита наблюдаются цепочные выделения мелкокристаллического кварца. Помимо этого кварц заполняет трещинки в барите. Толщина пластинок изменяется от 0.1 до 0.25 мм.

Отмечается разная степень насыщенности пластинок барита флюидными включениями:

так, в одной их количество достигает 70–80 об. %, в другой включения отсутствуют или содержатся в количестве до 10 об. %. Этот факт может свидетельствовать о присутствии двух разновидностей пластинчатого барита. Гексагональные агрегаты барита достигают 0.2–0.3 мм. Скопления баритовой массы отмечаются вокруг сульфидных обломков с колломорфными, фрамбоидальными и кристаллически-зернистыми текстурами.

Микроскопические наблюдения показали, что обломки колломорфного пирита являются фрагментами придонных гидротермальных плит (рис. 3б), оболочек оруденелой фауны, труб “курильщиков” и диффузеров. Обломки пирита удлиненной или кольцевой формы во многих случаях являются псевдоморфозами по пригидротермальной фауне.

В мелкообломочном цементе серноколчеданных брекчий в значительном количестве присутствуют фрамбоиды пирита. Отдельные фрамбоиды служили “затравкой” для зернистых и радиальнолучистых агрегатов пирита. Барит является поздним минералом относительно обломков пирита, но синхронным с фрамбоидами и конкрециями пирита, формирование которых связано с более поздними процессами диагенеза.

В коллювиальных брекчиях, сцементированных сфалеритом и баритом, отмечается позднее относительно сфалерита появление барита (рис. 4в). В барите отчетливо проявлена спайность. Толщина пластинок составляет 0.1 мм.

Гнезда **барита-3** представлены пластинчатыми кристаллами с совершенной спайностью по двум направлениям (рис. 4г). Толщина пластинок не превышает 0.1 мм. Отдельные кристаллы барита характеризуются смятием, дроблением и заполнением микротрещин поздним сфалеритом, теннантитом и галенитом. С микродеформациями связано изменение цвета барита-3 с прозрачного серого на молочно-белый. Подобная тенденция ранее была отмечена для барита из барит-сульфидных жил изучаемого месторождения [23].

Барит-4 представлен субизометричными кристаллами, нередко с ромбовидными и гексагональными сечениями, а также разнонаправленными пластинками толщиной от 0.1 до 0.3–0.5 мм. Рост барита в маломощных прожилках (до 2 мм) происходил от одной стенки к другой и сопровождался изменением крупности кристаллов. Отложение минерала начиналось с роста крупных кристаллов, ориентированных перпендикулярно стенкам трещин (рис. 4д). Дальнейший рост сопровождался формированием каймы мощностью 0.2 мм, сложенной пластинками барита одинаковой толщины (0.1 мм), внедрявшимися в сульфидную матрицу (рис. 4е).

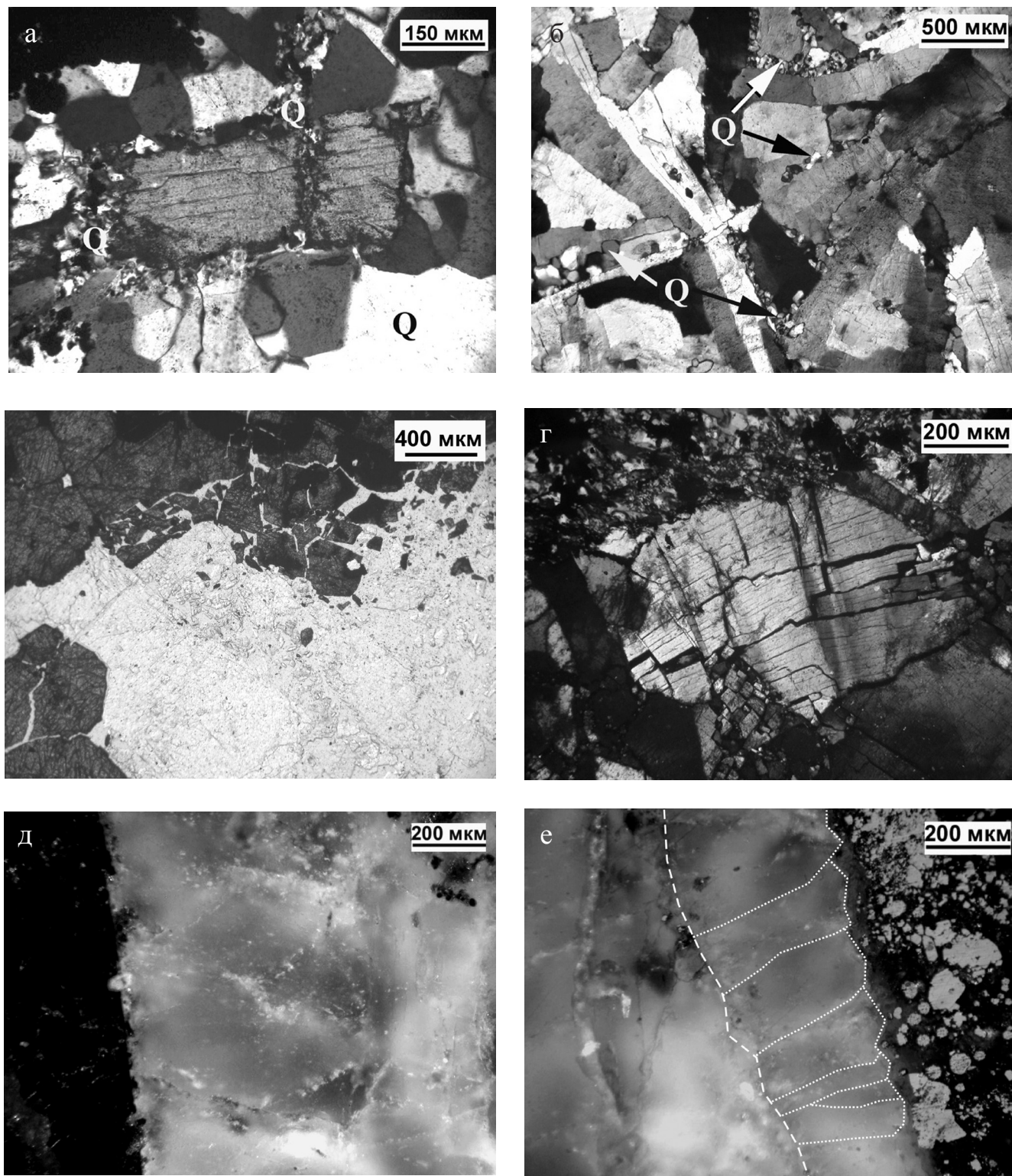


Рис. 4. Барит в колломорфных рудах (а), коллювиальных брекчиях (б-в) и сульфидных диагенитах (г-е).

а – кристаллы барита в ассоциации с кварцем (Q), обр. КЛФ; б – сростки барита “столбчатого” облика с кварцем, обр. Саф007; в – замещение баритом (светлое) сфалерита (темно-серое), обр. Саф0610-34; г – деформированные агрегаты тонкопластинчатого барита, пронизанные сульфидным материалом (черное), обр. Саф069-78; д – кристаллы барита гексагонального облика на границе с сульфидами (черное), обр. СафЮ3В; е – внешняя кайма прожилка: пластинчатые “копьевидные” кристаллы барита, правая часть снимка: белое – сульфиды в кварцевой матрице (черное), обр. СафЮ3В. Снимки а, б, г – проходящий свет, николи скрещены; в – проходящий свет, николи параллельны; д-е – отраженный свет.

ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА
БАРИТОВ

Химический состав изучаемых баритов соответствует теоретическому составу этого минерала (табл. 1). По данным рентгеноспектрального анализа, средние содержания SrO максимальны во второй разновидности барита, минимальны – в барите-4. Содержания CaO в изучаемых баритах варьируют незначительно или отсутствуют. При этом корреляционной зависимости между содержаниями SrO и CaO не установлено.

В кристаллах барита-2 и 3 отдельные пластинки различаются по содержаниям SrO. Так, например, в барите-2 (обр. Саф007) в одной пластинке содержание SrO достигает 1.06 мас. %, а в другой – отсутствует.

Для сравнения отметим, что содержания SrO и CaO в кристаллах барита, заполняющих полости кондуитов и труб современного гидротермального поля Франклин (бассейн Вудларк) составляют (мас. %): 0.6–1.8 и 0.02–0.21, 2.7–3.5 и 0.6–1.7, соответственно [40]. Таблитчатый барит в обломках массивных руд гидротермальной постройки Бент Хилл (хребет Хуан-де Фука) характеризуется содержаниями (мас. %): SrO – от 1.14 до 8.70, CaO – от 0.09 до 0.58, а также примесью PbO [39].

Результаты ICP-MS анализа показывают, что в микропримесном составе баритов преобладают Sr, V, Sc, Y, La, Ce, Nd, Sm, Yb и Lu (табл. 2).

Содержания Sr в изучаемых разновидностях барита варьируют незначительно. Повышенное содержание Sr отмечается в барите-2, в барите-1 оно близко к значениям для барита-3 и минимально – в барите-4.

Максимальные содержания V установлены в барите-4, пониженные – в барите-3 и 2 и минимальные – в барите-1. В барите-2 повышенные содержания V установлены в образцах Саф0610-34 и Саф09-100-110, ассоциирующих с большим количеством сульфидных минералов (пирит, сфалерит, галенит, теннантит), в то же время с баритом-2 из образца Саф007 ассоциирует исключительно пирит и кварц. Образцы барита-1 различны по содержаниям V, что также совпадает с присутствием халькопирит-сфалеритовой минерализации в образце Саф0510-1. Наоборот, содержания Sc достигают максимальных концентраций в барите-1 (обр. Саф007), уменьшаясь в образцах Саф0610-34 и Саф09-100-110. Промежуточные концентрации установлены в барите-3 и 4, минимальные – в барите-2. По содержанию Y все разновидности барита сопоставимы.

Сопоставление содержаний РЗЭ в баритах свидетельствует об их накоплении в третьей и четвертой разновидностях (табл. 2). Высокие суммарные содержания РЗЭ обусловлены повышенными концентрациями Yb и Lu. По характеру спектров рас-

пределения РЗЭ все изучаемые разновидности баритов сходны: отмечается накопление некоторых легких (La, Nd – в четырех разновидностях баритов, Ce – в барите-1), средних (Sm) и тяжелых лантаноидов (Er, Tm, Yb, Lu). Содержания Pr, средних и некоторых тяжелых (Dy, Ho) – ниже хондритового уровня.

Дополнительное сопоставление результатов ICP-MS анализов барита-4, содержащего максимальное количество РЗЭ, с углеродсодержащими пелитолитами, показало, что в барите-4, концентрации всех элементов, за исключением Sr и тяжелых РЗЭ – Tm, Yb, Lu, на один-два порядка ниже.

Также в изучаемых баритах установлены следующие максимальные концентрации элементов: Zr и W – в барите-2; Ga, Ge, Hf, Nb, Ta, Th и U – в барите-4. Бариты-1 и 3 обеднены перечисленными микропримесями. Вариации в содержаниях Li, Be, Mo и Cs в изучаемых разновидностях баритов незначительны.

РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕРМОБАРОГЕОХИМИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Флюидные включения в баритах имеют размеры до 40 мкм, в среднем 10–20 мкм, располагаются группами по 3–5 включений и не связаны с трещинами, что позволяет отнести их к первичным. Форма включений изометричная, иногда угловатая, удлиненная с четкими границами. Размеры газовых пузырьков составляют 20–30% объема включения. При 25°C включения состоят из светлой прозрачной жидкости и газового пузырька. В барите-1 встречаются включения с кристаллографической огранкой, в форме “отрицательного кристалла”.

Включения замораживались в криокамере при температурах от –50 до –60°C.

Барит-1. Исследования показали, что температуры эвтектики составили –21.7...–22.3°C (5 определений), что указывает на преобладание в растворе хлоридно-натриевых солей с возможными примесями Na₂CO₃, NaHCO₃ и Na₂SO₄ (табл. 3). Температуры плавления последних кристалликов льда изменяются от –1.5 до –2.7°C, что соответствует концентрациям солей 2.2–4.5 мас. % NaCl-экв. При нагревании флюидные включения гомогенизировались при 160–190°C. По результатам 35 определений преобладающий интервал значений составляет 175–180°C.

Барит-2. Температуры эвтектики, измеренные для барита из цемента серноколчеданных брекчий (обр. Саф007), равны –22.0...–22.3°C (7 определений), что указывает на существование водно-хлоридно-натриевого солевого раствора с примесью Na₂SO₄ (табл. 3). Температуры плавления последних кристалликов льда (–2.7...–5.6°C) соответствует концентрации солей в растворе 2.5–5 мас. % NaCl-экв. При нагревании гомогенизация включе-

Таблица 1. Результаты рентгеноспектрального анализа баритов (мас. %)

№ п/п	№ анализа	BaO	SO ₃	SrO	CaO	Сумма
Барит-1						
интерстиции в колломорфных пирит-марказитовых рудах (обр. КЛФ)						
1	17605a	64.89	34.83	0.31	0.00	100.03
2	17605b	65.52	33.94	0.37	0.00	99.83
3	17605c	64.85	34.28	0.80	0.00	99.93
4	17605d	65.13	34.31	0.47	0.00	99.90
5	17605e	64.44	34.53	0.98	0.02	99.97
6	17605f	65.05	34.35	0.40	0.11	99.91
7	17605g	65.38	33.81	0.61	0.00	99.81
среднее		65.04	34.30	0.56	0.07	99.97
8	17610a	65.01	34.49	0.41	0.00	99.91
9	17610b	65.34	34.05	0.41	0.00	99.80
10	17610c	65.54	34.27	0.19	0.00	100.01
среднее		65.30	34.27	0.34	0.00	99.91
интерстиции в массивных сфалерит-пиритовых рудах (обр. Саф0510-1)						
11	17613a	65.22	34.31	0.50	0.00	100.03
12	17613b	65.26	34.38	0.34	0.01	99.98
13	17613c	65.18	34.51	0.27	0.00	99.96
14	17613d	65.57	34.28	0.10	0.00	99.95
15	17613e	65.79	33.73	0.44	0.00	99.95
среднее		65.40	34.24	0.33	0.01	99.98
Барит-2						
в цементе серноколчеданных коллювиальных брекчиях (обр. Саф007)						
16	17608g	65.33	34.53	0.00	0.00	99.86
17	17608h	64.64	34.31	1.06	0.00	100.01
18	17608i	65.47	34.47	0.00	0.00	99.94
среднее		65.15	34.44	1.06	0.00	100.65
в цементе сфалерит-пиритовых брекчий (обр. Саф0610-34)						
19	17608d	64.99	34.45	0.44	0.00	99.88
20	17608e	64.74	34.31	0.94	0.00	99.99
21	17608f	65.27	34.49	0.00	0.09	99.85
среднее		65.00	34.42	0.69	0.09	100.20
в цементе халькопиритовых жил (обр. Саф09-100-110)						
22	17612a	64.32	34.66	0.97	0.00	99.95
23	17612b	65.57	34.24	0.00	0.03	99.83
24	17612c	63.53	34.57	1.73	0.05	99.88
среднее		64.27	34.37	1.45	0.04	100.13
Барит-3						
гнезда в галенит-теннантит-сфалеритовых диагенитах (обр. saf069-78)						
25	17607a	65.33	34.29	0.13	0.02	99.77
26	17607b	64.96	34.32	0.59	0.00	99.87
27	17607c	65.70	34.18	0.00	0.00	99.88
28	17607d	65.28	34.25	0.37	0.00	99.90
29	17607e	65.20	34.60	0.15	0.00	99.96
среднее		65.29	34.33	0.31	0.02	99.95
30	17609a	64.69	34.53	0.72	0.00	99.94
31	17609b	65.21	34.43	0.26	0.01	99.92
32	17609c	65.02	34.53	0.37	0.00	99.92
среднее		64.97	34.50	0.45	0.01	99.93
Барит-4						
Прожилки барита в сульфидно-углеродистых диагенитах (обр. СафЮ3В)						
33	17608a	65.80	34.24	0.00	0.00	100.64
34	17608b	65.33	34.47	0.05	0.00	99.85
35	17608c	65.25	34.45	0.12	0.00	99.82
среднее		65.46	34.39	0.09	0.00	99.94

Таблица 2. Микропримесный состав барита по данным ICP-MS (г/т)

	Барит-1		Барит-2			Барит-3	Барит-4
	обр. КЛФ (2)	обр. Саф0510-1 (1)	обр. Саф007 (2)	обр. Саф 0610-34 (1)	обр. Саф 09-100-110 (1)	обр. Саф069-78 (3)	обр. СафЮЗВ (1)
Li	0.012	н/о	0.012	0.033	н/о	0.012	н/о
Be	0.002	0.011	0.023	н/о	0.009	0.012	0.034
Sc	0.627	0.919	3.815	2.865	0.954	1.088	1.410
V	0.014	4.869	0.014	16.27	10.77	17.26	35.46
Ga	0.001	0.048	0.247	0.359	0.198	0.222	0.622
Ge	0.071	0.045	0.088	н/о	0.130	0.187	0.285
Sr	2529.2	2660.9	3094.7	3417.4	3381.1	2727.9	2152.6
Sr*	2109.0	2223.0	2592.0	2630.0	2236.0	1731.0	1442.0
Y	3.603	3.715	3.566	2.457	3.837	3.346	3.532
Zr	0.001	н/о	0.884	0.363	3.855	0.001	0.967
Mo	0.004	н/о	0.004	0.077	н/о	0.004	н/о
Nb	0.00004	0.017	0.00004	0.0012	0.164	0.156	0.242
Cs	0.036	0.036	0.033	0.048	0.038	0.035	0.035
La	2.149	2.804	2.677	6.886	2.275	2.201	2.574
Ce	1.268	0.659	0.377	0.440	0.153	0.257	0.474
Pr	0.017	0.028	0.026	0.016	0.012	0.010	0.045
Nd	1.061	1.076	1.021	1.616	1.098	1.045	1.231
Sm	1.229	1.172	1.151	1.815	1.229	1.093	1.178
Eu	0.0004	0.00035	0.0004	н/о	н/о	0.0004	н/о
Gd	0.00003	0.022	0.014	0.020	0.005	0.00003	0.047
Tb	0.0001	0.0006	0.0001	н/о	н/о	0.0001	0.005
Dy	0.013	0.023	0.015	н/о	0.019	0.016	0.056
Ho	0.035	0.044	0.026	0.058	0.056	0.058	0.096
Er	0.235	0.276	0.215	0.367	0.378	0.387	0.531
Tm	0.680	0.912	0.608	1.160	1.224	1.256	1.853
Yb	17.068	22.592	15.004	29.480	31.599	31.842	47.900
Lu	6.341	8.437	5.608	11.167	11.586	11.800	17.340
Hf	0.081	0.090	0.097	0.056	0.056	0.088	0.136
Ta	0.014	0.019	0.004	0.032	0.013	0.022	0.053
W	0.175	0.191	0.103	0.413	0.144	0.170	0.235
Th	0.032	0.011	0.021	0.032	0.025	0.006	0.073
U	0.085	0.238	0.230	0.095	0.147	0.092	0.545

Примечание. В скобках – количество анализов. Жирным шрифтом выделены максимальные содержания примесей. Н.о. – элемент не обнаружен. Sr* – содержания элемента получены рентгено-флуоресцентным анализом (ИМин УрО РАН, аналитик П.В. Хворов).

ний происходила при 130–170°C, преобладающие интервалы – 135–140 и 155–165°C (общее количество замеров – 45).

В гнездах барита из галенит-сфалеритовой матрицы, цементирующей обломки пирита (обр. Саф0610-34), температуры эвтектики составили –21.0...–21.7°C (6 определений), что также свидетельствует о преобладании во флюиде NaCl (табл. 3). Установлено, что температуры плавления последнего кристаллика льда, варьирующие в широком диапазоне (–1.7...–4.7°C), соответствуют концентрациям солей в растворе 3.0–7.4 мас. % NaCl-экв. Температуры гомогенизации флюидных включений изменяются от 190 до 235°C, преобладающий интервал 200–205°C. Общее количество замеров – 50.

Барит-3. Измеренные температуры эвтектики – –21.0...–21.2°C (результат 4 измерений) – указывают на преобладание NaCl в захваченном флюиде (табл.

3). Концентрация солей, оцененная по температурам плавления льда (–0.7...–1.8°C), составила 1.5–3 мас. % NaCl-экв. Гомогенизация флюидных включений происходила при 190–235°C с преобладанием значений в интервале 195–200°C (35 определений).

Барит-4. Температуры эвтектики, установленные для данной разновидности барита, составляют –21.6...–22.1°C (результат 6 измерений), что свидетельствует о преобладании хлоридно-натриевого раствора (табл. 3). Температуры плавления последних кристалликов льда (–1.8...–3.3°C) показывают, что концентрации солей в растворе составляли 3.0–5.4 мас. % NaCl-экв. При нагревании гомогенизация флюидных включений происходила при 160–200°C, с преобладающим интервалом 175–180°C (общее количество замеров – 30).

Температуры гомогенизации флюидных включений показали, что наиболее высокотемпературными различиями являются барит-2 (обр. Саф0610-34)

Таблица 3. Результаты термобарогеохимического анализа баритов

Определение	Барит-1 обр. КЛФ	Барит-2		Барит-3 обр. Саф069-78	Барит-4 обр. СафЮЗВ
		Барит-2 обр. Саф007	Барит-2 обр. Саф0610-34		
$T_{\text{гом}}, ^\circ\text{C}$	160–190 (35)	130–170 (45)	190–240 (50)	190–235 (35)	160–200 (30)
$T_{\text{гом}}, ^\circ\text{C}$ преобл.	175–180 (12)	135–140 (12)	200–205 (14)	195–200 (8)	175–180 (10)
$T_{\text{эвт}}, ^\circ\text{C}$	–21.7...–22.3 (5)	–22.0...–22.3 (7)	–21.2...–21.7 (6)	–21.0...–21.2 (4)	–21.6...–22.1 (6)
$T_{\text{пл.льда}}, ^\circ\text{C}$	–1.5...–2.7	–1.5...–3.3	–1.7...–4.7	–0.7...–1.8	–1.8...–3.3
Соленость, мас. % NaCl-экв.	2.2–4.5 (35)	2.5–5.0 (45)	3.0–7.4 (50)	1.5–3.0 (35)	3.0–5.4 (30)
Соленость, мас.% NaCl-экв., преобл.	2–3 (23)	2–3 (16)	4–5 (16)	2–3 (13)	3–4 (17)
Солевая система	NaCl–Na ₂ CO ₃ – NaHCO ₃ –Na ₂ SO ₄ – H ₂ O	NaCl–Na ₂ SO ₄ – H ₂ O	NaCl–H ₂ O	NaCl–H ₂ O	NaCl–H ₂ O

Примечание. В скобках указано количество измерений.

с максимальным температурным интервалом 200–205°C и соленостью растворов 4–5 мас. % NaCl-экв, а также барит-3 с температурным максимумом 195–200°C и соленостью 2–3 мас. % NaCl-экв (табл. 3). Характер распределения измеренных параметров – одномодальный.

Преобладающие температурные интервалы, установленные для барита-1 и 4, совпадают (табл. 3). Распределение значений измеренных температур гомогенизации и солености включений в барите-1 имеет одномодальный характер с резким максимумом в интервале значений 175–180°C при солености 2–3 мас. % NaCl-экв. Барит-4 также имеет одномодальный характер распределения значений измеренных температур гомогенизации и солености включений с максимумом в интервале 175–180°C, но значения солености повышены и составляют 3–4 мас. % NaCl-экв.

Для барита-2 (обр. Саф007) характерно бимодальное распределение значений температур гомогенизации и значений солености. При этом первому интервалу (11 замеров) соответствуют температуры гомогенизации 135–140°C со значениями солености 2–3 мас. % NaCl-экв, второму – 155–165°C и 4–5 мас. % NaCl-экв (8 замеров). Бимодальный характер распределения температур гомогенизации и солености, установленный для барита-2, свидетельствует о существовании двух порций раствора, принимавших участие в его формировании. Для барита-3 также отмечается бимодальное распределение значений с максимумами в интервалах 195–200, 210–215°C и 2–3 мас. % NaCl-экв. Последний температурный интервал в барите-3, вероятно, связан с частичной декрепитацией флюидных включений при проведении опытов.

На бинарной диаграмме (рис. 5), отражена зависимость между значениями солености и температурами гомогенизации флюидных включений в изучаемых разновидностях барита. Максимальная со-

леность растворов и наиболее высокие температуры гомогенизации флюидных включений отвечают бариту-2 из галенит-сфалеритового цемента коллювиальных брекчий. Минимальные значения солености при повышенной температуре гомогенизации соответствуют бариту-3, образующему гнезда в сфалеритовых диагенитах. Промежуточные значения характерны для барита-1 из интерстиций колломорфных руд; барита-2, ассоциирующего с кварцем в цементе коллювиальных серноколчеданных брекчий и прожилков барита-4, рассекающих пирит-углеродистые диагениты.

Следует отметить, что условия формирования Сафьяновского месторождения соответствовали минимальным глубинам формирования “черных курильщиков” – 1–1.5 км, т.к. черносланцевые отложения, как и их современные аналоги (Красноморский рифт, Черное море), формировались на глубинах кислородного минимума (1.4 км ± 500 м) [17, 22], благоприятного для накопления осадков, обогащенных органическим веществом. Таким образом, при формировании всех разновидностей барита, величина давления составляла 0.1–0.15 кбар и поправка на давление при оценке температуры минералообразования минимальна (~20°C). Таким образом, общий интервал истинных температур образования исследуемых баритов составил 150–260°C.

ЛЕТУЧИЕ КОМПОНЕНТЫ В БАРИТАХ

Состав растворов при формировании баритовой минерализации был преимущественно водный и содержал: соединения кислородной группы H₂O, CO, CO₂; углеводороды CH₄ и азот N₂ (табл. 4).

На декриптограммах исследуемых баритов газовыделение отмечается в интервале 200–500°C с максимумами при 300–400°C.

Сопоставление полученных данных показывает, что во включениях **барита-1** содержится макси-

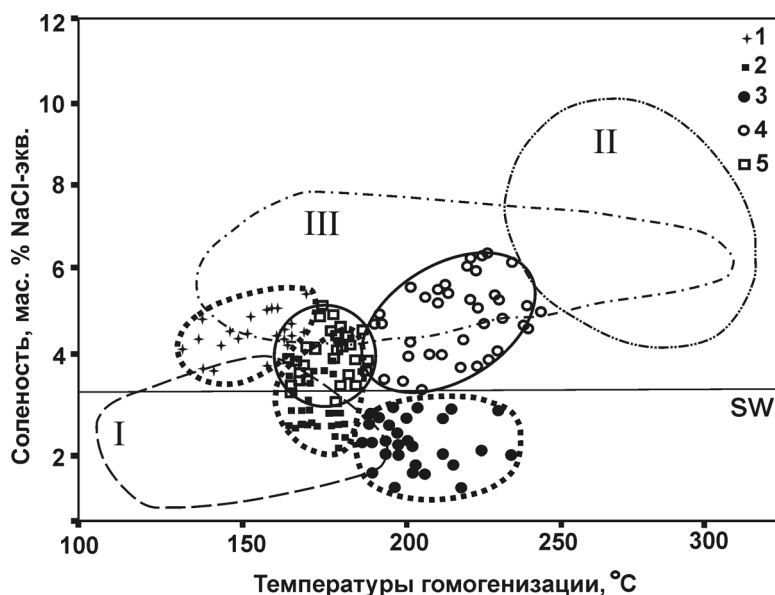


Рис. 5. Соотношение солёности раствора во включениях и температур их гомогенизации в баритах Сафьяновского месторождения в сравнении с данными по баритам современных гидротермальных полей.

1 – барит-2 (обр. Саф007), 2 – барит-1 (обр. КЛФ), 3 – барит-3 (обр. Саф069–78), 4 – барит-2 (обр. Саф0610–34), 5 – барит-4 (обр. СафЮЗВ). Поля: I – барит из кластогенных руд гидротермального поля Семенов-1, СХ [20]; II – барит из колломорфных руд гидротермального поля Семенов-4, СХ [21]; III – барит и ангидрит бассейна Манус, Тихий океан [9]. SW – солёность морской воды при нормальных условиях (25°C).

мальное количество летучих компонентов (560.11 мм/кг). Относительное соотношение компонентов в объеме вскрывшихся газов следующее: $H_2O > CO_2 > CO > CH_4 > N_2$. На долю $CO_2 + CO + CH_4 + N_2$ приходится 3.10 отн. % (H_2O – 96.91 отн. %). Показатель степени окисленности летучих (СОЛ) компонентов [30] рассчитанный по формуле $СОЛ = CO_2 / (CO_2 + N_2 + CO + CH_4)$ составляет 0.51.

В **барите-2** (обр. Саф007) количество летучих компонентов значительно ниже, чем в барите-1 (185.77 мм/кг). В целом, соотношения между обнаруженными газами сходны с баритом-1 ($H_2O > CO_2 > CO > CH_4 = N_2$). Количество $CO_2 + CO + CH_4 + N_2$ составляет 1.08 отн. % (H_2O – 98.93 отн. %), СОЛ = 0.61.

В барите из образца Саф0610-34 суммарное количество летучих компонентов составляет 90.76 мм/кг. Соотношения между обнаруженными газами следующее: $H_2O > CO_2 > CO > CH_4 < N_2$. Количество $CO_2 + CO + CH_4 + N_2$ составляет 2.08 отн. % (H_2O – 88.89 отн. %), СОЛ = 0.87.

Барит-3 содержит значительно меньшее количество летучих компонентов (77.25 мкм/кг) относительно барита-1 (в 7.25 раз) и барита-2 (в 2.4 раза). Как и в первых двух случаях, в барите-3 отмечается преобладание H_2O над CO_2 и CO ($H_2O > CO_2 > CO$). Отличием данной разновидности барита является накопление N_2 относительно CH_4 . Количество $CO_2 + CO + CH_4 + N_2$ достигает 0.75 отн. % (H_2O = 99.25 отн. %), СОЛ составляет 0.76.

Барит-4 содержит несколько повышенное количество газовых компонентов (82.15 мм/кг) в объеме вскрывшихся газов относительно барита-3. Относительное соотношение компонентов в объеме вскрывшихся газов подобно соотношению, установленному для барита-3. Количество $CO_2 + CO + CH_4 + N_2$ = 1.20 отн. %, а СОЛ увеличивается до 0.82.

Анализ данных газовой хроматографии для четырех разновидностей баритов свидетельствует о существовании следующей зависимости: с уменьшением в составе флюидных включений водной составляющей увеличивается относительное содержание углекислотных соединений (CO_2 и CO) и метана. Значения соотношений $CO_2 / (CO_2 + N_2 + CO + CH_4)$ для различных баритов показали, что барит-1 образовался в более восстановительных условиях, нежели бариты-2, 3 и 4. При этом окисленность среды минералообразования возрастала от первой к четвертой разновидности барита.

В составе газов из барита-1, захваченных при температуре 160–190°C, содержится максимальное количество летучих компонентов. По мере уменьшения температуры кристаллизации барита-2 до 130°C (обр. Саф007) отмечается скачкообразное снижение содержаний всех обнаруженных газов, за исключением N_2 и H_2O . С увеличением температуры минералообразования до 205°C (обр. Саф0610-34) суммарное количество компонентов немного снижается. При этом в объеме вскрывшихся газов

Таблица 4. Результаты газовой-хроматографического анализа баритов

Газ	Барит-1 обр. КЛФ	Барит-2		Барит-3 обр. Саф069-78	Барит-4 обр. СафЮЗВ
		обр. Саф007	обр. Саф0610-34		
N ₂ *	32.14 0.005	29.29 0.02	46.79 0.06	39.29 0.05	44.03 0.05
CH ₄ *	268.75 0.05	33.13 0.02	36.88 0.04	20.0 0.03	34.34 0.04
CO**	8.17 1.46	0.73 0.39	0.16 0.18	0.08 0.10	0.10 0.12
CO ₂ **	8.86 1.58	1.20 0.65	1.63 1.80	0.44 0.60	0.80 0.98
H ₂ O**	542.78 96.91	183.78 98.93	88.89 97.93	76.67 99.25	80.88 98.81

Примечание. * – содержания приведены в мкм/кг, ** – в мм/кг; в знаменателе – относительное содержание компонентов в объеме вскрывшихся газов.

уменьшается относительное содержание H₂O и CO, возрастает – CO₂, CH₄ и N₂. Наоборот, в барите-3 с интервалом минералообразования 160–235°C суммарное содержание газов во флюидных включениях возрастает за счет увеличения объемной доли H₂O. Небольшое понижение температуры минералообразования в барите-4 до 160°C вновь приводит к увеличению количества всех компонентов за исключением H₂O.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗОТОПНОГО АНАЛИЗА СЕРЫ

Изотопный состав серы в изучаемых разновидностях баритов варьирует в небольшом диапазоне +24.6...+27.0‰. Отмечается утяжеление состава серы в ряду: барит-3 (+24.6‰)–барит-1, 4 (+25.5‰, +25.7‰) – барит-2 (+27.0‰). Наблюдается тенденция увеличения значений $\delta^{34}\text{S}$ со снижением температуры образования барита: барит-3 – 190–235°C), барит-1, 4 – 160–200°C), барит-2 – 130–170°C.

Сопоставление данных по изотопному составу серы баритов с составом серы в сосуществующем пирите показывает, что в колломорфном пирите, ассоциирующем с баритом-1, $\delta^{34}\text{S}$ изменяется от +1.94‰ до +2.17‰. Значения $\delta^{34}\text{S}$ для переротложенного пирита, ассоциирующего с баритом-2, несколько повышены (от +3.06 – +3.13‰). Однако, для пирита, ассоциирующего с баритом-4, значения δS^{34} варьируют в широких пределах от –9.9‰ (фрамбоиды) до +5.8‰ (конкреции). В целом полученные значения для пиритов попадают в интервал (–7.4...+7.5 ‰), характеризующий изотопный состав серы слабометаморфизованных колчеданных месторождений Урала [10].

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

Морфологические особенности

Результаты минералого-петрографических исследований позволяют выделить типы баритов, раз-

личающихся по морфологическим особенностям и взаимоотношениям с ассоциирующими сульфидными и нерудными минералами, в различных рудных фациях Сафьяновского месторождения.

Барит-1 в донной гидротермальной фации, представленной рудами с колломорфной и массивной текстурой, располагается в интерстициях между агрегатами дисульфидов железа в ассоциации с поздним кварцем. Морфология кристаллов пластинчатая, с отчетливой спайностью и размером выделений до 0.2 мм. **Барит-2** рудокластической фации, в цементе коллювиальных брекчий, сложенных обломками колломорфных и массивных руд, представлен гексагональными и пластинчатыми кристаллами, с шириной отдельных пластинок от 0.1 до 0.2 мм. Он образует гнезда в цементе коллювиальных брекчий, и так же, как и барит-1, находится в ассоциации с поздним кварцем. Другая разновидность барита-2, ассоциирующая со сфалеритом в цементе коллювиальных брекчий, отличается меньшими размерами выделений, достигающими 0.1 мм. **Барит-3** в преобразованной рудокластической фации образует гнезда в галенит-теннантит-сфалеритовых прослоях. Он присутствует в виде тонкопластинчатых кристаллов (до 0.1 мм), с отчетливо проявленной спайностью в ассоциации с поздним сфалеритом, галенитом и теннантитом, заполняющими микротрещины в барите. **Барит-4**, также являющийся представителем преобразованной рудокластической фации, в виде прожилков мощностью от 0.2 до 1 см рассекает сульфидно-углеродистые прослои, состоящие из фрамбоидов, кристаллов и конкреций пирита. Барит сложен кристаллами гексагонального и пластинчатого облика размером от 0.1 до 0.5 мм.

Особенностью барита-2 является присутствие двух разновидностей, в различной степени насыщенных флюидными включениями и концентрациями SrO. Процесс придонного преобразования тонкообломочных сфалерит-баритовых рудокластитов сопровождался микродеформациями и залечивани-

ем трещин в барите-3 новыми генерациями сульфидных минералов. Барит-4 представлен наиболее крупными выделениями, заполняющими трещинки в литифицированной руде.

В целом, размер кристаллов барита в различных рудных фациях варьирует от 0.1 до 0.5 мм. Это преимущественно пластинчатые кристаллы со средним размером отдельных пластинок 0.1–0.2 мм. Привлечение данных по морфологическому и изотопному анализам баритов бассейна Хуан-де-Фука, Манус, Сан-Клемент, показывают, что таблитчатые кристаллы, достигающие 20–700 мкм с интервалом значений $\delta^{34}\text{S}$ от 20 до 30‰, присутствующие в кровле сульфидных холмов являются диагенетическими [43]. Авторы исследования считают, что такие кристаллы образовались на границе раздела морская вода/поверхность дна в результате поднятия богатых барийсодержащих флюидов к поверхности по трещинам и разломам. Таким образом, результаты наших наблюдений позволяют относить бариты Сафьяновского месторождения к диа- и катагенетическим образованиям.

Геохимические особенности

Содержания Sr в баритах Сафьяновского месторождения варьируют от 2152.6 до 3417.4 г/т. Исходя из того, что содержание Sr в морской воде составляет 7.7 г/т, а в гидротермальных флюидах, например на 21° с.ш. Восточно-Тихоокеанского поднятия – 10–15 г/т, а в Мидл Вэли – 19.7 г/т [42, 45], предполагается, что главным источником поступления Sr в минералообразующий раствор, из которого кристаллизовался барит, являлись вмещающие породы. Так, в вулканитах Курильских островов концентрации Ba и Sr изменяются от 30 до 1240 г/т и от 130 до 1000 г/т, соответственно [3]. Концентрации Sr, в противовес Ba, уменьшаются от базальтов к кислым породам. Минералом-концентратором Ba и Sr является плагиоклаз. Изотопные исследования состава Sr в гидротермальных баритах из зон активных гидротермальных полей также подтверждают, что основным источником этого элемента являются базальты [39]. Согласно литературным данным, содержание Sr в подрудных базальтах Сафьяновского месторождения изменяется от 370 до 467 г/т [34]. В то же время в рудовмещающих брекчиях кислого состава, были обнаружены РЗЭ-фосфаты и алюмофосфаты, в частности, монацит и гойяцит [32]. Последний минерал содержит в своем составе Sr (до 14.50 мас. %), La и Ce. Отлагался этот минерал вместе с баритом. Появление вышеперечисленных минералов является следствием гидротермальных изменений, которые приводили к растворению апатита и перераспределению концентраций редких и редкоземельных элементов.

Во всех разновидностях изучаемых баритов основным источником поступления Sr являются вмещающие породы. Однако, повышенные содержания Sr в барите-2 (3417.4 г/т), могут быть объяснены влиянием,

как глубинного (из вмещающих пород), так и морского источника. Подтверждением вышесказанного являются пониженные содержания Се в барите-2 в сравнении с обогащенным этим элементом (1.268 г/т) баритом-1. Известно, что отрицательная аномалия Се в барите может быть связана со значительным разбавлением минералообразующего флюида морской водой или длительным субмаринным воздействием на минерал [44].

В барите-3 накопление Sr (2727.9 г/т), в большей степени, связано с процессами переотложения нерудного материала осадков в результате его придонного преобразования. Отрицательная аномалия Се в барите-3 также свидетельствует о значительном разбавлении минералообразующего раствора. В барите-4 накопление Sr (2152.6 г/т), наряду с Ga, Ge, Hf, Ta, Nb, V, Th, U и тяжелыми РЗЭ, может быть связано с взаимодействием минералообразующих растворов с терригенными и биогенными компонентами осадка [5]. Высокие содержания РЗЭ обусловлены растворением примесных минералов (плагиоклаза, апатита) либо термическим преобразованием биогенного органического вещества на стадии катагенеза [35].

Условия образования

В результате проведенных исследований установлено, что минералообразование в исследуемых баритах происходило, преимущественно, из растворов хлоридно-натриевого состава. По концентрациям солей и температурам гомогенизации выделяются следующие группы: 1) с концентрациями солей 2.2–4.5 мас. % NaCl-экв и температурами гомогенизации 160–190°C; 2) с соленостью 2.5–5.0 мас. % NaCl-экв и температурами гомогенизации 130–170°C (обр. Саф007); с соленостью 3.0–7.4 и температурами гомогенизации 190–240°C (обр. Саф0510-34), и 3) с соленостью 1.5–3.0 мас. % NaCl-экв и температурами гомогенизации 190–235°C; 4) с соленостью 3.0–5.4 и температурами гомогенизации 160–200°C.

Соленость минералообразующих растворов в нашем случае является близкой к концентрациям солей в морской воде (~3.5 мас. % NaCl-экв). Однако выявлены и отличия. Повышенные относительно морской воды концентрации солей в растворах (барит-1, 2 и 4) могут быть обусловлены преобразованием морской воды в минералообразующий раствор при его взаимодействии с породами или в результате реакций гидратации при диагенетических преобразованиях осадка [9]. Значения солености ниже морской воды (барит-3) связывается с участием в минералообразовании поровых растворов при катагенетическом преобразовании исходного осадка.

Температуры кристаллизации изучаемых баритов ниже интервалов температур гидротермального минералообразования в некоторых современных [4, 7, 8, 20, 24, 37] и древних [11, 14, 15, 24–26, 31] океанических структурах. Несколько повышенные температуры минералообразования, для барита-2

(обр. Саф0610-34) могут быть связаны с присутствием высокотемпературного сфалерита, халькопирита, галенита, что, например, фиксируется в гидротермальных полях Семенов-4 и Ваи Лили [20, 40]. И, наоборот, в коллювиальных брекчиях отмечается ассоциация барита-2 с относительно низкотемпературными дисульфидами железа, что, отмечено для барита-2 поля Семенов-1 [21]. Температуры гомогенизации в барите-3 сходны с таковыми из баритовых отложений гидротермального поля горы Франклин, бассейна Вудларк [36].

По результатам газовой хроматографии флюидных включений в баритах установлено, что режим их формирования был более восстановительный в гидротермальных рудах (барит-1), нежели при цементации серноколчеданных коллювиальных брекчий (барит-2) и появлении новообразованных сульфидов с баритом-3 и 4.

Исследования барита-1 показали, что на стадии затухания гидротермального минералообразования растворы обладали максимальными содержаниями CH_4 , повышенными CO , CO_2 , резко отличаясь от обедненных перечисленными газами баритов коллювиальных брекчий (барит-2) и сульфидных диагенитов (барит-3, 4). N_2 концентрируется на флангах и южной выклинке гидротермальной постройки при повышенной температуре ($190\text{--}235^\circ\text{C}$) и более окислительных условиях минералообразования на стадии диа- и катагенетического преобразования рудокластитов с примесью органического вещества.

Изотопный состав серы баритов варьирует в узком интервале значений ($\delta^{34}\text{S} +24.6\text{--}+27.0\text{‰}$), и он несколько выше состава серы сульфат-иона морской воды ($+21\text{‰}$) [12]. Анализ литературных данных показывает, что “утяжеление” состава серы относительно морской воды (до $+22.6\text{‰}$) характерно для барита из минерализованных осадков трога Эсканаба [46], а также современных баритовых залежей в Калифорнийском заливе (от 21.6 до $+31.0\text{‰}$) [41]. Дж.Р. Хайн с соавторами в своей работе [41] показали, что барит в кровле построек характеризуется значениями δS^{34} от 21.6 до 23.5‰ , тогда как на глубине отмечается увеличение значений $\delta^{34}\text{S}$ до 31‰ , что отражает образование последнего из раствора, обедненного серой “морского” происхождения.

Исходя из вышесказанного, и суммируя полученные результаты, увеличение содержания тяжелого изотопа серы в баритах Сафьяновского месторождения связывается с вовлечением в минералообразующую систему “морской” серы (сульфатов), выщелоченной из вмещающих пород и биогенной серы, что подтверждается обилием фауны замещенной сульфидами, а также наличием фрамбоидов пирита.

ВЫВОДЫ

Сравнительный анализ баритов позволил получить информацию об условиях их кристаллизации

в различных частях сульфидной постройки и реконструировать характерные особенности эволюции физико-химических параметров гидротермальной рудообразующей системы.

1. Барит в интерстициях серноколчеданных руд, сформировавшихся в кровле зрелой сульфидной постройки, характеризуется температурами гомогенизации флюидных включений $160\text{--}190^\circ\text{C}$ и концентрациями солей $2.2\text{--}4.5$ мас. % NaCl -экв. Состав минералообразующих растворов был хлоридно-натриевый с примесями Na_2CO_3 , NaHCO_3 и Na_2SO_4 ; режим формирования характеризуется максимальным содержанием восстановленных газов (CH_4 , CO , CO_2 и N_2).

2. Продукты придонного разрушения гидротермальных серноколчеданных руд, перемещенные на склоны сульфидной постройки, сцементированы барит-кварцевым или барит-сульфидным материалом. Изучение флюидных включений свидетельствует о существовании двух интервалов минералообразования ($135\text{--}140$ и $155\text{--}165^\circ\text{C}$), различающихся по солености растворов – $2\text{--}3$ и $4\text{--}5$ мас. % NaCl -экв., соответственно. В составе хлоридно-натриевого раствора с примесью Na_2SO_4 количество восстановленных газов снижается, а условия формирования этого барита были более окислительными, нежели барита-1. Появление в цементе сфалерита, галенита, а затем барита происходило при более высоких температурах ($190\text{--}240^\circ\text{C}$) и солености растворов ($3.0\text{--}7.4$ мас. % NaCl -экв.) в еще более окислительных условиях в сравнении с вышеописанным баритом-2.

3. Для барита из продуктов придонного преобразования тонкообломочных рудокластитов, располагающихся на фланге сульфидной постройки и сложенных новообразованными минералами, отмечается накопление литофильных элементов, включая тяжелые РЗЭ, что свидетельствует об участии в процессе его формирования терригенной примеси. Хлоридно-натриевый раствор отличается повышенными концентрациями солей ($1.5\text{--}3$ мас. % NaCl -экв.) относительно морской воды (~ 3.5 мас. % NaCl -экв.), что является доказательством доминирующей роли поровых растворов. В сравнении с условиями формирования барита в гидротермальных рудах и продуктах их разрушения появление барита в сульфидных диагенитах отличалось более окислительными условиями с минимальным содержанием летучих компонентов.

Авторы благодарят В.В. Масленникова, В.В. Зайкова, В.Н. Удачина, А.М. Юминова и Л.Я. Кабанову за консультации при выполнении исследований; Г.Ф. Лончакову и Л.Г. Удачину – за помощь в пробоподготовке баритов; И.В. Кислюк, Н.П. Иванову и Е.В. Кустову – за изготовление прозрачно-полированных и петрографических шлифов и аншлифов; В.А. Котлярова, Д.В. Киселеву, Л.П. Носика и Т.А. Назарову – за выполнение анализов.

Научно-исследовательские работы выполнены в рамках реализации ФЦП "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России" на 2009–2013 годы (ГК П237) и поддержаны Интеграционным проектом УрО-СО РАН (09-И-5–2004).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анализ минерального сырья / Под ред. Ю.Н. Книповича и Ю.В. Морачевского. Л.: ГЕОХИ, 1959. 1054 с.
2. Анкушева Н.Н., Масленников В.В., Штенберг М.В. Барит из некоторых рудных фаций колчеданного месторождения Киллик, мезозойский Понтийский пояс: термобарогеохимия, ИК-спектроскопия // V Сибирская междун. конф. молодых ученых по наукам о Земле: тез. докл. Новосибирск: ИГиМ СО РАН, 2010. С. 13.
3. Антонов А.Ю. Вещественная зональность четвертичного вулканизма Курильской островной дуги и новые петрологические следствия // Литосфера. 2006. № 1. С. 22–44.
4. Богданов Ю.А., Бортников Н.С., Викентьев И.В. и др. Минералого-геохимические особенности гидротермальных сульфидных труб и флюида поля Рейнбоу, ассоциированного с серпентинитами. Срединно-Атлантический хребет // Геология рудных месторождений. 2002. № 6. С. 513–545.
5. Богданов Ю.А., Лисицын А.П., Сагалевиц А.М., Гурвич Е.Г. Гидротермальный рудогенез океанского дна. М.: Наука, 2006. 527 с.
6. Борисенко А.С. Изучение солевого состава растворов газовой-жидких включений в минералах методом криометрии // Геология и геофизика. 1977. № 8. С. 16–18.
7. Бортников Н.С., Викентьев И.В. Современное сульфидное полиметаллическое минералообразование в Мировом океане // Геология рудных месторождений. 2005. Т. 47, № 1. С. 16–50.
8. Бортников Н.С., Сазонов В.Н., Викентьева О.В. и др. Роль магматогенного флюида в формировании Березовского мезотермального золото-кварцевого месторождения, Урал // Докл. АН. 1998. Т. 363, № 1. С. 82–85.
9. Бортников Н.С., Симонов В.А., Богданов Ю.А. Флюидные включения в минералах из современных сульфидных построек: физико-химические условия минералообразования и эволюция флюида // Геология рудных месторождений. 2004. Т. 46, № 1. С. 74–87.
10. Викентьев И.В. Условия формирования и метаморфизм колчеданных руд. М.: Научный мир, 2004. 344 с.
11. Викентьев И.В., Карпущина В.С., Наумов В.Б. и др. Физико-химические условия формирования цинково-колчеданного месторождения Таш-Яр (Ю. Урал) // Тр. XI Междун. конф. по термобарогеохимии. Александров: ВНИИСИМС, 2004. С. 487–499.
12. Гидротермальные сульфидные руды и металлоносные осадки океана / Под ред. И.С. Грамберг, А.И. Айнемер. СПб.: Недра, 1992. 278 с.
13. Ермаков Н.П., Долгов Ю.А. Термобарогеохимия. М.: Недра, 1979. 272 с.
14. Карпущина В.С., Черкасова Е.В., Иванова Г.Ф., Наумов В.Б. Физико-химические условия формирования Калгутинского молибден-вольфрамового месторождения (Горный Алтай) // Тр. XI Междун. конф. по термобарогеохимии. Александров: ВНИИСИМС, 2003. С. 95–97.
15. Коваленкер В.А., Русинов В.Л., Сафонов Ю.Г. и др. Эпитермальные рудообразующие флюидно-магматические системы // Основные проблемы в учении о магматогенных рудных месторождениях. М.: ИГЕМ, 1997. С. 39–40.
16. Коротеев В.А., Язева Р.Г., Бочкарев В.В. и др. Геологическое положение и состав сульфидных руд Сафьяновского месторождения (Средний Урал). Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 1997. 49 с.
17. Масленников В.В. Литогенез и колчеданообразование. Миасс: ИМин УрО РАН, 2006. 384 с.
18. Масленников В.В., Зайков В.В. Метод рудно-фациального анализа в геологии колчеданных месторождений. Челябинск: ЮУрГУ, 2006. 224 с.
19. Масленникова С.П., Масленников В.В. Сульфидные трубы палеозойских "черных курильщиков" (на примере Урала). Екатеринбург: УрО РАН, 2007. 317 с.
20. Мелекесцева И.Ю., Анкушева Н.Н. Условия образования барита из кластогенных руд Северо-Восточного поля в гидротермальном узле Семенов (13°31' с.ш. СХХ) // XIII Школа по морской геологии. Т. II. М.: ГЕОС. 2009. С. 179–182.
21. Мелекесцева И.Ю., Юминов А.М., Нимис П. Сульфидные руды гидротермального поля Семенов-1 (13°31' с.ш. СХХ): текстуры, минералогия и условия образования // Металлогения древних и современных океанов-2010. Миасс: ИМин УрО РАН, 2010. С. 56–61.
22. Мурдмаа И.О. Фации океанов. М.: Наука, 1987. 303 с.
23. Мурзин В.В., Варламов Д.А., Ярославцева Н.С., Молошаг В.П. Минералогия и строение барит-сульфидных жил Сафьяновского медноколчеданного месторождения (Средний Урал) // Уральский минералогический сборник № 17. Миасс-Екатеринбург: УрО РАН, 2010. С. 12–19.
24. Наумов В.Б., Коваленко В.И., Дорофеева В.А. Магматические летучие и их участие в формировании рудообразующих флюидов // Геология рудных месторождений. 1997. № 6. С. 520–529.
25. Наумов В.Б., Наумов Г.Б. Процессы гетерогенизации природных флюидов и их роль в гидротермальном минералообразовании // Минералообразование из вскипающих растворов. Терскол: Северо-Кавказское отделение ВМО АН СССР, 1988. С. 7.
26. Прокофьев В.Ю., Наумов В.Б., Миронова О.Ф., Соколова Н.Т. Исследование флюидных включений с сероводородом высокой плотности // Геохимия. 1990. № 7. С. 948–953.
27. Реддер Э. Флюидные включения в минералах. Т. 1. М.: Мир, 1987. 560 с.
28. Сафина Н.П., Масленников В.В. Состав и продукты придонного преобразования обломочных сульфидных отложений в рудных залежах Яман-Касинского и Сафьяновского колчеданных месторождений (Урал) // Литосфера. 2007. № 2. С. 130–140.
29. Сафина Н.П., Масленников В.В. Рудокластиты колчеданных месторождений Яман-Касы и Сафьяновское (Урал). Миасс: УрО РАН, 2009. 260 с.
30. Симонов В.А. Петрогенезис офиолитов: Термобарогеохимические исследования. Новосибирск: СО РАН, 1993. 247 с.
40. Симонов В.А., Ковязин С.В., Тереня Е.О. и др. Физико-химические параметры магматических и гидротер-

- мальных процессов на колчеданном месторождении Яман-Касы, Южный Урал // Геология рудных месторождений. 2006. Т. 48, № 5. С. 423–439.
41. Сорока Е.И., Молошаг В.П., Леонова Л.В., Галеев А.А. Новые данные по гидротермально-измененным породам Сафьяновского колчеданного месторождения (Средний Урал) // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. естеств. науки, 2009. Т. 151, кн. 1. С. 235–246.
 42. Язева Р.Г., Молошаг В.П., Бочкарев В.В. Геология и рудные парагенезисы Сафьяновского колчеданного месторождения в среднеуральском ретрошарьяже // Геология рудных месторождений. 1991. Т. 33, № 4. С. 76–58.
 43. Язева Р.Г., Молошаг В.П., Бочкарев В.В. Геология Сафьяновского колчеданного месторождения (Средний Урал). Екатеринбург: УрО РАН, 1992. 72 с.
 44. Янакурт О.В. Предметаморфические изменения осадочных пород в стратифере. Процессы и факторы. М.: ГЕОС, 1999. 260 с.
 45. Binns R.A., Scott S.D. Actively forming polymetallic sulfide deposits associated with felsic volcanic rocks in the Eastern Manus back-arc basin, Papua New Guinea // Econ. Geol. 1993. V. 88, № 8. P. 2226–2236.
 46. Binns R.A., Whitford D.J. Volcanic rocks from the western Woodlark basin, Papua New Guinea // Pacific Rim Congress. Melbourne, 1987. V. 1. P. 525–531.
 47. Bodnar R.J., Vityk M.O. Interpretation of microthermometric data for H₂O-NaCl fluid inclusions // Fluid inclusions in minerals: methods and applications. Pontignana-Siena, 1994. P. 117–130.
 48. Goodfellow W.D., Franklin J.M. Geology, Mineralogy, and Chemistry of Sediment-Hosted Clastic Massive Sulfides in Shallow Cores, Middle Valley, Northern Juan de Fuca Ridge // Econ. Geol. 1993. V. 88. P. 2037–2068.
 49. Herzig P.M., Hannington M.D., Fouquet Y. et al. Gold-rich polymetallic sulfides from the Lau back arc and implications for the geochemistry of gold in see-floor hydrothermal system of the Southwest Pacific // Econ. Geol. 1993. V. 88, № 8. P. 2182–2209.
 50. Hein J.R., Zierenberg R.A., Maynard J.B., Hannington M.D. Barite-forming environments along a rifted continental margin, Southern California Borderland // Deep-Sea Research. 2007. V. II, № 54. P. 1327–1349.
 51. Lydon J.W., Goodfellow W.D., Gregoire D.C. Chemical composition vent and pore fluids in active hydrothermal discharge zone, Middle Valley // Minerals Colloquium: Ottawa, Canada Geological survey program with abstracts, 1992. 92 p.
 52. Paytan A., Mearon S., Cobb K., Kastner M. Origin of marine barite deposits: Sr and S isotope characterization // Geology. 2002. V. 30. P. 745–750.
 53. Spry P.G., Peter J.M., Slack, J.F. Meta-exhalites as exploration guides to ore // Metamorphosed and Metamorphogenic Ore Deposits. Reviews in Economic Geology. 2000. V. 11. Elsevier, Amsterdam. P. 163–201.
 54. Von Damm K.L., Edmond J.M., Grant B. et al. Chemistry of submarine hydrothermal solutions at 21°N, East Pacific Rise // Geochim. Cosmochim. Acta. 1985. V. 49. P. 2197–2220.
 55. Zierenberg R.A., Koski R.A., Morton J.L. et al. Genesis of Massive Sulfide Deposits on a Sediment-Covered Spreading Center, Escanaba Trough, Southern Gorda Ridge // Econ. Geol. 1993. V. 88. P. 2069–2098.

Рецензент В.П. Молошаг

Physic-chemical conditions of barite formation from the ore facies of the Saf'yanovka VHMS deposit, Middle Ural

N. P. Safina*, N. N. Ankusheva**, V. V. Murzin***

*Institute of Mineralogy, Urals Branch of RAS

**South-Urals State University

***Institute of Geology and Geochemistry, Urals Branch of RAS

The paper presents the results of study of barite from several ore facies: hydrothermal (seafloor crusts and plates) and clast (colluvial breccia and sulfide diagenites) from the Saf'yanovka VHMS deposit. Each of mentioned facies is differed in deposition process. The fluid regime of mineral formation was established. The temperature of formation increases in the following sequence: hydrothermal ores (barite-1, 165–180°C)–colluvial breccia (barite-2, 130–170°C)–sulfide diagenites (barite-3, 160–200°C and barite-4, 190–235°C). This sequence corresponds to the increasing in degree of their post sedimentary alteration. The fluid salinity is close to the seawater (3.5 wt. % NaCl-equiv.) with reasonable interval for natural hydrothermal fluids (1.5–7.4 wt. % NaCl-equiv.). The increase of salinity (barite-2) can be explained by the endogenic fluid participation. The fall of salinity (barite-3) are caused by the pore fluid participation during the catagenetic alteration of barite-sulfide sediment. The fluid regime of barite-1 formation in hydrothermal ores is characterized by maximal contents of reduced gases (CH₄, CO, CO₂ и N₂) than during the cementation of pyrite colluvial breccia (barite-2) and formation of newly sulfides with barite-3 and 4. The sulfur isotopic composition of barites have a narrowly ranges ($\delta^{34}\text{S}$ +24.6... +27.0‰) which is caused by the participation in mineral formation system of seawater sulfate, leached from host rocks, as well as a biogenic sulfur which is confirmed by the fauna replaced by sulfides, and pyrite framboids.

Key words: Urals, VHMS deposits, ore facies, barite, trace elements, fluid inclusions, volatiles, sulfur isotopy.