

ЖЕЛЕЗИСТО-КРЕМНИСТЫЕ ОБРАЗОВАНИЯ КАК ИНДИКАТОРЫ КОЛЧЕДАННОГО ОРУДЕНЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ БАБАРЫКИНСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ, ЮЖНЫЙ УРАЛ)

© 2011 г. Н. Р. Аюпова, Е. В. Белогуб, К. А. Новоселов

*Институт минералогии УрО РАН
Южно-Уральский государственный университет
456317, Челябинская область, г. Миасс
E-mail: aypova@mineralogy.ru*

Поступила в редакцию 02.06.2010 г.

Представлены данные о геологической позиции и вещественном составе железисто-кремнистых образований Бабарыкинского колчеданоносного поля, локализованного в Александринском рудном районе на Южном Урале. По минеральному составу и содержанию примесных компонентов диагностированы рудоконтролирующие (госсаниты) и безрудные (джаспериты) разновидности пород. Установлено, что в госсанитах сохраняются реликты хлоритизированного стекла и присутствуют сульфиды, представленные микроскопическими зональными кристаллами с реликтами обломочного пирита и псевдоморфозами гематит-кварцевого состава по рудокластам халькопирита. Карбонатная часть породы характеризуется биоморфными и обломковидными структурами и состоит из монгеймита. Охарактеризован состав акцессорных минералов, среди которых выявлены апатит, монацит, РЗЭ-содержащий эпидот, и лейкоксен. В джасперитах гематит-кварцевые обособления характеризуются брекчиевыми текстурами с неоднородным внутренним строением, сферолитовыми и кокардовыми микроструктурами с кристаллами игольчатого гематита и граната в существенно кварцевом цементе. Показано, что обнаруженные биоморфные структуры резко отличаются в рудоконтролирующих и безрудных разновидностях пород. Рассмотрено распределение примесных элементов в железисто-кремнистых отложениях. Полученные данные сопоставлены с подобными образованиями Александринского медно-цинково-колчеданного месторождения.

Ключевые слова: Урал, колчеданные месторождения, железисто-кремнистые отложения, рудоконтролирующие породы, акцессорные минералы, биоморфные структуры, элементы-примеси.

ВВЕДЕНИЕ

В Александринском рудном районе выявлено одно промышленное медно-цинково-колчеданное месторождение (Александринское), три крупных (Бабарыкинское, Сабановское, Каменный Плес) и множество мелких рудопроявлений. Бабарыкинское рудное поле расположено в западной части Александринского района и является вторым по значимости рудным объектом (рис. 1). Отсутствие рудных фаций, приближенных к зоне разгрузки гидротермального флюида, позволяет предполагать, что оконтуренная в настоящее время рудная залежь Бабарыкинского рудопроявления является лишь фрагментом, оторванным тектоническими процессами от основного рудного тела. Железисто-кремнистые породы (фации), широко представленные на этой площади так же, как и на других колчеданных месторождениях, могут быть использованы для поисков колчеданного оруденения. Учитывая продолжающиеся дискуссии о роли субмаринных гипергенных процессов в формировании околорудных железистых отложений на колчеданных месторождениях [6, 8–11, 17, 23–28, 33], цель настоящей работы – определение минералого-геохимических осо-

бенностей железисто-кремнистых образований Бабарыкинского рудного поля, сопоставление их с таковыми из Александринского месторождения и использование результатов исследований в качестве индикаторов колчеданного оруденения.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Фактическую основу работы составил керновый материал скважин, пробуренных на Бабарыкинском рудном поле, и образцы из элювиальных развалов. Основные аналитические исследования проводились в Институте минералогии УрО РАН. Микроскопические исследования выполнены с использованием микроскопа Olympus BX51. Химический состав минералов определялся на растровом электронном микроскопе РЭММА-202М (аналитик В.А. Котляров). Силикатный анализ породообразующих компонентов выполнен в Институте минералогии УрО РАН, аналитик М.Н. Маляренко. Содержание элементов-примесей в оксидно-железистых образованиях определено в Институте геологии и геохимии УрО РАН (г. Екатеринбург) методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС) на масс-спектрометре ELAN 9000 (анали-

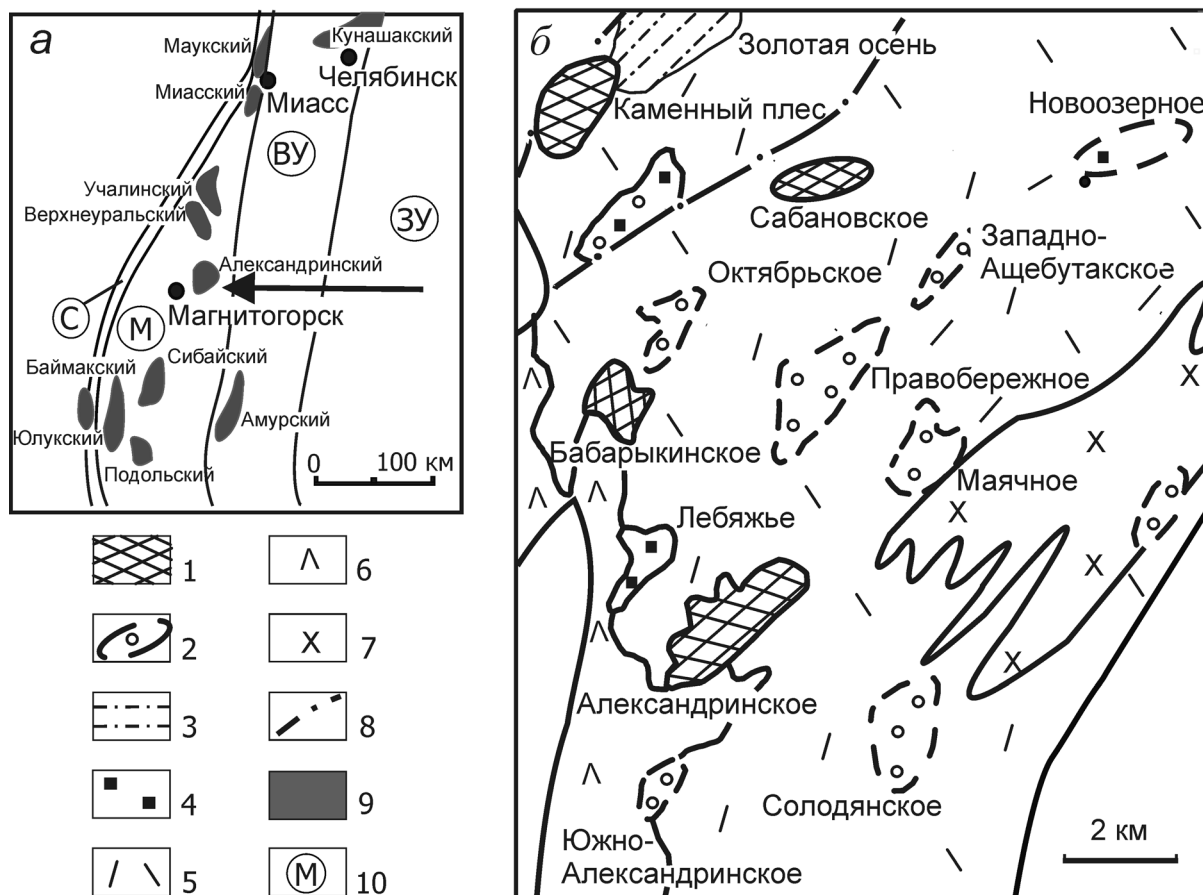


Рис. 1. Фрагмент карты-схемы размещения колчеданосных районов Южного Урала (а) [10] и колчеданных проявлений в Александринском рудном районе (б) [7].

1 – колчеданные месторождения и рудопроявления, 2 – железисто-кремнистые отложения, 3 – кремнистые пелитолиты с прослоями вулканомиктовых песчаников, 4 – обильная пиритовая вкрапленность, 5 – риолит-базальтовый карамалыташский комплекс, 6 – базальт-андезит-дацит-риолитовый улутауский комплекс, 7 – нерасчлененные гранитоидные и габброидные комплексы (PZ), 8 – разлом, 9 – колчеданосные районы; 10 – металлогенические зоны: С – Вознесенско-Присакмарская, М – Магнитогорская, ВУ – Восточно-Уральская, ЗУ – Зауральская.

тик Д.В. Киселева). ЛА-ИСП МС анализы выполнены в Центре по изучению генезиса рудных месторождений (CODES) Тасманийского университета (г. Хобарт, Австралия), аналитик С.П. Масленникова.

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ

На площади Александринского рудного района установлено три рудоносных уровня: нижний и средний – в александринской толще, состоящей из афировых базальтов, подушечных лав, лавокластитов, а также дацитов, риодацитов, и верхний – в низах урлядинской толщи, представленной, в основном, вулканогенно-осадочными породами андезит-базальтового состава и известковистыми вулканомиктовыми породами [7, 18]. Колчеданное оруденение Бабарыкинского рудного поля связано с кислыми вулканитами александринской толщи и их обломочными разностями. Структура рудопроявления

сильно осложнена тектоникой и имеющиеся на сегодня представления о строении позволяют рассматривать его как серию разобленных тектонических пластин.

На площади исследований выделено 5 рудных тел, которые группируются в субмеридиональную зону. Из выделенных тел только рудное тело № 1 представлено преимущественно сплошными колчеданными рудами (рис. 2), остальные – это вкрапленные разновидности или бурожелезняковые образования. Рудное тело № 1 имеет пластообразную форму с максимальной наблюдаемой мощностью 24 м. Руды залегают среди кварц-серицитовых пород, образованных по вулканогенно-обломочному субстрату. Падение рудного тела западное под углами 25–40°. Средние содержания в рудах составляют: меди – 2.15 %, цинка – 11.76 %, свинца – 1.93 %, важными компонентами руд являются барий (6.69 %), золото (0.88 г/т) и серебро (108.62 г/т) [13].

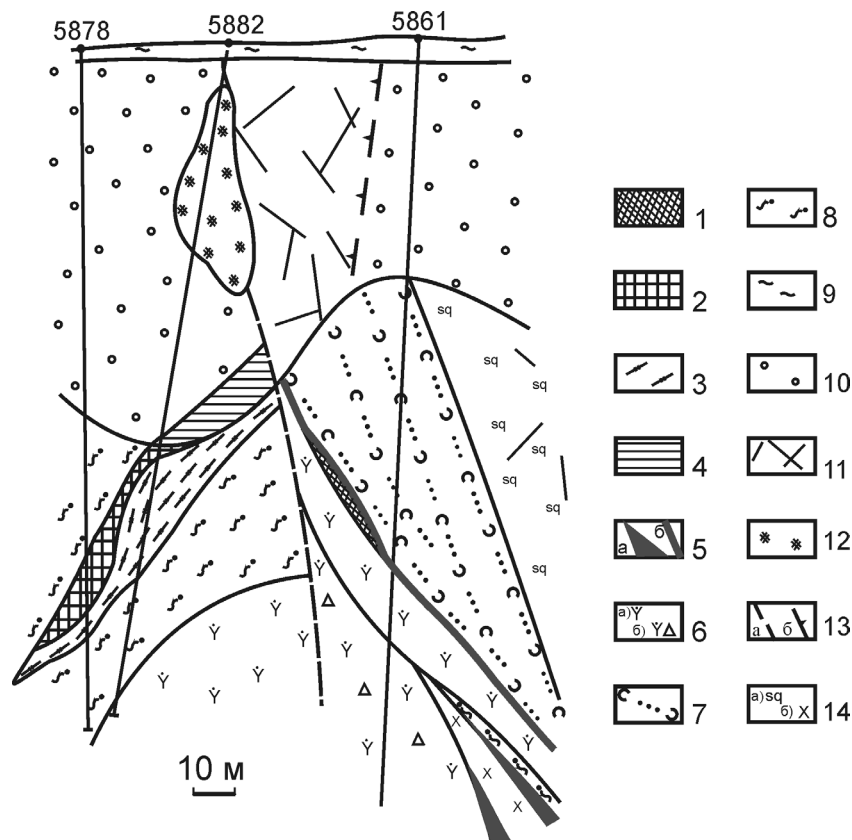


Рис. 2. Схематический геологический разрез Бабарыкинского рудопоя [13].

1 – кластогенные баритовые руды с сульфидным цементом, 2 – полосчатые полиметаллические руды с борнитовой минерализацией, 3 – полиметаллические руды, 4 – окисленные руды, 5 – гематит-кварцевые (а) и хлорит-гематит-кварцевые (б) породы, 6 – дациты (а) и их лавокластиты (б), 7 – известковистые вулканомиктовые породы основного состава, 8 – кварц-серицитовые сланцы, 9 – рыхлые отложения, 10 – элювий кварц-каолиновый и кварц-иллитовый по кислым вулканогенно-обломочным породам, 11 – глинисто-щебнистые породы по кислым вулканитам, 12 – бурые железняки и интенсивно лимонитизированные породы, 13 – разлом (а) и граница предполагаемой просадки (б), 14 – изменения пород: серицитизация и окварцевание (а) и хлоритизация (б). Линия разреза 5878–5882–5861 см. рис. 3.

Главными рудными минералами являются сфалерит и пирит; второстепенными – халькопирит, борнит, блеклая руда, галенит; аксессуарными и редкими – самородное золото, штрומейерит, маккинстриит, медистым кервеллеит, серебросодержащий халькозин, германит, колусит и недиагностируемые сульфосоли германия, аргиродит [3, 5, 13, 14, 31]. Как продукт гипергенеза в небольших количествах часто присутствуют халькозин и ковеллин.

По результатам картирования ареалы распространения железисто-кремнистых отложений установлены в восточном, северо-восточном и северо-западном участках рудопоя (рис. 3). С востока рудное тело № 1 ограничено пачкой известковистых вулканомиктовых пород, залегающих резко дискордантно по отношению к рудам. В основании вулканомиктовой пачки наблюдаются слои госсанитов, залегающих на кластогенных баритовых рудах с сульфидным цементом. На рис. 4 показан типичный латеральный ряд железисто-кремнистых фаций по мере удаления от рудного тела: обломоч-

ные барит-полиметаллические руды с прослоями госсанитов (скв. 5864) → гематитизированные сульфидно-карбонатно-гиалокластитовые турбидиты (скв. 6000, 5890) → дистальные госсаниты с реликтами гиалокластов (скв. 5862, 5893). В этом ряду отмечаются: увеличение мощности (от первых сантиметров до первых метров) гематит-кварцевых слоев, смена слоистых текстур струйчато-слоистыми или реликтовыми микробрекчиевыми и брекчиевыми, уменьшение количества сульфидных минералов вплоть до полного их исчезновения. Направление сноса рудного материала совпадает с направлением переноса вулканомиктовых турбидных потоков, что указывает на наличие первоначального палеосклона на этом участке рудного поля.

Другой разновидностью железисто-кремнистых образований являются сгустково-пятнистые и брекчиевые гематит-кварцевые породы типа джасперитов, залегающие в основании пачки известняков или в кровле вулканомиктовой толщи в северо-восточной (скв. 5895, 5891) и северо-западной

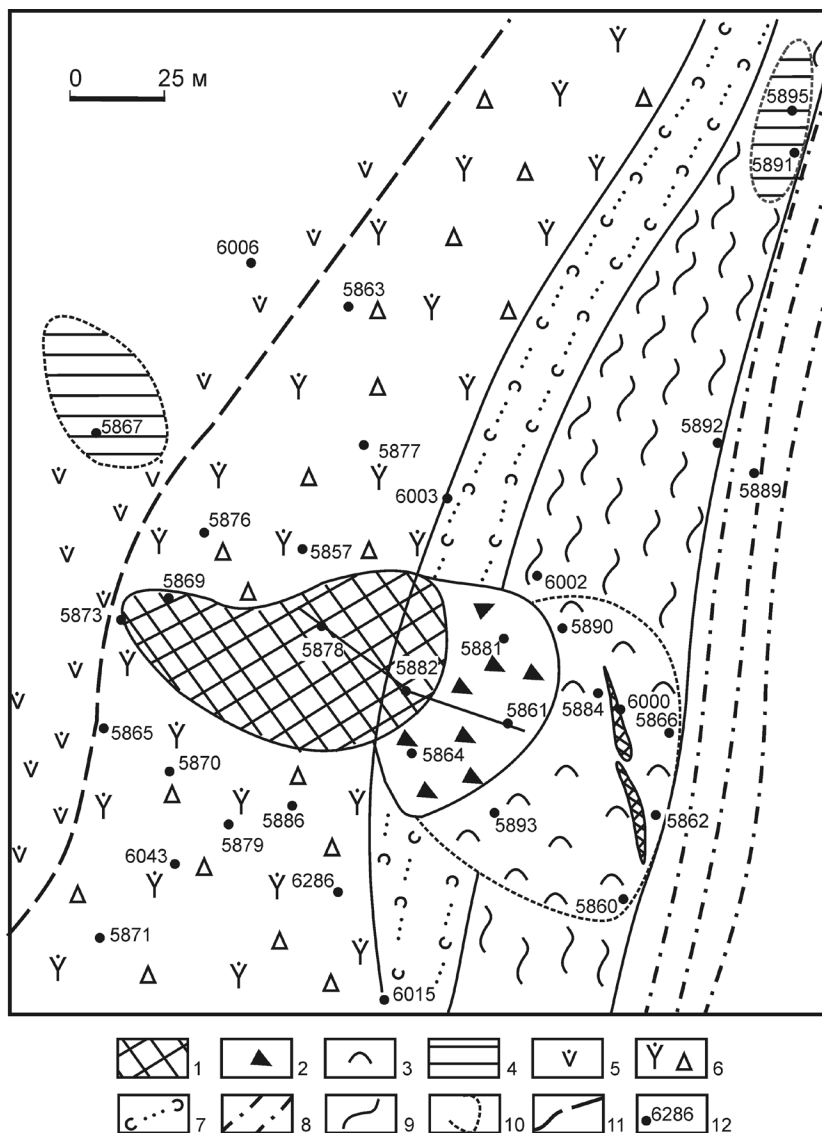


Рис. 3. План Бабарыкинского рудопрооявления с отображением проекции рудных тел и железисто-кремнистых образований на поверхности.

1 – сплошные руды, 2 – обломочные биритовые руды с сульфидным и кварц-хлоритовым цементом, 3 – слоистые железисто-кремнистые образования, 4 – однородные железисто-кремнистые образования, 5 – миндалекаменные базальты, 6 – кластолавы дацитового состава, 7 – вулканогенно-обломочные породы, 8 – кремнистые пелитолиты, 9 – тектоническая зона, 10 – предполагаемая граница распространения железисто-кремнистых образований, 11 – разлом, 12 – номера разведочных скважин. 5878–5882–5861 – линия разреза.

(скв. 5867) участках рудопрооявления. Большая часть оксидно-железистых образований из элювиальных развалов Бабарыкинского рудного поля тоже характеризуются подобными текстурно-структурными особенностями.

МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ ЖЕЛЕЗИСТО-КРЕМНИСТЫХ ОБРАЗОВАНИЙ

Основу минерального состава изученных железисто-кремнистых образований составляют *гематит* и *кварц*. Гематит в джасперитах встречается

в виде двух морфологических разновидностей: 1) тонкодисперсного, формирующего разнообразные микроглобулярные, колломорфные, каемчатые микротекстуры, и 2) тонкокристаллического, образующего сгустки пластинчатых кристаллов. Кварц представлен тонкокристаллическими агрегатами, пропитанными гематитом, халцедоноподобными образованиями сферолитового строения и более поздним кристаллическим кварцем в трещинах синерезиса и в виде каемок вокруг псевдоморфоз по гиалокластам. Тонкодисперсные срастания гематита и кварца образуют обособления с неоднород-

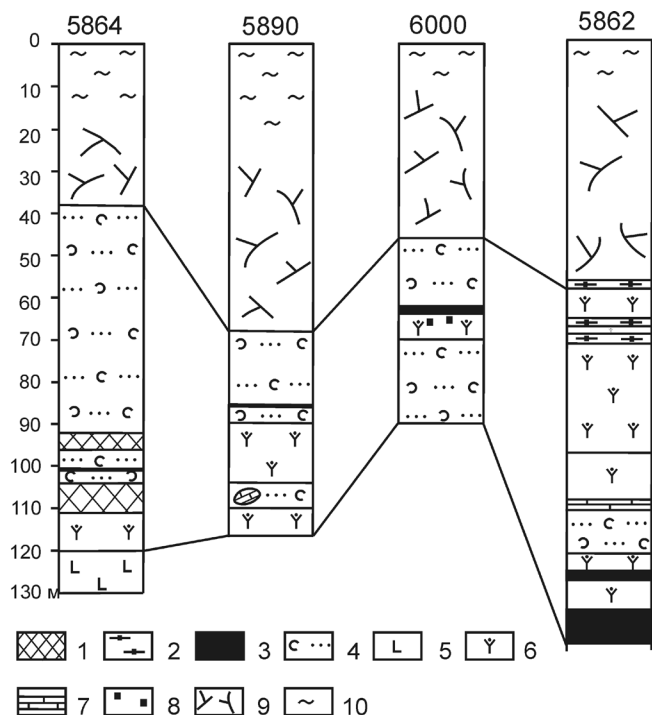


Рис. 4. Литологические колонки железисто-кремнистых горизонтов Бабыркинского рудного поля.

1 – кластогенные баритовые руды с сульфидным цементом; 2 – полосчатые полиметаллические руды; 3 – железисто-кремнистые породы; 4 – известковистые вулканомиктовые породы основного состава; 5 – базальты, их лаво- и гиалокластиты; 6 – дациты, их лаво- и гиалокластиты; 7 – известняки и их обломки; 8 – сульфидная минерализация; 9 – глинисто-щебнистые породы по кислым вулканитам; 10 – глинистая кора выветривания.

ной внутренней структурой (рис. 5а) или в них часто отмечаются многочисленные кварцевые сферолиты, состоящие из прозрачного кварцевого ядра и гематит-кварцевой наружной зоны (рис. 5б). Среди основной криптокристаллической массы рассеяны мелкие алевритовые осколки кварца, пропитанные густками гидроксидов железа.

В госсанитах, в отличие от джасперитов, отсутствуют глобулярные и коллоидные структуры гематит-кварцевого состава, присутствуют облаковидные густки гематита, замещающие гиалокласты или сульфидные минералы, а кварц участвует в строении гематит-хлоритовых агрегатов.

Железистый хлорит в госсанитах слагает несортированные угловатые, изометричные и удлиненные гиалокласты темно-зеленого (до черного) цвета, иногда с точечными включениями или густками лейкоксена (рис. 5в). По химическому составу хлорит относится к ряду клинохлор-шамозит. Достаточно высокое содержание алюминия в хлорите (табл. 1) типично для продуктов замещения гиалокластиков базальтового состава. Размер хлоритизи-

рованных гиалокластов варьирует от пылевидных до 1–2 мм. Нередко они теряют обломочную форму, сливаясь друг с другом, и образуют сплошную массу. Наблюдается замещение гиалокластов гематит-кварцевыми агрегатами. По мере изменения гиалокласты постепенно приобретают неравномерный красновато-оранжевый цвет. При этом оксиды железа обособляются в форме многочисленных сфероидальных комочков, а вокруг псевдоморфоз наблюдаются лейкоксеновые агрегаты. В джасперитах наблюдаются полные псевдоморфозы гематит-кварцевого состава по гиалокластам (рис. 5г).

Монгеймит встречается в госсанитах в виде концентрически зональных оолитоподобных агрегатов желто-коричневого цвета диаметром около 200 мкм (рис. 5д) или образует ксеноморфные выделения (рис. 5е). Центральная часть округлых образований представлена гематит-кварцевым материалом. Отличительной особенностью изученного монгеймита является высокое содержание марганца (табл. 2). По современной минералогической номенклатуре минерал может быть отнесен к промежуточному члену изоморфного ряда смитсонит-сидерит. В джасперитах из карбонатных минералов установлен кальцит, представленный округлыми или изометричными выделениями.

Гранат был установлен в джасперитах в тесной ассоциации с пластинчатыми кристаллами гематита (рис. 5ж, з). Он представлен мельчайшими (5–10 мкм в поперечнике) неправильными по конфигурации индивидами и образует криптокристаллические агрегаты комковатой или глобулярной структуры. Иногда зерна граната равномерно рассеяны в породе или собраны в короткие цепочки и линзы, что придает породе параллельно-слоистую микротекстуру.

По составу гранат соответствует низкоглиноземистому *андрадиту* (табл. 3), сходному с андрадитом, установленным в железисто-кремнистых образованиях многих марганцевых месторождений Южного Урала [6].

Электронно-микроскопическое изучение госсанитов (скв. 5890, 6000) позволило установить в их составе субмикронные зерна *апатита* (рис. 6а) и единичные зерна *монацита* (рис. 6б). Впервые в составе железисто-кремнистых образований обнаружен *эпидот*, *значительно обогащенный РЗЭ*, в основном – церием (рис. 6в, табл. 4), представленный изометричными зернами с размытыми ограничениями среди гематит-хлоритовой основной массы. Размытые ограничения имеют апатит и монацит. Из аксессуарных минералов также обнаружены многочисленные лейкоксеновые агрегаты (рис. 6г), ассоциирующие с остаточной гиалокластикой. В джасперитах эти минералы отсутствуют.

Из сульфидных минералов в хлорит-гематит-кварцевых госсанитах (скв. 5864, 6000) обнаружены зональные эвгедральные кристаллы *пирита*

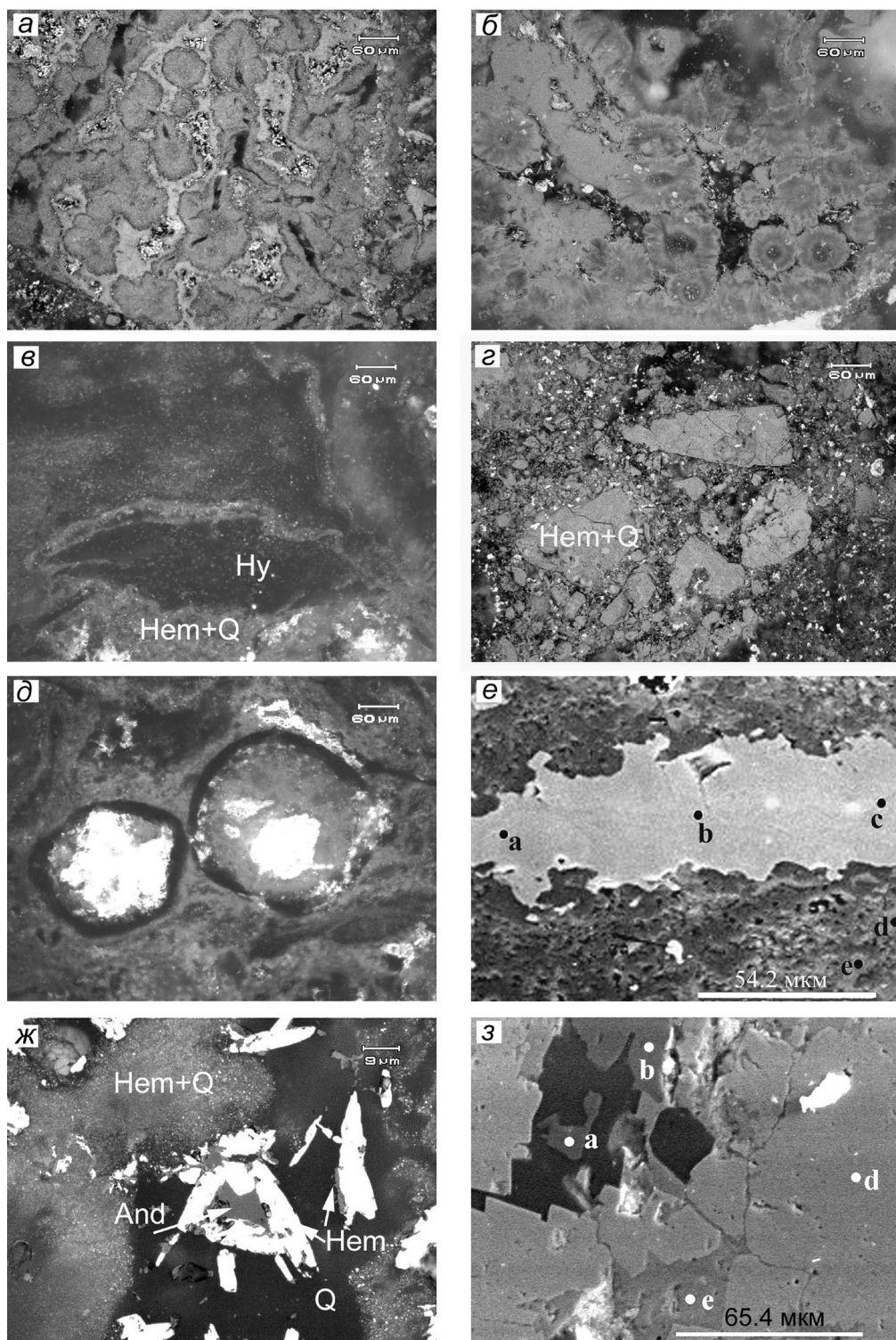


Рис. 5. Состав железисто-кремнистых образований Бабарькинского рудного поля.

а – неоднородное внутреннее строение гематит-кварцевого обломка, вызванное неравномерным распределением железа и кремнезема, обр. 5862; б – сферолиты с кварцевым ядром и наружной гематит-кварцевой оторочкой, обр. 5891; в – замещение гиалокласта (Hy) гематит-кварцевыми агрегатами (Hem+Q), обр. 5890; г – гематит-кварцевые псевдоморфозы (Hem+Q) по гиалокластам, обр. 6000; д – округлые образования монгеймита, обр. 6000; е – ксеноморфное выделение монгеймита (а, б, с – точки анализов, см. табл. 2), обр. 5890; ж – ассоциация гематит-кварцевых обособлений (Hem+Q), кристаллов игольчатого гематита (Hem) и андрадита (And), обр. A51/8, з – фрагмент псевдоморфозы окси-гидроксидов железа (е, д) по рудокласту, в кварцевом цементе (черное) – выделения андрадита (а, б), обр. 5891. а–е, ж – отраженный свет, темнопольное изображение; е, ж – СЭМ-фото.

Таблица 1. Химический состав (мас. %) железистого хлорита (скв. 5890 и 6000)

Точки анализов	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO*	MgO	MnO	CaO	Кристаллохимическая формула
15451d	26.41	19.66	27.89	14.42	1.39	—	(Fe _{2.44} Mg _{2.25} Al _{1.19} Mn _{0.12}) ₆ (Si _{2.76} Al _{0.24} O ₁₀)(OH) ₈
15451e	26.54	19.65	29.39	11.36	1.24	—	(Fe _{2.66} Mg _{1.84} Al _{1.39} Mn _{0.11}) ₆ (Si _{2.88} Al _{1.12} O ₁₀)(OH) ₈
15451f	29.66	19.60	26.99	11.93	0.97	—	(Fe _{2.40} Mg _{1.89} Al _{1.62} Mn _{0.09}) ₆ (Si _{3.16} Al _{0.84} O ₁₀)(OH) ₈
15452d	32.54	19.61	24.94	11.80	0.19	1.24	(Fe _{2.18} Mg _{1.84} Al _{1.82} Ca _{0.14} Mn _{0.02}) ₆ (Si _{3.40} Al _{0.60} O ₁₀)(OH) ₈
15453b	26.20	21.21	30.68	11.25	1.48	—	(Fe _{2.70} Mg _{1.77} Al _{1.40} Mn _{0.13}) ₆ (Si _{2.76} Al _{1.24} O ₁₀)(OH) ₈
15453c	25.94	20.85	29.18	11.91	1.48	—	(Fe _{2.60} Mg _{1.89} Al _{1.38} Mn _{0.13}) ₆ (Si _{2.76} Al _{1.24} O ₁₀)(OH) ₈
15455c	25.53	19.90	32.10	10.96	1.33	—	(Fe _{2.88} Mg _{1.75} Al _{1.25} Mn _{0.12}) ₆ (Si _{2.74} Al _{1.26} O ₁₀)(OH) ₈

Примечание. Анализы выполнены на СЭМ РЭММА-202М с ЭДП (Институт минералогии УрО РАН, аналитик В.А. Котляров). FeO* = Fe₂O₃ + FeO. Формулы рассчитаны на 10 катионов, все железо принято как двухвалентное.

Таблица 2. Химический состав (мас. %) марганцовистого монгеймита

Точки анализов	FeO*	MnO	ZnO	CaO	Кристаллохимическая формула
15451a	17.53	12.00	32.05	0.57	(Zn _{0.48} Fe _{0.30} Mn _{0.21} Ca _{0.01})(CO ₃)
15451b	23.46	11.58	26.08	1.17	(Zn _{0.39} Fe _{0.39} Mn _{0.20} Ca _{0.02})(CO ₃)
15451c	22.32	11.44	26.87	1.24	(Zn _{0.40} Fe _{0.38} Mn _{0.20} Ca _{0.02})(CO ₃)
15452a	23.83	12.53	23.58	1.85	(Zn _{0.35} Fe _{0.40} Mn _{0.21} Ca _{0.04})(CO ₃)
15452b	22.31	13.00	24.85	1.90	(Zn _{0.37} Fe _{0.37} Mn _{0.22} Ca _{0.04})(CO ₃)
15453	23.48	12.98	24.04	2.14	(Zn _{0.35} Fe _{0.39} Mn _{0.22} Ca _{0.04})(CO ₃)

Примечание. Анализы выполнены на СЭМ РЭММА-202М с ЭДП (Институт минералогии УрО РАН, аналитик В.А. Котляров). Формула рассчитана по сумме катионов, равной 1. FeO* – все железо принято как двухвалентное. Образцы скв. 5890 (№№ 15451, 15453), 6000 (№ 15452).

Таблица 3. Химический состав (мас. %) граната

№ п/п	SiO ₂	CaO	FeO*	Al ₂ O ₃	MnO	Кристаллохимическая формула
1	37.88	34.38	22.94	4.45	0.19	(Ca _{2.97} Mn _{0.01} Fe _{0.02}) _{3.00} (Fe _{1.54} Al _{0.42}) _{1.98} (Si _{3.05} O _{4.00}) _{3.00}
2	36.49	34.64	27.10	1.36	0.00	Ca _{3.03} (Fe _{1.85} Al _{0.13}) _{1.98} (Si _{2.98} O _{4.00}) _{3.00}
3	36.98	34.69	27.19	0.94	0.14	(Ca _{3.03} Mn _{0.01}) _{3.04} (Fe _{1.85} Al _{0.09}) _{1.94} (Si _{3.02} O _{4.00}) _{3.00}
4	34.87	33.69	27.32	3.67	0.26	(Ca _{2.94} Fe _{0.05} Mn _{0.01}) _{3.01} (Fe _{1.81} Al _{0.19}) _{2.00} (Si _{2.84} Al _{0.16} O _{4.00}) _{3.00}
5	37.59	34.20	25.79	1.97	0.31	(Ca _{2.98} Mn _{0.02}) _{3.00} (Fe _{1.75} Al _{0.19}) _{1.94} (Si _{3.06} O _{4.00}) _{3.00}
6	37.52	33.91	24.86	3.16	0.45	(Ca _{2.94} Mn _{0.03} Fe _{0.03}) _{3.00} (Fe _{1.66} Al _{0.30}) _{1.96} (Si _{3.04} O _{4.00}) _{3.00}
7	37.45	34.92	25.04	1.98	0.51	(Ca _{3.04} Mn _{0.04}) _{3.08} (Fe _{1.70} Al _{0.19}) _{1.89} (Si _{3.04} O _{4.00}) _{3.00}
8	37.03	34.41	24.58	3.26	0.35	(Ca _{2.99} Mn _{0.02}) _{3.01} (Fe _{1.67} Al _{0.31}) _{1.98} (Si _{3.01} O _{4.00}) _{3.00}
9	37.04	34.44	25.61	2.18	0.11	(Ca _{3.01} Mn _{0.01}) _{3.02} (Fe _{1.75} Al _{0.21}) _{1.96} (Si _{3.02} O _{4.00}) _{3.00}

Примечание. Анализы выполнены на СЭМ РЭММА-202М с ЭДП (Институт минералогии УрО РАН, аналитик В.А. Котляров). Формулы рассчитаны на 8 катионов. FeO* – суммарное железо. Fe³⁺ в формулах – расчетное по недостатку катионов в позиции R³⁺.

Таблица 4. Химический состав (мас. %) эпидота из гематит-кварцевых пород, скв. 5890

Точка анализа	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO*	CaO	MgO	MnO	La ₂ O ₃	Ce ₂ O ₃	Nd ₂ O ₃
15455a	33.45	23.23	11.44	15.56	1.44	1.19	2.62	6.54	2.43
15455b*	40.56	18.71	10.42	11.43	0.68	0.95	2.45	6.38	2.46
15455c	31.55	21.24	11.56	12.37	1.01	1.17	3.94	10.15	3.27
Кристаллохимические формулы									
15455a	(Ca _{1.41} Ce _{0.20} Mg _{0.18} Mn _{0.09} La _{0.08} Nd _{0.07}) _{2.03} (Al _{2.15} Fe _{0.81}) _{2.96} (Si _{2.83} Al _{0.17}) _{3.00} O _{4.00}) _{3.00}								
15455c	(Ca _{1.20} Ce _{0.34} Mg _{0.14} La _{0.13} Nd _{0.11} Mn _{0.09}) _{2.01} (Al _{2.13} Fe _{0.87}) _{3.00} (Si _{2.86} Al _{0.14}) _{3.00} O _{4.00}) _{3.00}								

Примечание. Анализы выполнены на СЭМ РЭММА-202М с ЭДП (Институт минералогии УрО РАН, аналитик В.А. Котляров). FeO* = Fe₂O₃ + FeO. Формулы рассчитаны на 8 катионов, железо принято как Fe³⁺. 15455* – зерно содержит вроски кварца, формула не рассчитывалась.

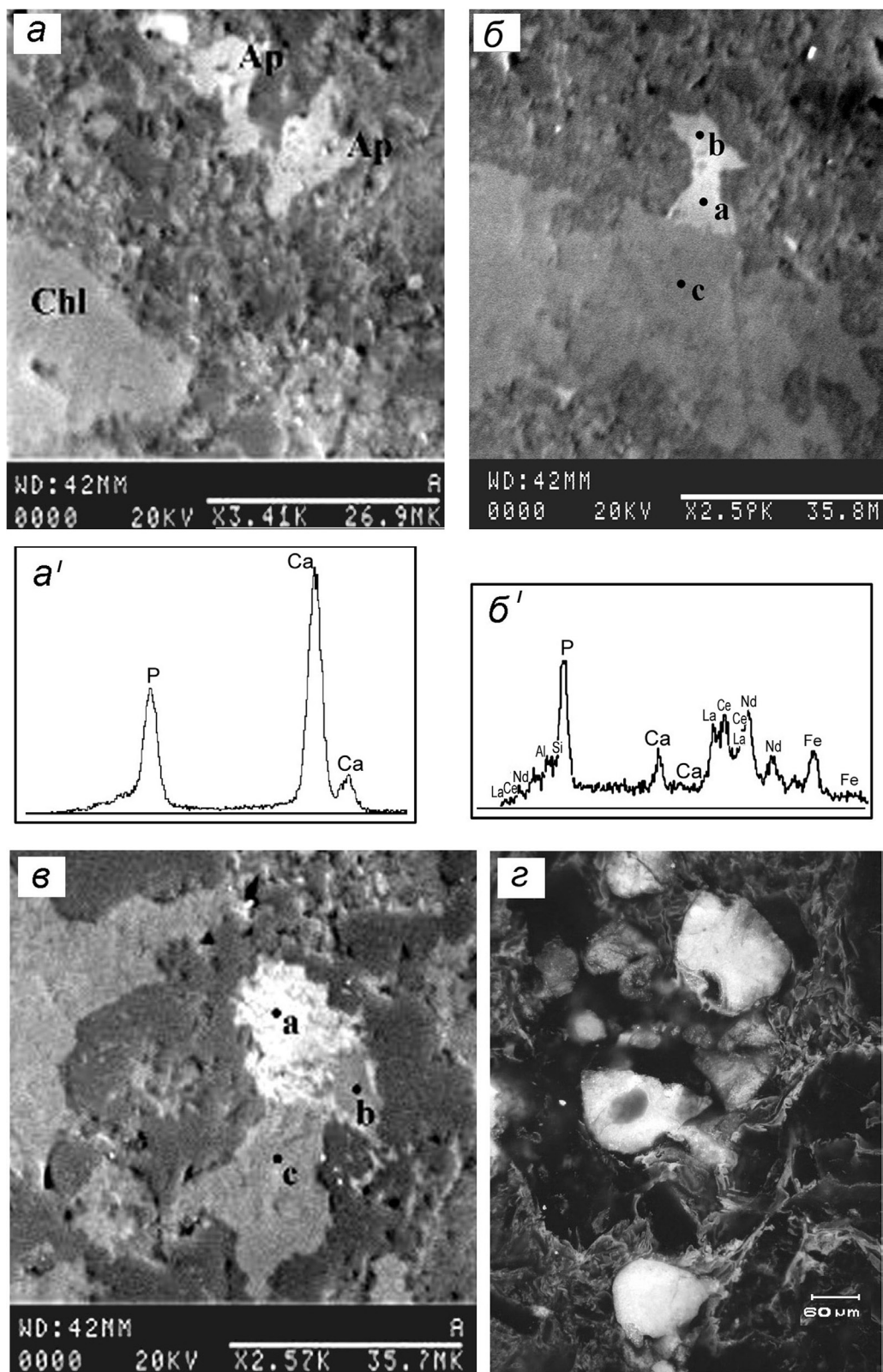


Рис. 6. Акцессорные минералы железисто-кремнистых образований Бабарыкинского рудного поля.

а – изометричные выделения апатита (а' – энергодисперсионный спектр апатита); б – монацит с размытыми ограничениями (б' – энергодисперсионный спектр монацита); в – эпидот, содержащий РЗЭ (а, б, с – точки анализов, см. табл. 3); г – лейкоксоновые агрегаты в ассоциации с хлоритизированной гиалокластикой. а–в – СЭМ-фото, г – отраженный свет (темнопольное изображение). Скв. 6000 и 5890.

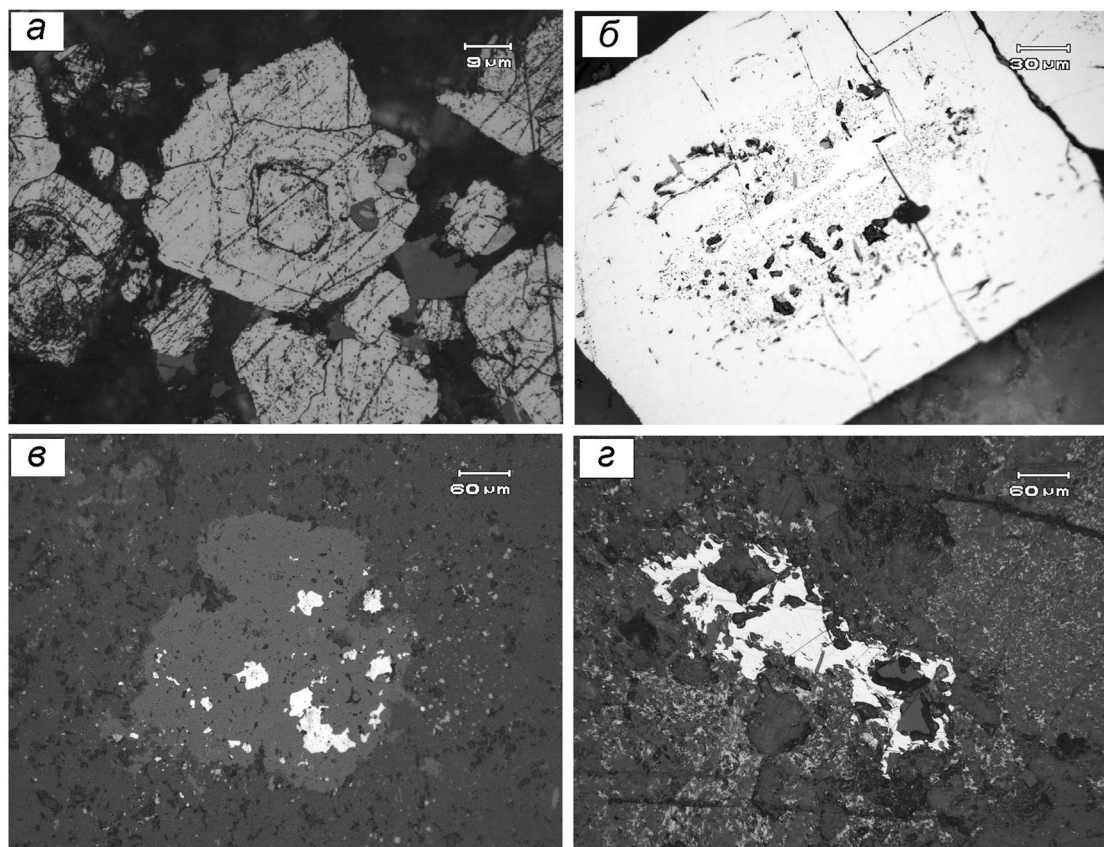


Рис. 7. Сульфидные минералы в госсанитах Бабарыкинского рудного поля.

Зональные пиритовые агрегаты, протравленные концентрированной HCl, (а); кристалл пирита с пористым ядром и плотной каймой позднего пирита (б); реликт обломочного халькопирита (в); ксеноморфный халькопирит в гематит-кварцевой основной массе (г).

(рис. 7а, б), реликты *халькопирита* в псевдоморфозах по рудокластам (рис. 7в) и его многочисленные субмикронные ксеноморфные выделения (рис. 7г) в ассоциации с гематитом в основной гематит-кварцевой массе (скв. 5890). Для угловатых зерен пирита (Py-1) и его фрагментированных обломков характерно неоднородное строение: в ядре каждого кристалла пирита содержится пористая затравка первичного дисульфида железа, иногда с включениями пирротина и халькопирита, а по краям отмечаются зоны роста или гематитовая кайма. Отдельные кристаллы характеризуются отчетливыми зонами роста. Такое строение пирита весьма характерно для сульфидных песчаников, являющихся результатом разрушения сульфидных холмов [15]. В отличие от рудокластического пирита новообразованные пиритовые обособления (Py-2) незональны и имеют четкие кристаллические очертания в нерудной матрице. Форма выделений халькопирита разнообразна: преимущественно он псевдоморфно замещает пирит. Рудокласты халькопиритового состава подвержены интенсивному замещению гематит-кварцевым материалом. В ксеноморфных обособлениях халькопирита можно заметить сохранив-

шиеся кристаллические очертания. Важным признаком диагенетических изменений халькопирита являются их коррозионные ограничения.

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЖЕЛЕЗИСТО-КРЕМНИСТЫХ ОБРАЗОВАНИЙ

Содержания основных породообразующих компонентов, в гематит-кварцевых породах Бабарыкинского колчеданового поля изменяются незначительно (табл. 5). Большинство из них являются высококремнистыми и характеризуются крайне низкими концентрациями MnO, Al₂O₃, TiO₂, K₂O, Na₂O, MgO и CaO, варьирующими в зависимости от количества реликтового гиалокластического и карбонатного материала. Лишь в некоторых случаях содержание Fe₂O₃ превышает 20 мас. %. В некоторых анализах обнаруживаются повышенные содержания P₂O₅ (до 1.48 мас. %), связанные с присутствием апатита. Следует отметить, что по химическому составу пород в большинстве случаев не представляется возможным четкое разграничение госсанитов и джасперитов.

Для госсанитов Бабарыкинского рудопроявления (скв. 6000 и 5890) характерны относительно

Таблица 5. Компоненты железисто-кремнистых отложений Бабарыкинского колчеданового поля

№ проб	6000-62.5	5890	5862-134.5	5862-139	Баб 1	5891	5895	Al2-2	Al2-1	6025	9084
SiO ₂	47.91	63.96	78.84	77.11	76.98	89.26	88.94	34.06	53.37	64.27	83.49
TiO ₂	0.26	0.29	0.05	0.09	0.05	0.05	0.05	0.44	0.26	0.32	0.05
Al ₂ O ₃	6.26	4.04	0.54	2.18	0.15	0.28	0.32	11.35	6.81	11.67	0.63
Fe ₂ O ₃	26.17	19.19	17.69	16.86	21.28	8.26	7.81	24.83	23.71	7.30	15.05
FeO	6.46	2.66	1.27	0.93	0.22	1.22	1.34	14.72	4.70	5.03	0.23
MnO	0.29	0.39	0.15	0.07	0.07	0.09	0.02	0.47	0.27	0.16	0.02
MgO	4.77	2.63	0.26	0.11	0.10	0.06	0.23	4.72	3.15	2.94	0.05
CaO	3.84	2.32	0.34	0.33	0.38	0.12	0.82	1.54	1.93	1.63	0.28
Na ₂ O	0.20	0.05	0.10	0.20	0.13	0.04	0.12	0.10	0.47	0.10	0.25
K ₂ O	0.35	0.19	0.10	0.10	0.04	0.02	0.03	0.10	0.20	0.91	0.05
P ₂ O ₅	1.48	0.08	0.10	0.04	0.41	0.07	0.05	0.42	0.35	0.14	0.05
Cu	410.59	106.21	88.35	54.62	41.12	21.95	6.68	400.51	2181.85	267.44	11.67
Zn	955.64	342.54	234.81	744.01	73.88	124.14	57.69	2040.21	526.91	265.35	19.45
Pb	50.92	43.89	33.26	5.49	15.11	12.23	16.54	64.00	420.33	52.39	10.36
Cr	22.65	17.76	3.49	35.96	35.65	13.15	10.13	18.09	31.84	26.97	15.68
Co	22.05	14.06	9.43	1.82	9.47	10.94	4.38	0.15	5.89	4.62	8.87
Ni	313.17	185.88	108.50	39.36	12.54	5.21	14.20	6.58	9.00	34.23	13.90
Cd	0.80	0.33	0.47	0.19	0.05	0.07	0.06	1.28	0.24	0.53	0.08
As	3.58	60.44	39.67	18.51	4.03	0.84	0.75	104.53	120.90	80.77	0.97
Te	1.40	0.33	0.51	0.13	0.03	0.03	0.05	4.28	29.95	2.37	0.05
Bi	0.36	0.12	0.24	0.12	0.01	0.06	0.03	8.13	65.16	1.34	0.04
Ga	30.47	14.52	5.31	1.15	0.26	0.53	1.13	6.69	12.61	13.27	0.88
Ge	0.47	0.18	0.11	0.13	0.05	0.03	0.06	1.84	0.09	0.23	0.09
Se	1.43	0.52	0.57	0.10	0.03	0.04	0.57	1.85	5.76	0.72	0.86
Sn	2.88	1.32	0.38	n/o	0.03	1.13	0.24	0.29	1.88	12.65	0.01
Sb	15.10	6.54	1.33	1.05	0.94	0.80	2.85	7.42	6.03	7.09	0.99
Tl	0.08	0.06	0.10	0.03	0.01	0.06	0.07	0.09	8.14	0.69	0.01
Sc	11.55	9.45	4.46	2.44	0.27	1.53	1.34	8.65	6.20	7.71	0.18
V	68.70	57.52	19.09	8.50	1.52	12.41	14.58	103.94	65.20	58.53	9.41
Mn	9848.25	1238.12	5484.53	333.69	78.24	124.96	132.27	7386.91	271.27	934.01	183.69
Th	3.57	0.01	1.69	0.16	0.64	0.06	0.01	0.25	1.40	3.02	0.41
U	1.75	1.47	0.34	0.85	0.21	0.11	0.21	3.01	2.02	0.78	0.17
Rb	0.56	3.03	2.31	2.52	0.66	0.43	0.07	0.17	30.98	22.76	0.55
Sr	11.20	8.29	129.97	7.20	11.19	4.34	11.06	542.54	41.70	33.24	8.47
Y	13.50	9.95	27.89	3.59	5.33	2.70	1.13	62.22	14.72	25.33	2.98
Ba	386.09	1710.44	1955.32	122.08	25.16	39.94	22.29	13218.6	1535.17	428.70	28.58
Zr	54.37	4.41	4.28	3.12	5.16	3.24	0.43	134.30	74.21	72.89	3.04
Nb	14.79	1.03	0.52	0.17	0.01	0.01	0.01	1.39	1.56	6.07	0.01
Hf	1.56	0.11	0.14	0.08	0.04	0.07	0.01	1.38	1.69	1.39	0.09
Ta	0.30	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.09	0.16	1.22	0.01
Mo	0.47	7.41	0.32	1.15	1.63	1.30	0.62	3.30	19.11	1.18	2.82
Cs	0.08	0.12	0.67	0.18	0.04	0.02	0.01	0.07	3.07	1.87	0.05
W	5.38	4.01	0.42	2.34	2.21	0.77	0.34	28.17	4.72	5.12	1.82
La	20.07	13.32	31.11	1.33	1.64	0.55	0.34	16.83	3.38	35.54	5.56
Ce	36.69	30.82	64.55	3.03	0.74	0.59	0.78	51.63	9.58	82.35	7.99
Pr	3.17	4.08	7.20	0.36	2.61	0.18	0.10	7.66	1.65	12.02	1.16
Nd	11.79	18.16	30.38	1.62	1.16	0.84	0.51	39.80	9.14	49.45	4.34
Sm	2.45	4.19	6.24	0.57	0.33	0.25	0.13	12.99	3.13	10.12	0.75
Eu	0.54	1.11	1.87	0.20	0.11	0.07	0.04	5.70	0.96	2.30	0.16
Gd	2.71	4.34	6.98	0.74	0.36	0.26	0.16	15.78	3.60	8.21	0.54
Tb	0.43	0.64	0.91	0.13	0.05	0.05	0.02	2.18	0.52	0.97	0.07
Dy	2.99	4.14	5.58	0.85	0.39	0.38	0.16	12.86	3.13	5.56	0.39
Ho	0.70	0.86	1.10	0.18	0.08	0.08	0.03	2.51	0.62	1.06	0.08
Er	2.30	2.63	2.88	0.54	0.22	0.24	0.09	6.73	1.80	2.79	0.23
Tm	0.37	0.38	0.39	0.10	0.03	0.04	0.01	0.86	0.27	0.38	0.03
Yb	2.53	2.73	2.58	0.83	0.21	0.36	0.09	5.10	1.86	2.34	0.14
Lu	0.42	0.43	0.39	0.13	0.03	0.05	0.01	0.77	0.29	0.34	0.02

Примечание. 1–7 – Бабарыкинское рудопроявление: 1–2 – хлорит-гематит-кварцевые госсаниты, 3–4 – гематит-кварцевый госсанит, 5–7 – джаспериты; 8–10 – Александринское месторождение: 8–9 – госсаниты с реликтовыми рудокластами барит-халькопирит-пиритового состава; 10 – госсанит с реликтами гиалокластиков; Фестивальный участок: 11 – джасперит. Силикатный анализ породообразующих компонентов выполнен в Институте минералогии УрО РАН, аналитик М.Н. Маляренко. Элементы-примеси определены в Институте геологии и геохимии УрО РАН (г. Екатеринбург) на масс-спектрометре ELAN 9000, аналитик Д.В. Киселева. Окислы – мас. %, элементы – г/г.

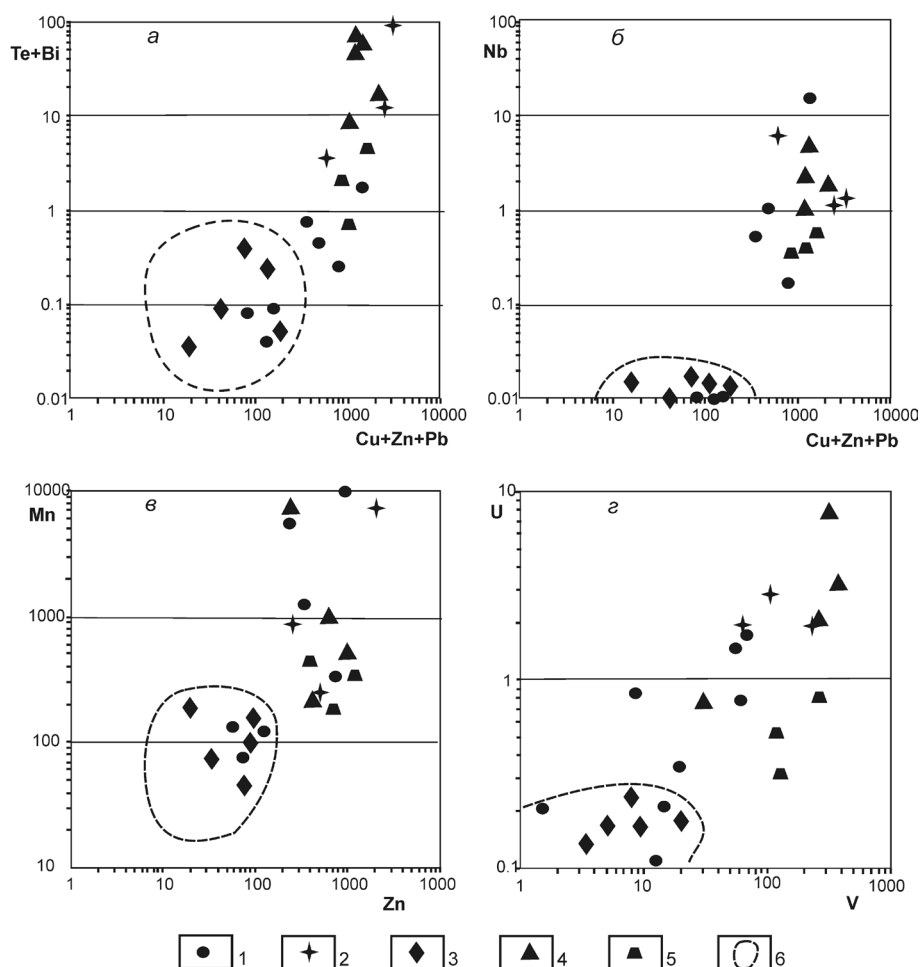


Рис. 8. Диаграммы зависимостей элементов-примесей в железисто-кремнистых образованиях.

1 – железисто-кремнистые породы Бабарыкинского рудного поля, 2 – госсаниты Александринского месторождения, 3 – джаспериты Александринского рудного района, 4 – госсаниты Молодежного месторождения, 5 – госсаниты Чебачьего месторождения, 6 – поля джасперитов из колчеданосных районов Южного Урала.

высокие содержания компонентов, обычные для сульфидных руд и госсанитов – Cu, Zn, Ba, Te, Bi, Au, Ag, As, Sb (рис. 8а). В то же время, наблюдается обогащение этих проб Nb, Cd, Zr, Ga, U, Th, V, Rb (рис. 8б). Отличительной особенностью от госсанитов других колчеданных месторождений являются ураганные содержания Zn и Mn, образующие прямую корреляционную зависимость (рис. 8в) и повышенные содержания W и Ge (см. табл. 5). Литофильные компоненты в госсанитах обнаруживают высокие корреляционные зависимости (рис. 8г). Такими же особенностями распределения элементов-примесей характеризуются некоторые слои гематит-кварцевых пород скв. 5862, которые по текстурно-структурным признакам и минеральным ассоциациям занимают промежуточное положение между госсанитами и джасперитами. Для джасперитов отмечаются крайне низкие содержания элементов-примесей.

Результаты ИСП-МС анализов железисто-

кремнистых образований Бабарыкинского колчеданосного поля показывают широкие вариации в содержаниях РЗЭ (см. табл. 5). В спектре распределения РЗЭ во всех случаях отмечаются преобладание легких РЗЭ над тяжелыми, отрицательная Eu и положительная Ce аномалии (рис. 9). В карбонатсодержащих разностях намечается тенденция возрастания содержания тяжелых РЗЭ. Джаспериты во всех случаях характеризуются на порядок более низкими значениями РЗЭ и слабо выраженными аномалиями Ce и Eu.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

В Александринском рудном районе продукты окисления сульфидных руд – госсаниты были установлены на одноименном месторождении [10, 18]. В карьере Александринского месторождения автохтонные баритсодержащие госсаниты картировались на восточном и западном флангах пер-

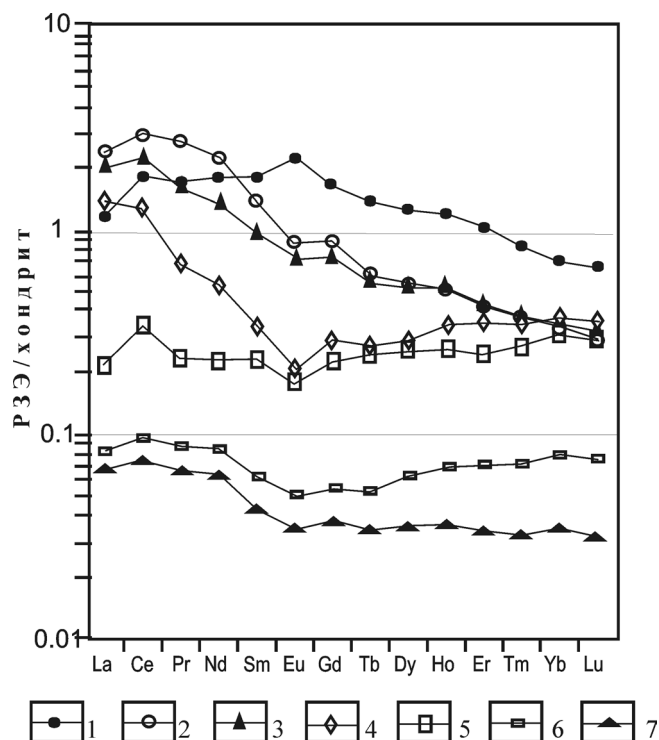


Рис. 9. Спектры распределения РЗЭ в железисто-кремнистых образованиях (нормализованные на хондрит по [21]).

Александринское месторождение: 1 – хлорит-гематит-кварцевый госсанит с реликтовыми рудокластами, обр. А1-2; 2 – гематит-кварцевый госсанит с реликтами гиалокластиков, скв. 6025. Бабарыкинское рудопроявление: 3 – госсанит с реликтами гиалокластиков, скв. 6000; 4–5 – неяснослоистые гематит-кварцевые госсаниты с реликтами гиалокластиков, скв. 5862; 6–7 – однородные гематит-кварцевые джаспериты, 5891, 5893.

вого рудного тела. Эти породы занимали закономерное положение между сульфидными, барит-полиметаллическими рудами и базальтами. На восточной выклинке рудного тела были зафиксированы субмаринно окисленные сульфидные руды с прослоями тефроидов и последующее перекрытие их новой порцией рудокластического материала [13]. Макроскопически госсаниты представляют собой вишнево-красные породы, чаще всего слоистой текстуры. Микроскопически в госсанитах широко распространены обломочные структуры и структуры замещения сульфидов гематитовым агрегатом, присутствуют барит, хлорит, кальцит, доломит, сидерит, из аксессуарных – лейкоксен, апатит.

Аллохтонные госсаниты, переходящие в гематитсодержащие пелитолиты, на Александринском месторождении картируются в скважинах в виде широкого ореола на выклинках рудоносного горизонта (скв. 6025), в пределах рудовмещающего грабена [18]. Иногда в них также наблюдаются многочисленные реликты барита и сульфидов.

В целом, госсаниты Александринского месторождения характеризуются высокими, но в то же время широкими вариациями содержаний породообразующих компонентов и цветных металлов так же, как и на других колчеданных месторождениях Урала [2]. Однозначно в них выявляются повышенные количества **Cu, Zn, Te, Bi, Sb, W, Mo, Ba**, наследуемые от сульфидных руд, а также **Mn, V, Sr, U, Th, Zr, Nb** (рис. 8). В дистальных аллохтонных госсанитах количество не только рудных компонентов, но и элементов-гидролизатов значительно ниже, однако общий тренд обогащенности этими элементами сохраняется.

Типичные оранжево-красные отложения – джаспериты образуют широкий ореол развития элювиальных образований по всей площади Александринского района. Джаспериты встречаются также на флангах и в надрудной толще Александринского месторождения, где они залегают в виде маломощных линз в основании обломочного горизонта, разделяющего базальты и перекрывающие их дациты [18]. В основном, джаспериты также, как и в других колчеданосных районах, состоят исключительно из тонкодисперсных сростаний гематита и кварца и характеризуются узким диапазоном вариаций в содержаниях SiO_2 (70–90 мас. %) и Fe_2O_3 (8–15 мас. %), а также крайне низкими значениями элементов-примесей (табл. 5).

Госсаниты Бабарыкинское рудного поля отличаются слоистыми, струйчато-слоистыми и реликтовыми микробрекчиевыми текстурами, а джаспериты – массивными, сгустково-пятнистыми и брекчиевыми. Такое многообразие текстурных типов железисто-кремнистых образований объясняется влиянием фациальной обстановки захоронения осадков, постседиментационных преобразований и, вероятно, влиянием карбонатного, а в некоторых случаях – сульфидного материала на процессы их формирования.

На Бабарыкинском рудопроявлении железисто-кремнистые образования накапливались на флангах рудной залежи в подошве урлядинской толщи и не обнаруживают прямой пространственной связи с сульфидными рудами, что может свидетельствовать об интенсивных процессах субмаринной эрозии. Петрографические наблюдения во многих случаях указывают, что источником вещества для них служили известково-гиалокластитовые отложения и сульфидные руды. По минералого-геохимическим характеристикам к проксимальным аллохтонным продуктам разрушения руд относятся гематитизированные барититы с прослоями госсанитов (скв. 5864) и слоистые железисто-кремнистые отложения с сульфидной минерализацией (скв. 5890, 6000). В отличие от джасперитов, для них характерны повышенные содержания элементов-примесей рудного спектра (**Cu, Pb, Te, Bi, Au, Ag и Ba**), сопоставимые с госсанитовыми слоями Александринского и

других колчеданных месторождений. Повышенные содержания **Te и Bi в них, возможно, связаны с микро-**включениями теллурувисмутита или висмутсодержащего галенита в обломках сульфидной руды. Обогащение ниобием госсанитов, выявленное при исследований железисто-кремнистых отложений из других колчеданных месторождений [2], подтверждается и для госсанитов Бабарыкинского рудного поля.

Сравнительно низкие концентрации свинца в госсанитах, связаны с невысокой, в целом, подвижностью свинца в близких к нейтральным условиям придонного минералообразования. Установлено, что повышенные концентрации свинца характерны только для автохтонных госсанитов [2], которые на Бабарыкинском рудопроявлении развития не получили.

Для госсанитов Бабарыкинского рудопроявления характерна необычная рудная специализация, существенно отличающаяся от колчеданных месторождений уральского типа: в них отмечается ураганное количество цинка и коррелирующего с ним марганца. Учитывая пространственную близость указанных пород к слоистым барит-сфалеритовым рудам и то, что рудная залежь размывалась совместно с базальтоидами урлядинской толщи, обогащенность цинком гематит-кварцевых пород Бабарыкинского рудопроявления закономерна. Минералогические наблюдения свидетельствуют о том, что значительные содержания Zn и Mn в этих породах, по крайней мере, связаны с монгеймитом. Ранее в составе госсанитов были установлены различные карбонаты: кальцит, марганцовистый кальцит, сидерит (месторождения Талганское, Молодежное), анкерит, сидерит (Чебачье месторождение), доломит (Александринское месторождение) [2]. Монгеймит в составе железисто-кремнистых отложений установлен впервые. Известен гипергенный Fe-Mn-смитсонит (Маданский рудный район в Болгарии), в составе которого обнаружено до 12 мас. % FeO и до 21 мас. % MnO [19]. Помимо железистого смитсонита, отмечены его кобальтистая (до 10% CoO; рудник Болео в Мексике) и медистая (до 6 мас. % CuO, Зыряновский рудник на Алтае) разновидности, имеющие, соответственно, розовую и яблочно-зеленую окраску [19]. Вероятно, железистая разность цинкового карбоната – *монгеймит*, содержащий до 23 мас. % FeO, мог формироваться при субмаринном выветривании руд, представленных железистым сфалеритом на раннем этапе окисления цинковых руд путем кристаллизации из углекислых растворов, нередко при замещении вмещающих карбонатных минералов при pH > 7. При дальнейших процессах монгеймит замещается оксидами-гидроксидами железа, в связи с этим имеет бурю окраску.

Обогащение вольфрамом наблюдается для всех типов-железисто-кремнистых образований. В целом, повышенная его концентрация характерна для

всего Александринского рудного района [4, 19], что связано с энсиалическим характером палеоостровной дуги [12].

Элементы-примеси (Ti, Zr, V, Y, U, Th) в госсанитах с реликтами гиалокластики фиксируются в повышенных количествах, что свидетельствует о значительной роли гиалокластогенной составляющей при их формировании. Вероятно, вещество гиалокластов, освобожденное в процессах субмаринного преобразования и диагенеза, служило источником их обогащения. Точечное изучение гематит-кварцевых псевдоморфоз по гиалокластам в госсанитах показывает обогащение их элементами-гидролизатами, по сравнению с гематит-кварцевыми псевдоморфозами по рудокластам и пириту (табл. 6). Элементы гидрогенной группы (V и U) **могли** поступать из морской воды при разложении гиалокластического материала [2].

Для всех типов железисто-кремнистых образований Бабарыкинского колчеданноносного поля характерно преобладание ЛРЗЭ над ТРЗЭ. Спектры РЗЭ госсанитов (скв. 6000, 5862) сопоставимы со спектром РЗЭ дистальных госсанитов с реликтами гиалокластики Александринского месторождения (скв. 6025). Относительное обогащение этих образований легкими РЗЭ соответствует характеру их распределения в гиалокластитах [29]. Очевидно, это связано с присутствием в их составе реликтов хлоритизированного гиалокластического материала. В отличие от аллохтонных госсанитов, автохтонные госсаниты Александринского месторождения характеризуются наличием в спектре РЗЭ ясно выраженной положительной Eu аномалии, что для госсанитов Бабарыкинского рудопроявления не установлено. Положительная **Се-аномалия** – характерная черта железисто-кремнистых образований для Александринского рудного района в целом [1]. Минералогически появление цериевой аномалии объясняется присутствием в исходных осадках монацита и эпидота, обогащенного Се.

В отличие от госсанитов, джаспериты характеризуются крайне малым количеством основных породообразующих компонентов, кроме кремнезема и железа, и элементов-примесей. Повышенные содержания в джасперитах Al_2O_3 , CaO и **железа** связаны с присутствием в их составе колломорфных, глобулярных и концентрически-зональных агрегатов андрадита, образованного на самых ранних этапах литификации осадка. Вероятно, при “старении” коллоидная карбонатно-гиалокластическая масса превращалась в скрытокристаллические гематит-гранат-кварцевые агрегаты, а затем, на более поздних этапах литогенеза, происходила собирательная перекристаллизация минералов с появлением относительно крупных хорошо ограненных кристаллов андрадита, гематита и кварца.

Особенностью микроструктуры железисто-кремнистых образований Бабарыкинского рудно-

Таблица 6. Средние содержания элементов-примесей (г/т) в гематит-кварцевых псевдоморфозах по гиалокластам (5691), рудокластам (Al-2) и пирите (7504) в кремнисто-железистых образованиях Александринского рудного района

Элементы	5691 (7)	Al-2 (7)	7504 (65)
Cu	2.7	5107	928
Zn	41	35	18
Pb	104	682	396
Au	0.06	14.00	0.78
Ag	0.34	220.45	8.8
Te	0.40	296.28	11.89
Bi	0.41	199.41	9.22
W	45.96	13.22	0.60
As	130	741	950
Ti	8	796	229
Co	7.07	140.13	85.21
Ni	9.35	217.54	197.91
Mn	814	245	515
U	3.56	1.03	0.06
V	31.737	23.98	1.70
Mo	59.33	22.92	0.64
Se	2.62	32.78	11.42
Zr	1.08	32.32	7.92
Sn	1.20	1.10	1.17
Ba	47.94	38.99	2.71
La	4.78	2.42	17.29
Tl	0.02	10.33	0.04
Cd	0.92	2.12	1.05
Sb	13.62	22.41	37.80
Cr	1.53	6.85	3.63

Примечание. 5691 – Бабарыкинское рудопроявление, Al-2 – Александринское месторождение. 7504 – Северо-Бабарыкинский участок. В скобках – количество анализов. Анализы (ЛА-ИСП-МС) выполнены в Центре по изучению генезиса рудных месторождений (CODES) Тасманийского университета (г. Хобарт, Австралия), аналитик С.П. Масленникова.

го поля являются многочисленные биоморфные структуры, которые резко отличаются по форме в рудоконтролирующих и безрудных разновидностях исследуемых пород. В госсанитах (скв. 5864, 5890) наблюдаются локальные скопления трубообразных образований, диаметром 10 мкм (рис. 10а, б). В ассоциации с ними часто наблюдаются спутанно-волоконистые нитевидные образования гематит-кварцевого состава, в которых при больших увеличениях рассматриваются длинные цепочки из комочков (рис. 10в, г). Эти структуры обволакивают или проникают внутрь обломковидных обособлений гематит-кварцевого состава. В местах их скопления наблюдаются ячейки, заканчивающиеся формированием узких каналов или “сотовых” и мозаичных структур. Предполагается, что различные морфологические формы гематит-кварцевых обособлений, вероятно, представляли собой участки, в различной степени подвергшиеся влиянию бактерий. Колломорфный облик новообразованного веще-

ства и неравномерное распределение химических элементов на этих небольших участках дает основание предполагать, что первично было сформировано коллоидное вещество с наметившимися позднее признаками кристаллизации. Такие структуры могут свидетельствовать о возможном микробиальном воздействии на процессы формирования этих пород в низкотемпературных условиях. Подобные биоморфные структуры установлены при изучении железисто-кремнистых отложений Узельгинского рудного поля [2]. Гематит-кварцевые бактериоморфные нити, вероятно, относятся к группе железобактерий, сходных с родом *Galionnella* [10].

В джасперитах выявляется особый тип структур, характеризующийся удлинённой формой с реликтами поперечного скелетного строения (рис. 10в, г). Кроме того, в этих же породах в некоторых случаях отмечаются округлые образования стандартного диаметра, представленные марганцовистым кальцитом или состоящие из тонкодисперсных сростаний кварца и гематита (10д, е). Трубочатые образования в джасперитах не установлены.

Экспериментальные исследования показывают, что бактерии способны полностью преобразовать структуру вулканического стекла с образованием ячеистых образований или производить селективное выщелачивание с обогащением остаточного продукта Si и Fe [34]. **Сходные наблюдения были получены** при изучении природных и синтетических стекол [20, 22, 32]. Главная роль бактерий в процессах формирования железисто-кремнистых осадков, вероятно, заключалась в формировании мельчайших частиц Si-Al-Fe геля. Отмеченные бактериоморфные структуры во многих железисто-кремнистых породах Бабарыкинского рудного поля также могут свидетельствовать о концентрировании церия в морской воде бактериальным окислением [30].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Бабарыкинское рудное поле, несмотря на небольшие промышленные масштабы, представляет интерес как пример колчеданоносной системы с повышенным содержанием полиметаллов. Специфика рудного поля проявляется в повышенной доле кислых пород в разрезе, присутствии известняков в перекрывающей толще, широком развитии железисто-кремнистых образований.

В составе гидротермальной системы Бабарыкинского колчеданоносного поля наряду с сульфидсодержащими серицит-кварцевыми метасоматитами и сульфидными рудами установлены сульфидные песчаники с рудокластами и обломками баритов, как результат придонного разрушения сульфидного холма и железисто-кремнистые породы, возникающие в результате подводного окисления смеси гиалокластогенного материала, карбонатов и сульфидов.

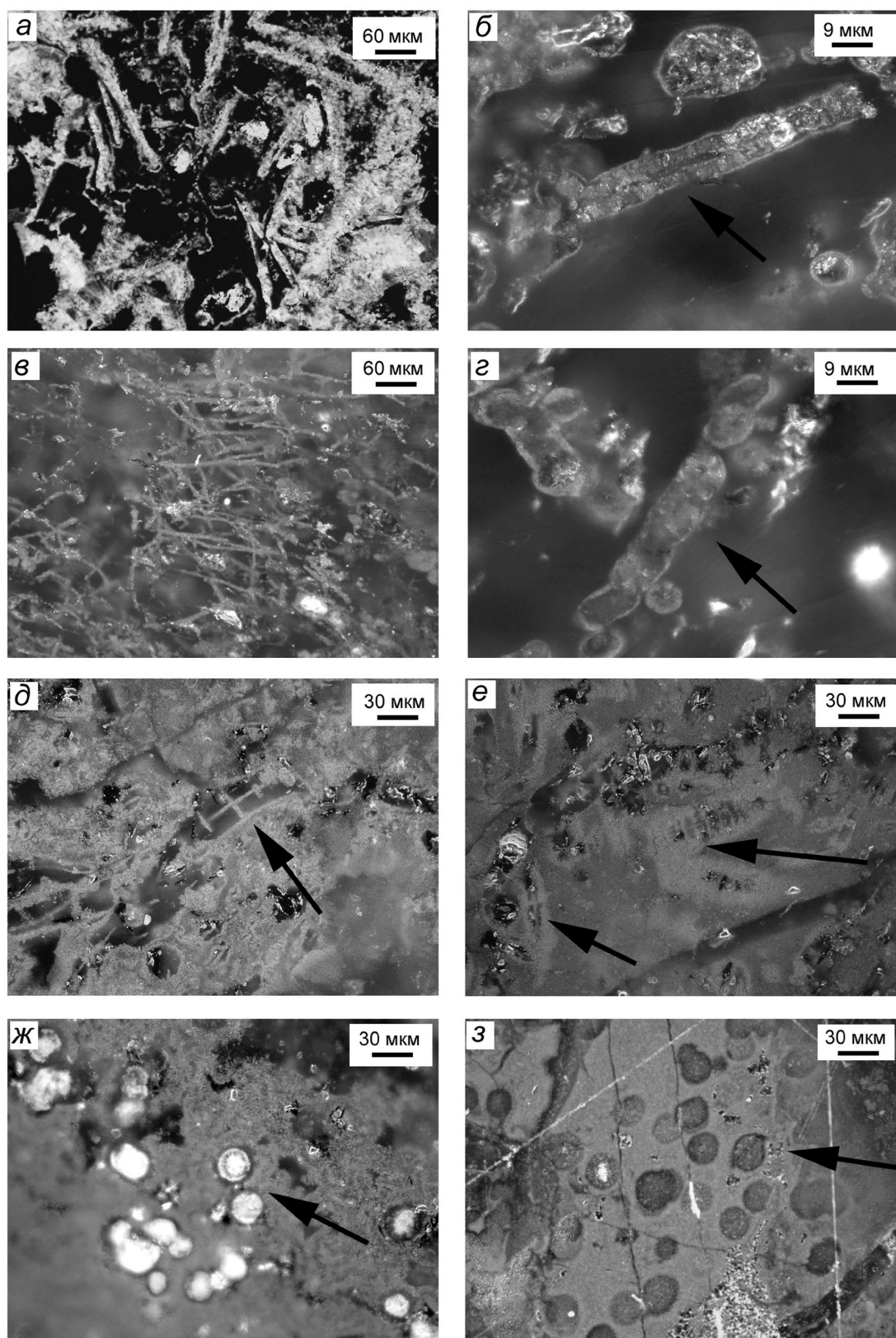


Рис. 10. Биоморфные структуры в железисто-кремнистых образованиях Бабарыкинского рудного поля.

а – скопления трубчатых организмов; б – деталь рисунка а; в – нитчатые бактериоморфные структуры; г – деталь рис. в; д–е – организмы с поперечным скелетным строением; ж – зональные округлые выделения, выполненные карбонатом; з – то же, выполненные кварцем.

Железисто-кремнистые отложения скв. 5854, 5890 и 6000 по литолого-фациальным и минералогическим особенностям относятся к аллохтонным госсанитам. Об этом свидетельствует присутствие в них зональных рудокластов пирита и реликтов халькопирита в гематит-кварцевых псевдоморфозах, а также многочисленных ксеноморфных выделений халькопирита в ассоциации с гематитом. Примесный гиалокластический материал в госсанитах обычно замещен хлоритом или гематитом. Акцессорные минералы в госсанитах ассоциируют с реликтами гиалокластов.

В отличие от типичных джасперитов, в госсанитах содержания SiO_2 и Fe_2O_3 существенно варьируют. Для них характерны повышенные содержания и устойчивые ассоциации меди и цинка, а также определенный набор элементов-примесей (Te, Bi, Ba, Mn, Ti, Zr, V, Y, U, Th), **характеризующихся закономерным уменьшением их количества с удалением от рудного тела.** Отличительной особенностью дистальных госсанитов (скв. 5862) являются послойные зоны, обедненные рудными компонентами.

Стустково-пятнистые и брекчиевые текстуры с трещинами синерезиса и псевдоморфозы гематит-кварцевого состава с реликтами гиалокластов (скв. 5891, 5895, 5867) свидетельствуют о формировании джасперитов при преобразовании гиалокластиков. Реликты гиалокластиков в джасперитах состоят из тонких сростаний кварца и гематита или хлорита. В джасперитах не установлены акцессорные минералы. Крайне низкие содержания элементов-примесей и отсутствие вариаций в содержаниях основных породообразующих и рудных компонентов – характерные признаки джасперитов.

Вариации состава РЗЭ в железисто-кремнистых отложениях обусловлены неравномерной примесью в них остаточного гиалокластического материала и связаны с присутствием собственных минеральных форм РЗЭ. В ряду госсанит-джасперит наблюдается уменьшение содержаний РЗЭ и амплитудных значений Ce и Eu аномалий.

Особенностью железисто-кремнистых отложений являются биоморфные структуры гематит-кварцевого состава, которые могут свидетельствовать об участии микроорганизмов в преобразовании исходных осадков до железисто-кремнистых ассоциаций. С удалением от рудного тела отмечается исчезновение одних форм и появление других форм биоса.

Исследование минерального состава железисто-кремнистых отложений Бабыркинского рудного поля позволило расширить список минералов, присутствующих в колчеданных рудных полях. Впервые в госсанитах установлены монгеймит и эпидот, обогащенный РЗЭ.

Существующие ныне экономические условия не позволяют рассматривать Бабыркинское рудопроявление как объект обработки. Тем не менее, изменение конъюнктуры рынка металлов и учет комплексности руд (редкометалльная специализация)

могут перевести его в разряд рентабельных. Сопутствующее изучение минералогическо-геохимических характеристик железисто-кремнистых образований может служить критерием прогнозирования колчеданного оруденения на Бабыркинской площади.

Работа выполнена в рамках реализации ФЦП “Научные и научно-педагогические кадры инновационной России” на 2009–13 годы (ГК П 237) и интеграционного проекта СО-УрО РАН (№ 09-В5–2004).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аюпова Н.Р. Апусульфидные отложения как индикаторы колчеданного оруденения в окисно-железистых отложениях колчеданосных зон Уральского палеоокеана // Минералогические музеи: мат-лы VI Междунар. симпоз. СПб: СПбГУ, 2008. С. 157–159.
2. Аюпова Н.Р., Масленников В.В. Гальмиролиты Узельгинского колчеданосного поля. Миасс: ИМин УрО РАН, 2005. 199 с.
3. Бадулина Н.В., Викентьев И.В., Карпухина В.С., Носик Л.П. Минеральный состав руд, изотопный состав серы сульфидов и температуры рудообразования на Бабыркинском рудопроявлении Александринского района // Металлогения древних и современных океанов-2004. Т. 2. Миасс: ИМин УрО РАН, 2004. С. 91–95.
4. Баранов Э.Н. Эндогенные геохимические ореолы колчеданных месторождений. М.: Наука, 1987. 295 с.
5. Белозуб Е.В., Новоселов К.А., Котляров В.А. Минералы германия в рудах Бабыркинского рудопроявления (Ю. Урал) // Металлогения древних и современных океанов-2005. Т. 2. Миасс: УрО РАН, 2005. С. 123–128.
6. Брусницын А.И., Жуков И.Г. Южно-Файзуллинское месторождение (Южный Урал): геологическое строение, петрография, процессы формирования // Литология и полез. ископаемые. 2005. № 1. С. 35–55.
7. Вахрушев М.И., Ширай Е.П., Масленников В.В., Тесалина С.Г. Рудоносные уровни Александринского рудного района. Оценка их перспектив и направление ГРП. М.: ЦНИГРИ, 1995. 60 с.
8. Зайков В.В. Вулканизм и сульфидные холмы палеоокеанических окраин. М.: Наука, 1991. 206 с.
9. Масленников В.В. Седиментогенез, гальмиролиз и экология колчеданосных палеогидротермальных полей (на примере Южного Урала). Миасс: Геотур, 1999. 348 с.
10. Масленников В.В. Литологический контроль медно-колчеданных руд. Свердловск: УрО АН СССР, 1991. 141 с.
11. Масленников В.В., Аюпова Н.Р. Кремнисто-железистые породы Узельгинского колчеданосного поля (Южный Урал) // Литосфера. 2007. № 2. С. 106–129.
12. Медноколчеданные месторождения Урала: условия формирования/В.А.Прокин, И.Б.Серавкин, Ф.П.Буслаев и др. Екатеринбург: УрО РАН, 1992. 312 с.
13. Новоселов К.А., Белозуб Е.В., Аюпова Н.Р. Бабыркинское рудное поле (Александринский руд-

- ный район, Южный Урал). Миасс: ИМин УрО РАН, 2009. 175 с.
14. Новоселов К.А., Белогуб Е.В., Котляров В.А. Теллуридо-сульфид серебра и меди из колчеданно-полиметаллических руд Бабарыкинского рудопоявления (Южный Урал) // Минералогические музеи: мат-лы IV Междунар. симпоз. Санкт-Петербург: СПбГУ, 2002. С. 116–117.
 15. Сафина Н.П., Масленников В.В. Литолого-минералогическая зональность сульфидных циклитов Яман-Касинского и Сафьяновского колчеданных месторождений (Урал) // Докл. АН. 2008. Т. 419, № 6. С. 804–806.
 16. Скрипченко Н.С. Гидротермально-осадочные сульфидные руды базальтоидных формаций. М.: Наука, 1972. 217 с.
 17. Теленков О.С., Масленников В.В. Автоматизированная экспертная система типизации кремнисто-железистых отложений палеогидротермальных полей Южного Урала. Миасс: ИМин УрО РАН, 1995. 200 с.
 18. Тесалина С.Г., Масленников В.В., Сурин Т.Н. Александринское медно-цинково-колчеданное месторождение. Миасс: ИМин УрО РАН, 1998. 228 с.
 19. Яхонтова Л.К., Зверева В.П. Основы минералогии гипергенеза. Владивосток: Дальнаука, 2000. 331 с.
 20. Яхонтова Л.К., Нестерович Л.Г., Любарская Г.Ю. и др. Разрушение силикатов с помощью бактерий // Мин. Журнал. 1983. Т. 5, №. 2. С. 28–38.
 21. Boynton W.V. Cosmochemistry of the rare earth elements meteorite studies // Rare element geochemistry. Developments in Geochemistry. 2 / P. Henderson. Amsterdam: Elsevier Science Publish., 1984. P. 63–114.
 22. Callot G., Maurette M., Pottier L., Dubois A. Biogenic etching of microfractures in amorphous and crystalline silicates // Nature. 1987. V. 328. P. 147–149.
 23. Constantinou G., Govett G.J.S. Genesis of sulfide deposits, ochre and umber of Cyprus // Trans. Inst. Mining Metal. 1972. B81. P. 34–36.
 24. Davidson G.J., Stolz A.J., Eggins S.M. Gheochemical anatomy of silica iron exhalites: evidence for hydrothermal oxyanion cycling in response to vent fluid redox and thermal evolution (Mt. Windsor Subprovince, Australia) // Econ. Geol. 2001. V. 96. P. 1201–1226.
 25. Dymond J., Corliss J.B., Heath G.R. et al. Origin of metalliferous sediments from the Pacific Ocean. Geol. Soc. Am. Bull., 1973. V. 84. P. 3355–3372.
 26. Fleet A.J., Robertson A.H.F. Ocean-ridge metalliferous and pelagic sediments of the Semail Nappe, Oman // J. Geol. Soc. 1980. V. 137, Pt. 4. P. 403–422.
 27. Grenne T., Slack J.F. Bedded jaspers of the Ordovician Lokken ophiolite, Norway: seafloor deposition and diagenetic maturation of hydrothermal plume-derived silica-iron gels. Mineral. Depos. 2003. V. 38. P. 625–639.
 28. Herzig P.M., Hannington M.D., Scott S.D. et al. Gold-rich sea-floor gossans in the Troodos ophiolite and on the Mid-Atlantic ridge // Econ. Geol. 1991. V. 86. P. 1747–1755.
 29. Maslennikov V.V., Ayupova N.R., Herrington R.E., Danyushevsky L.V. Implication of halmyrolysis in migration of REE during formation of ferruginous sedimentary rocks in Uvelga massive sulphide deposits, Southern Urals (Russia) // Mineral exploration and sustainable development. Proceed. Seventh Biennial SGA meeting. Athens, 2003. V. 1. P. 147–150.
 30. Moffett J.W. Microbially mediated cerium oxidation in seawater // Nature. 1990. V. 345. P. 421–423.
 31. Novoselov K.A., Belogub E.V., Zaykov V.V., Yakovleva V.A. Silver sulfotellurides from volcanic-hosted massive sulfide deposits in the Southern Urals // Mineral. Petrol. 2006. V. 87, № 3-4. P. 327–349.
 32. Ross K.A., Fisher R.V. Biogenic grooving on glass shards // Geology. 1986. V. 14. P. 571–573.
 33. Solomon M., Walshe J.L. The formation of massive sulfide deposits on the seafloor // Econ. Geol. 1979. V. 74. P. 797–813.
 34. Thorseth I.H., Furnes H., Haldal M. The importance of microbiological activity in the alteration of natural basaltic glass // Geochim. Cosmochim. Acta. 1992. V. 56. P. 845–850.

Рецензент И.Б. Серавкин

Ferruginous-siliceous sediments as the indicators of massive-sulfide deposits (on example of Babaryk ore field, Southern Urals)

N. R. Ayupova, E. V. Belogub, K. A. Novoselov

Institute of Mineralogy, Urals Branch of RAS

Geological position and composition data for ferruginous-siliceous sediments from Babaryk massive sulfide field of Alexandrinka ore area of Southern Urals are presented. Ore control (gossans) and ore free (jasperites) facies are diagnosed by mineralogical composition and trace elements content. The relicts of chloritized hyaloclasts, zonal crystals of pyrite and hematite-quartz pseudomorph on chalcopyrite clasts were established in gossans. Biomorphic and clasts-like structure carbonate consist of monheimite. Composition of the accessory minerals such as apatite, monazite, REE-containing epidote, and leucoxene is described. In jasperites hematite-quartz isolations are characterized breccia texture with a non-uniform internal structure, spherulitic and cocarde microstructure with garnet and needle crystals of hematite. Biomorphic structures sharply differ in ore control and ore free facies. Distribution of trace elements in ferruginous-siliceous sediments is considered. The received data are compared with similar sediments from Alexandrinka VMS deposit.

Key words: *Urals, massive sulfide deposits, ferruginous-siliceous sediments, ore control, accessory minerals, biomorphic structures, trace-elements.*