

УДК 553.21/24 (470.5)

ГЕМАТИТ-КВАРЦЕВЫЕ ПОСТРОЙКИ ЗОЛОТОНОСНОГО ПОЛЯ ЛИСЬИ ГОРЫ – РЕЗУЛЬТАТ ГИДРОТЕРМАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В МАГНИТОГОРСКОЙ ПАЛЕООСТРОВОДУЖНОЙ ЗОНЕ

© 2013 г. В. В. Зайков, Н. Н. Анкушева

Институт минералогии УрО РАН

*456317, Челябинская обл., г. Миасс, Ильменский государственный заповедник
zaykov@mineralogy.ru*

Поступила в редакцию 02.03.2012 г.

В статье проведен анализ геологической позиции и условий формирования гематит-кварцевых построек, залегающих в осадочных отложениях золотоносного поля Лисьи горы. Выявлены текстурно-структурные и минералого-геохимические особенности гематит-кварцевых пород, указывающие на участие процессов диагенеза при их преобразованиях. Важным компонентом построек являются жилы кварца, которые составляют от 5 до 30% объема тел. Изучены флюидные включения в кварце из жил различной морфологии. Установлено, что жилы формировались за счет преимущественно хлоридно-натриевых гидротермальных растворов с соленостью 1.5–6.5 мас. % и температурами от 290°C в подводящих каналах и до 160°C в кровле постройки. Основными летучими компонентами флюидов являются H₂O и CO₂, в незначительных количествах присутствуют CO, N₂ и CH₄. Установлено, что гидротермальные растворы, сформировавшие гематит-кварцевые постройки поля Лисьи горы, по физико-химическим параметрам близки таковым в колчеданных месторождениях Магнитогорской палеоостроводужной зоны и в железистых постройках современных океанов.

Ключевые слова: палеоостроводужная зона, гематит-кварцевые породы, гидротермальные постройки, флюидные включения, гальмиролиз, гидротермальная деятельность, колчеданные месторождения.

ВВЕДЕНИЕ

Гематит-кварцевые породы часто являются характерным компонентом рудовмещающих разрезов колчеданных и золоторудных месторождений Урала. Такие образования отмечены также на рудных полях Центрально-Азиатского и Средиземноморского складчатых поясов [10, 12, 22, 50].

В настоящей работе исследованы гематит-кварцевые породы золотоносного поля Лисьи горы, которое располагается в Восточно-Магнитогорской палеоостроводужной дуге. Поле было выделено В.В. Зайковым и Е.В. Зайковой в 1992 г. при проведении научно-исследовательских работ Института минералогии УрО РАН по договору с археологическим Центром Аркаим.

На природу гематит-кварцевых пород палеовулканических областей определились три основные точки зрения. Первыми были представления о гидротермально-метасоматическом происхождении этих пород, базирующиеся на результатах геолого-съёмочных и поисковых работ в дислоцированных комплексах [9]. Эта концепция была оставлена после того, как было установлено сингенетичное осадкам образование гематит-кварцевых отложений по присутствию их обломков во вмещающих яшмах [17, 18]. Вторая гипотеза базируется на представлениях о придонном гидротермаль-

ным происхождении гематит-кварцевых сооружений [12, 18, 34, 35, 49, 50]. Третья точка зрения объясняет образование железисто-кремнистых отложений в процессе придонного гальмиролиза вулканогенных пород и колчеданных руд [2, 22, 23, 28, 46]. Гематит-кварцевые постройки, расположенные в кремнисто-алевролитовых отложениях золотоносного поля Лисьи горы, показательны для определения генезиса данных пород. Они залегают в виде холмообразных построек в осадках, перекрывающих андезит-базальтовую толщу, непосредственно не связаны с вулканитами и, соответственно, не являются гальмиролитическими продуктами.

Целью работы стала реконструкция условий образования гематит-кварцевых построек золотоносного поля Лисьи горы. Основными задачами явились текстурно-структурная и минералого-геохимическая характеристика гематит-кварцевых пород в сочетании с термобарогеохимическим анализом флюидных включений в кварце из сопутствующих жил. Физико-химические параметры растворов изучены в полном разрезе гидротермальной системы: от золотоносных зон в нижележащей андезит-базальтовой свите до гематит-кварцевых построек и кварцевых жил в алевролитово-яшмовой толще. Объектами для сравнительного анализа послужили колчеданные, золото-сульфидные, марганцевые месторождения Магнитогорской палео-

островодужной зоны. Кроме этого, использованы данные по железистым постройкам, выявленным на гидротермальных полях в современных океанах.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

В ходе полевых работ на объекте проведено геологическое картирование, документация и опробование опорных участков (рис. 1). Лабораторные методы включали изучение прозрачных и полированных шлифов (70 и 21, соответственно), криометрию и гомогенизацию индивидуальных флюидных включений (250 ан.), силикатный анализ (15 ан.), масс-

спектроскопию с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS) (15 ан.) и газово-хроматографический анализ (4 ан.). ICP-MS анализ проводился на приборе Perkin Elmer ELAN 9000 (аналитик Д.В. Киселева, ИГГ УрО РАН). Газово-хроматографический анализ выполнен на хроматографе серии "Цвет-100" с пиролитической приставкой П-75 (аналитик О.Ф. Миронова, Институт геохимии и аналитической химии РАН, Москва). Для количественного определения использован метод абсолютной калибровки с расчетом по высоте (N_2 , CH_2 , CO_2) или площади (H_2O) [25].

Микротермометрические исследования кварца проведены на микрокриотермостоліке THMSG-600

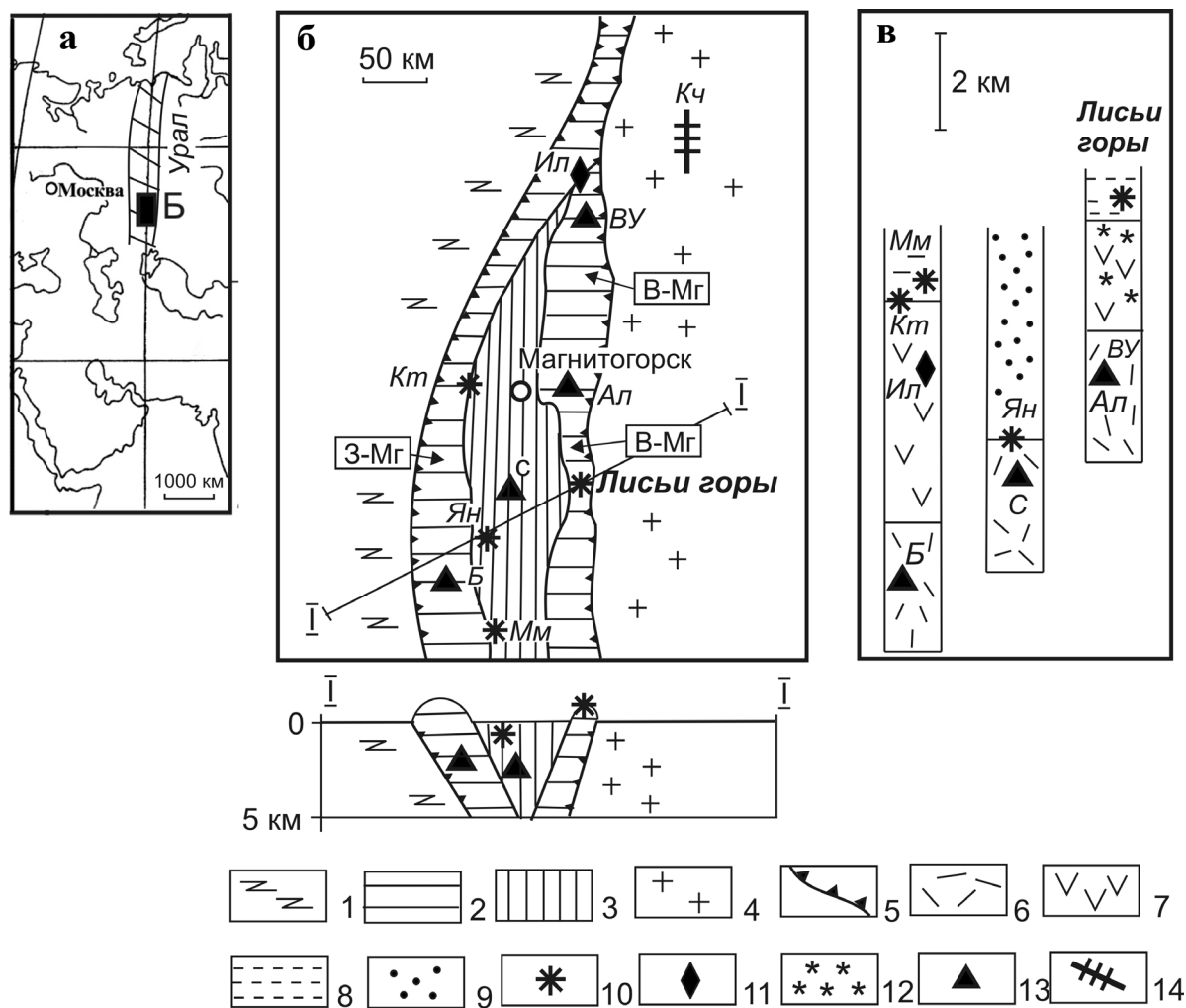


Рис. 1. Схема размещения объектов исследования в структурах Магнитогорской палеоостроводужной зоны [13].

а – географическое положение, б – геодинамическая схема, в – положение в стратиграфических колонках. 1 – восточный фланг Восточно-Европейской платформы; 2 – палеоостровные дуги (3-Мг – Западно-Магнитогорская, В-Мг – Восточно-Магнитогорская); 3 – Сибайский междуговой бассейн; 4 – Восточно-Уральское поднятие (ансамбль тектонических платформ островодужных и океанических образований с массивами гранитоидов); 5 – зоны Главного Уральского и Восточно-Уральского разломов; 6–9 вулканогенно-осадочные формации на стратиграфических колонках: 6 – риолит-базальтовая, 7 – андезит-базальтовая, 8 – кремнисто-терригенная, 9 – вулканомиктовая; 10–14 – месторождения, рудные районы и гидротермальные поля, рассматриваемые в тексте: 10 – с гематит-кварцевыми постройками (Лисьи горы, Кт – кызыл-Ташское, Ян – Янзигитовское, Мм – Мамбетовское), 11 – золото-сульфидные (Ил – Ильинское), 12 – гидротермальное поле с прогнозируемым золото-сульфидным оруденением, 13 – медно-цинково-колчеданные и золото-колчеданно-полиметаллические (ВУ – Верхне-Уральский, Ал – Александринский, С – Сибайский, Б – Баймакский), 14 – золото-кварцевые (Кочкарский).

(Linkam). Исследовались индивидуальные флюидные включения размером 5–30 мкм. Солевой состав гидротермальных растворов во включениях оценивался по температурам эвтектик [6]. Концентрации солей в растворах рассчитывались по температурам плавления последних кристаллических фаз льда [40]. Температуры гомогенизации фиксировались в момент исчезновения газового пузырька при нагревании препарата в термокамере и приняты за минимальные температуры процесса минералообразования [30]. Исследования проводились в 2006–2012 гг. на геологическом факультете Южно-Уральского государственного университета (г. Миасс), в Институте геологии и геохимии УрО РАН (г. Екатеринбург), Институте геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН (г. Москва) и Музее естественной истории и Королевском колледже (г. Лондон, Великобритания).

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ ГЕМАТИТ-КВАРЦЕВЫХ ПОСТРОЕК

Магнитогорская палеоостроводужная зона сформировалась в девоне на окраине Уральского палеоокеана [29]. Ее элементами являются Западно- и Восточно-Магнитогорская островные дуги и разделявший их Сибайский междуголовый бассейн [13]. Дан-

ные структуры являлись ареной поразительного по продуктивности колчеданного рудогенеза и, соответственно, гидротермальной деятельности в риолит-базальтовой формации. В Западно-Магнитогорской дуге локализованы многочисленные золото-колчеданно-полиметаллические рудные поля Баймакского района и самое крупное на Урале Гайское медно-колчеданное месторождение. На северном фланге этой дуги сосредоточены золото-сульфидные месторождения Ильинского золоторудного поля в андезит-базальтовой толще [33]. В Сибайском междуголовом бассейне сформировались колчеданные залежи одноименного рудного района и марганценовые гематит-кварцевые сооружения Янзигитовского, Кызыл-Ташского и многих аналогичных месторождений.

В северной части Восточно-Магнитогорской палеоостровной дуги располагаются рудные поля Учалинского, Верхне-Уральского и Александринского рудных районов. Южнее колчеданноносные структуры сменяются цепью вулканических сооружений протяженностью около 200 км, принадлежащих андезит-базальтовой формации [33]. К одному из этих сооружений приурочено золотоносное палеогидротермальное поле Лисьи горы с гематит-кварцевыми постройками (рис. 2).

Предшествующими геолого-съёмочными работами в районе участка была выявлена обширная слабо

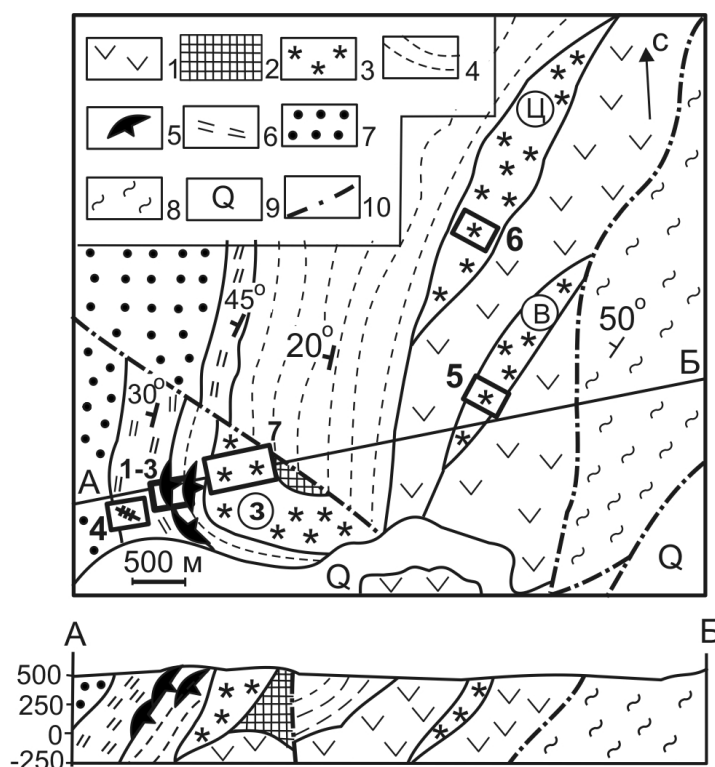


Рис. 2. Схема геологического строения золотоносного поля Лисьи горы.

1 – андезибазальты, вулканогенно-обломочные породы гумбейской свиты (D_2gm_1); 2 – метасоматиты серицит-кварцевые сульфидизированные; 3 – золотоносные зоны: В – Восточная, Ц – Центральная, З – Западная; 4–7 – новобуранная свита (D_2nb): 4 – алевриты, 5 – гематит-кварцевые постройками (внемасштабный знак), 6 – яшмы, 7 – песчаники; 8 – базальты и силициты неопределенного возраста, 9 – четвертичные отложения; 10 – разломы.

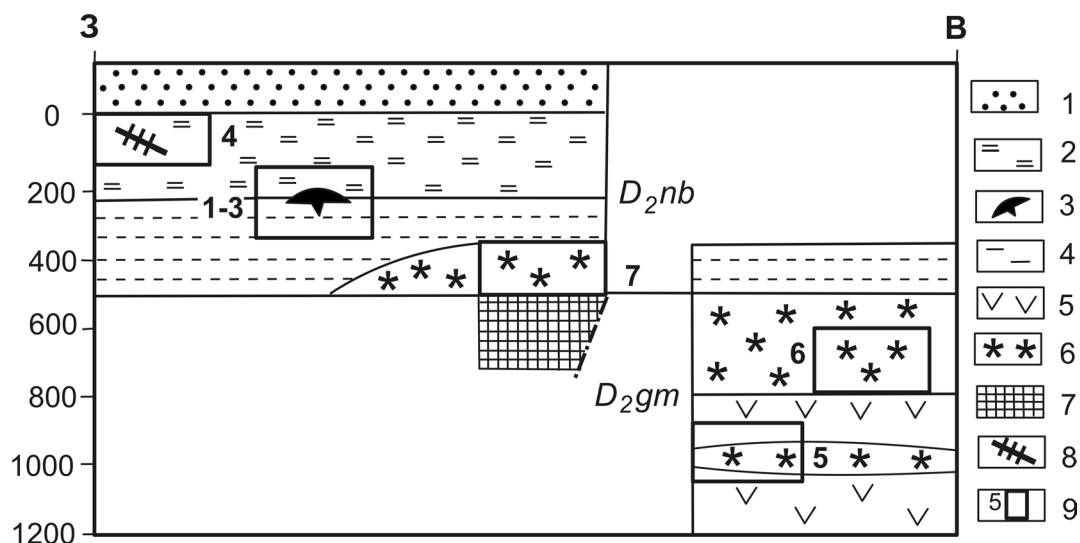


Рис. 3. Схема положения изученных гидротермально-осадочных и осадочных отложений на участке Лисьи горы.

1 – песчанники сероцветные, 2 – яшмы и алевролиты, 3 – гематит-кварцевые постройки с кварцевыми жилами и марганцевой минерализацией, 4 – алевролиты, 5 – андезибазальты, 6 – зоны окварцевания, 7 – серицит-кварцевые метасоматиты, 8 – поздние кварцевые жилы в кровле яшмовой толщи (внемасштабный знак), 9 – опорные участки.

контрастная аномалия свинца и меди [36]. В 1964–1965 гг. были проведены поисковые работы методом вызванной поляризации [37]. На основании одиночных скважин установлено, что геохимические и геофизические аномалии вызваны прожилково-вкрапленной минерализацией в вулканогенных породах. Оценка на золото этих пород не проводилась.

Работами Института минералогии УрО РАН были выявлены три согласные линзовидные золотоносные гематит-кварцевые постройки (рис. 2). Их позиция показана на схематических колонках, составленных с применением траншей и линий канав (рис. 3), пройденных сотрудниками Центра Аркаим и Александринской горнорудной компании в 1998–2006 гг.

Восточная зона, приуроченная к нижней части разреза гумбейской свиты, имеет длину около 2 км, мощность – 50–150 м. Вмещающими породами являются пиритизированные и окварцованные андезибазальты. К этой зоне приурочена элювиальная россыпь золота с золотоносным горизонтом мощностью 0.3–1.0 м, включающим золотины размером до 12 мм. Содержания Au в продуктивном пласте – 1–4 г/м³. По данным микрозондового анализа, состав элювиального золота (мас. %): Au 91–98; Ag 2–8; Cu 0.0–0.1, примеси представлены незначительным количеством Hg, Fe, Ti.

Центральная зона длиной 3 км и мощностью около 300 м залегает в верхней части разреза гумбейской свиты. Канавами вскрыты продукты окисления прожилково-вкрапленных сульфидных руд, представленные красноцветными охрами, бурыми железняками, баритовыми, кварцевыми и пиритовыми сыпучками. В тодорокитовых жилах, по данным К.А. Новоселова и В.В. За-

йкова, установлены концентрации Au и Ag до 5.0 и 8.8 г/т, соответственно.

Западная зона приурочена к алевролитам основания новобуранной свиты, имеет мощность 150–300 м и длину 1 км. В зоне развиты стяжения и конкреции гидроксидов железа и кварцевые жилы мощностью от 3–5 до 50 см, протяженностью 10–15 м. Установленные концентрации Au составляют 0.33 г/т, Ag – 5.1 г/т. Зону подстилают серицит-кварцевые метасоматиты.

На основании геологических и минералогических данных, В.В. Зайковым и А.М. Юминовым прогнозные ресурсы участка оценены в 34 т золота. По сравнению с известными на Урале золоторудными объектами участок Лисьи горы наиболее близок к Ильинскому рудному полю в Западно-Магнитогорской палеоостровной дуге [33]. В этой рудоносной структуре оруденение приурочено к сульфидизированным андезибазальтам вблизи перекрывающей толщи осадочных пород. Состав первичного самородного золота аналогичен исследованному в Восточной зоне Лисьих гор: Au 95–99; Ag 1–5; Cu 0.1–0.5% [4].

Гематит-кварцевые постройки установлены на двух уровнях в кремнисто-алевролитовых отложениях новобуранной свиты, перекрывающих вулканиты и серицит-кварцевые метасоматиты (рис. 2, 3). Они образуют тела линзовидной, холмо- и плащеобразной формы длиной 40–270 м. В подошве наиболее крупного сооружения мощностью 5–10 м обнаружены зоны гематит-кварцевых пород мощностью 3–5 м, залегающие поперек напластования вмещающих алевролитов. Они интерпретированы как подводные каналы в структуре гематит-кварцевой постройки [19]. Реконструкция одного из таких тел, по кварцевым жи-

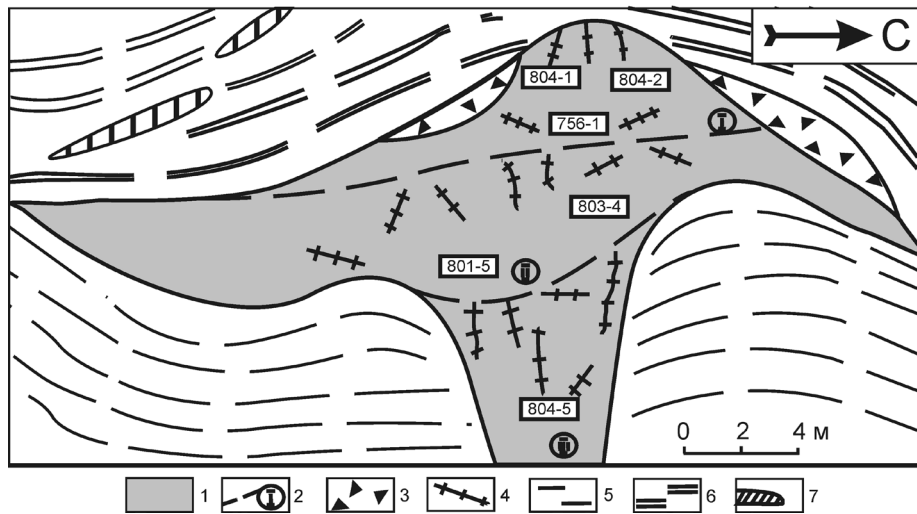


Рис. 4. Разрез типовой гематит-кварцевой постройки палеогидротермального поля Лисьи горы.

1 – гематит-кварцевые породы; 2 – предполагаемые границы уровней гематит-кварцевой постройки: I – кровля, II – основание, III – подводящий канал; 3 – гравелиты с обломками гематит-кварцевых пород и кварца; 4 – кварцевые жилы; 5 – алевролиты; 6 – яшмы, силициты; 7 – окисно- и силикатно-марганцевые прослои. У прямоугольников обозначены номера образцов, исследованных методами термобарогехимии.

лам которого проведены термобарогеохимические исследования, показана на рис. 4.

К флангам гематит-кварцевых построек и перекрывающей толще приурочены окисно-марганцевые и силикатно-марганцевые (родонитовые) пласты мощностью 1–3 м и прослеженной длиной первые десятки метров. В окисленных разностях содержания MnO составляют 20–35%. Особенностью марганецсодержащих пород является повышенное содержание Ge (до 15 г/т).

ТЕКСТУРНО-СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ГЕМАТИТ-КВАРЦЕВЫХ ПОРОД

Гематит-кварцевые породы характеризуются различными оттенками красного, бордового, лилового, оранжевого цвета и колломорфными, глобулярными, кокардовыми микроструктурами. Главными минералами являются кварц и гематит, иногда встречаются хлорит, кальцит, эпидот, гранат. Гематит-кварцевые агрегаты часто несут черты раскристаллизации с появлением трещин синерезиса, что характерно для литифицированного железисто-кремнистого геля [21]. Важным компонентом построек являются разнообразные кварцевые жилы, слагающие от 5 до 30% их объема.

Петрографическое изучение гематит-кварцевых пород позволило выявить три основные разновидности, отражающие последовательность их формирования. Первая представлена реликтами криптокристаллического оранжевого материала, который состоит из тончайших сростков кварца и гематита. Намечается разделение железисто-кремнистого ве-

щества на домены полигональной формы, ограниченные тонкими кварцевыми просечками (рис. 5а).

Ко второй разновидности отнесены микроглобулярные гематит-кварцевые агрегаты и радиально-лучистые гематитовые скопления, имеющие разнообразие переходов (рис. 5б, 5в). Породы имеют однородную и брекчиевую текстуру. В них залегают преимущественно жилы, заполняющие трещины синерезиса мощностью до 1–3 см.

Третья разновидность образована обособленными агрегатами кварца и гематита также в однородных и брекчиевых разностях (рис. 5г). Гематит представлен преимущественно пластинчатыми кристаллами стального-серого цвета. В этой разновидности повсеместно присутствуют ветвящиеся кварцевые жилы мощностью 3–40 см. Обычно жилки имеют зональное строение: их краевая часть сложена мелкозернистой кварцевой массой, а в центре – грануломорфным и шестоватым кварцем с (рис. 6а). В краевых частях переплетены жилки нескольких генераций (рис. 6б). В некоторых жилах наблюдаются гематитовые зоны, параллельные контактам (рис. 6в, г), на основании чего сделан вывод о родстве жил и гематит-кварцевых отложений. Основная масса пород подвержена перекристаллизации с образованием гранозернистых агрегатов. Кварцевые жилы этим процессом затронуты слабо.

В жилах подводящих каналов построек встречаются глобулярные выделения гематита в кварце. В гравелитах, перекрывающих постройку, содержатся обломки кварца, что может свидетельствовать о близости времени образования гематит-кварцевых пород и сосредоточенных в них ветви-

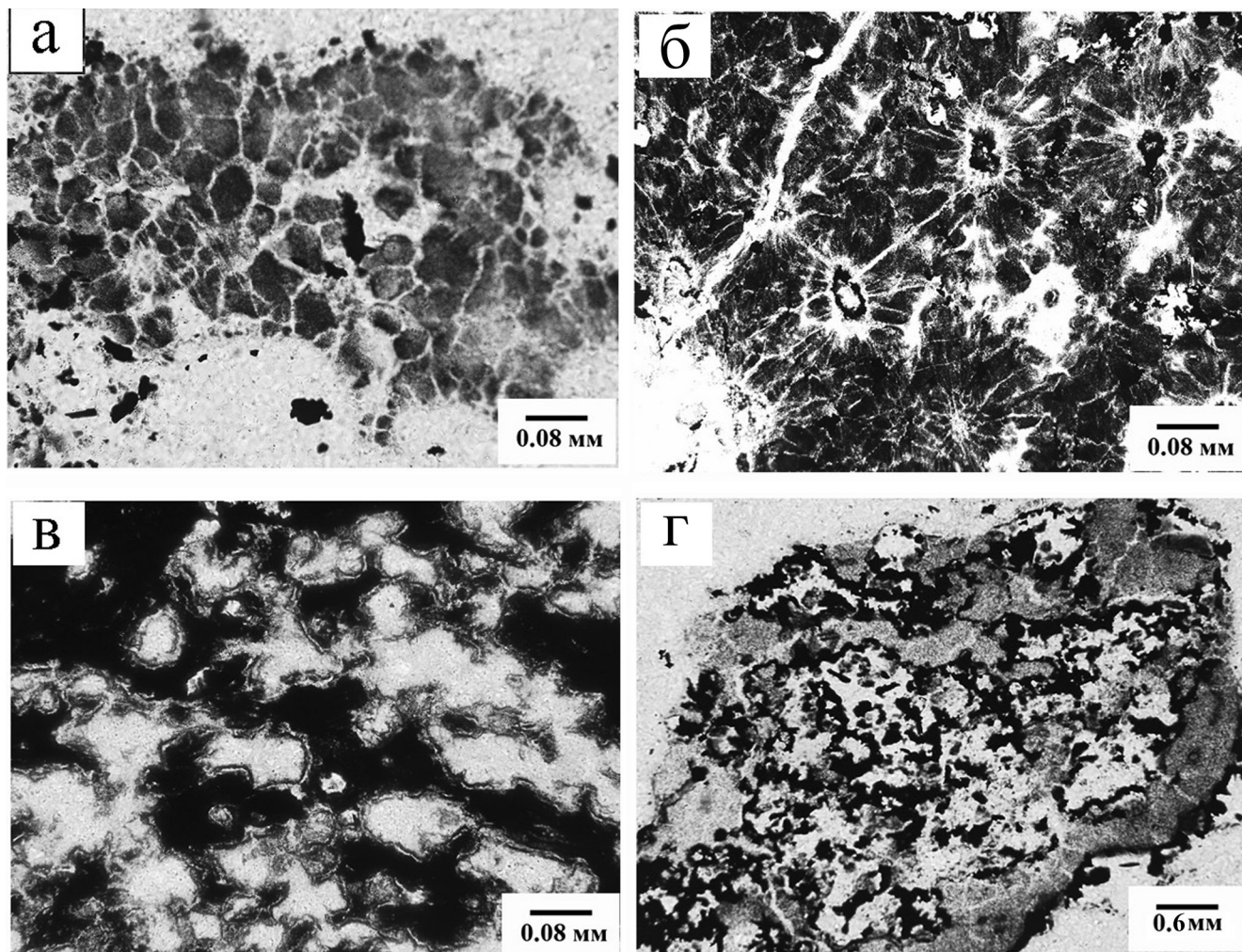


Рис. 5. Микротекстурные особенности гематит-кварцевых пород.

а – гомогенный железисто-кремнистый материал (обр. ЛГ-809-3); б – стяжения гематита (черное) в кварце (белое) (обр. 229-6); в – гематит-кварцевые агрегаты с амёбовидными обособлениями кварца (обр. ЛГ-811-7); г – обособленные кварцевые и гематитовые агрегаты (обр. ЛГ-809-8). Николи параллельны.

стых кварцевых жил. Более поздними являются кварцевые жилы, приуроченные к прямолинейным трещинам скола. Они сложены белым гранозернистым кварцем и имеют мощность от 2 до 10 см.

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ГЕМАТИТ-КВАРЦЕВЫХ ПОРОД

Главными компонентами пород являются кремнезем, количество которого составляет 89–94 мас. % (табл. 1) и оксиды железа. Содержание Fe_2O_3 – 3.6–9.4 мас. %, FeO варьирует в интервале 0.34–1.09 мас. %. Концентрации щелочей, оксидов Ca, Al, Ti и Mg составляют десятые и сотые доли процента. По данным ICP-MS анализа содержания РЗЭ и элементов-примесей в гематит-кварцевых породах из подводящего канала и тела постройки близки (рис. 7, табл. 2). Однако, отдельные образцы из подводящего канала (№ 250–6, 250–7) характеризуются повышен-

ными содержаниями золота (18–19 г/т), серебра (6–13 г/т), меди (194–198 г/т).

В распределении РЗЭ наблюдается преобладание легких редких земель над тяжелыми, что, в целом, характерно для гидротермальных отложений [47]. Гематит-кварцевые породы Лисьих гор характеризуются наличием очень слабой отрицательной аномалии Eu и отчетливым дефицитом Ce; последнее характерно для спектров РЗЭ морской воды [11].

ТЕРМОБАРОГЕОХИМИЧЕСКИЕ И ГАЗОВО-ХРОМАТОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КВАРЦЕВЫХ ЖИЛ

Первичные флюидные включения были изучены в кварце из жил следующих позиций: в подводящем канале, в основании и кровле постройки; в перекрывающих яшмах, золотоносных зонах в подстилающих андезибазальтах.

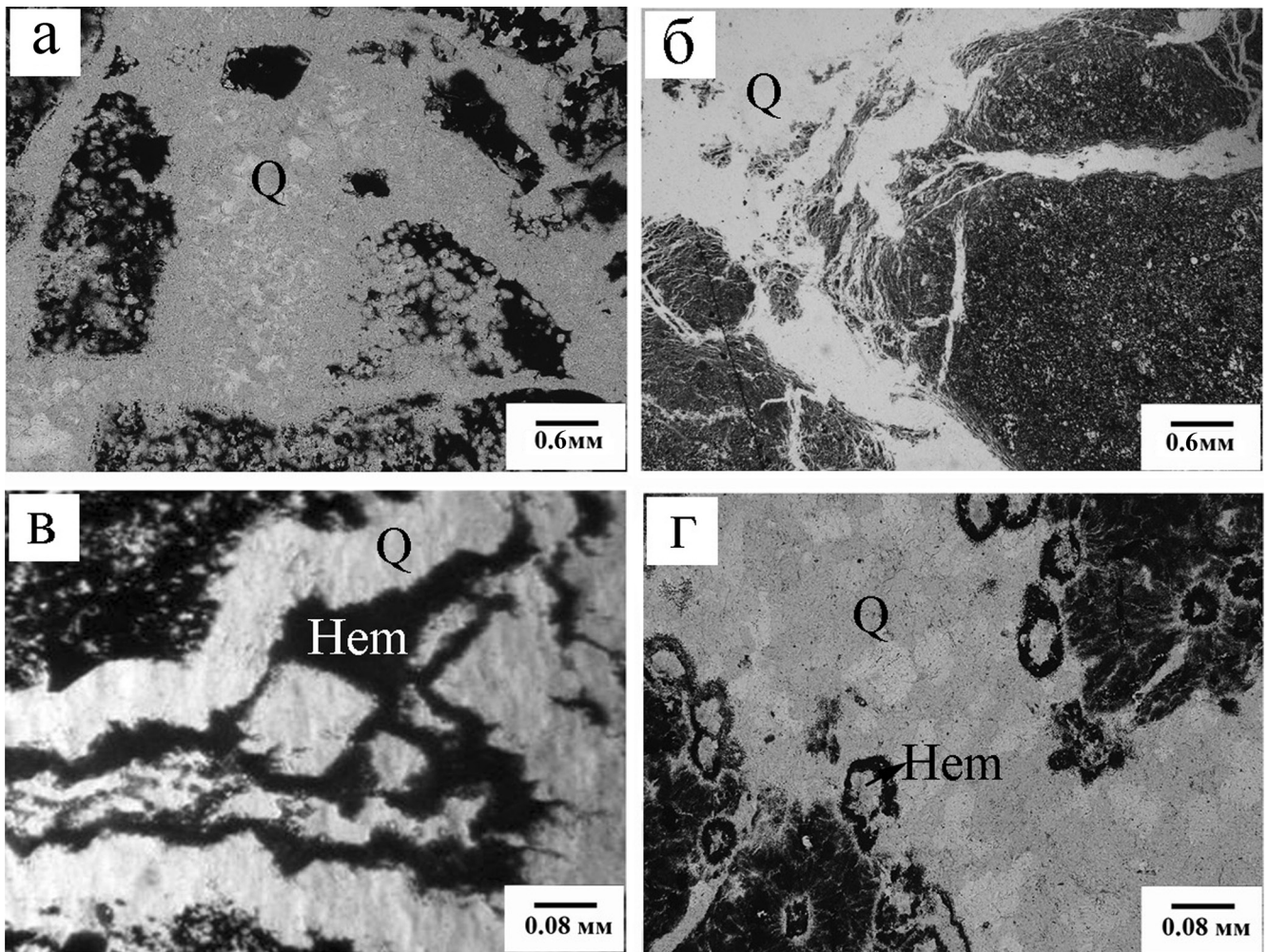


Рис. 6. Кварцевые жилы в гематит-кварцевых породах.

а – трещины синерезиса, заполненные кварцем (обр. ЛГ-811-7); б – ветвящиеся прожилки (обр. 831-2А); в – зональные гематитсодержащие жилы (обр. 804-5); г – жилка с глобулами гематита (обр. ЛГ-229-6). Николи параллельны.

Исследованные флюидные включения в жилах из постройки однотипны: они сосредоточены в крупнозернистых агрегатах зерен кварца, имеют размеры от 5–7 до 20–30 мкм, округлую форму, нередко со сложными границами или элементами огранки. При нормальных условиях (25°C) включения двухфазные (прозрачная светлая жидкость + газовый пузырек), газовые пузырьки часто крупные (до 20% объема включения). Результаты криометрических исследований указывают на водный хлоридно-натриевый состав раствора, захваченного включениями (табл. 3, рис. 8).

В подводящем канале постройки флюидные включения изучались в кварце из гематитсодержащей жилы. Концентрации солей в растворе составляют 2.8–3.2 мас. % NaCl-экв. При нагревании флюидные включения гомогенизировались в жидкую фазу при 240–290°C.

В основании гематит-кварцевой постройки исследован кварц из прожилков мощностью 1–2 см в брекчиевидных породах. Установлено, что в рас-

творе преобладают соли NaCl с концентрациями 3.0–3.3 мас. % NaCl-экв. При нагревании гомогенизация включений в жидкую фазу происходила в интервале температур 185–210°C.

В кровле постройки изучены включения в гранозернистом кварце из ветвистых прожилков в массивных гематит-кварцевых породах. Согласно полученным данным, в захваченном растворе преобладал растворенный NaCl. Концентрация солей в растворах составила 1.5–6.8 мас. % NaCl-экв. Гомогенизация флюидных включений происходила в жидкую фазу в интервале температур 160–190°C.

Во флюидных включениях из жил среди кремнистых пород, перекрывающих постройку, установлено преобладание NaCl с возможными примесями сульфата, карбоната и гидрокарбоната натрия. Концентрации солей составили 3.0–5.2 мас. % NaCl-экв., температуры гомогенизации – 120–160°C.

Таблица 1. Химический состав гематит-кварцевых пород Лисьих Гор

№ п/п	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	H ₂ O [*]	п.п.п.	P ₂ O ₅	Σ
250-3	91.74	<0.05	<0.05	6.58	0.99	0.01	0.13	0.10	0.13	<0.01	<0.10	<0.10	0.10	99.78
250-4	90.77	<0.05	0.08	7.65	0.57	0.19	0.05	0.44	0.09	0.04	<0.10	<0.10	0.09	99.97
250-6	94.48	<0.05	<0.05	3.74	1.32	0.03	0.04	0.21	0.05	0.04	0.10	<0.10	<0.05	100.01
250-7	92.15	<0.05	0.12	6.44	0.60	0.01	0.05	<0.01	0.15	0.02	<0.10	0.44	0.11	100.09
250-9	89.29	<0.05	0.07	9.18	0.48	0.40	0.06	0.04	0.19	0.02	<0.10	0.18	0.06	99.97
250-10	89.58	<0.05	0.09	9.10	0.73	0.18	0.05	<0.01	0.20	0.05	<0.10	<0.10	<0.05	99.98
Среднее	91.34	<0.05	0.09	7.11	0,674	0.14	0.06	0.19	0.13	0.03	0.10	0.31	0.09	99.97
							Постройка							
250-11	92.40	<0.05	0.13	6.24	1.02	0.02	0.04	0.15	0.04	0.02	<0.10	<0.10	<0.05	100.06
250-12	93.54	<0.05	0.05	5.17	0.54	0.09	0.10	0.33	0.07	0.04	<0.10	<0.10	0.06	99.99
250-13а	93.10	<0.05	0.09	5.37	0.66	0.08	0.03	<0.01	0.19	0.04	<0.10	<0.10	<0.05	99.47
250-14	88.47	<0.05	0.09	9.40	1.56	0.10	0.06	0.09	0.07	0.04	<0.10	<0.10	0.06	99.94
250-15	92.66	<0.05	0.06	5.40	0.80	0.02	0.18	<0.01	0.20	0.02	<0.10	0.12	0.05	99.51
222	93.67	<0.05	<0.05	4.06	1.10	0.02	0.13	0.24	0.05	0.02	0.12	<0.10	0.12	99.53
222-9	92.64	<0.05	<0.05	5.73	0.66	0.01	0.14	0.20	0.16	0.02	<0.10	<0.10	0.16	99.72
222-8-1	94.04	<0.05	<0.05	3.60	1.10	0.03	0.16	0.20	0.06	0.02	<0.10	<0.10	0.07	99.58
222-8-2	91.90	<0.05	<0.05	6.15	0.96	0.19	0.12	0.15	0.14	0.01	<0.10	<0.10	0.09	99.71
Среднее	92.49	<0.05	0.08	5.68	0.72	0.06	0.11	0.19	0.11	0.03	0.12	0.12	0.09	99.72

Примечание. Валовый химический анализ пород выполнялся классическим химическим методом (Южно-Уральский центр коллективного пользования по исследованию минерального сырья ИМин УрО РАН, аттестат № РОСС RU.0001.514536), аналитик М.Н. Мажаренок.

Газово-хроматографический анализ кварца из гематитсодержащих и ветвистых жил подводящего канала и постройки показал, что основными летучими компонентами флюидов являются H₂O, CO₂, CH₄, N₂, причем CO₂ превосходит по количеству другие газы (до 160 г/т в кровле постройки) (табл. 4). Общая флюидонасыщенность кварца из жил в гематит-кварцевых породах составляет 302–1629 г/т. Содержание воды в кварце из жил подводящего канала к кровле постройки изменяется в широких пределах – от 294 до 1427 г/т. Максимальные содержания летучих компонентов наблюдаются в кровле постройки.

Физико-химические параметры формирования кварцевых жил золотоносных зон. Для кварцевых жил в золотоносных зонах установлено, что солевой состав растворов преимущественно хлоридно-натриевый (табл. 3, рис. 8). В жилах Восточной и Центральной зон соленость растворов составляет, в среднем, 2.7–6 мас. %, повышаясь в жилах Западной зоны, находящейся стратиграфически выше, до 7 мас. %. Температуры гомогенизации включений в кварце составили 230–275°C. Наблюдается гетерогенизация пар включений при температурах 260.6, 265.3 и 292.4°C (Восточная зона) и 248°C (Западная зона), что позволяет считать результаты замеров истинными температурами минералообразования [30]. Кварцевые жилы Восточной зоны являются наиболее высокотемпературными (250–275°C) по сравнению с жилами Центральной и Западной зон (230–250°C). Солевой состав растворов в кварце золотоносных зон преимущественно хлоридно-натриевый с примесью сульфатов и карбонатов натрия. Для жил Восточной зоны соленость растворов составляет, в среднем, 3–6 мас. % NaCl-экв., повышаясь в Западной зоне (до 7 мас. % NaCl-экв.).

Таким образом, растворы, образовавшие кварцевые жилы золотоносных зон и гематит-кварцевых построек Лисьих гор сходны по составу, солености, температурному режиму отложения. Это свидетельствует об их формировании в пределах одной флюидной системы. Солевой состав растворов и особенности состава РЗЭ (отрицательная аномалия Се) указывают на то, что в минералообразующем растворе преобладала морская вода.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Полученные результаты позволяют осветить некоторые вопросы генезиса описанных построек и их позицию в гидротермальных системах Магнитогорской палеоостроводужной зоны. Для более полной картины мы при-

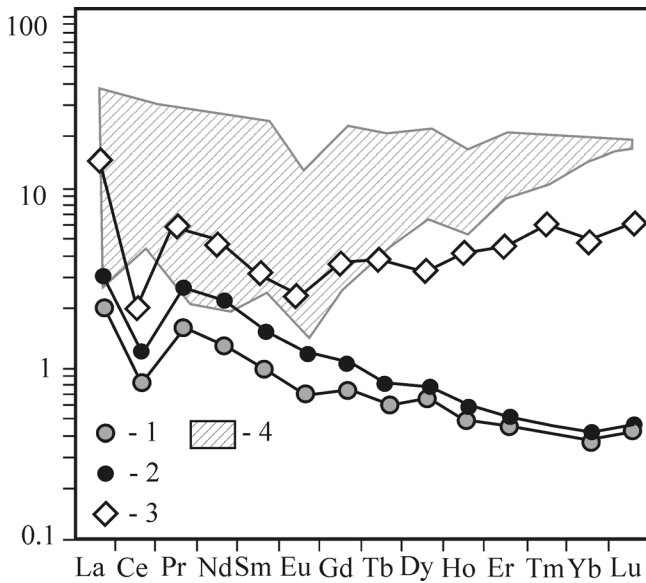


Рис. 7. Спектры распределения редкоземельных элементов в гематит-кварцевых породах Лисьих гор, нормализованные на хондрит [3].

1, 2 – гематит-кварцевые породы Лисьих гор: 1 – подводящий канал, 2 – постройка, 3 – морская вода [48]; 4 – гальмиролититы Узельгинского колчеданосного поля [23].

Сравнительный анализ строения гематит-кварцевых построек и железистых гальмиролитических отложений Южного Урала

Главный вопрос, поставленный в задачах исследования, касается соотношения гидротермальной деятельности и гальмиролиза в образовании гематит-кварцевых построек и железистых отложений. Сравнительные данные отражены в таблице 5, характеризующей морфологию, текстурно-структурные особенности, геохимические параметры отложений. Анализ этих сведений показывает, что наиболее выразительными для гидротермальных сооружений являются холмообразная форма тел и наличие подводящих каналов.

На Южном Урале гематит-кварцевые постройки детально изучены на некоторых колчеданных, золото-сульфидных и марганцевых месторождениях девонского возраста (рис. 1).

На Талганском медно-цинково-колчеданном месторождении (Верхне-Уральский рудный район) установлено два уровня кремнисто-железистых отложений: нижний – гематит-кварцевый и верхний – гематит-карбонатный. Первый залегает в подошве колчеданной залежи и вмещает тело гематит-кварцевых пород шириной 100–150 м и протяженностью около 700 м [2]. Его максимальная мощность – 12 м, и в его центре реконструирована холмообразная постройка [35]. Осевая часть сложена ярко-красными, красно-бурыми гематит-кварцевыми породами, которые содержат жилки

влекли опубликованные материалы по гематит-кварцевым отложениям в современном океане.

Таблица 2. Содержания редкоземельных элементов в гематит-кварцевых породах Лисьих Гор (г/т)

Элементы	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Yb	Lu
Подводящий канал														
250-2	0.88	0.31	0.48	0.07	0.36	0.10	0.03	0.14	0.02	0.15	0.03	0.09	0.09	0.01
250-4	1.43	1.52	1.82	0.68	3.79	1.02	0.31	0.99	0.12	0.63	0.09	0.20	0.17	0.02
250-6	0.38	0.64	0.81	0.09	0.34	0.06	0.01	0.06	0.01	0.07	0.01	0.04	0.06	0.01
250-7	0.76	0.84	0.78	0.10	0.37	0.08	0.02	0.09	0.01	0.11	0.02	0.07	0.12	0.02
250-9	1.88	1.54	1.16	0.49	2.18	0.51	0.14	0.49	0.07	0.46	0.08	0.24	0.18	0.02
250-10	1.16	0.59	0.70	0.20	0.96	0.25	0.07	0.26	0.04	0.26	0.04	0.11	0.09	0.01
Среднее	1.08	0.91	0.96	0.27	1.33	0.34	0.10	0.34	0.05	0.28	0.05	0.13	0.12	0.02
Постройка														
222	1.70	0.53	0.42	0.15	0.68	0.16	0.05	0.21	0.03	0.23	0.05	0.13	0.11	0.02
222-9	0.97	0.70	0.65	0.20	0.88	0.21	0.05	0.22	0.03	0.20	0.04	0.10	0.07	0.01
222-8-1	0.60	0.72	0.51	0.17	0.71	0.18	0.04	0.17	0.03	0.17	0.03	0.08	0.08	0.01
222-8-2	1.67	1.31	0.98	0.46	2.22	0.57	0.16	0.55	0.09	0.51	0.08	0.20	0.18	0.02
250-11	0.77	0.54	0.69	0.17	0.74	0.17	0.05	0.17	0.02	0.14	0.03	0.07	0.06	0.01
250-12	0.65	0.60	0.79	0.14	0.60	0.13	0.03	0.13	0.02	0.12	0.03	0.07	0.10	0.02
250-13	1.11	1.07	0.89	0.21	0.93	0.20	0.05	0.22	0.03	0.20	0.04	0.12	0.15	0.02
250-14	1.42	1.07	1.00	0.22	0.95	0.20	0.05	0.25	0.04	0.25	0.05	0.15	0.13	0.02
250-15	0.92	1.07	1.00	0.22	0.95	0.20	0.05	0.25	0.04	0.25	0.05	0.15	0.13	0.02
Среднее	1.09	0.68	0.80	0.12	0.49	0.12	0.04	0.15	0.02	0.17	0.04	0.11	0.14	0.02

Примечание. Масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS) проводилась на приборе Perkin Elmer ELAN-9000 (аналитик Д.В. Киселева, Институт геологии и геохимии УрО РАН, г. Екатеринбург). Стандарты: раствор индия, базальт BCR-2 (U.S. Geological Survey).

Таблица 3. Результаты термобарогеохимических исследований включений в кварце

№ п/п	Места отбора образцов	Кол-во замеров	$T_{эвт}$, °C	Солевая система	$T_{пл}$, °C	C, мас.%, NaCl-экв.	$T_{гом}$, °C
1	подводящий канал (обр. 804-5)	85	-20.8...-21.3	NaCl-H ₂ O	-2.0...-4.0	2.8-3.2	240-290
2	основание (обр. 801-5, 803-4)	47	-21.0...-21.3	NaCl-H ₂ O	-2.0...-2.9	3.0-3.3	185-210
3	кровля (обр. 756-1, 804-1, 804-2)	51	-21.0...-21.3	NaCl-H ₂ O	-0.8...-4.5	1.5-6.8	160-190
4	жилы в перекрывающих яшмах (обр. 831-4, 831-18)	50	-21.2...-22.0	NaCl-H ₂ O NaCl- Na ₂ SO ₄ -H ₂ O	-1.7...-3.7	3.0-5.2	120-160
5	Восточная зона (обр. 221-3, Тр-20-5)	57	-20.2...-21.0	NaCl-H ₂ O	-2.3-3.4	2.5-5.5	245-274
6	Центральная зона (обр. 198)	53	-21.0...-21.2	NaCl-H ₂ O	-2.0...-3.0	3.5-5	230-250
7	Западная зона (обр. 773-1, 803-1,	54	-20.7...-22.1	NaCl- Na ₂ SO ₄ -H ₂ O NaCl-H ₂ O	-3.0...-6.0	5.3-8.2	240-250

Примечание: $T_{эвт}$ – температура эвтектики; $T_{пл}$ – температура плавления льда; C – концентрация солей в растворе; $T_{гом}$ – температура гомогенизации.

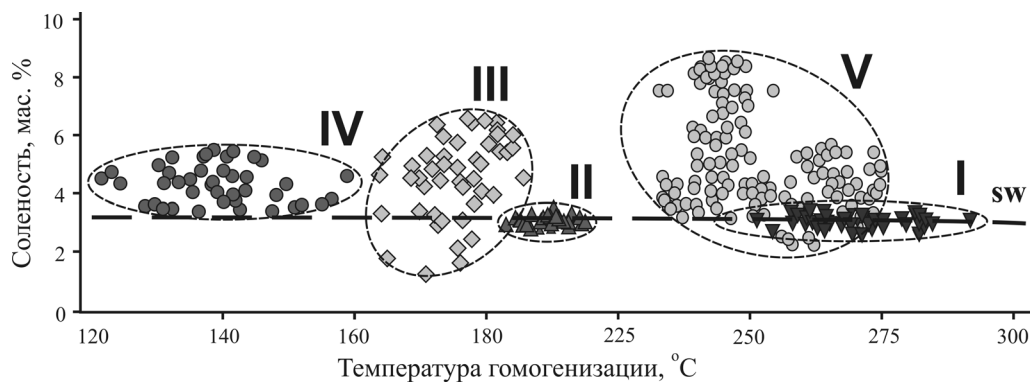


Рис. 8. Соотношение солёности раствора во включениях в кварце и температур их гомогенизации.

I–III – гематит-кварцевая постройка: I – подводящий канал, II – подошва, III – кровля; IV – поздние секущие жилы в перекрывающих яшмах; V – зоны сульфидно-кварцевого оруденения. SW – солёность морской воды при нормальных условиях (25°C).

кварца и вкрапленность пирита. В ней встречены следы окварцованных трубчатых червей, которые указывают на пригидротермальную деятельность. В лежачем боку постройки развиты серицит-кварцевые сульфидизированные метасоматиты, которые на границе с телом гематит-кварцевых пород почти полностью замещены пиритом. Для верхнего уровня, располагающегося в кровле колчеданных руд, характерны кварц-гематитовые, гематит-карбонатные и гематит-марганцевистые породы. Образование их связывается с процессами гальмиролиза [23].

На Кызыл-Ташском марганцевом месторождении гематит-кварцевые породы образует двухвершинный холм длиной 200 м и мощностью в 10–40 м [34]. С запада он ограничен разломом, а на востоке перекрывается вулканическими отложениями улугауской свиты. Ядра холмов сложены массив-

ными и брекчиевидными разностями, а в прогибе кровли и на флангах развиты марганцевые руды с прослоями яшм. Авторы выделили три этапа формирования сооружения: накопления гидротермальных осадков, их диагенетического преобразования и метаморфизма.

На Янзигитовском марганцевом месторождении строение гематит-кварцевых тел изучалось Л.А. Санько, В.В. Масленниковым и В.В. Зайковым. Здесь откартирована групповая гематит-кварцевая постройка поперечником 100–150 м и мощностью 20–30 м [31]. Основной объем тела сложен породами однородной, брекчиевой, комковатой текстуры с многочисленными кварцевыми жилами. На флангах развиты псаммитовые и псефитовые обломочные гематит-кварцевые разности, образовавшиеся при разрушении построек. В кровле они постепенно сменяются яшмами с конкрецион-

Таблица 4. Результаты газовой-хроматографического анализа включений в кварце (г/т исх. вещества)

№ пробы	Место отбора	Флюидонасыщенность	H ₂ O	CO ₂	N ₂	CH ₄
804-3	подводящий канал	584	554	25.1	0.11	4.6
222-10	основание	302	294	6.1	0.21	1.5
228-2		343	335	4.7	0.18	2.4
804-1	кровля	1629	1467	160.6	0.08	0.7

Примечание: Анализ выполнен на хроматографе “Цвет-100” с пиролитической приставкой П-75 (аналитик О.Ф. Миронова, Институт геохимии и аналитической химии РАН, г. Москва). Для количественного определения использован метод абсолютной калибровки с расчетом по высоте (N₂, CH₄, CO₂) или площади (H₂O) [25].

Таблица 5. Сравнительная характеристика гидротермальных и гальмиролитических гематит-кварцевых пород палео-островодужных структур Южного Урала

Признаки	Гидротермальные	Гальмиролитические
Форма тел	линзовидные и холмообразные залежи с подводящими каналами	пластообразные тела, линзы, жилы, прослойки
Преобладающая мощность отложений	10–40 м	десятки сантиметров–первые метры
Типы пород	джаспериты	джаспериты, госсаниты, умбриты.
Положение в разрезе	в кремнистой толще, кровле андезит базальтовой формации, в средней части разреза риолит-базальтовой формации	в кровле риодацитовой, базальтовой, андезит-базальтовой формации или в подошве толщи известняков
Текстурно-структурные особенности	характерны брекчиевидные (с четкими обломками), глобулярные, колломорфные, кокардовые, грубопятнистые, массивные, типа “ситцевой яшмы” текстуры; наличие обломков гематит-кварцевых пород и кварца на склонах построек и в перекрывающих отложениях	характерно переслаивание с гиалокластикой, замещенной гематитом и хлоритом, с постепенными переходами в гематит-кварцевую породу; микробрекчиевые (обломки расплывчатыми ограничениями), струйчато-слоистые, сгустковатые, грубопятнистые, ритмично-слоистые, полосчатые текстуры пород и бактериоморфные структуры
Минеральный состав	гематит, кварц, эпидот, гранат, карбонаты.	кварц, гематит, хлорит, браунит, гаусманит, карбонаты, эпидот.
Геохимические особенности	содержания SiO ₂ – 89–94%, Au – до 19 г/т; пониженные содержания РЗЭ, отрицательная аномалия Се.	SiO ₂ , – 67–89%, повышенные содержания Р и халькофильных элементов; повышенные содержания РЗЭ, присутствие аномалий Eu.
Жильный материал	сингенетичные и поздние кварцевые жилы, жилы типа “синерезиса”, гнезда, зональные гематитсодержащие, ветвистые, сетчатые жилки.	жилы типа “синерезиса”.
Физико-химические условия формирования	соленость растворов – 1.5–6.8 мас. % NaCl-экв., преобладающие соли – NaCl-Na ₂ SO ₄ , температуры гомогенизации – 120–290°C.	нет данных
Примеры месторождений	Лисьи горы, Янзигитово, Кызыл-Таш, Талганское (нижний уровень),	Узельгинское, Молодежное, Сибайское, Бабарыкинское, XIX Партсъезда, Чебачье, Александринское, Талганское (верхний уровень).
Литературные источники	[12, 18, 32, 34, 35]	[2, 22, 28, 46]

ными марганцевыми рудами. В гематит-кварцевых породах выявлены три типа кварцевых жил: сетевидных, цементирующих брекчии; заполняющих совместно с гематитом трещины синерезиса; линейных, развитых по трещинам скола [1]. Установлено, что они образовались при участии хлоридно-натриевых растворов с соленостью 2.7–6 мас. % и температурами 200–230°C.

Подобные тела с подводящими каналами описаны в Западных Мугоджарах [12]. На левом берегу р. Шуулдак кремнисто-гематитовая постройка мощностью около 0.5 м сложена красно-бурой пятнистой породой с алыми стекловатыми стяжениями. В подстилающих базальтах отмечена воронкообразная зона гематитизации, сульфидизации и окремнения поперечником 120 м, проникающая вкест простираяния вулканической толщи на глубину 70 м.

Кремнисто-железистые отложения гальмиролитического происхождения, в отличие от гидротермальных гематит-кварцевых пород, развиты по гиалокластитам и обычно располагаются в кровле колчеданных залежей [23]. Такие породы образуют пластообразные тела мощностью от нескольких сантиметров до первых метров (табл. 5). Примерами являются железистые отложения на месторождениях Верхне-Уральского и Александринского рудных районов.

На верхнем уровне Талганского месторождения под известняками залегают пурпурно-красные кварц-гематитовые, гематит-карбонатные и барит-гематит-кварцевые породы мощностью от 5–10 до 1 м [35]. Красноцветные породы переслаиваются с прослоями гиалокластитов и в подошве слоя наблюдается зона постепенного перехода гематит-кварцевых пород к дезинтегрированным риолитам.

На Молодежном месторождении установлен гематит-карбонатный слой мощностью 2.5 м, залегающий в основании толщи известняков на кварцевых риолитах и вулканомиктовых песчаниках [2]. В нижней части слоя наблюдаются стяжения алой кварц-гематитовой породы с расплывчатыми ограничениями. Гематит-карбонатные отложения по простираанию сменяются алыми кварц-гематитовыми породами, образующими сближенные линзообразные тела, мощностью в раздувах 0.3–0.8 м и длиной 1–8 м.

На Бабарыкинском колчеданном рудопроявлении в Александринском рудном районе гальмиролититы выявлены на контакте вулканитов с перекрывающими вулканомиктовыми осадками [26]. Они образуют прослои и линзы мощностью от первых сантиметров до первых метров, развитые по вулканогенно-обломочным породам с известковым цементом. Типичный латеральный ряд включает: частично окисленные гиалокластиты с примесью карбонатного материала–гематитизированные карбонатно-гиалокластитовые турбидиты–апогиалокластитовые гематит-кварцевые породы.

Как видно из приведенного выше описания, гальмиролитические продукты характеризуются гораздо более скромными масштабами проявления в виде пластовых тел, обычно в подошве карбонатных толщ и кровле вулканогенных отложений.

Сравнение текстурно-структурных особенностей и химизма гематит-кварцевых пород Лисьих гор и гальмиролититов колчеданных месторождений Урала

Гематит-кварцевые породы, слагающие исследованные постройки, следует отнести к джасперитам – массивным яшмам с пятнистой, микробрекчиевой, однородной текстурами, иногда с грубой слоистостью и травертиновыми кроками. Этот термин был предложен в работе [10] и поддержан в ряде публикаций российских геологов [16, 22, 34]. Зарубежными исследователями такие разности называются псевдобрекчиевыми яшмами (*pseudobreccia jasper*) [38, 41]. Однако, для пород, сформировавшихся в результате гальмиролитических процессов, также употребляется термин джаспериты в сочетании с понятиями госаниты и умбриты [2, 46]. В связи с двойственностью термина мы решили воздержаться от его использования в данной работе.

Гальмиролитические джаспериты содержат реликты гиалокластики, состоящей из мельчайших кварцевых и карбонатных зерен, кварц-хлоритового и кварц-гематитового материала. Отдельные участки частично преобразованных гиалокластов представлены хлорит-смектитовыми выделениями. Гальмиролитические хлорит-кварц-гематитовые породы имеют микробрекчиевые, струйчато-слоистые, сгустковатые, грубопятнистые, ритмично-слоистые, полосчатые текстуры и бактериоморфные структуры. Для них характерно переслаивание с гиалокластикой, замещенной гематитом и хлоритом, с постепенными переходами в гематит-кварцевую породу. Присутствуют теневые структуры гиалокластитовых брекчий [2].

Существенны различия гидротермальных и гальмиролитических пород по химическому составу. Кремнезем является главным компонентом гематит-кварцевых пород Лисьих гор (SiO_2 – 89–94 мас. %, Fe_2O_3 – 4–9%). В хлорит-гематит-кварцевых и гематит-кварцевых гальмиролититах колчеданных месторождений содержания SiO_2 заметно ниже (67–89%), а концентрации Fe_2O_3 варьируют в широких пределах – 8–25% [2].

Что касается содержаний РЗЭ, то валовые их содержания в гематит-кварцевых породах Лисьих Гор довольно низкие. Они характеризуются обогащением легкими РЗЭ и отрицательной аномалией Се, которая объясняется влиянием морской воды [42]. Содержания РЗЭ в гальмиролититах Узельгинского колчеданоносного рудного поля выше (рис. 7).

В них отмечается положительная аномалия Се и четкий дефицит Eu [2, 23].

Сопоставление физико-химических параметров образования гематит-кварцевых сооружений и колчеданных месторождений Урала

Гидротермальные системы в палеозойских комплексах Урала сформировались на двух основных этапах: палеоостроводужном и коллизионном. Примером последних на Урале является Кочкарское золото-кварцевое месторождение в Восточно-Уральской зоне [27]. Это месторождение связано с гранодиоритами и гранит-порфирами. Для него характерна повышенная концентрация солей (6.3–15.7 мас. % NaCl-экв.), температура растворов – 180–400°C.

Для сравнения продуктов гидротермальной деятельности на ранней стадии островодужного вулканизма привлечены данные по колчеданным месторождениям Западно- и Восточно-Магнитогорской палеоостровных дуг (табл. 6). К первой относится Баймакский рудный район с золото-колчеданно-полиметаллическими рудами, ко второй – Верхнеуральский рудный район и его медно-цинково-колчеданные месторождения.

Гидротермальные системы Баймакского рудного района включают снизу вверх: подрудные прожилково-вкрапленные руды, сульфидные руды с подводными каналами, заполненными кальцитом и кварцем, кварцевые жилы в надрудных дацитах [15, 44]. Установлено, что преобладающими солями гидротермальных растворов в кварцевых и карбонатных жилах являются NaCl с примесями $MgCl_2$, $CaCl_2$, KCl, Na_2SO_4 в концентрациях 2–12 мас. % NaCl-экв. Температуры гомогенизации включений для рудоподводящих каналов – 250–300°C; для жил в перекрывающих вулканогенных породах – 120–200°C.

В основании Восточно-Магнитогорской палеоостровной дуги находятся месторождения Верхнеуральского рудного района (Узельгинское, Чебачье, Западно-Озерное). В результате термо- и криометрических исследований в минералах руд (барит, кварц, карбонаты, сфалерит) установлено, что рудообразующие растворы имели температуры 110–360°C и концентрации солей 1–10 мас. % при преимущественно хлоридном составе с повышенным содержанием гидрокарбонат-иона и сульфатов [20].

На Александринском месторождении исследованы флюидные включения в барите и кварце из вкрапленных и сплошных сульфидных руд. Большинство полученных для руд значений температур гомогенизации укладывается в интервал 180–340°C [8].

Для гематит-кварцевых построек Лисьих гор максимальные температуры гомогенизации флюидных включений установлены в жилах подводного канала постройки – 290°C. Это указывает на

то, что на заключительном этапе формирования гидротермальной системы наиболее высокотемпературные растворы циркулировали в узкой, проницаемой линейной зоне, отвечающей подводному каналу. По направлению к кровле построек значения температур уменьшаются до 180°C. Солевой состав растворов преимущественно хлоридно-натриевый. Причем значения температур эвтектики образуют узкий интервал значений, четко соответствующий двухкомпонентной системе NaCl–H₂O. В подошве и подводном канале гематит-кварцевой постройки значения концентраций солей в растворах флюидных включений стабильны, составляют 2.8–3.3 мас. %, и близки солености морской воды. Обращает на себя внимание исключительно узкий интервал солености для кварцевых жил подводного канала, практически укладывающийся в прямую линию (рис. 8). В жилах кровли постройки значения солености растворов варьируют в более широких пределах (1.5–7 мас. % NaCl-экв.). Отличия солености растворов от солености морской воды могут быть связаны со смешением гидротермального раствора с гидротермами различного химического состава или его вскипанием на морском дне [7].

Таким образом, наблюдается сходство солености и температурного режима растворов, сформировавшихся гематит-кварцевые постройки Лисьих гор и палеоостроводужных гидротермальных систем колчеданных и золото-колчеданно-полиметаллических месторождений. Однако, колчеданообразующие гидротермальные растворы в основании Магнитогорской палеоостроводужной зоны обладают более сложным солевым составом. В них, наряду с NaCl, присутствуют соли KCl, $MgCl_2$ и $CaCl_2$. С этим коррелирует увеличение концентраций солей, вероятно, как следствие вклада в процессы минералообразования фазовой сепарации.

Сравнение гематит-кварцевых построек с железисто-кремнистыми сооружениями в современных океанах

В современных океанических структурах неоднократно отмечались малые постройки, сложенные рентгеноаморфным веществом ферригидритового и опалового состава. Они описаны в хребтах Эксплорер, Хуан-де-Фука в Тихом океане, поле ТАГ Срединно-Атлантического хребта [5]. Постройки представляют собой холмики или колонны зонального строения размером от 1 до 5–10 м, сложенные оксигидроксидами железа и марганца и залегающие на базальтах. Температуры истечения гидротермальных растворов на таких постройках составляют 25–35°C, достигая в трещинах 100–150°C.

В окраинно-океанических структурах железистые гидротермальные постройки установлены в дуге Тонга [51], кальдере острова Санторин [52], бассейне Вудларк в Меланезии. Соленость флю-

Таблица 6. Результаты исследований флюидных включений в минералах гидротермальных систем Южного Урала

Местонахождение, минерал	Соленость (мас. %, NaCl-экв.), солевая система	Температура гомогенизации, °С	Литературный источник
Гематит-кварцевые постройки и золотоносные поля			
Лисьи горы: золотоносные зоны окварцевания (кварц); гематит-кварцевые породы (кварц)	2.5–7.0, NaCl–H ₂ O	230–270	данные авторов [1]
Янзигитово (кварц)	1.5–6.8, NaCl–H ₂ O	120–290	
	2.7–6.0, NaCl–H ₂ O	200–230	
Золото-колчеданно-полиметаллические месторождения			
Таш-Тау: сульфидно-кварцевые жилы (кварц); рудоподводящий канал (кальцит)	4.5–6.5, MgCl ₂ –NaCl– H ₂ O	255–300	[14]
	5.1–6.7, MgCl ₂ –NaCl– H ₂ O	160–170	
Вишневское: жилы в андезитах (кальцит); жилы в дацитах (кальцит); сульфидно-кварцевые жилы (кварц)	3–8, CaCl ₂ –NaCl–H ₂ O 2–8, NaCl–H ₂ O	160–200 120–150	[14]
Балта-Тау: прожилково-вкрапленные руды (кварц, барит)	3–4.5, NaCl–KCl–H ₂ O	140–180	[44]
Северо-Уваряжское: барит-полиметаллические жилы (барит)	3–5, NaCl–Na ₂ SO ₄	160–170 210–240	[15]
Утреннее: прожилково-вкрапленные сульфидные руды (кальцит)	1.8–3, MgCl ₂ –NaCl–H ₂ O	156–170	[15]
Звездное: сульфидные жилы в серицит- кварцевых метасоматитах (кварц)	3.7–7.7, MgCl ₂ –NaCl– H ₂ O	145–157	[15]
Медно-цинково-колчеданные месторождения			
Узельгинское: прожилково- вкрапленные руды (кварц), подрудные метасоматиты (кварц)	4.7, NaCl–KCl–H ₂ O	155–159 179–195, 212–298, 314– 337	[20]
Чебачье: прожилково-вкрапленные руды (кварц, сфалерит)	5.0–5.1, NaCl+KCl+Na ₂ SO ₄ +MgSO ₄ –CaCl ₂ –H ₂ O	165–70	[20]
подрудные метасоматиты (кварц)	3.2–9.2	152–167	
Западно-Озерное: прожилково- вкрапленные руды и подрудные метасоматиты (кварц)	2–5.7, NaCl+KCl+Na ₂ SO ₄ +MgSO ₄ +CaCl ₂ –H ₂ O	130–200	[20]

идов в барит-кремнезем-сульфидной трубе горы Франклин (бассейн Вудларк) составляет 3.4–5.8% при температурах гомогенизации от 128°C до 316°C [7]. В задуговом бассейне Окинава железисто-кремнистые образцы были собраны международной экспедицией [45].

В последние годы выявлены сооружения гематит-опалового состава, подобные описанным в палеоокеанических структурах Урала. Приведем пример из трансформного разлома Бланко, по которому сочленяются рифты Хуан-де-Фука и Горда [43]. Здесь, на глубине 3400 м, выявлен активный

холм с поперечником 5 м и высотой 1 м. Он состоит из опала-СТ (кристобалит-гридимит) и гематита, со следами барита, талька и гетита. Основными компонентами являются SiO_2 (72–83%) и Fe_2O_3 (9–16%). Поскольку нижняя граница температуры образования гематита оценивается в 115°C [39], такой же предел предполагается и для постройки. Это заключение сделано исходя из тонкого прорастания опала и гематита. В окружающих вулканокластических породах выявлены брекчии, сцементированные кварцем.

Процессы формирования и поисковое значение гематит-кварцевых отложений

Соотношение гематит-кварцевых пород с вмещающими отложениями свидетельствует, что процессы литификации (диагенеза) в этих разнородных средах происходили различным образом. Для алевритов и кремнистых илов диагенез, в основном, вызывается физико-химическими изменениями (реакциями замещения и обмена) под грузом накопившихся осадков [21]. В соответствии с геологическими реконструкциями, мощность отложений, накопившихся в промежутки времени между формированием гематит-кварцевых построек и завершением девонской седиментации, составляет порядка 2400 м [24]. При средней плотности пород 2.8 г/см^3 и геотермическом градиенте 30–40 град/км в основании такой толщи создавалось давление около 1 кбар и температура 110°C .

Гематит-кварцевые породы имели более плотную консистенцию, по сравнению с илами, а на их диагенез влияло воздействие эндогенного теплового потока. Железисто-кремнистое вещество, отложившееся в устьях гидротермальных источников, по аналогии с современными постройками, представляло собой опал-гематитовые или опал-ферригидритовые отложения. Под действием гидротерм они консолидировались и, судя по присутствию гематита, температура в постройках была выше 120°C . Этому способствовали растворы, из которых отлагались кварцевые жилы, насыщавшие постройку. Температура растворов, по данным термо-криометрических исследований, была в пределах $120\text{--}290^\circ\text{C}$. Такие параметры близки условиям прениит-пумпеллиитовой фации метаморфизма, не нарушающей первичных геохимических характеристик горных пород. Они являются и нижним пределом температур, измеренных в кварцевых жилах.

Гематит-кварцевые породы могут иметь поисковое значение при оценке золотоносности подстилающих осадочно-вулканогенных комплексов. В пользу такого заключения свидетельствует сочетание на участке Лисьи горы золотоносных зон и гематит-кварцевых построек. Данное предположение подтверждается близкими параметрами гидротермальных растворов, продуцирующих эти сооруже-

ния и золотоносные жилы. Отметим также повышенные содержания золота в гематит-кварцевых породах подводящего канала.

На смежных площадях Магнитогорской палеоостроводужной зоны определенными перспективами обладает Мамбетовский, участок (рис. 1), который находится на южном фланге колчеданосной Подольской депрессии. Здесь известна пластовая залежь гематит-кварцевых пород мощностью 30–40 м и прослеженной длиной 700 м [12]. Ее нижняя граница с андезибазальтами ирендыкского комплекса резкая, а в кровле гематит-кварцевые породы перекрыты яшмами. В восточной части тела развиты красно-бурые, алые разности пятнистой и брекчиевой текстур. Для них характерна четкая плитчатость (3–15 см), которая подчеркивается полосами и линзами чешуйчатого гематита с повышенными содержаниями золота (1–3 г/т).

Решение вопроса о золотоносности участков Лисьи горы и Мамбетовского позволит решить поставленный прогнозный вопрос. Мы полагаем, что верхние уровни гидротермальной системы, выраженные гематит-кварцевыми постройками, фиксируют залегающие на глубине золотоносные породы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Гематит-кварцевые постройки на участке Лисьи горы образовались в результате гидротермальной деятельности после завершения андезит-базальтового вулканизма синхронно с накоплением тонкозернистых осадков. Главными признаками гидротермального происхождения построек являются: холмообразная форма тел с подводящими гематит-кварцевыми зонами; колломорфные и глобулярные микроструктуры пород; обилие гематит-содержащих кварцевых жил.

2. Кварцевые жилы поля Лисьи горы формировались в широком температурном диапазоне ($120\text{--}290^\circ\text{C}$). В направлении от нижних уровней гидротермальной системы к верхним в составе включений происходило уменьшение содержания CO_2 и CH_4 и увеличение количества H_2O . В формировании кварцевых жил золотоносных зон принимали участие растворы преимущественно NaCl -состава с примесями Na_2SO_4 и NaHCO_3 и соленостью 2.5–8 мас. % NaCl -экв..

3. По сравнению с гематит-кварцевыми постройками, колчеданные рудные тела Магнитогорской палеоостроводужной зоны формировались из гидротермальных растворов более сложного солевого состава. В них, наряду с NaCl , присутствуют соли KCl , MgCl_2 и CaCl_2 . Общий интервал значений концентраций солей в растворах достигает 11.9 мас. %, что в несколько раз превышает соленость морской воды и связано с фазовой сепарацией раствора.

4. Аналоги палеозойских гематит-кварцевых построек, перспективные на золотое оруденение, мо-

гут быть выявлены в окаинно-океанических структурах в кровле андезит-базальтовой формации.

Авторы благодарны Е.В. Зайковой, А.М. Юминову, В.В. Масленникову, Н.Р. Аюповой, И.Ю. Мелекесцевой, М.Н. Маляренко, О.Л. Буслонской (Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс), Е.С. и С.В. Овчаровым (Александринская горнорудная компания), Р. Херрингтону (Музей естественной истории, г. Лондон, Великобритания), В.В. Мурзину, Д.В. Киселевой, (Институт геологии и геохимии УрО РАН, г. Екатеринбург), Н.С. Бортникову и З.А. Котельниковой (ИГЕМ РАН) и О.Ф. Мироновой (ГЕОХИ РАН) за консультации, ценные советы и помощь в подготовке статьи. Благодарим рецензента за ценные замечания, которые учтены при завершении работы.

Исследования проведены при поддержке интеграционного проекта УрО–СО РАН (№ 12-С-5-1010) и ФЦП Минобрнауки (ГК П 237 и ГК № 14.740.11.1048)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анкушева Н.Н., Аюпова Н.Р. Об условиях формирования гематит-кварцевых пород Янзигитовского марганцевого месторождения, Южный Урал: тез. XV Всеросс. конф. по термобарогеохимии. М.: ИГЕМ РАН, 2012. С. 10–11.
2. Аюпова Н.Р., Масленников В.В. Гальмиролититы Узельгинского колчеданосного поля (Южный Урал). Миасс: УрО РАН, 2005. 199 с.
3. Балашов Ю.А. Геохимия редкоземельных элементов. М.: Наука, 1976. 266 с.
4. Белогуб Е.В., Новоселов К.А., Котляров В.А. и др. Минералогия окисленных руд золото-полиметаллического месторождения Ик-Давлят (Южный Урал) // Зап. РМО. Ч. СХХХV, № 5. 2006. С. 35–43.
5. Богданов Ю.А., Лисицын А.П., Сагалевиц А.М. и др. Гидротермальный рудогенез океанского дна. ИО РАН. М.: Наука, 2006. 527 с.
6. Борисенко А.С. Изучение солевого состава растворов газово-жидких включений в минералах методом криометрии // Геология и геофизика. 1977. № 8. С. 16–28.
7. 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. № 1, Т. 46. С. 74–87.
8. Викентьев И.В. Условия формирования и метаморфизм колчеданных руд. М.: Научный мир, 2004. 344 с.
9. Гаврилов А.А. Эксгалайционно-осадочное рудонакопление марганца. М.: Недра, 1972. 216 с.
10. Геосинклиальная и океанская седиментация и вулканизм (сравнительная характеристика). М.: Наука, 1984. 222 с.
11. Дубинин А.В. Геохимия редкоземельных элементов в океане. М.: Наука, 2006. 359 с.
12. Зайков В.В. Вулканизм и сульфидные холмы палеоокеанических окраин: на примере колчеданосных зон Урала и Сибири. М.: Наука, 1991. 206 с.
13. Зайков В.В. Вулканизм и сульфидные холмы палеоокеанических окраин: на примере колчеданосных зон Урала и Сибири. 2-е изд. М.: Наука, 2006. 429 с.
14. Зайков В.В., Анкушева Н.Н. Параметры гидротермальных растворов, формировавших золото-колчеданно-полиметаллические месторождения Западно-Магнитогорской палеоостровной дуги (Южный Урал) // XIII Всероссийская конференция по термобарогеохимии. М.: ИГЕМ РАН, 2008. С. 41–44.
15. Зайков В.В., Анкушева Н.Н., Мелекесцева И.Ю. Условия образования сульфидных жил золото-колчеданно-полиметаллических месторождений и рудопроявлений Баймакского рудного района, Южный Урал // Металлогения древних и современных океанов. Миасс: ИМин УрО РАН, 2010. С. 166–170.
16. Зайков В.В., Масленников В.В., Зайкова Е.В. Вулканизм и металлоносные отложения девонской островодужной системы Южного Урала. Екатеринбург: ИМин УрО РАН, 1993. 146 с.
17. Зайкова Е.В. Генетическая разнородность палеозойских кремнистых пород Северных Мугоджар // Докл. АН СССР. 1985. Т. 282, № 5. С. 1206–1209.
18. Зайкова Е.В. Кремнистые породы офиолитовых ассоциаций (на примере Мугоджар). М.: Наука, 1991. 134 с.
19. Зайкова Е.В., Зайков В.В. Признаки придонного гидротермального происхождения железисто-кремнистых построек Магнитогорско-Мугоджарской островодужной системы Урала // Металлогения древних и современных океанов. Миасс: ИМин УрО РАН, 2003. С. 208–215.
20. Карпущина В.С., Баранов Э.Н. Физико-химические условия формирования колчеданных месторождений Верхне-Уральского рудного района, Южный Урал // Геохимия. 1995. № 1. С. 48–63.
21. Логвиненко Н.В., Орлова Л.В. Образование и изменение осадочных пород на континенте и в океане. Л.: Недра, 1987. 237 с.
22. Масленников В.В. Седиментогенез, гальмиролиз и экология колчеданосных палеогидротермальных полей. Миасс: ИМин УрО РАН, 1999. 347 с.
23. Масленников В.В., Аюпова Н.Р. Кремнисто-железистые породы Узельгинского колчеданосного поля (Южный Урал) // Литосфера. 2007. № 2. С. 106–129.
24. Маслов В.А., Артющикова О.В. Стратиграфия и корреляция девонских отложений Магнитогорской мегазоны Южного Урала. Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2010. 288 с.
25. Миронова О.Ф., Наумов В.Б., Салазкин А.Н. Азот в минералообразующих флюидах: газохроматографическое определение при исследовании включений в минералах // Геохимия. 1992. № 7. С. 979–993.
26. Новоселов К.А., Белогуб Е.В., Аюпова Н.Р. Бабарькинское рудное поле (Александринский колчеданосный район, Южный Урал). Миасс: ИМин УрО РАН, 2009. 175 с.
27. Прокофьев В.Ю., Спиридонов Э.М. Состав метаморфогенных флюидов и условия преобразования руд Кочкарского золоторудного месторождения

- (Южный Урал) // Петрография на рубеже XXI века: мат-лы II Всеросс. петрографич. совещ. Т. 3. Сыктывкар, 2005. С. 88–90.
28. Пуркин А.В., Денисова Т.А. Геологические критерии прогнозирования и поисков на Урале скрытых стратиформных медноколчеданных месторождений, сформированных по продуктам субмаринного выветривания базальтов. Свердловск: Уралгеология, 1987. 190 с.
 29. Пучков В.Н. Палеогеодинамика Южного и Среднего Урала. Уфа: Даурия, 2010. 146 с.
 30. Реддер Э. Флюидные включения в минералах. Т. 1. М.: Мир, 1987. 560 с.
 31. Санько Л.А. Полициклическая гидротермальная кварц-гематитовая постройка Янзигитовского марганцевого месторождения // Ежегодник-1988. Свердловск: УрО АН СССР, 1989. С. 81–85.
 32. Санько Л.А., Масленников В.В. Придонные гидротермальные постройки Талганского колчеданного месторождения // Придонные гидротермальные постройки колчеданосных районов. Свердловск: УрО АН СССР, 1988. С. 82–90.
 33. Серавкин И.Б., Знаменский С.Е., Косарев А.М. Разрывная тектоника и рудоносность Башкирского Зауралья. Уфа: Полиграфкомбинат, 2001. 318 с.
 34. Старикова Е.В., Брусницын А.И., Жуков И.Г. Палеогидротермальная постройка марганцевого месторождения Кызыл-Таш, Южный Урал: строение, состав, генезис. СПб.: Наука, 2004. 230 с.
 35. Теленков О.С., Масленников В.В. Автоматизированная экспертная система типизации кремнисто-железистых отложений палеогидротермальных полей Южного Урала. Миасс: ИМин УрО РАН, 1995. 200 с.
 36. Чайко Г.И., Яркова А.В. Геологическая карта Южного Урала масштаба 1 : 50 000, пл. N-40-132-Б, В, Г. (Отчет Амурской геолого-съемочной партии за 1959–61 гг.). Челябинск, 1962 ф.
 37. Черныш Г.Ю., Холоднов Л.А., Корнилов А.А. Отчет о геофизических и геолого-поисковых работах, выполненных Амурской геофизической партией и Магнитогорской КГРП в Юго-Восточной части Кызыльского района Челябинской области в 1964–65 гг. Челябинск, 1966 ф.
 38. Ashley P.M. Geochemistry and mineralogy of tephroite-bearing rocks from the Hoskins manganese mine, New South Wales, Australia // Neues Jahrbuch Miner. Abb. 1989. V. 161. P. 85–111.
 39. Bischoff J.L. The Red Sea Geothermal deposits: Their mineralogy, chemistry, and genesis // Hot Brines and Recent Heavy Metal Deposits in the Red Sea (Eds.: E.T. Degens and D. Ross). New York: Springer, 1969. P. 368–401.
 40. 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.
 41. Crerar D.A., Namson J., Chyi M.S. et al. Manganiferous cherts of the Franciscan assemblage: I. General geology, ancient and modern analogues, and implications for hydrothermal convection at oceanic spreading centers // Econ. Geol. 1982. V. 77, № 3. P. 519–540.
 42. Fleet A.J. Aqueous and sedimentary geochemistry of the rare earth elements // Rare Earth Element Geochemistry: Developments in Geochemistry (Ed. P. Henderson). Amsterdam: Elsevier, 1984. P. 343–373.
 43. Hein J.R., Clague D.A., Koski R.A. et al. Metalliferous sediment and a silica-hematite deposit within the Blanco fracture zone, Northeast Pacific // Marine Georesources and Geotechnology. 2008. V. 26. P. 317–339.
 44. Holland N.G., Roberts S., Herrington R.J. et al. The Balta Tau VMS deposit: An ancient gold-rich white smoker? // Mineral Exploration and Sustainable Development. Rotterdam: Millpress, 2003. V. 1. P. 123–126.
 45. Juniper S.K., Fouquet Y. Filamentous iron-cilica deposits from modern and ancient hydrothermal sites // Can. Mineral. 1988. V. 26. P. 859–869.
 46. Maslennikov V.V., Ayupova N.R., Herrington R.J., et al. Ferruginous and manganiferous haloes around massive sulphide deposits of the Urals // Ore Geology Reviews. 2012. V. 47. P. 5–41.
 47. Maynard J.B. Manganiferous sediments, rocks and ores // Treatise on Geochemistry V. 7: Sediments, diagenesis, and sedimentary rocks. Amsterdam: Elsevier, 2003. P. 289–308.
 48. Michard A., Albarede F., Michard G. et al. REE elements and uranium in high temperature solutions from East Pacific Rise hydrothermal vent field // Nature. 1986. V. 303. P. 795–797.
 49. Mosier D.L., Page N.J. Descriptive and grade-tonnage models of volcanogenic manganese deposits in oceanic environments – a modification // U.S. Geological Survey Bull. 1988. V. 1811. 28 p.
 50. Robertson A.H.F., Boyle J.F. Tectonic setting and metalliferous sediments in Mesozoic Tethys Ocean // Hydrothermal processes of sea-floor spreading centers (Eds.: P.A. Rona, K. Bostrom, L. Laubier, K.L. Smith Jr.). New York: Plenum Press, 1983. P. 595–663.
 51. Stoffers P., Worshington T.J. Submarine volcanoes and high-temperature hydrothermal venting on the Tonga arc, Southwest Pacific // Geology. 2006. V. 34, № 6. P. 453–456.
 52. Varnavas S.P., Cronan D.S. Submarine hydrothermal activity of Santorini and Milos in the Central Hellenic Volcanic Arc: A synthesis // Chem. Geol. 2005. V. 224. P. 40–54.

Рецензент И.В. Викентьев

Hematite-quartz mounds from the Lis'y Gory Au-bearing field: A result of hydrothermal activity at the Magnitogorsk palaeo-island arc zone

V. V. Zaykov, N. N. Ankusheva

Institute of Mineralogy UB RAS

In the paper the analysis of geological setting and conditions of hematite-quartz rocks formation located in sedimentary sequence at the Lis'y Gory Au-bearing field was carried out. Textural-structural and mineralogical-geochemical features of hematite-quartz rocks indicate diagenetic and catagenetic processes during their transformation. Quartz veins are important constituents of hematite-quartz rocks composing from 5 to 30 vol.% of the bodies. Fluid inclusion study in quartz was carried out for different quartz vein types. It is established that quartz was formed from NaCl fluids with salinity of 1.5–6.5 wt.% NaCl-equiv., and homogenization temperatures are from 290°C in feeder channels to 160°C at top of hematite-quartz edifice. The major volatiles are H₂O and CO₂, with minor admixture of CH₄, CO, and N₂. It is shown that physic-chemical parameters of hydrothermal fluids formed hematite-quartz rocks of the Lis'y Gory field are similar those from VMS and Au-VMS-polymetallic deposits at the Devonian Magnitogorsk paleo-island arc system and modern Au-bearing hydrothermal fields of the Pacific Ocean.

Key words: paleo-island arc zone, hematite-quartz rocks, fluid inclusions, volatiles, hydrothermal activity, VMS deposits.