

Особенности формирования гематитовых брекчий мыса Корабль (Кольский регион) по минералогическим данным

Соловьёва А.Н.¹, Зозуля Д.Р.², Савченко Е.Э.², Чикирёв И.В.³

¹ УАиМ ФИЦ КНЦ РАН, Апатиты, a.soloveva@ksc.ru

² Геологический институт КНЦ РАН, Апатиты, d.zozulya@ksc.ru

³ Апатитский филиал Мурманского ГТУ, Апатиты, chikireviv@mstu.edu.ru

Аннотация. В статье приведены данные по минеральному составу, морфологии и химизму рудных и аксессуарных минералов гематитовых брекчий в песчаниках Терского берега. Гематитовые брекции состоят из обломков песчаников терской свиты и гематитового цемента, состоящего из мелкокристаллического пластинчатого гематита. Описаны парагенетические REE-содержащие и сульфатные минералы (паризит-(Ce), монацит-(Ce), REE-Nb-Ti-оксид, барит). Текстурно-структурные особенности, минерализация и химический состав рудного минерала (низкотитанистый гематит с повышенным содержанием W и V) гематитовых брекчий месторождения Мыс Корабль являются характерными особенностями для месторождений ИОСГ-типа (Fe-оксидных Au-Cu). Это позволяет предположить их сходный механизм формирования. Предложена модель образования железооксидных рудопроявлений месторождения Мыс Корабль при участии уникальных по составу (селективно железистых) гидротермальных растворов. В связи с вышеперечисленным, изучение железооксидных рудопроявлений месторождения Мыс Корабль является весьма актуальным как с теоретической, так и с практической стороны.

Ключевые слова: гематит; гидротермальная брекчия; песчаник; Мыс Корабль; Канда拉克шский авлакоген.

Formation features of hematite breccias of Cape Korabl' (Kola region) according to mineralogical data

Solovjova A.N.¹, Zozulya D.R.², Savchenko Ye.E.², Chikiryov I.V.³

¹ Department of Postgraduate Studies, KSC RAS, Apatity, a.soloveva@ksc.ru

² Geological Institute KSC RAS, Apatity, d.zozulya@ksc.ru

³ Apatity Branch, Murmansk State Technical University, Apatity, chikireviv@mstu.edu.ru

Abstract. The data on mineral composition, morphology and chemistry of main and accessory minerals from hematite breccias in sandstone of the Tersky Coast are presented in the paper. Hematite breccias consist of clast of sandstones of the Tersky suite and hematite matrix, consisting of finely crystalline lamellar hematite. Paragenetic REE-bearing and sulfate minerals (parisite-(Ce), monazite-(Ce), REE-Nb-Ti-oxide, barite) are identified. Structural-textural features, specific mineral association and chemical composition of the ore mineral (low-titanium hematite with a high content of W and V) of the hematite breccias of Cape Korabl' deposit are the characteristic features of the IOCG-type (iron oxide copper-gold) deposits. This suggests their similar mechanism of origin. A model was proposed for the formation of iron-oxide ore occurrence at the Cape Korabl' deposit with the participation of unique in composition (selectively ferruginous) hydrothermal solutions. In connection with the above, the study of the iron-oxide ore occurrences of the Cape Korabl' deposit is very relevant both from the theoretical and practical sides.

Keywords: hematite; hydrothermal breccia; sandstone; Cape Korabl'; Kandalaksha aulacogen.

Введение

На месторождении Мыс Корабль (Кольский регион) развиты зоны гидротермальной/метасоматической проработки, которые проявлены в виде кварцевых, баритовых и флюоритовых жил и штокверков. В пределах этих участков были впервые обнаружены анхимономинеральные железооксидные рудопроявления (гематитовые жилы (Зозуля и др., 2021) и брекчий). По предварительным данным, для генезиса гематитовых жил и брекчий можно предложить комбинированный гидротермально-метасоматический способ образования. В обоих случаях эти процессы происходили в ходе пострифейской тектоно-термальной активизации Канда拉克шского авлакогена.

Изучение гидротермальных процессов на Терском берегу вблизи месторождения Мыс Корабль может привести к обнаружению месторождений железа, которые по своим характеристикам могут быть близки к IOCG-типу с попутными Au, Cu, REE, U, баритом, флюоритом (Skirrow, 2022).

Геологическое строение терской свиты и района развития гематитовых брекчий

Породы терской свиты распространены вдоль Терского побережья Кольского региона. На большей части Терского берега терская свита трансгрессивно налегает в основном на различные породы архея (преобладающая часть представлена амфиболовыми, слюдяными гнейсами и мигматитами), а также на раннепротерозойские гранитоиды.

Отложения свиты представлены преимущественно средне сортированными аркозовыми песчаниками, алевролитами и аргиллитами, кроме того, встречаются отдельные линзы гравелитов и конгломератов полимиктового состава. Породы свиты имеют характерный красно-коричневый цвет за счет развития гематитового пленочного цемента вокруг зерен кварца. В целом для толщи характерно линзовидное строение. Различные литотипы пород (аргиллиты, алевролиты, песчаники) образуют линзы протяженностью 50–100 м. при мощности до 3 м. Толща залегает субгоризонтально с незначительным падением (5–10 °) слоев в южном направлении. Мощность пород свиты составляет около 500 м. Для отложений свиты характерны различные осадочные текстуры – симметричная рябь волнения, трещины усыхания, косослоистые серии, свидетельствующие о мелководных условиях их формирования. Резкая фациальная изменчивость пород терской свиты, выражающаяся в уменьшении фаций алевролитов и аргиллитов в западном направлении, также является показателем мелководного генезиса пород свиты.

Часто по красноцветным песчаникам терской свиты в районе исследования и в других местах ее распространения наблюдаются зоны и участки изменения цвета пород за счет процесса оглеения. Эти участки в сечении имеют в основном округлые шарообразные (до 10 см) или неправильные со скругленными краями очертания линзы мощностью до 5–20 см и площадным распространением до первых метров. Это свидетельствует о действии газообразных флюидов восстановительного характера во время осадконакопления (Кузнецов и др., 2021).

Отложения терской свиты слагают северный борт Кандалакшского авлакогена, заложение и развитие которого происходило в течение рифея. По своим структурно-текстурным и литологическим характеристикам породы терской свиты хорошо коррелируются с другими рифейскими отложениями авлакогенов, широко распространенных на Восточно-Европейской платформе. Вероятнее всего в позднепалеозойское время породы терской свиты испытали тектоно-термальную активизацию.

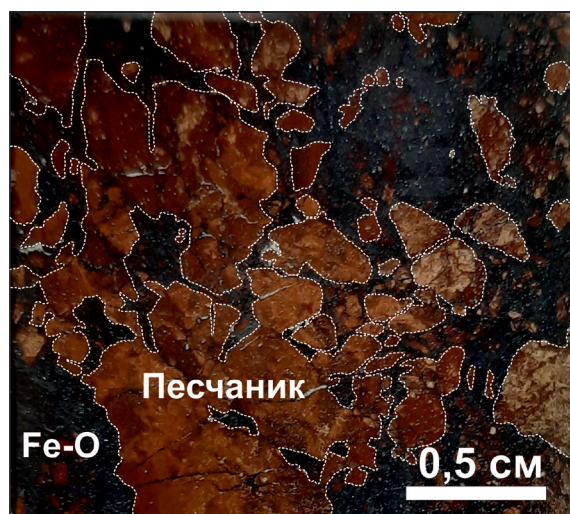


Рис. 1. Фото полированного образца гематитовой брекчии.

Fig. 1. Photo of polished sample of hematite breccia.

В исследуемом районе на месторождении Мыс Корабль (Кольский п-ов) обнажаются красноцветные и серые песчаники, алевролиты и аргиллиты. Типичной породой является мелко- и среднезернистый аркозовый песчаник со средней сортировкой и пленочным железистым (гематитовым) цементом локально переходящим в поровый. Обломочная часть состоит из кварца, полевых шпатов (преимущественно микроклин), а также акцессорных титаносодержащего магнетита, апатита, циркона, граната, титанита и REE минералов. В приливно-отливной зоне месторождения Мыс Корабль обнажаются гематитовые жилы и брекчии. Куст гематитовых жил состоит из нескольких субпараллельных жил мощностью 10–20 см и протяженностью до первых десятков метров. Жилы имеют субширот-

ное простираание и вертикальное падение (Зозуля и др., 2021). Зоны брекчирования имеют видимые площади выхода на поверхность около 1–2 м², размеры обломков варьируют от 1 до 10 см. В этом же районе развиты зоны гидротермальной/метасоматической проработки мощностью до 5–7 м, пространственно приуроченных к местам развития трещиноватости и брекчирования пород. В этих зонах наблюдаются многочисленные кварцевые (в том числе с аметистовой минерализацией), баритовые жилы и флюоритовая минерализация.

Гематитовые брекчии состоят из угловатых обломков песчаников терской свиты и гематитового цемента (матрицы) (рис. 1). Матрица представляет собой смесь гематита с переменным количеством кварца и калиевого полевого шпата.

Типоморфные рудные и акцессорные минералы гематитовых брекчий и вмещающего песчаника

Ранее авторами (Зозуля и др., 2021) были опубликованы данные по гематитовым жилам месторождения Мыс Корабль (Кольский п-ов), где были выделены две разновидности гематита, которыми сложены как сами жилы, так и вмещающие породы (пластинчатый и пористый гематит, соответственно). В соответствии с их размещением, структурно-текстурными особенностям и составом была предположена их природа: гидротермальная – для пластинчатой разновидности, диагенетическая (аутигенная) – для пористой.

При изучении гематитовых брекчий и вмещающих песчаников главная задача состояла в детальном исследовании особенностей морфологии, строения и состава породообразующих (рудных) и акцессорных минералов. Были изучены такие минералы как гематит, титаносодержащий магнетит, REE минералы (паризит-(Ce), монацит-(Ce), REE-Nb-Ti-оксид), Ti-оксид, барит.

Оксиды железа. В ходе исследования гематитовых брекчий и вмещающих песчаников по химическому составу и морфологическим особенностям были установлены 3 разновидности оксидов железа: пластинчатый гематит, пористый гематит и титаносодержащий магнетит.

Гематит первого типа представлен мелкокристаллическими (до 50 μm) пластинчатыми зернами (рис. 2а). Стоит отметить, что размер зерен меняется в зависимости от количества содержания гематита. Участки, сложенные только гематитом, имеют размер зерен несколько микрон, в то время как участки, сложенные гематитом и другими породообразующими минералами (кварц, полевой шпат) составляют более 20 микрон. Помимо этого, пластинчатый гематит заполняет контракционные трещины и характеризуется относительно более крупным размером (рис. 2b), что позволяет предполагать для него свободный рост в пустотах трещин остывания. Характерной особенностью гематита брекчий является наличие нерегулярных, но значительных примесей WO₃ и V₂O₅ (от 0 до 1 мас. %; см. табл. 1 и рис. 3). Иногда пластинчатый гематит имеет зональность, связанную с повышенным содержанием W и V. На рисунке 4а демонстрируется зональность гематита, где более светлые участки имеют повышенные содержания W и V. Это свидетельствует о том, что гидротермальный раствор, из которого кристаллизовался гематит, имел разные составы в ходе эволюции (селективно железистые – на ранних стадиях, и с примесью некоторых литофильных и сидерофильных элементов – на более поздних стадиях).

Следует отметить, что данный тип пластинчатого гематита также встречается локально в виде редких отдельных зерен в обломках песчаников брекчий. Это свидетельствует о том, что гидротермальный высокожелезистый раствор мог проникать через поры во вмещающие породы (рис. 4b).

Гематит второго типа характерен для песчаников, при этом минерал заполняет межзерновое пространство между зернами кварца и полевого шпата, тем самым играя роль цемента (рис. 2с, 4с), формирование которого происходило в процессе диагенеза. Ранее (Зозуля и др., 2021) были получены рентгеноспектральные данные для «диагенетического» гематита из околожильных песчаников, в котором были выявлены значительные примеси Ti, Mn, V (MnO – 0.06 мас. %; TiO₂ – 1.99 мас. %; V₂O₅ – 0.16 мас. %). Следует отметить, что «диагенетический» гематит весьма чувствителен к химическому составу среды кристаллизации. Так, по результатам данного исследования, в ходе диагенеза подвергались изменению и редкие аллотигенные зерна хромита (рис. 4d). При этом

гематит, нарастающий на хромит, характеризуется повышенным содержанием хрома (Al_2O_3 – 0.33 мас. %; SiO_2 – 0.49 мас. %; K_2O – 0.12 мас. %; CaO – 0.06 мас. %; TiO_2 – 0.30 мас. %; V_2O_5 – 0.12 мас. %; Cr_2O_3 – 7.52 мас. %; MnO – 0.45 мас. %; Fe_2O_3 – 89.45 мас. %; ZnO – 5.54 мас. %). «Диagenетический» гематит из обломков песчаников и вмещающих пород брекчий практически всегда содержит примеси TiO_2 (иногда доходит до 3 мас. %) (табл. 1, рис. 3).

Третий тип – титаносодержащий магнетит, который встречается только в песчаниках и образует зерна неправильной, угловатой формы сопоставимые по размерам с другими породообразующими минералами (рис. 2 d). Эти признаки указывают на аллотигенную природу магнетита. Нередко наблюдаются структуры распада с выделением субпараллельных ламелей рутила или ильменита (рис. 2 e, f). Для этих зерен характерны неровные, «изъеденные» края, которые говорят о растворении этого минерала. Иногда можно наблюдать нарастания высокотитанистого пористого гематита на магнетит.

Таблица 1. Представительные анализы гематита (мас.%) из гематитовых брекчий
Table 1. Representative analyzes of hematite (wt.%) from hematite breccias

Минерал	Пластинчатый гематит				Пористый гематит	
№ обр. (№ ан.)	CB1-5 (2-2b)	CB1-5 (1-2a)	CB1-4 (1-4a)	CB1-4 (1-1a)	CB1-5 (11a)	CB1-5 (16-1b)
Al_2O_3	0.18	0.40	0.47	0.19	0.31	0.24
SiO_2	0.19	0.29	0.42	0.44	0.49	0.39
K_2O	0.00	0.03	0.03	0.05	0.00	0.00
TiO_2	0.00	0.00	0.08	0.12	2.22	0.75
V_2O_5	0.00	0.00	0.19	0.08	0.00	0.00
Fe_2O_3	99.73	99.21	98.23	98.03	96.27	98.24
WO_3	0.00	0.21	0.54	0.89	0.00	0.00
Сумма	100.10	100.14	99.96	99.78	99.29	99.62

Примечание. Химический анализ пластинчатого гематита проводился на электронно-зондовом микроанализаторе Cameca MS-46 (ГИ КНЦ РАН, Апатиты) и пористого гематита на сканирующем электронном микроскопе Leo 1450 с энергодисперсионным анализатором Brucker X-Flash 5010 (ГИ КНЦ РАН, Апатиты).

REE минералы. В образцах гематитовых брекчий и вмещающих песчаников были обнаружены REE минералы, такие как паризит-(Ce), (REE-Nb-Ti)-содержащий минерал, монацит-(Ce). Паризит был обнаружен во вмещающем песчанике. Минерал образует мелкие (2–5 μm) пластинчатые субидиоморфные зерна, которые находятся в тесной ассоциации с рутилом и пластинчатым гематитом, заполняя интерстиции между кварцем и полевым шпатом (рис. 5 a). Паризит-(Ce) имеет следующий состав: CO_2 – 44.48 мас. %; F – 5.08 мас. %; SiO_2 – 0.70 мас. %; CaO – 12.01 мас. %; FeO – 1.88 мас. %; Y_2O_3 – 0.15 мас. %; LREE – 34.80 мас. %; ThO_2 – 0.28 мас. %. REE-Nb-Ti-оксид образует небольшие (до 2 μm) зерна изометричной формы, расположенные между кристаллами пластинчатого гематита (рис. 5 b). Согласно оценке химического состава (Na_2O – 11.00 мас. %; Al_2O_3 – 0.39 мас. %; SiO_2 – 1.20 мас. %; K_2O – 0.13 мас. %; CaO – 3.68 мас. %; TiO_2 – 35.24 мас. %; Fe_2O_3 – 8.63 мас. %; SrO – 3.27 мас. %; Nb_2O_5 – 10.67 мас. %; La_2O_3 – 7.25 мас. %; Ce_2O_3 – 15.83 мас. %; Nd_2O_3 – 3.24 мас. %; ThO_2 – 1.12 мас. %) минерал можно условно отнести к эшиниту. Монацит в образцах представлен как монацит-(Ce). Он образует мелкокристаллические зерна размером 2–10 μm ксеноморфной, угловатой формы, заполняя пустоты в песчаниках вместе с гематитовым цементом (рис. 5 c, d). Формы выделения (субидиоморфные кристаллы), ассоциирующие минералы (пластинчатый гематит, рутил) и пространственная приуроченность (жилы и брекчий, поры в песчаниках) REE-минералов предполагают их формирование на стадии гидротермальной переработки песчаников.

Сульфиды железа. В одном из образцов в зернах кварца были обнаружены сульфиды Fe – пирротин и пирит, которые образуют небольшие зерна (5–10 μm) изометричной/неправиль-

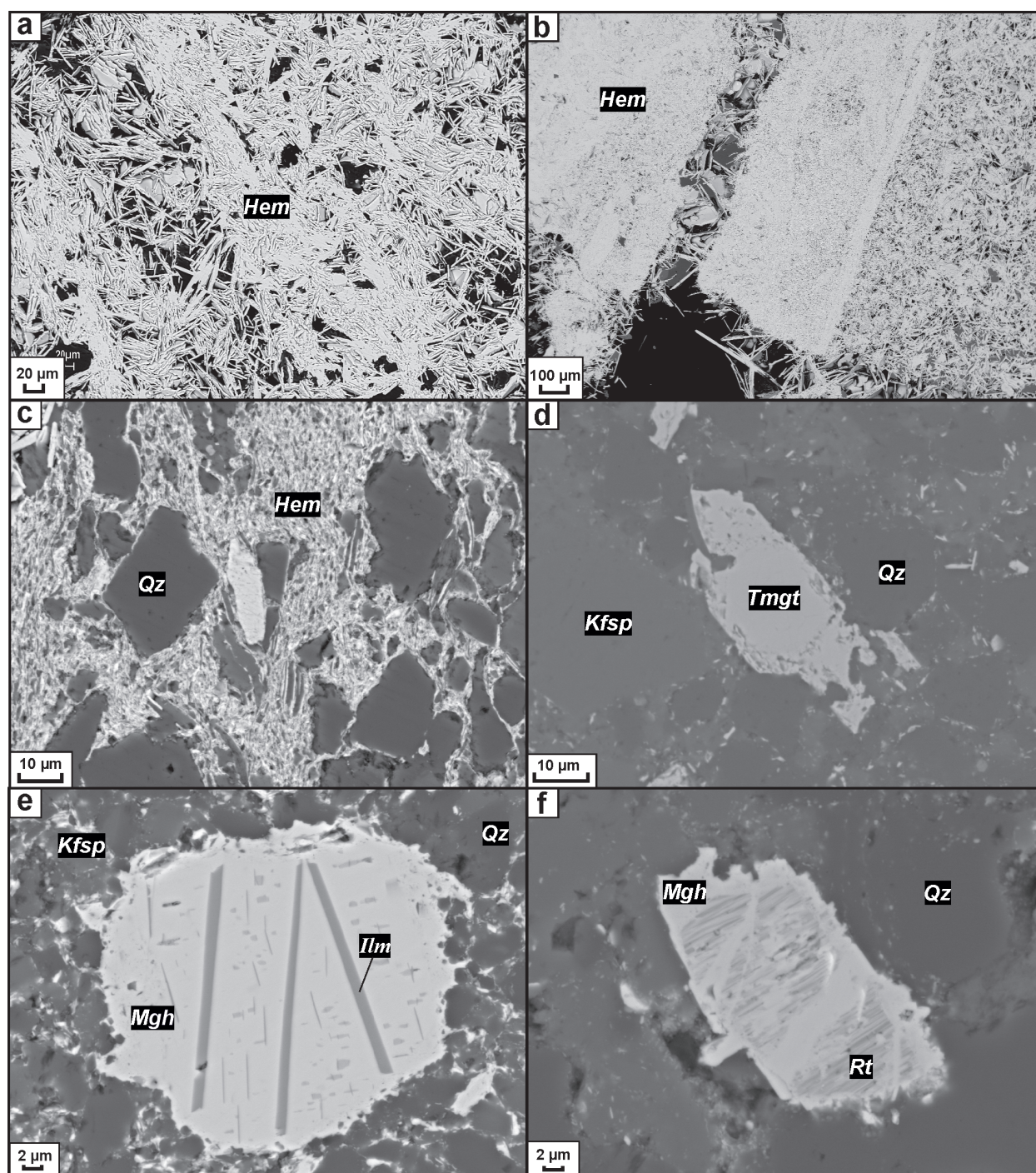


Рис. 2. Текстуальные особенности железокислых рудопоявлений (BSE фото):

а – скопление пластинчатого гематита демонстрирующее размер зерен; б – крупные зерна гематита, слагающие контракционные трещины; в – морфология и структура пористого гематита во вмещающем песчанике; д – титаносодержащий магнетит во вмещающем песчанике; е, ф – выделение магнетита с ламелями ильменита и рутила.

Hem – гематит; Qz – кварц; Kfsp – калиевый полевой шпат; Tmgt – титаномангнетит; Mgh – магнетит; Ilm – ильменит; Rt – рутил.

Fig. 2. Structural features of iron-oxide ores (BSE photo):

a – accumulation of lamellar hematite demonstrating grain size; b – large hematite grains composing contraction cracks; c – morphology and structure of porous hematite in the host sandstone; d – titanium-bearing magnetite in the host sandstone; e, f – magnetite exsolution with lamellae of ilmenite and rutile.

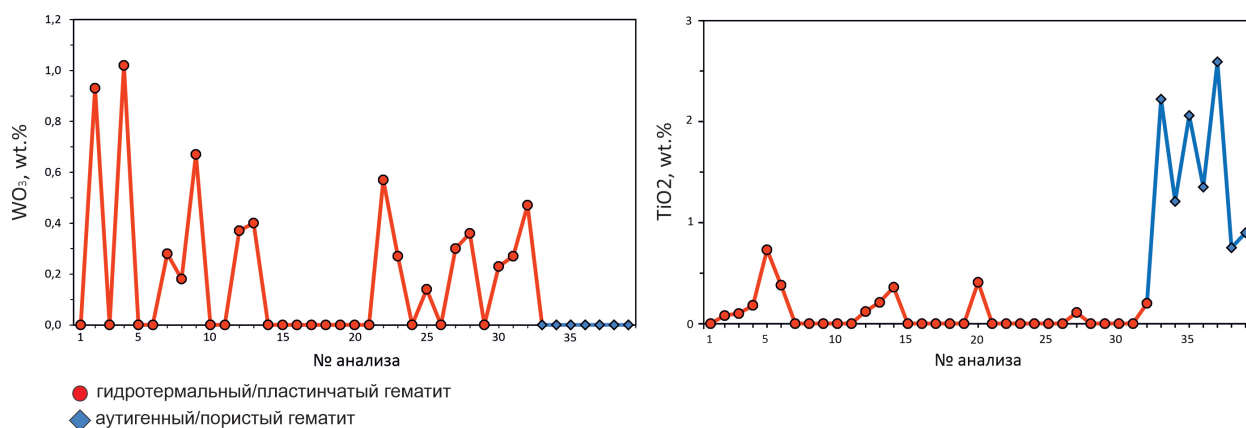


Рис. 3. Содержание примесей W и Ti в пластинчатом и пористом гематите (мас. %), иллюстрирующий отсутствие Ti и спорадически повышенное содержание W в гидротермальном гематите.

Fig. 3. The content of impurities in lamellar and porous hematite (wt. %) illustrating the Ti absence and sporadically enhanced content of W in hydrothermal hematite.

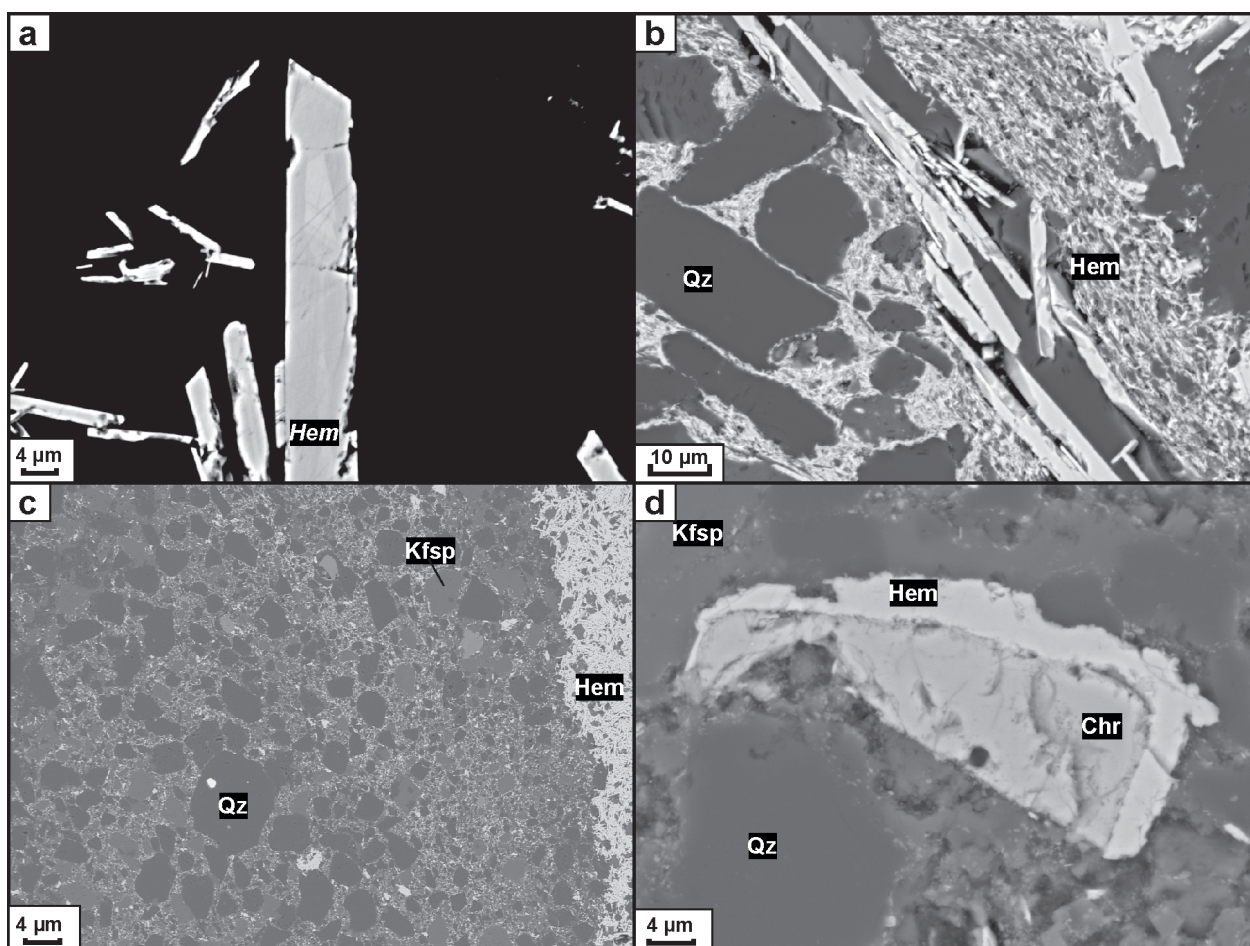


Рис. 4. Генетические группы гематита и их особенности (BSE фото):

a – зональное строение гематита, связанное с различным содержанием W и V; b – отдельные зерна пластинчатого гематита в обломке песчаника брекчия; c – «диагенетический» пористый гематит из вмещающих песчаников; d – аллотигенное зерно хромита с нарастающим на него гематитом.
Hem – гематит; Qz – кварц; Kfsp – калиевый полевой шпат; Chr – хромит.

Fig. 4. Genetic groups of hematite and their features (BSE photo):

a – zoning structure of hematite caused by variable contents of W and V; b – individual grains of lamellar hematite in a fragment of sandstone of breccia; c – «diagenetic» porous hematite from host sandstones; d – allothigenic chromite grain with overgrowing hematite.

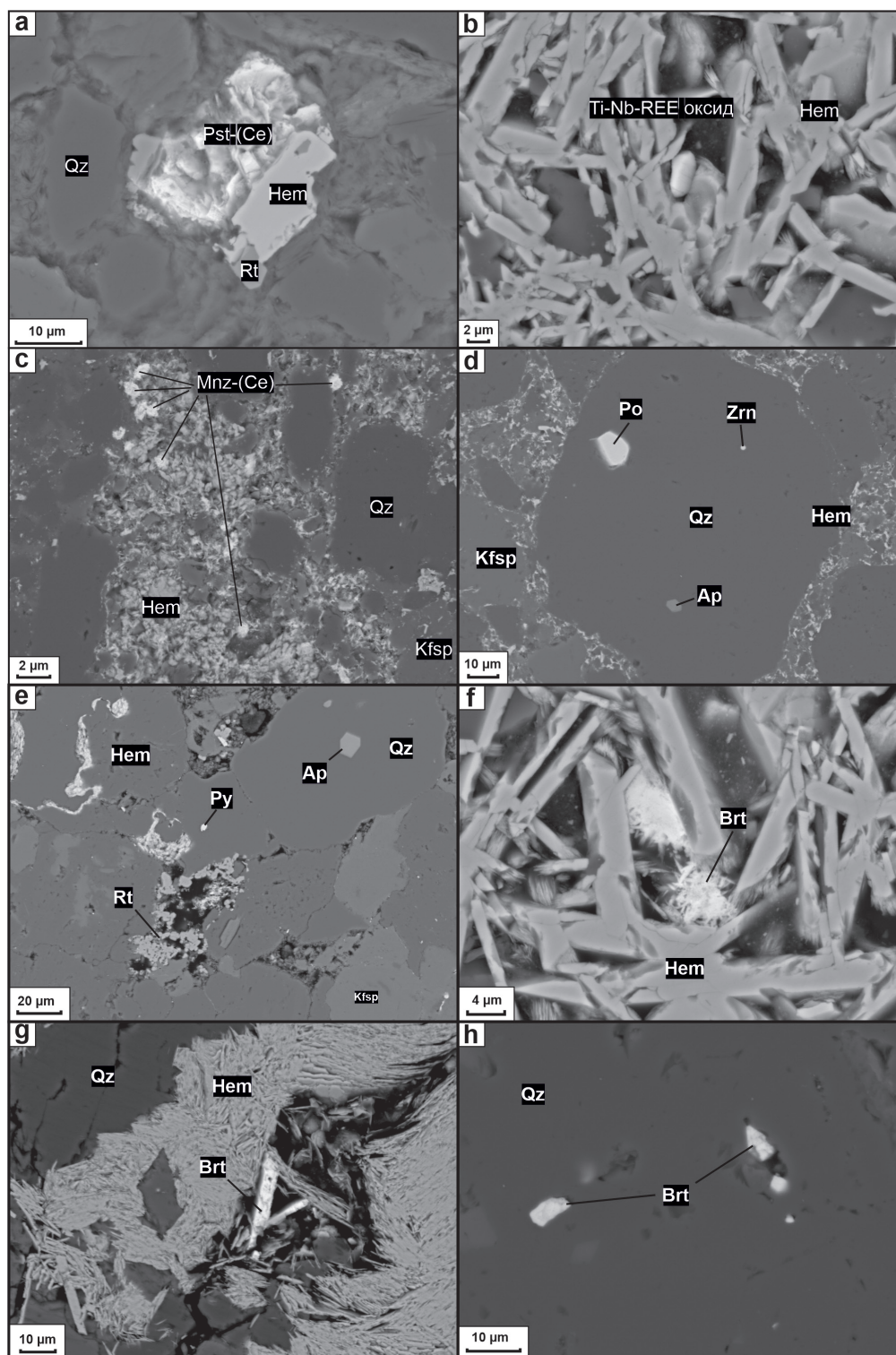


Рис. 5. BSE фото REE и акцессорных минералов:

а – паризит – (Ce); б – (REE-Nb-Ti) оксид; в – монацит-(Ce); д – пирротин; е – пирит; ф – скопления мелкокристаллического барита в интерстициях пластинчатого гематита; г – вытянутое зерно барита в контракционной трещине с гематитом; h – барит в кварце.

Qz – кварц; Hem – гематит; Kfsp – калиевый полевой шпат; Rt – рутил; Mnz-(Ce) – монацит-(Ce); Pst-(Ce) – паризит-(Ce); Po – пирротин; Py – пирит; Zrn – циркон; Ap – апатит; Brt – барит.

Fig. 5. BSE photo of REE and accessory minerals:

a – parisite – (Ce); b – (REE-Nb-Ti) oxide; c – monazite-(Ce); d – pyrrhotite; e – pyrite; f – accumulations of fine-crystalline barite in the interstices of lamellar hematite; g – elongated grain of barite in a contraction crack with hematite; h – barite in quartz.

ной формы (рис. 5 d, e). Поскольку минералы единичны, имеют окатанные формы и не характерны для песчаников их происхождение несет аллотигенный характер.

Барит. Минерал образует мелкокристаллические звездчатые скопления вытянутых зерен до 1 μm между зернами пластинчатого гематита (рис. 5 f), а также в виде вытянутых зерен размером до 15 μm , которые располагаются в контракционных трещинах (рис. 5 g). Помимо этого, в «пустотах» кварца барит формирует зерна эвгедральной формы до 4 μm (рис. 5 h).

О происхождении железоксидных рудопроявлений месторождения Мыс Корабль

Гематитовые брекчии, как и ранее изученные гематитовые жилы, образовались гидротермальным путем, поскольку наблюдается рост гематита в пустотах и трещинах с отчетливыми контактами. Ранее были предложены температурные интервалы (мезотермальные (350–200 °C) и/или эпитеермальные (200–50 °C)) для образования гематитовых жил (Зозуля и др., 2021). Поскольку брекчии и жилы в терских песчаниках имеют сингенетическую природу, то температурные интервалы, в целом, для них сходны. Различия в строении тел обусловлены, скорее всего, разными градиентами давления (более резкое падение давления и «вскипание» гидротермального раствора при формировании брекчий). Появление глубинных флюидов в Терском блоке связывается с палеозойской тектоно-термальной активизацией Кандалакшского авлакогена.

По совокупности полученных данных, можно представить следующую модель формирования месторождения железоксидных рудопроявлений месторождения Мыс Корабль:

- 1) – формирование обломочных пород в условиях рифтогенеза;
- 2) – диагенез, образование пористого гематита с повышенным содержанием титана, возможно, за счет перекристаллизации аллотигенного титаносодержащего магнетита в окислительных условиях;
- 3) – перекристаллизация и/или частичное растворение диагенетического гематита в ходе тектоно-термальной активизации;
- 4) – формирование вкрапленных руд в песчаниках с отложением пластинчатого гематита с низким содержанием (или отсутствием) титана и с повышенным содержанием W и V; стадия характеризуется дальнейшим повышением окисленности межпоровых гидротермальных растворов и привнесом в систему сидерофильных и литофильных элементов (Ba, W, REE, V); менее «подвижный» титан осаждался в виде интерстиционного рутила (возможно, его низкотемпературной модификации – брукита) во вмещающих песчаниках;
- 5 а) – в ходе тектонической разгрузки межпоровый железо-насыщенный калиево-кремнистый раствор мигрирует в разломные зоны и формируются жилы, состоящие, главным образом, из гидротермального (пластинчатого) гематита, а также кварца и калиевого полевого шпата в переменных количествах; аксессуарные новообразованные минералы представлены баритом, ангидритом, апатитом, редкоземельными фосфатами и карбонатами, REE-Ti-Nb-оксидами; гематит более ранней гидротермальной стадии характеризуется стехиометрическим составом, минерал поздних стадий содержит примесные элементы W и V;
- 5 б) – брекчии образуются при резком понижении давления в системе и вскипании железо-насыщенного гидротермального раствора;
- 5 в) – при остывании жил и брекчий формируются контракционные трещины, заполненные относительно более крупнозернистым гематитом и кварцем;
- 6) – дальнейшая циркуляция гидротермальных растворов по сформированным жилам и брекчиям приводила к выщелачиванию некоторых участков и формированию миароловых пустот с щетками кварца.

С другой стороны, текстурно-структурные характеристики, наличие REE и сульфидно-сульфатной минерализации (паризит-(Ce), монацит-(Ce), REE-Nb-Ti-оксид, пирротин, пирит, барит) и особенности химического состава рудного минерала (низкотитанистый гематит с повышенным содержанием V, W) гематитовых жил и брекчий месторождения Мыс Корабль является характер-

ной особенностью для месторождений типа IOCG (например, Олимпик Дэм в Австралии (Ehrig et al., 2012; 2021), что даёт возможность предположить их родство.

Работа выполнена в рамках темы НИР № 0226-2019-0053 и гранта Российского научного фонда № 22-17-20002 <https://rscf.ru/project/22-17-20002/>.

Литература

1. Зозуля Д.Р., Соловьёва А.Н., Чикирёв И.В. Уникальные гематитовые жилы Терского побережья, Кольский регион: состав, структурно-текстурные особенности и генезис // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. Апатиты: ГИ КНЦ РАН, 2021. № 18. 177–182 с.
2. Кузнецов Н.Б., Балувев А.С., Терехов Е.Н., Колодяжный С.Ю., Пржиялговский Е.С., Романюк Т.В., Дубенский А.С., Шешуков В.С., Ляпунов С.М., Баянова Т.Б., Серов П.А. О времени формирования Кандалакшского и Кереецкого грабенов палеорифтовой системы Белого моря в свете новых данных изотопной геохронологии // Геодинамика и тектонофизика. Т. 12 (3). 2021. С. 570–607. <https://doi.org/10.5800/GT-2021-12-3-0540>.
3. Ehrig K., Kamenetsky V.S., McPhie J., Macmillan E., Thompson J., Kamenetsky M., Maas R. Staged formation of the supergiant Olympic Dam uranium deposit, Australia // *Geology*. 2021. V. 49. P. 1312–1316. <https://doi.org/10.1130/G48930.1>.
4. Ehrig K., McPhie J., Kamenetsky V.S. Geology and mineralogical zonation of the Olympic Dam Iron Oxide Cu-U-Au-Ag deposit, South Australia // *Society of Economic Geologists*. 2012. No. 16. P. 237–267.
5. Skirrow R.G. Iron oxide copper-gold (IOCG) deposits – A review (part 1): Settings, mineralogy, ore geochemistry and classification // *Ore Geology Reviews*. 2022. V. 140. 36 p. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2021.104569>.