

УДК 553.4 (571.56)

## Минеральный состав Fe-оксидных-Cu-Au (IOCG) руд проявления Хурат (хребет Сетте-Дабан, Восточная Якутия)

А.В. Костин

Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН г. Якутск, Россия  
kostin@diamond.ysn.ru

**Аннотация.** Проявления с Fe-оксидными-Cu-Au±REE рудами – новое направление в рудной геологии Северо-Востока России. Одна из неизученных генетических разновидностей Fe-оксидных-Cu-Au (IOCG) руд, связанная с покровами базальтов, была обнаружена во время полевых работ 2013–2015 г.г. в горном хребте Сетте-Дабан. В подошве покрова базальтов (проявление Хурат) присутствует пластовая залежь гематитовых брекчий с редкой сульфидной минерализацией. Руды являются комплексными и экономически привлекательными - содержания  $FeO_{\text{общ}}$  – 15,11–43,29 %; Cu – 0,023–0,083 %; Au – 0,1–17,5 г/т, а главным минералом-концентратором золота является гематит. Установлено, что скопления Fe-оксидных руд образовались благодаря распаду ильменита на гематит, ульвошпинель, псевдорутил и рутил. Самородное золото в рудах содержит примесь железа и палладия и не содержит серебра совсем. Одной из важных генетических характеристик руд являются постоянное присутствие монацита-Ce, химический состав которого не постоянен и определяется количеством Ce, La, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb. Его происхождение тесным образом связано с формированием Fe-оксидных руд, где монацит встречается повсеместно в сростаниях с Ti-гематитом и псевдорутилом.

**Ключевые слова:** Fe-оксидный-Cu-Au, базальты, проявление меди, золото, монацит, Восточная Якутия.

**Благодарности:** Статья подготовлена при финансовой поддержке проекта НИР № 0381-2016-0004 ИГАБМ СО РАН и проекта «Стратегически важные виды минерально-сырьевых ресурсов и особенности геологического строения инвестиционно-привлекательных территорий Республики Саха (Якутия): металлогения, тектоника, магматизм, геоэкология, совершенствование поисковых и прогнозных технологий» Программы комплексных научных исследований в Республике Саха (Якутия), направленных на развитие ее производительных сил и социальной сферы на 2016–2020 годы».

## Mineral composition of Fe-oxide-Cu-Au (IOCG) ores in the basalts of manifestation Hurat (the Sette-Daban ridge, Eastern Yakutia)

A.V. Kostin

**Annotation.** Manifestations with Fe-oxide-Cu-Au±REE ores is a new direction in mining geology of Russian North-East. One of unexplored genetic varieties of the Fe-oxide Cu-Au (IOCG) ores, associated with basalt covers was discovered during field works 2013-2015, Sette-Daban ridge. The sole of basaltic cover (manifestation Hurat) include a bedded deposit of hematite breccia with sparse sulfide mineralization. Ores are complex and economically attractive - the content of  $FeO_{\text{tot}}$  – 15.11–43.29 %; Cu – 0.023–0.083 %; Au – 0.1–17.5 g/t and the main mineral-concentrator of gold is hematite. It has been established that clusters of Fe-oxide ores were formed by the decomposition of ilmenite into hematite, ulvospinel, pseudorutile and ru-

---

КОСТИН Алексей Валентинович – д.г.-м.н., зав. лаб.

*tile. Native gold in ores contain admixture of iron and palladium and does not contain any silver at all. One of the important genetic characteristics of ores are constant presence of monazite-Ce, the chemical composition of which is not constant and is determined by the amount of Ce, La, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb. Its origin is closely connected with the formation of Fe-oxide ores, where monazite is found everywhere in intergrowths with Ti-hematite and pseudorutile.*

**Key words:** Fe-oxide-Cu-Au, basalts, copper manifestation, gold, monazite, Eastern Yakutia.

*Acknowledgments: this work was carried out with financial support of the R&D plan of IGABM SB RAS, project No. 0381-2016-0004 and «Strategically important types of mineral raw material resources and feature of a geological structure of investment-attractive territories of the Republic of Sakha (Yakutia): metallogeny, tectonics, magmatism, geoecology, improvement of search and prognostic technologies» program of the complex scientific research in the Republic of Sakha (Yakutia) aimed at the development of productive forces and the social sphere for 2016-2020.*

### Введение

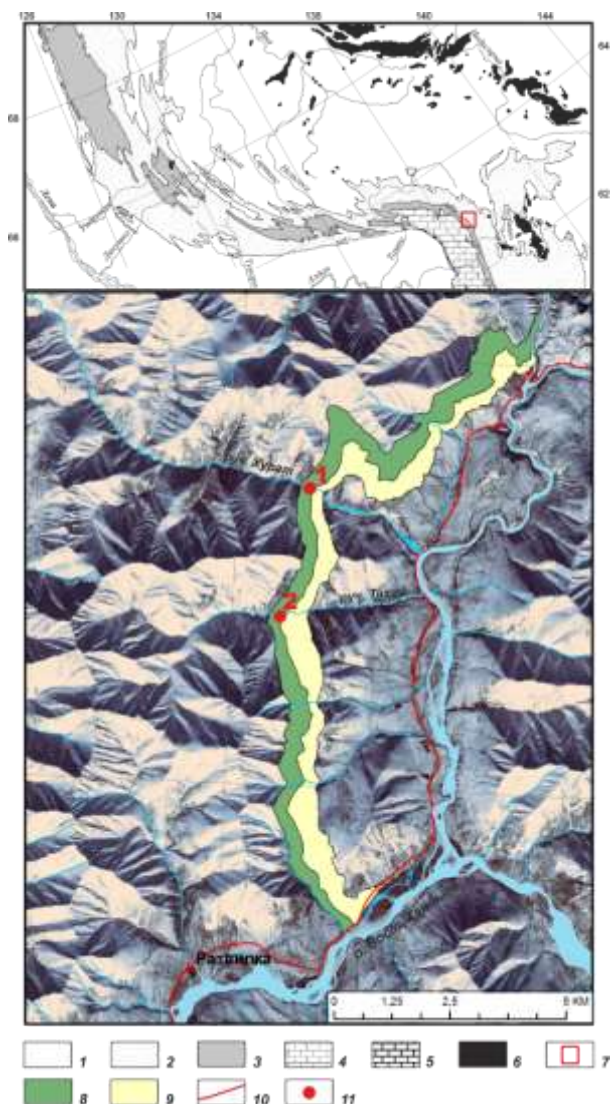
Fe-оксидные ± Cu-Au-U (IOCG) и связанные с ними месторождения включают широкий спектр сопутствующей минерализации и характеризуются не только исключительной концентрацией оксидов железа – магнетита и/или гематита, но широким распространением многофазных зон брекчирования и прожилкования. В результате многочисленных дискуссий было решено, что месторождения, руды которых содержат более 20 % оксида железа и ассоциируют с магматизмом, следует относить к IOCG-типу [15; 9]. При этом, продуктивная минерализация IOCG-типа характерна для всего спектра магматических пород: с базитовым магматизмом ассоциируют месторождения района Маунт-Айза (восточная часть Северо-Западного Квинсленда, Австралия [14], с гранитоидным – связано крупнейшее месторождение Олимпик Дэм, Австралия [12]. В статье рассматривается минеральный состав руд проявления Хурат, который относится к новому для Северо-Востока России перспективному геолого-промышленному типу месторождений IOCG-типа. Ранее было показано, что медные проявления, связанные с базальтами Менкюленской минерагенической зоны северного замыкания хребта Сетте-Дабан [5, 8] являются комплексными и по компонентному составу могут быть отнесены к Fe-оксидному-Cu-Au типу [3]. Не изученным остался вопрос источника железа и поведение золота в рудах, выявление минералов – индикаторов Fe-оксидных-Cu-Au проявлений в базальтах, что является главной целью данного исследования.

### Фактический материал

В северной части Сетте-Дабанского горст-антиклинария развиты вулканогенно-осадочные породы среднего-верхнего девона, которые залегают с несогласием на различных горизонтах силура и по В.А.Ян-жин-шину [5] включают до четырех вулканогенных пачек, в которых выде-

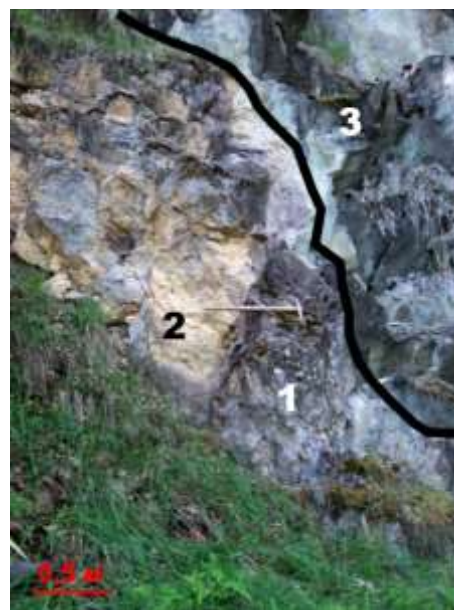
ляется до семи покровов базальтов. Во время полевых работ 2013–2015 г.г. в коренных обнажениях ручьев Хурат (СШ 63,13°; ВД 138,20°) и Тихий (СШ 63,11°; ВД 138,19°) на контакте покрова базальтовых порфиритов мощностью более 70 м и карбонатных отложений (мергели, доломиты, известняки) сегеняхской свиты (D<sub>3sg</sub>) была обнаружена ранее не известная Fe-оксидная-Cu-Au (IOCG) минерализация. Ее главными признаками, позволяющими относить минерализацию к IOCG-типу, являются: Fe-Cu-Au-(Ag) ассоциация элементов (Fe – 15,11–43,29 %; Cu – 0,023–0,083 %; Au – 0,1–17,5 г/т) генетическая связь с магматизмом (вулканизмом), содержание FeO<sub>общ</sub> в руде около или более 20 %, низкое количество сульфидов (проявлению было дано название «Хурат») [4]. Находка гематитовых брекчий, ассоциирующих с меденосными базальтами, позволила пересмотреть перспективы проявления Хурат и установить наличие благороднометальной специализации. Расположение вблизи федеральной автодороги «Колыма» может существенно улучшить экономическую привлекательность проявления Хурат.

Для составления геологической схемы рудовмещающего покрова базальтов участка Хурат были использованы космические снимки картографического сервиса Microsoft BingMaps (рис. 1), успешное применение которых было показано при выявлении, дешифрировании и изучении вулканических комплексов Лено-Вилуйского водораздела. Полевыми наблюдениями установлено, что **Fe-оксидный-Cu-Au** минеральный тип руд локализован в подошве покрова миндалекаменных базальтов на контакте с доломитами сегеняхской свиты (D<sub>3sg</sub>) и представлен брекчией с гематитовым цементом (рис. 2) и редкой вкрапленной сульфидной минерализацией. Обломки размером от долей см до 1,5 м сложены светло-коричневым доломитом, который пропитан тонкой вкрапленностью гематита, от чего приобретает красноватый оттенок. В кровле потока обнаружены пиллоу-



**Рис. 1.** Положение проявления Хурат в структурах Верхояно-Колымской складчатой области (1) и покров базальтов, выделенный по результатам полевых работ и дешифрированию космических снимков картографического сервиса Microsoft Bing Maps (2): 1 – Триас-юра; 2 – Пермь; 3 – Карбон; 4 – Кембрий-девон; 5 – Протерозой; 6 – Интрузивы; 7 – Район проявления Хурат; 8 – Покров базальтов; 9 – Доломиты сегеняхской свиты (Dzsg); 10 – Федеральная автодорога «Колыма»; 11 – места находок Fe-оксидных-Cu-Au руд: 1 – руч. Хурат; 2 – руч. Тихий.

лавы, представленные округлыми (шаровыми) скоплениями в гематитизированных породах полимиктового состава с явно выраженной слоистой текстурой (рис. 3). В гематитизированных породах установлена золотоносность от 0,1 до 0,87 г/т, видимых сульфидов не наблюдается. Миндалины в базальтах на контакте с доломитом и гематитовыми брекчиями имеют клиновидную и вытянутую форму, что свидетельствует об относительной подвижности лавового потока. Миндалины сложены эпидотом, каль-



**Рис. 2.** Зона рудных брекчий на контакте подошвы покрова базальтов и доломитов сегеняхской свиты Dzsg (руч. Хурат): 1 – Fe-оксидная-Cu-Au руда; 2 – Обломки доломита; 3 – Базальт. Черная линия показывает границу базальтов и Fe-оксидных-Cu-Au руд.



**Рис. 3.** Типы Fe-оксидных-Cu-Au руд проявления Хурат: А – Гематитовая руда на контакте с доломитом: подошва покрова базальтов (обр. 10012, руч. Хурат); Б – Подушечная текстура (пиллоу-лава): отдельные «подушки» сцементированы кремнистыми осадками, насыщенными гематитом (обр. 10217, руч. Тихий).

цитом и хлоритом, из рудных минералов преобладают халькопирит и пирит, но в количественном отношении они выполняют не более 1% объема минералов. Видимая мощность брекчий с гематитовым цементом – 1,5 м, протяженность не менее 3 км. Содержание в цементе брекчий составляют: Fe – 15,11–43,29 %; Cu – 0,023–0,083 %; Au – 0,1–17,5 г/т [3]. Минеральный состав руд проявления Хурат отличается про-

МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ FE-ОКСИДНЫХ-CU-AU (ЮСГ) РУД ПРОЯВЛЕНИЯ ХУРАТ

Т а б л и ц а 1

Представительные химические анализы ильменита и продуктов его распада в базальтах проявления Хурат, (в %)

Образец	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Сумма
Рутил TiO <sub>2</sub>			
10014-3	5,44	92,47	97,91
10014-3	8,95	90,7	99,65
10014-3	9,45	88,98	98,43
10014-3	16,54	83,76	100,3
10014-3	15,01	84,44	99,45
Псевдорутил Fe <sup>+3</sup> 2Ti <sub>3</sub> O <sub>9</sub>			
10014-3	26,19	73,49	99,68
10014-3	20,60	76,98	97,58
Ильменит Fe <sup>+2</sup> TiO <sub>3</sub>			
10014-3	49,40	50,27	99,67
10014-3	43,53	56,43	99,96
10014-3	42,72	55,91	98,63
Ульвошпинель TiFe <sup>+2</sup> O <sub>4</sub>			
10014-2	68,86	29,23	98,09
Гематит Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			
10014-3	96,22	2,82	99,04
10014-3	94,59	3,60	98,19
10014-3	93,86	5,51	99,37
10014-3	96,82	3,52	100,34

*Примечание.* Анализы минералов выполнены в ИГАБМ СО РАН в лаборатории физико-химических методов анализа на сканирующем электронном микроскопе JEOL JSM-6480 LV, аналитик Попова С.К.

стотой. Обломочная часть брекчий представлена доломитом сегеняхской свиты (D<sub>3sg</sub>). Цемент брекчий представлен рудными минералами: **главные** – ильменит, гематит; **второстепенные** – халькопирит, пирит; **редкие** – серебро и золото самородные, барит, монацит-Се.

**Ильменит** равномерно рассеян в гематитовых брекчиях и базальтовом матриксе и слагает призматические хорошо образованные кристаллы. В минерале развиты структуры распада твердого раствора, представленные Ti-содержащим гематитом и ульвошпинелью с одной стороны, псевдорутилом и рутилом – с другой (табл. 1, рис. 4, А–Г). Часто на ильменит со структурами распада твердого раствора нарастает Ti-содержащий гематит и псевдорутил. В ильмените присутствуют мелкие каплевидные выделения

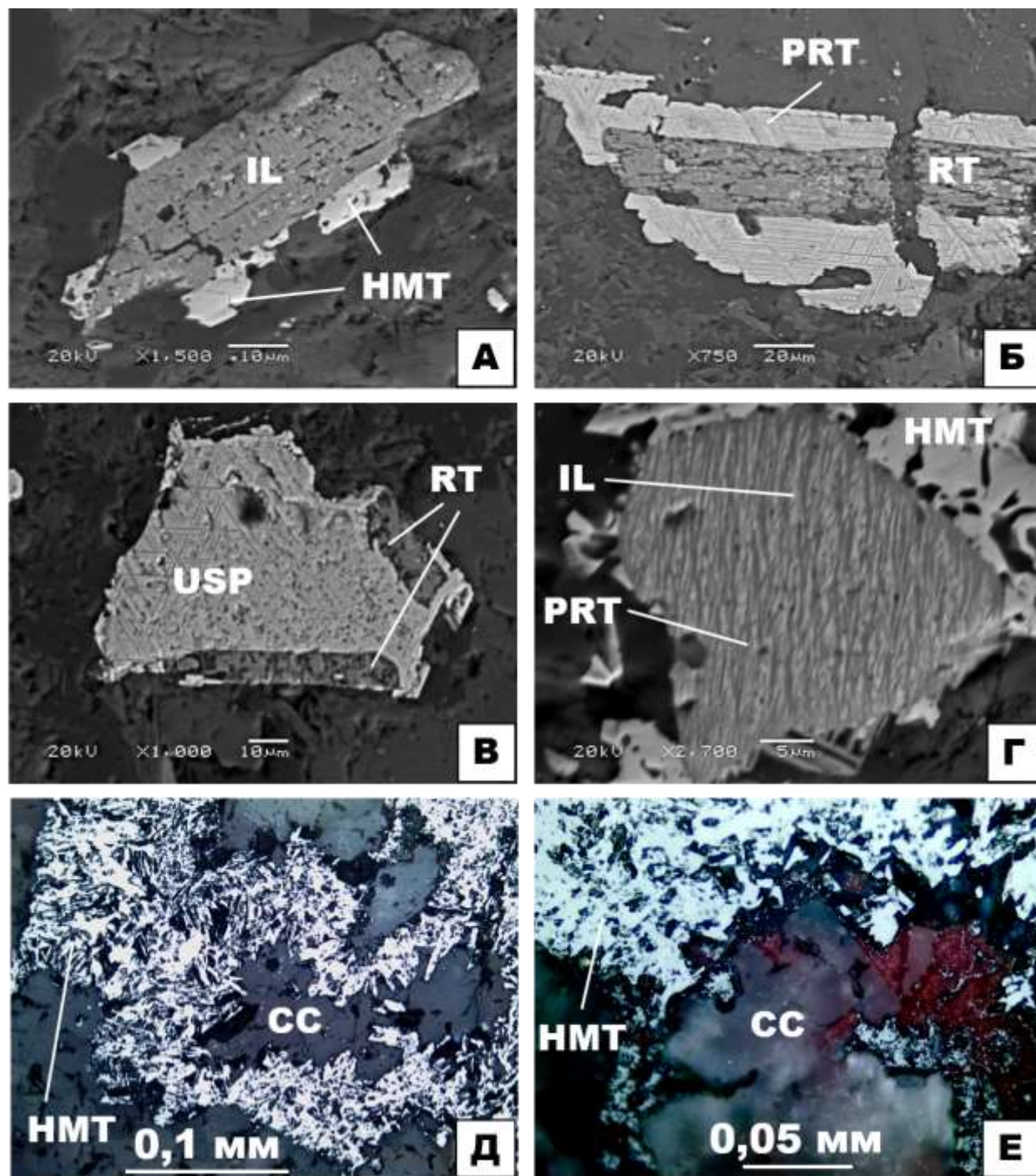
халькопирита (рис. 5, А). Таким образом, ильменит может рассматриваться как источник Fe для пространственно сопряженных гематитовых руд.

**Гематит** – главный минерал Fe-оксидных руд, ассоциирует с кальцитом и доломитом. В базальтах образует сростания с ильменитом, а в подошве покрова концентрация минерала возрастает до самостоятельных рудных залежей с содержанием FeO<sub>общ</sub> от 15,11 до 43,29 %. Гематит образует чешуйчатые или тонкопластинчатые агрегаты в кальците (рис. 4, Д), который пропитан тонкой вкрапленностью гематита, от чего просвечивает оттенками красного цвета (рис. 4, Е и 5, Б). Характерны сростания гематита и монацитом (рис. 5, В), что свидетельствует об их совместном образовании. Иногда по гематиту развивается гетит, образуя плотные, почковидные агрегаты с концентрической структурой. В составе гематита отмечается примесь TiO<sub>2</sub> от 2,82 до 5,51 %. Золото и серебро являются главными примесями в гематитовых рудах. По результатам изучения гематита на электронном микроскопе JEOL JSM-6480 LV с энергетическим спектрометром фирмы OXFORD (условия: напряжение 20 кВ, ток 1,7 нА), распределение серебра и золота неравномерное – присутствует гематит без примесей и с содержаниями Ag – 0,15–0,76 % и Au – 0,25–2,74 %.

**Халькопирит** – является второстепенным минералом руд, но отвечает за содержание в рудах меди. В значительном количестве он присутствует в базальтах, где встречается в виде равномерной вкрапленности и небольших скоплений в ильменитах и продуктах их распада и в миндалинах, выполненных эпидотом и хлоритом. Прожилки с халькопиритом в базальтах отсутствуют, что свидетельствует о специфическом – не гидротермальном образовании минерала. Наиболее вероятно, что происходила регенерация халькопирита из породообразующих минералов базальтов, в первую очередь – ильменита (рис. 5, А). Минералов – включений в халькопирите не установлено, отмечается изоморфная примесь серебра от 0,1 до 0,74 %.

**Пирит** значительных скоплений не образует из-за недостатка серы в рудообразующем процессе, поэтому из минералов железа в рудах преобладает гематит. Выделения минерала обычно кубической формы, размер не превышает нескольких мм, примесей не содержит.

**Серебро** самородное – обнаружено в гранате (Gross<sub>0,69</sub>–Alm<sub>0,31</sub>) и кальците в участках скарирования доломитов базальтами в ассоциации с халькопиритом, эпидотом и хлоритом. Образует мелкие изометричные и удлинённых включения, по данным микронзондового анализа примесей не содержит.



**Рис. 4.** Микрофотографии ильменита и гематита – главных минералов Fe-оксидных-Cu-Au руд (обр. 10012):  
 А – Ильменит (IL) с наростами Тi-гематита (HMT); Б – Рутил (RT) в оболочке псевдорутила (PRT); В – Ульвошпинель (USP) и остатки рутила (RT); Г – Структура распада: ильменит (IL) и псевдорутил (PRT) обрастают Тi-гематитом (HMT); Д – Тi-гематит (HMT) в кальците (CC); Е – Тi-гематит (HMT) и пропитанный тонкими включениями гематита кальцит (CC).

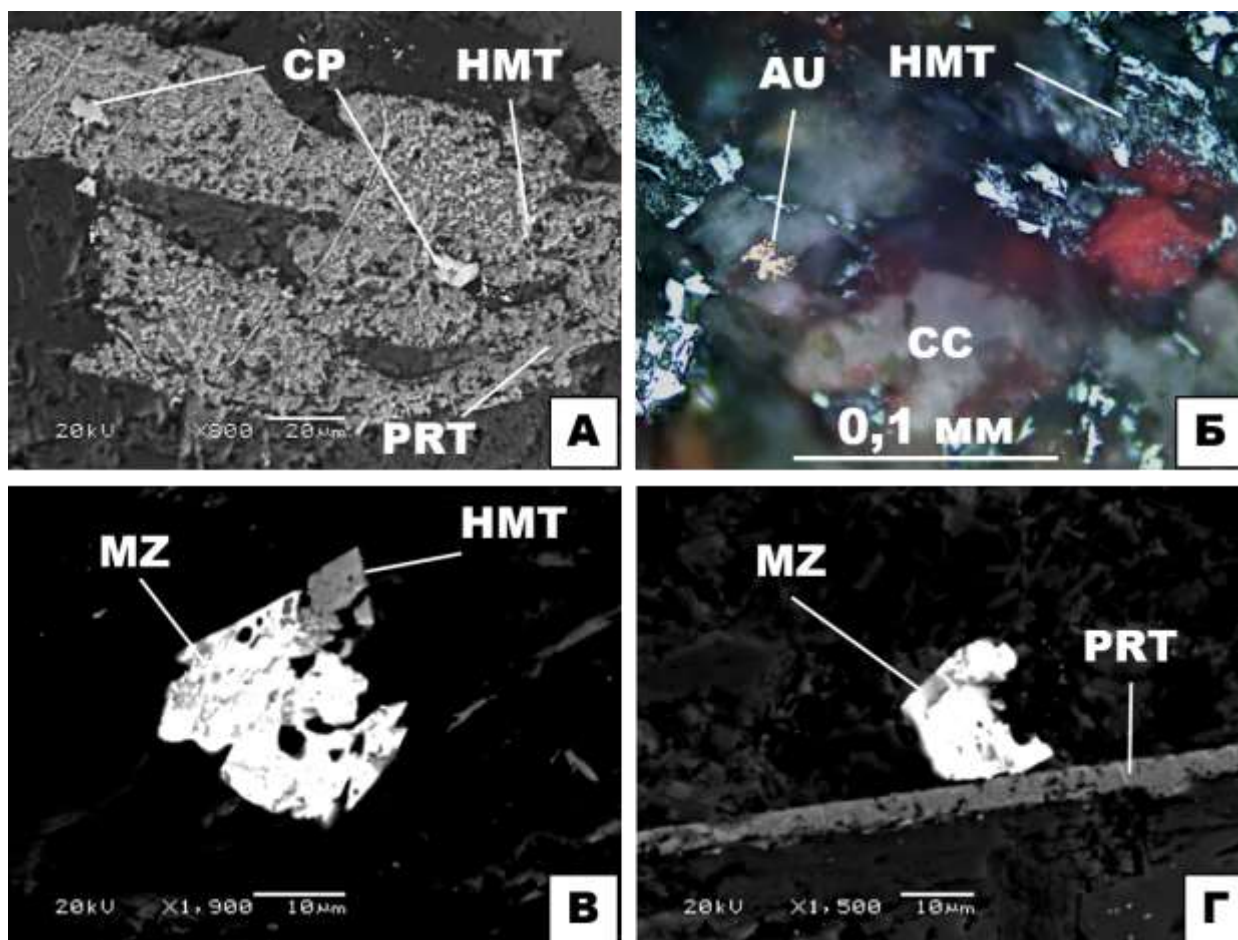


Рис. 5. Микрофотографии второстепенных и редких минералов Fe-оксидных-Cu-Au руд (обр. 10012):

А – Изометричные выделения халькопирита (CP) и игольчатые - Ti-гематита (HMT) в псевдуртите (PRT); Б – Золото (AU) в гематитизированном кальците (CC); В – Монацит (MZ) в сростание с Ti-гематитом (HMT); Г – Монацит (MZ) на псевдуртите (PRT).

**Золото** самородное – обнаружено в Ti-гематите и в кальците, пропитанном тонкой вкрапленностью Ti-гематита, что подтверждает генетическую связь металла с Fe-оксидными рудами. Образуют мелкие (до 0,02 мм) изометричные включения на границах пластин гематита и кальцита (рис. 5, Б). Необычной особенностью золота является полное отсутствие в составе Ag, при этом присутствуют примеси Fe (5,96–10,13 %) и Pd (0,58–1,2 %).

**Барит** – типичный минерал вулканогенно-осадочных руд, ассоциирует со вторичными по отношению к базальтам гематитом, кальцитом и кварцем. В виде равномерно рассеянной вкрапленности постоянно присутствует в гематитовых брекчиях проявления Хурат, а его количество увеличивается в участках скоплений вкрапленного халькопирита. В целом, поскольку широкого развития сульфидов в этом типе руд не наблюдается, барит может служить индикатором скрытых (или удаленных) барит-полиметаллических руд [7]. По данным микрозондового анализа Ca (1,71–3,01 %) и Sr (3,28–

4,7 %) являются главными примесями в составе барита, иногда отмечается примесь Co (0,31–0,96 %).

**Монацит-Се** – моноклинный ортофосфат легких РЗЭ. Его состав переменный  $(LREE)PO_4$ , что определяется зональным распределением Th, U, Ce, La, Y, Ca и др. [16; 17]. В базальтовых лавах проявления Хурат монацит встречается повсеместно в сростаниях с Ti-гематитом и псевдуртитом (рис. 5В-Г). Это позволяет относить образование минерала к поздней стадии, в которую были сформированы промышленные скопления Fe-оксидных руд за счет распада ильменита на гематит и минералы титана – ульвошпинель, псевдуртит и рутил. Химический состав монацита варьирует (табл. 2) – по данным микрозондового анализа все зерна монацита представлены цериевой разностью (Ce существенно преобладает над другими редкими землями). Из других примесей можно отметить присутствие существенных концентраций  $Pt_2O_3$  – до 5,82 мас. %,  $Sm_2O_3$  – до 5,77 мас. %,  $Eu_2O_3$  – до 2,37 мас. % и  $Gd_2O_3$  – до 2,52 мас. %. В

Представительные химические анализы монацитов в базальтах проявления Хурат (обр. 10012-16), (в %)

Оксид	1	2	3	4	5	6	7	8
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	30,53	31,43	30,35	29,37	28,44	26,98	27,64	29,67
Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	29,39	29,12	31,32	32,89	27,93	35,66	31,82	32,27
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,26	14,22	12,99	14,49	14,36	16,95	15,02	20,26
Pr <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	2,79	2,51	4,35	5,95	5,82	4,66	3,17	0,15
Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,14	14,21	15,28	12,81	18,08	14,19	16,47	11,94
Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,77	3,47	2,65	-	4,06	2,46	-	1,64
Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,36	2,37	-	-	-	-	-	1,20
Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,52	2,40	2,35	1,79	0,92	-	-	0,99
Tb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	-	-	0,76	-	-	-	0,14
ThO <sub>2</sub>	-	-	-	-	-	-	2,06	0,42
Сумма	99,76	99,73	99,29	98,06	99,61	100,90	94,12	98,26

*Примечание.* Анализы монацитов выполнены в ИГАБМ СО РАН в лаборатории физико-химических методов анализа на сканирующем электронном микроскопе JEOL JSM-6480 LV, аналитик Попова С.К. Группы окислов: 1 – компоненты собственно монацита; 2 – компоненты замещений в монаците – UO<sub>2</sub>, PbO, SiO<sub>2</sub>, CaO не обнаружены.

природе известны несколько типов замещений в монацитах, связанные с образованием минерала в процессе кристаллизации интрузивных пород. **Брабантитовый (чералитовый)** 2LREE<sup>3+</sup> ↔ Th<sup>4+</sup> + Ca<sup>2+</sup> тип, в котором брабантит (чералит) CaTh(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> образует твердые растворы с монацитом и хаттонитом [10; 11; 13]. По аналогичной схеме возможно вхождение U в решетку монацита: 2LREE<sup>3+</sup> ↔ U<sup>4+</sup> + Ca<sup>2+</sup>. **Хаттонитовый** (LREE<sup>3+</sup> + P<sup>5+</sup> ↔ Th<sup>4+</sup> + Si<sup>4+</sup>) тип, в котором замещения происходят одновременно в PЗЭ- и фосфатной подрешетках, а для твердых растворов монацит-хаттонит установлена полная взаимная растворимость [13]. Аналогичное замещение обеспечивает и вхождение U в структуру монацита LREE<sup>3+</sup> + P<sup>5+</sup> ↔ U<sup>4+</sup> + Si<sup>4+</sup> [1]. Содержание радиогенных компонентов в Fe-оксидных рудах проявления Хурат незначительно (ThO<sub>2</sub> – 0–2,06 мас. %) или отсутствуют (UO<sub>2</sub> и PbO). Это свидетельствует об отсутствии брабантитового и хаттолитового типов замещений и, в целом, характерно для процессов, связанных с основным вулканизмом [6].

Изначально, по данным Э.И.Кутырева и др. [5] и В.А.Ян-Жин-Шина [8], была известна только меденосность базальтов Менкюленской минерагенической зоны северного замыкания хребта Сетте-Дабан. Проведение полевых работ с поиском Fe-оксидных руд и изучение их вещественного состава показало наличие ранее не известной в меденосных базальтах Якутии минерализации IOCG-типа, первая находка кото-

рых в Якутии была описана в 2014 году [2]. В целом, следует отметить, что Fe-оксидный-Cu-Au (IOCG) тип минерализации образует стратегически важный вид минерально-сырьевого ресурса, что делает территорию Республики Саха (Якутия) инвестиционно-привлекательной.

### Заключение

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Пространственная и генетическая связь мафических пород и Fe-оксидной-Cu-Au (IOCG) минерализации, широко распространенная в мире [14], обнаружена и в Восточной Якутии в базальтах хребта Сетте-Дабан [4]. Установлено, что существенные скопления Fe-оксидных руд обусловлены распадом ильменита на Ti-содержащий гематит и минералы титана – ульвошпинель, псевдорутит и рутил. Процесс распада мог быть инициирован более поздними тектоническими подвижками, которые вызвали брекчирование нижележащих доломитов и цементацию обломков новообразованным гематитом.

2. Самородное золото обнаружено в ассоциации с гематитом и кальцитом в Fe-оксидных рудах. Его проба составляет 878–936 ‰, но обусловлена не примесью серебра, которое полностью отсутствует, а железа (5,96–10,13 %) и палладия (0,58–1,2 %).

3. Монацит является важным типоморфным минералом Fe-оксидных руд проявления Хурат.

Минерал не содержит радиоактивной ( $\text{ThO}_2$  и  $\text{UO}_2$ ) и радиогенной ( $\text{PbO}$ ) составляющих и был образован вместе с гематитом, поэтому его сложный поликомпонентный состав характеризует генетические особенности Fe-оксидных-Cu-Au руд и относится не к наложенной на базальты стадии рудообразования.

4. Медная, золотая и редкоземельная минерализация пространственно связаны с гематитовыми рудами, поэтому в сумме они образуют комплексный Fe-оксидный-Cu-Au-REE тип руд. Своеобразие этого типа в том, что медные минералы представлены только халькопиритом, а самородное золото не содержит примеси серебра.

### Литература

1. *Вотьяков С.Л., Шапова Ю.В., Хиллер В.В.* Кристаллохимия и физика радиационно-термических эффектов в ряде U-Th-содержащих минералов как основа для их химического микронзондового датирования // Под ред. Н.П. Юшкина. – Екатеринбург: Институт геологии и геохимии УрО РАН. 2011. – 336 с.

2. *Костин А.В., Желонкина М.С., Ведяев А.Ю., Рафат Г.* Fe-оксидная-Cu-Au минерализация (IOCG-типа): новые перспективы благороднометального оруденения Восточной Якутии // Глюкауф Майнинг Репорт, 2014, №1. С. 24–30.

3. *Костин А.В.* Минеральные разновидности Fe-оксидных-Cu руд проявлений Джалкан, Росомаха и Хурат (Сетте-Дабан, Восточная Якутия) // Отечественная геология. 2016. №6. С. 11–15.

4. *Костин А.В.* Минералогические особенности Fe-оксидных-Cu-Au (IOCG) руд в базальтах хребта Сетте-Дабан (Восточная Якутия) // Успехи современного естествознания. 2017. № 4. С. 90–96. DOI – 10.18411/a-2017-118.

5. *Кутырев Э.И., Соболев А.Е., Исправников А.В., и др.* Медистые песчаники и медистые базальты Сетте-Дабанского региона // Стратиформное оруденение Якутии: Сборник научных трудов. – Якутск: ЯФ СО АН СССР. 1988. С. 74–87.

6. *Смыслов А.А.* Уран и торий в земной коре. – Недра, Ленингр. отд-ние, 1974.

7. *Яковлев Г. Ф., Хисамутдинов М. Г., Демин Ю. И.* Полигенность и полихронность колчеданно-полиметаллических месторождений Рудного Алтая // Геол. рудн. месторожд. 1975. № 3. С. 66–67.

8. *Ян-Жин-Шин В.А.* Тектоника Сетте-Дабанского горст-антиклинария // Якутск: ЯФ СО АН СССР, 1983.

9. *Corriveau L., Williams P. J., Mumin A. H.* Ex-

ploring for iron oxide copper-gold deposits: Canada and global analogues // Geological Association of Canada, Short Course Notes. 2010. V. 20. 185 p.

10. *Forster H.J.* The chemical composition of REEY-Th-U-rich accessory minerals from the Erzgebirge-Fichtelgebirge region, Germany. Part I: the monazite-(Ce)-brabantite solid solution series // Amer. Miner. 1998. V. 83. P. 259–272.

11. *Forster H.J., Harlov D.E.* Monazite-(Ce)-huttonite solid solutions in granulite-facies metabasites from the Ivrea-Verbano Zone, Italy // Miner. Mag. 1999. V. 63. P. 587–594.

12. *Groves D. I., Santosh M.* Province-scale commonalities of some world-class gold deposits: implications for mineral exploration // Geoscience Frontiers. 2015. V. 6. №. 3. P. 389–399.

13. *Kucha H.* Continuity in the monazite-huttonite series // Miner. Mag., 1980. P. 1031–1034.

14. *Oliver, N. H., Butera, K. M., Rubenach, M. J. et al.* The protracted hydrothermal evolution of the Mount Isa Eastern Succession: A review and tectonic implications // Precambrian Research. 2008. V. 163. №. 1. P. 108–130.

15. *Richards J. P., Mumin A. H.* Magmatic-hydrothermal processes within an evolving Earth: Iron oxide-copper-gold and porphyry Cu±Mo±Au deposits // Geology. – 2013. – Т. 41. – №. 7. – С. 767–770.

16. *Spear F.S., Pyle J.M.* Apatite, monazite, and xenotime in metamorphic rocks // Rev. Miner. Geochem. 2002. V. 48. P. 293–335.

17. *Williams M.L., Jercinovic M.J., Hetherington C.J.* Microprobe Monazite Geochronology: Understanding Geologic Processes by Integrating Composition and Chronology // Annual Rev. Earth Planet. Sci. 2007. V. 35. P. 137–175.

### References

1. *Votyakov S.L., Shapova Y.V., Hiller V.V.* Kristallohimiya i fizika radiacionno-termicheskikh effektov v ryade U-Th-soderzhaschih mineralov kak osnova dlya ih himicheskogo mikrozonodovogo datirovaniya // Pod red. N.P. Yushkina. Ekaterinburg: Institut geologii i geohimii URO RAN, 2011, p. 336.

2. *Kostin A.V., Zhelonkina M.S., Vedyayev A.Y., Rafat G.* Fe-oksidsnaya-Cu-Au mineralizatsiya (IOCG-tipa): novye perspektivy blagorodnometal'nogo orudeneniya Vostochnoj Yakutii // Glyukauf Majning Report, 2014, №1, pp. 24 – 30.

3. *Kostin A.V.* Mineral'nye raznovidnosti Fe-oksidsnyh-Cu rud proyavlenij Dzhalkan, Rosomaha i Hurat (Sette-Daban, Vostochnaya Yakutiya) // Otechestvennaya geologiya, 2016, №6, pp. 11–15.

4. *Kostin A.V.* Mineralogicheskie osobennosti Fe-oksidsnyh-Cu-Au (IOCG) rud v bazal'tah hrebta



- Sette-Daban (Vostochnaya YAkutiya) // *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*, 2017, № 4, pp. 90–96. DOI – 10.18411/a-2017-118.
5. *Kutyrev E.I., Sobolev A.E., Ispravnikov A.V., i dr.* Medistye peschaniki i medistye bazal'ty Sette-Dabanskogo regiona // *Stratiformnoe orudnenie Yakutii: Sbornik nauchnyh trudov*, Yakutsk: YAF SO AN SSSR, 1988, pp. 74–87.
6. *Smyslov A.A.* Uran i torij v zemnoj kore. Nedra, Leningr. otd-nie, 1974.
7. *Yakovlev G. F., Hisamutdinov M. G., Demin Y. I.* Poligennost' i polihronnost' kolchedanno-polimetallicheskikh mestorozhdenij Rudnogo Altaya // *Geol. rudn. mestorozhd.*, 1975, № 3, pp. 66–67.
8. *Yan-Zhin-Shin V.A.* Tektonika Sette-Dabanskogo gorst-antiklinoriya // Yakutsk: YAF SO AN SSSR, 1983.
9. *Corriveau L., Williams P. J., Mumin A. H.* Exploring for iron oxide copper-gold deposits: Canada and global analogues // *Geological Association of Canada, Short Course Notes*, 2010, vol. 20, p. 185.
10. *Forster H.J.* The chemical composition of REEY-Th-U-rich accessory minerals from the Erzgebirge-Fichtelgebirge region, Germany. Part I: the monazite-(Ce)-brabantite solid solution series // *Amer. Miner.* 1998, vol. 83, pp. 259–272.
11. *Forster H.J., Harlov D.E.* Monazite-(Ce)-huttonite solid solutions in granulite-facies metabasites from the Ivrea-Verbanò Zone, Italy // *Miner. Mag.* 1999, vol. 63, pp. 587–594.
12. *Groves D. I., Santosh M.* Province-scale commonalities of some world-class gold deposits: implications for mineral exploration // *Geoscience Frontiers*, 2015, vol. 6, № 3, pp. 389–399.
13. *Kucha H.* Continuity in the monazite-huttonite series // *Miner. Mag.*, 1980, pp. 1031–1034.
14. *Oliver, N. H., Butera, K. M., Rubenach, M. J. et al.* The protracted hydrothermal evolution of the Mount Isa Eastern Succession: A review and tectonic implications // *Precambrian Research*, 2008, vol. 163, № 1, pp. 108–130.
15. *Richards J. P., Mumin A. H.* Magmatic-hydrothermal processes within an evolving Earth: Iron oxide-copper-gold and porphyry Cu±Mo±Au deposits // *Geology*, 2013, vol. 41, № 7, pp. 767–770.
16. *Spear F.S., Pyle J.M.* Apatite, monazite, and xenotime in metamorphic rocks // *Rev. Miner. Geochem*, 2002, vol. 48, pp. 293–335.
17. *Williams M.L., Jercinovic M.J., Hetherington C.J.* Microprobe Monazite Geochronology: Understanding Geologic Processes by Integrating Composition and Chronology // *Annual Rev. Earth Planet. Sci.* 2007, vol. 35, pp. 137–175.

Поступила в редакцию 22.10.2017