HA'

УДК 553.4 (571.56) ПРОЯВЛЕНИЕ РОСОМАХА – ВЫСОКОПРОДУКТИВНЫЙ ТИП FE-ОКСИДНОЙ-СU-АU МИНЕРАЛИЗАЦИИ

В БАЗАЛЬТАХ ХРЕБТА СЕТТЕ-ДАБАН Костин А.В.

ФГБУН «Институт геологии алмаза и благородных металлов» Сибирского отделения Российской академии наук, Якутск, e-mail: kostin@diamond.ysn.ru

Обобщение данных о выявленных минеральных типах руд, связанных с девонскими базальтами хребта Сетте-Дабан (Восточная Якутия), позволило установить новый для Северо-Востока России генетический тип Fe-оксидных-Cu-Au (IOCG) руд. Его главными особенностями являются высокие содержания железа и меди. Золото всегда присутствует в минеральной форме и может образовывать промышленно значимые концентрации. Поисковыми признаками Fe-оксидных-Cu-Au (IOCG) руд в базальтовых покровах являются разнообразные по морфологии скопления гематита и ассоциирующих минералов меди, а на поверхности коренных обнажений часто присутствует малахит. Содержание меди в базальтах варьирует от 0,37-18,24%. Медь в самородной форме присутствует уже на стадии застывания базальтовой лавы - обычно это тонкие пленки по границам кристаллов авгита. Позднее брекчирование базальтовых потоков, и цементация гематит-кальцит-борнитовыми рудами приводит к образованию ультрабогатых Fe-Cu руд. Высокая продуктивность базальтов на медь определяется принадлежностью к толеитовой серии. Содержание меди в известково-щелочных разновидностях пород меньше, но с ними большее развитие получили оксиды железа (проявление Хурат и частично Джалкан). Сочетание в пределах одного рудопроявления пород толеитовой и известково-щелочной серий (проявление Росомаха и частично Джалкан), относимых по степени эволюции к ферро-базальтам, является наиболее продуктивным для формирования богатых Fe-оксидных-Cu-Au руд. Fe-оксидных-Cu-Au (IOCG) проявления Джалкан, Росомаха и Хурат располагается в зоне влияния федеральной автодороги «Колыма» (10, 5 и 1 км от автодороги соответственно), что делает экономически целесообразным вовлечение его в геологоразведку.

Ключевые слова: Fe-оксидных-Си-Аи, ЮСС, проявление Росомаха, Сетте-Дабан

THE MANIFESTATION ROSOMAKHA – HIGH-PRODUCTIVE TYPE OF FE-OXIDE-CU-AU MINERALIZATION IN BASALTS OF THE RIDGE SETTE-DABAN

Kostin A.V.

Diamond and Precious Metal Geology Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, e-mail: kostin@diamond.ysn.ru

Generalization of the data on the identified mineral types of ores associated with the Devonian basalts of the Sette-Daban ridge (Eastern Yakutia) made it possible to establish a new genetic type of Fe-oxide-Cu-Au (IOCG) ores for the Northeast of Russia. Its main features are the high content of iron and copper. Gold is always present in mineral form and can form industrially significant concentrations. The prospecting features of Fe-oxide-Cu-Au (IOCG) ores in basalt covers are diverse in morphology of hematite and associated copper minerals, and malachite is often present on the surface of root outcrops. The content of copper in basalts varies from 0.37-18.24%. Copper in native form is already present at the stage of hardening of basalt lava-usually thin wraps along the boundaries of augite crystals. Later brecciating of basalt flows and cementation with hematite-calcite-bornite ores leads to the formation of ultra-rich Fe-Cu ores. High productivity of basalts on copper is determined by belonging to the tholeiite series. The copper content in the calc-alkaline rock varieties less, but more development was given to the iron oxides (the manifestations Hurat and partially Jalkan). The combination within one ore occurrence of rocks of the toleiite and calc-alkaline series (the manifestations of Rosomakha and partially Jalkan), attributable to the degree of evolution to ferro-basalts, is the most productive for the formation of rich Fe-oxide-Cu-Au ores. Fe-oxide-Cu-Au (IOCG) manifestations of Jalkan, Rosomakha and Hurat are located in the zone of influence of the Federal highway «Kolyma» (10, 5 and 1 km from the road, respectively), which makes it economically feasible to involve it in exploration.

Keywords: Fe-oxide-Cu-Au, IOCG, Rosomakha manifestation, Sette-Daban

Пространственная и генетическая связь мафических пород и Fe-оксидной-Cu-Au (IOCG – принятое в литературе сокращение от Iron Oxide Copper Gold deposits) минерализации широко распространена в мире, но наиболее представлена в районе Mount Isa (Австралия) [1]. Похожий тип Fe-оксидных-Cu-Au (IOCG) руд, связанный с покровами базальтов, был обнаружен во время полевых работ 2013–2017 гг. в горном хребте Сетте-Дабан, Восточная Якутия. При минеральном разнообразии в целом руды характеризуются высоким содержанием оксидов железа и дефицитом сульфидов. Руды комплексные и экономически привлекательные – содержания FeO_{общ} – 8,37–43,29%; Cu – 0,011–18,24%; Au – 0,1–17,5 г/т, Ag – 1,9–43,3 г/т [2], а главным минералом – концентратором золота является гематит. Проведенные ранее исследования показали, что крупные скопления Fe-оксидных руд присутствуют только в базальтах известково-щелочной серии, где ассоциируют с халькопиритом. Их образование связано с распадом ильменита на гематит, ульвошпинель, псевдорутил и рутил [3]. Медь в самородной форме и высокомедистые сульфиды (борнит и джерит) ассоциируют с толеитовыми лавами проявлений Джалкан и Росомаха и появляются уже на стадии застывания - обычно это тонкие пленки по границам кристаллов авгита. Позднее брекчирование толеитовых лав проявления Росомаха, и цементация гематит-кальцитборнитовыми рудами приводит к образованию богатых Fe-Cu руд, в которых минералы меди ассоциируют с самородным золотом.

Улучшение качества федеральной автодороги «Колыма» на отрезке Хандыга – Усть-Нера вовлекает в сферу экономического влияния многие месторождения полезных ископаемых, которые ранее были не востребованы из-за изолированности района. В их число входят Fe-оксидные-Cu-Au проявления в базальтах Менкюленской минерагенической зоны северного замыкания хребта Сетте-Дабан (Восточная Якутия), расположенные в сфере экономического влияния автодороги (рис. 1).

Цель статьи: обосновать геологические особенности высокопродуктивного типа Feоксидной ± (Cu-Au) минерализации, связанного с проявлением базальтового вулканизма хребта Сетте-Дабан.

Материалы и методы исследования

Материал для статьи был собран во время полевых работ 2013-2017 гг. из меденосных базальтов хребта Сетте-Дабан Восточной Якутии. Для всех разновидностей пород выполнен химический силикатный анализ (табл. 1), включающий определение суммы окислов элементов, проведено количественное определение содержаний меди. Распределение и состав рудных минералов в породах изучалось на оптическом микроскопе Leica DM ILM в полированных шлифах. Диагностика и анализ минералов пород и руд выполнены на сканирующем электронном микроскопе JEOL JSM-6480 LV. Все исследования проводились в лаборатории физико-химических методов анализа ФГБУН ИГАБМ СО РАН.



Рис. 1. Расположение проявлений меденосных базальтов Джалкан, Росомаха и Хурат вдоль автодорог «Колыма» и «Яна» на снимках Landsat

116

Таблица 1

Представительные химические анализы (в%) меденосных базальтов:
проявление Росомаха

Обр.	10303-1	10307-2	10309-1	27-1	27-3	27-4	27-5
SiO ₂	45,3	49,92	45,23	39,84	39,62	41,49	43,04
TiO ₂	1,76	2,25	1,9	1,95	1,91	0,79	2,17
Al_2O_3	12,22	16,13	13,76	13,22	13,71	6,6	14,41
Fe ₂ O ₃	5,21	11,38	6,64	3,35	3,86	1,28	3,77
FeO	4,83	4,5	6,96	5,66	6,14	7,09	6,58
MnO	0,18	0,05	0,11	0,13	0,12	0,08	0,09
MgO	4,93	3,76	6	3,45	3,1	4,07	4,13
CaO	10,62	2,07	6,99	11,11	13,2	9,83	7,52
Na ₂ O	4,83	2,48	5,21	3,91	3,52	1,28	4,36
K ₂ O	0,59	4,86	0,49	0,18	0,17	0,31	0,2
H_2O-	0,04	0,1	0,06	0,18	0,24	0,02	0,22
H_2O+	2,84	2,65	2,23	2,1	1,66	1,08	2,19
P_2O_5	0,18	0,14	0,15	0,51	0,27	0,3	0,17
CO_2	5,66	0	1,31	2,46	1,97	1,88	0,11
S	0,2	0,07	0,51	2,6	2,47	5,87	2
Cu	1,16	0,37	1,83	9,8	8,87	18,24	8,09
Сумма	100,55	100,73	99,38	100,45	100,83	100,21	99,05

Продолжение табл. 1 Представительные химические анализы (в%) меденосных базальтов: проявление Джалкан

Обр.	10176-5	10179	10185-1	10187	10187-1	10188	10192	10192-1
SiO ₂	41,56	49,78	45,81	46,99	49,04	49,45	49,74	46,03
TiO ₂	2,36	0,63	0,62	2,13	2,04	2,53	1,97	1,87
Al_2O_3	15,81	11,33	13,14	13,1	13,01	12,84	10,76	13,59
Fe ₂ O ₃	17,29	3,73	6,36	11,66	10,99	8,99	8,57	12,02
FeO	2,87	3,4	1,87	3,48	3,36	4,89	3,11	2,82
MnO	0,12	0,21	0,19	0,2	0,18	0,17	0,21	0,17
MgO	4,46	2,1	3,44	8,77	8,47	7,52	6,24	7,78
CaO	11,63	13,47	14,91	8,53	5,45	7	16,1	6,7
Na ₂ O	1,04	4,41	3,14	2,76	4,78	3,88	0,55	4,29
K ₂ O	0,23	0	0,62	0	0,25	0,2	0	0,63
H_2O-	0,8	1,14	0	0,48	0,12	0,36	0	0,18
H_2O+	2,05	0,95	1,58	2,46	2,23	2,59	1,04	2,09
P_2O_5	0,26	0,04	0,05	0,21	0,22	0,28	0,19	0,13
CO_2	0	9,12	8,32	0	0	0	0	0
S	0	0,13	0	0,05	0,02	0	0	0
Cu	0,044	0,49	0,11	0,03	0,011	0,011	1,517	2,267
Сумма	100,524	100,93	100,16	100,85	100,171	100,711	99,997	100,567

Продолжение табл. 1

Представительные химические анализы (в%) меденосных базальтов: проявление Хурат

_				
Обр.	10015-3	10015-6	10015-9	10217-а
SiO ₂	43,25	48,85	44,67	42,65
TiO ₂	1,51	1,39	1,37	1,28
Al_2O_3	14,29	16,55	14,49	14,21
Fe ₂ O ₃	5,04	5,85	4,53	6,91
FeO	4,02	3,23	3,49	2,58
MnO	0,1	0,06	0,09	0,1
MgO	6,3	5,02	5,71	7,41
CaO	10,5	5,61	10,34	9,7
Na ₂ O	3,58	4,33	3,79	3,36
K ₂ O	3,02	4,08	3,49	2,22
H ₂ O-	0,06	0,06	0,18	0,12
H_2O+	1,62	2,5	2	2,81
P_2O_5	0,18	0,18	0,18	0,12
CO_2	6,02	2,25	5,34	5,93
S	0	0,04	0	0,02
Cu	0,0085	0,013	0,0099	0,0087
Сумма	99,4985	100,013	99,6799	99,4287

Примечание. Химические анализы выполнены в лаборатории физико-химических методов анализа ИГАБМ СО РАН, аналитик Л.Т. Галенчикова.

Результаты исследования и их обсуждение

Генетические серии меденосных базальтов хребта Сетте-Дабан показаны на диаграмме AFM, отображающей относительные весовые пропорции компонентов: A (Na₂O + K_2O), F (FeO + Fe₂O₂) и M (MgO) (рис. 2). Точки исследованных меденосных базальтов на диаграмме AFM, захватывают известковощелочную и толеитовую серии. Ранее было показано, что с базальтами известково-щелочной серии проявлений Хурат и Джалкан связана Fe-оксидная-Сu-Au (IOCG) минерализация, а в рудах присутствуют значительные количества гематита. Толеитовые базальты проявления Джалкан обогащены самородной медью и в меньшей степени – гематитом [4]. В толеитовых лавах проявления Росомаха широко развиты минерализованные газовые пузыри – миндалины, к которым приурочена значительная часть медной минерализации, а самородная медь обнаружена в базальтах в ассоциации с авгитом (рис. 3).

Предполагается, что процесс образования базальтов известково-щелочной и толеитовой серий различен. Главным отличием является окислительный потенциал исходного расплава - толеитовые магмы восстановлены, а известково-щелочные – окислены [5]. Это приводит к тому, что известково-щелочная магма обладает достаточным окислительным потенциалом, чтобы осадить в рудные тела значительные количества оксида железа. В толеитовой магме содержание железа увеличивается, по мере того как из расплава осаждаются минералы, бедные железом. При этом самостоятельных скоплений оксидов железа не образуется.

Главным признаком присутствия Feоксидных руд в меденосных базальтах является гематит, количество и формы проявления которого различны. При приближении к крупным скоплениям гематита в базальтах появляются тонкие (1-3 см) протяженные (до 1,5 м) ленты гематит-кальцитового состава, наследующие структуры течения базальтовой лавы. Обычно они располагаются параллельно сложной геометрической поверхности лавовых потоков и подчеркивают поверхности их контактов (рис. 4, А). В кровле лавовых потоков обычно присутствуют две разновидности лав, внедрявшиеся в кремнистые гематизированные осадки. Первая – представлена угловатыми обломками в кремнистых осадках (рис. 4, Б). Вторая – лавы внедрялись в нелитифицированные кремнистые осадки, фрагменты лав имеют округлые очертания (рис. 4, В). Обо-

гащенные гематитом базальты приурочены к подошве лавового покрова на контакте с доломитами, содержат редкую вкрапленность пирита и халькопирита (рис. 4, Г). Наиболее богатые медные руды наблюдались в кровле лавового потока и представлены брекчиями с борнит-гематит-кальцитовым цементом (рис. 4, Д). Ассоциация гематита и самородной меди (рис. 4, Е) является важным показателем рудоносности базальтов. Как следует из табл. 1, по содержанию меди наиболее продуктивным минеральным типом является Fe-оксидный-Cu, установленный в толеитовых базальтах проявления Росомаха. Меденосные базальты проявления характеризуются наличием крупных уплощенных миндалин, газовых труб и пустот, пространство которых выполнено гематитджерит-борнитовой рудой. С этими рудами пространственно ассоциируют зоны развития Fe-оксидной минерализации в базальтах.



Рис. 2. Классификационная AFM-диаграмма для минерализованных базальтов хребта Сетте-Дабан, показывающая относительные пропорции оксидов Na₂O + K₂O (A), FeO + Fe₂O₃ (F) и MgO (M) [5]: Проявления: 1 – Хурат, 2 – Росомаха; 3 – Джалкан. Породы на линиях эволюции: В – Базальт, FB – Ферро-базальт, AB – Андезитобазальт, A – Андезит, D – Дацит, R – Риолит



Рис. 3. Самородные медь и золото в базальтах проявления Росомаха: А – авгит + самородная медь по границе кристалла; Б – авгит + самородная медь по границе кристалла и вкрапление золота в Са-амфиболе (феррочермакит). Сокращения: Си – медь самородная, Au – золото самородное, Aug – авгит, Amp – амфибол

EARTH SCIENCES (25.00.00)



Рис. 4. Признаки Fe-оксидных-Си-(Au) руд в базальтах: А – Тонкие протяженные ленты гематит-кальцитового состава, наследующие структуры течения базальтовой лавы (руч. Тихий, проявление Хурат); Б – Брекчированный базальт в насыщенных гематитом кремнистых осадочных породах (руч. Тихий, проявление Хурат); В – Подушечная текстура (пиллоу-лава): отдельные «подушки» сцементированы кремнистыми осадками, насыщенными гематитом (руч. Тихий, проявление Хурат); Г – Полосы, обогащенные гематитом в подошве покрова базальтов (руч. Сегенях, проявление Росомаха); Д – Брекчированный базальт с гематитборнитовым цементом (руч. Сегенях, проявление Росомаха); Е – Гематитизированный базальт с вкраплениями самородной меди (ручей Джалкан, проявление Джалкан). Сокращения: Вп – борнит, Нет – гематит, Си – медь самородная, Cal – кальцит

Практические рекомендации

Меденосность базальтов хребта Сетте-Дабан известна с 1970-х гг. Однако геологической активности в связи с этими проявлениями рудной минерализации не наблюдается до сих пор. Главная причина в том, что как собственные месторождения меди они экономического интереса не представляют. Микрозондовые исследования составов рудных минералов показали, что главные минералы меди – джерит и борнит проявления Росомаха золотоносны (табл. 2), что в совокупности с обнаруженной Fe-оксидной минерализацией позволяет обосновать высокопродуктивный тип Feоксидной-Cu-Au минерализации.

НАУКИ О ЗЕМЛЕ (25.00.00)

Таблица 2

Представительные микрозондовые анализы главных минералов меди проявления Росомаха, мас. %

S	Fe	Cu	Au	Сумма			
Джерит							
21,78	_	76,28	_	98,06			
22,27	_	75,08	1,66	99,01			
22,5	_	76,73	_	99,23			
22,31	3,28	72,99	1,09	99,67			
Борнит							
24,59	1,83	69,81	1,24	97,47			
25,56	3,66	67,97	3,14	100,33			
26,48	9,03	62,05	2,39	99,95			
25,49	9,84	63,6	_	98,93			
25,25	10,49	63	_	98,74			
25,27	11,46	62,24	0,84	99,81			
24,05	10,52	65,54	_	100,11			

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

Заключение

Мы находим, что толеитовые и известково-щелочные тренды базальтовых лав влияют на рассеивание или накопление железа в ассоциирующих рудах соответственно [6]. С толеитовым трендом базальтов связаны богатые низкосульфидные медные руды, а самородная медь является его минералом-индикатором [7]. С известково-щелочным трендом базальтов развиваются значительные скопления гематитовых руд с медью и золотом, которые относятся к Fe-оксидному-Си-Аи типу. Пространственная ассоциация толеитовых и известково-щелочных базальтов на проявлениях Росомаха и Джалкан может свидетельствовать о наличии необнаруженных «недостающих» богатых Fe резервуаров, [8, 9] с Fe-оксидными-Сu-Аи рудами [10].

Исследования выполнены по плану НИР ИГАБМ СО РАН, проект № 0381-2016-0004.

Список литературы / References

1. Butera K. Genesis, tectonic setting- and exploration: considerations for Fe-oxide Cu Au deposits, Mount Isa Eastern Succession. PhD thesis. James Cook University. 2008. 162 p.

2. Костин А.В. Минералогические особенности Fеоксидных-Си-Аи (IOCG) руд в базальтах хребта Сетте-Дабан (Восточная Якутия) // Успехи современного естествознания. 2017. № 4. С. 90–96. DOI: 10.18411/a-2017-118.

Kostin A.V. Mineralogical characteristics of iron-oxidecopper-gold (IOCG) ores in the basalts of the Sette-Daban ridge (Eastern Yakutia) // Uspehi sovremennogo estestvoznaniya. 2017. № 4. P. 90–96. DOI: 10.18411/a-2017-118 (in Russian).

3. Костин А.В. Минеральный состав Fe-оксидных-Cu-Au (IOCG) руд проявления Хурат (хребет Сетте-Дабан, Восточная Якутия) // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2018. Т. 23. № 1. С. 7–15. DOI: 10.31242/2618-9712-2018-23-1-7-15.

Kostin A.V. Mineral composition of Fe-oxide-Cu-Au (IOCG) ores in the basalts of manifestation Hurat (the Sette-Daban ridge, Eastern Yakutia) // Arctic and Subarctic Natural Resources. 2018. vol. 23. № 1. P. 7–15. DOI: 10.31242/2618-9712-2018-23-1-7-15 (in Russian).

4. Костин А.В. Минеральные разновидности Fеоксидных-Си руд проявлений Джалкан, Росомаха и Хурат (Сетте-Дабан, Восточная Якутия) // Отечественная геология. 2016. № 6. С. 11–15.

Kostin A.V. Mineral types of Fe-oxide-Cu-Au ores manifestations Jalkan, Rosomakha and Hurat (Sette-Daban, Eastern Yakutia) // Otechestvennaya Geologiya. 2016. № 6. P. 11–15 (in Russian).

5. Irvine T.N., Baragar W.R. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. Canadian journal of earth sciences. 1971. vol. 8. P. 523–548. DOI: 10.1139/e71-055.

6. Du L. et al. Petrogenesis and tectonic implications of the iron-rich tholeiitic basalts in the Hutuo Group of the Wutai Mountains, Central Trans-North China Orogen. Precambrian Research. 2015. vol. 271. P. 225–242. DOI: 10.1016/j.pre-camres.2015.10.008.

7. Ikehata K. et al. Hydrothermal Native copper in ocean island alkali basalt from the Mineoka Belt, Boso Peninsula, Central Japan. Economic Geology. 2016. vol. 111. no. 3. P. 783–794. DOI: 10.2113/econgeo.111.3.783.

8. El-Desoky H.M., Khalil A.E., Afifi A.A. Geochemical and petrological characteristics of the high-Fe basalts from the Northern Eastern Desert, Egypt: Abrupt transition from tholeiitic to mildly alkaline flow-derived basalts. Nature and Science. 2015. vol. 13. no. 6. P. 109–132.

9. Chin E.J. et al. On the development of the calc-alkaline and tholeiitic magma series: A deep crustal cumulate perspective. Earth and Planetary Science Letters. 2018. vol. 482. P. 277–287. DOI: 10.1016/j.epsl.2017.11.016.

10. Zhu Z. Gold in iron oxide copper–gold deposits. Ore Geology Reviews. 2016. vol. 72. P. 37–42. DOI: 10.1016/j.ore-georev.2015.07.001.

УСПЕХИ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ № 11, 2018