

ЖЕЛЕЗООКСИДНО-ЗОЛОТО-МЕДНЫЕ И РОДСТВЕННЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ: ГЕОЛОГО-ГЕНЕТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И ПЕРСПЕКТИВЫ АРКТИЧЕСКИХ РЕГИОНОВ РОССИИ

С. Г. Соловьев

ФГБУН Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН (Москва, Российская Федерация)

Статья поступила в редакцию 10 июня 2019 г.

Обсуждаются аспекты геолого-генетических моделей железоксидно-золото-медных и родственных месторождений и рассматриваются перспективы прогнозирования и выявления этих крупнейших комплексных (многометалльных) месторождений в арктических регионах России. Данные месторождения известны в мире крупными ресурсами меди, золота, иногда железных руд, урана, редкоземельных элементов, апатита и расположены преимущественно в террейнах древних платформ и их ближайшего обрамления, а также платформенного чехла, которые широко представлены в регионах Арктики. Эти регионы, несомненно, заслуживают скорейшей оценки на данные типы оруденения.

Ключевые слова: Арктика, металлогения, железоксидно-золото-медные месторождения, геолого-генетическая модель, перспективы арктических регионов России.

Введение

Особые экономические условия арктического региона диктуют возможность долговременной промышленной отработки только крупных месторождений богатых и/или комплексных руд; устойчивость этой отработки определяется минимизацией ее зависимости от колебаний цен на минеральное сырье. К таким месторождениям принадлежат, например, месторождения меди — никеля — металлов группы платины (норильский тип), месторождения редких металлов — редкоземельных элементов (РЗЭ) (томторский тип), крупные месторождения богатых руд золота (Купол и др.) и ряд других.

К рудным месторождениям, которые могут быть представлены крупными и гигантскими концентрациями богатых и/или комплексных руд, относятся и железоксидно-золото-медные¹ (а также железоксидно-золото-медные с ураном и редкими землями) и родственные месторождения. Месторождения этого «семейства» содержат малосернистые низкотитанистые (менее 0,5 вес. % Ti) магнетитовые и/или гематитовые руды, существенно обогащенные медью, золотом, а в ряде случаев также ураном и/или редкоземельными элементами [1—4]. Руды меди и золота, а иногда также урана и/или редкоземельных эле-

ментов и составляют основную промышленную ценность этих месторождений. Гигантское комплексное месторождение Олимпик Дэм в Австралии, представляющее данное «семейство», является крупнейшим в мире месторождением урана, входит в первую пятерку крупнейших месторождений меди и содержит также крупные ресурсы золота и редких земель [4; 5].

Месторождения железоксидно-золото-медного «семейства» известны на всех континентах (пока исключая Антарктиду) (рис. 1). В последние два десятилетия была установлена перспективность кратонных террейнов Северного полушария на месторождения данного «семейства» (Канада, Фенноскандия, Гренландия) [1; 2; 6; 7]. В регионах Арктики (Балтийский щит) известны родственные месторождения, которые обрабатываются на железные и апатитовые руды (табл. 1) [8]. Потенциал выявления данных месторождений был обоснован и для арктических и субарктических регионов России [9—13].

Главные черты геолого-генетических моделей

В настоящее время большинство исследователей признают, что «семейство» железоксидно-золото-медных месторождений представлено объектами разных генетических (и геолого-промышленных) типов, различающихся по возрасту, геотектонической позиции, взаимоотношениям с магматическими комплексами, локальной структурной позиции, составу

© Соловьев С. Г., 2019

¹ В зарубежной литературе известны как месторождения типа IOCG (Iron Oxide-Copper-Gold).

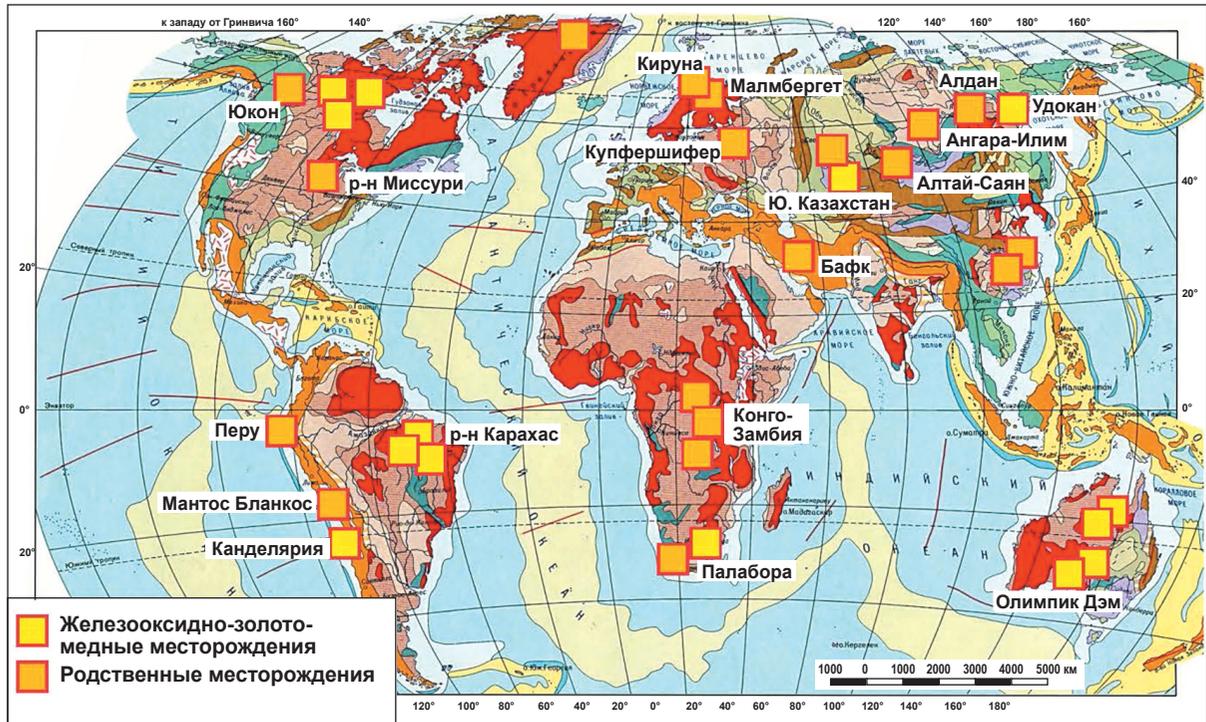


Рис.1. Размещение железоокисно-золото-медных и родственных месторождений на континентах мира
Fig. 1. Locations of iron-oxide-copper-gold and related deposits at the world continents

оруденения и окolorудных изменений и, как следствие, — по набору и содержанию полезных компонентов и масштабам оруденения [1—3; 14]. Вместе с тем данные месторождения характеризуются и общностью ряда признаков. Кроме указанного выше наиболее характерного обогащения магнетитом и/или гематитом различные исследователи подчеркивают в качестве характерных признаков типичность геотектонической позиции месторождений в областях общего растяжения и рифтогенеза, связь с зонами глубинных разломов, изменчивость связи с магматизмом (от невыраженной до прямой, например с калиевыми магматическими породами, в том числе породами шошонитовой серии, а также с карбонатами), широкое распространение брекчий, нередкое широкое развитие и даже преобладание наряду с калиевыми метасоматитами гидротермально-измененных пород «натриевого профиля» и др.

В целом имеет смысл различать железоокисно-золото-медные и родственные месторождения, (1) сформированные в докембрии и расположенные на докембрийских (архейских и раннепротерозойских) платформах и щитах, и (2) позднепротерозойские-фанерозойские месторождения, расположенные в структурах платформенного чехла и обрамления платформ (рис. 2). Ниже рассмотрены главные черты соответствующих геолого-генетических моделей.

Месторождения на докембрийских платформах и щитах

Для докембрийских месторождений, относимых к данному «семейству», наиболее характерной счи-

тается локализация на границах древних (с архейским фундаментом) платформ в связи с интракратонными зонами рифтогенеза [2; 4; 14; 15], возможно, отражающими формирование мантийных диапиров (плюмов) [16; 17]. Для этих месторождений устанавливается прямая или опосредованная связь с магматизмом высококалийного известково-щелочного, калиевого субщелочного (шошонитового) или щелочно-гранитного («анорогенные гранитоиды А-типа») типов [1—3; 18]. Нередко на месторождениях проявлен магматизм разных типов или магматические породы обладают переходными характеристиками, что подчеркивает долгоживущий и глубокопроникающий характер контролирующих структур.

В докембрийских платформенных террейнах весьма контрастно различаются месторождения в трубках брекчий и месторождения, представленные «стратифицированными» залежами в толщах чередования докембрийских метаморфических пород. В частности, преимущественно докембрийские железоокисно-золото-медные и железоокисно-золото-медно-урановые месторождения в трубках брекчий включают крупнейшее месторождение Олимпик Дэм в Южной Австралии и несколько меньших месторождений, известных в смежных районах. Месторождения пространственно ассоциируют с плутонами калиевых субщелочных гранитоидов, возможно — дайками основных, средних и кислых пород шошонитовой серии. К этому же типу, вероятно, принадлежат и сравнительно небольшие месторождения, связанные с трубками брекчий и рас-

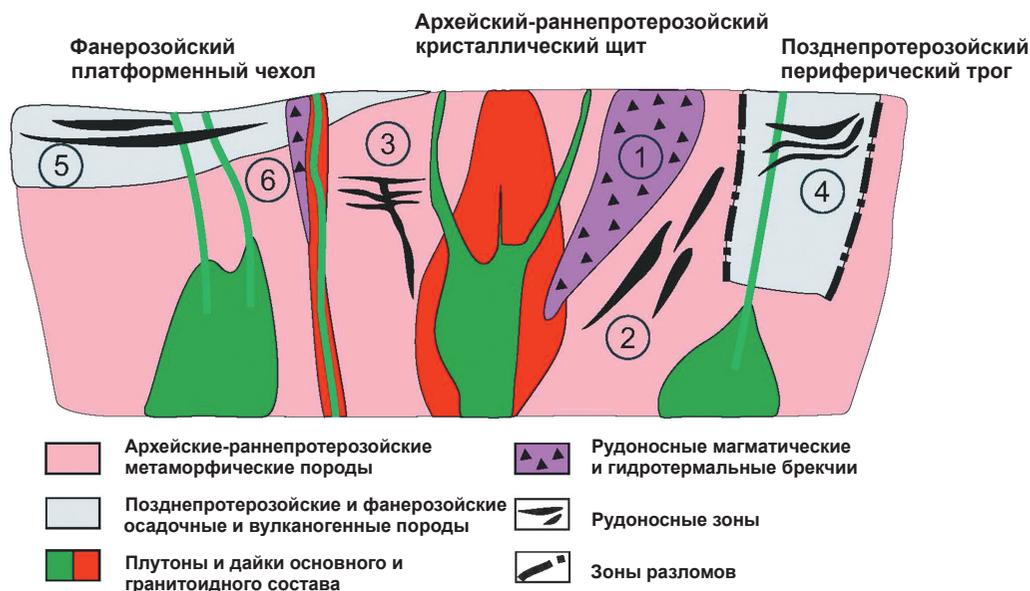


Рис. 2. Обобщенная модель размещения железокислотно-золото-медных и родственных месторождений в структурах земной коры. 1 – месторождения в трубках магматических и гидротермальных брекчий (тип Олимпик Дэм), 2 – месторождения в жильных зонах, 3 – месторождения в стратифицированных залежах (тип Кируна), 4 – стратифицированные месторождения во внутри- и перикратонных трогах (тип медистых песчаников и сланцев), 5 – стратифицированные месторождения в осадочном и вулканогенном чехле платформ (тип медистых песчаников и сланцев) и в складчатых поясах, а также месторождения типа «манто», 6 – месторождения в осадочном и вулканогенном чехле платформ и в складчатых поясах, связанные с трубками брекчий, зонами скарнов и телами карбонатитов

Fig. 2. A generalized model of the location of iron-oxide-copper-gold and related deposits in the earth crust structures. 1 – deposits in magmatic and hydrothermal breccia pipes (Olympic Dam type), 2 – deposits in lode zones, 3 – deposits in stratified lodes (Kiruna type), 4 – stratified deposits in intra- and pericratonic troughs (copper sandstone and shale type), 5 – stratified deposits in sedimentary and volcanogenic cratonic cover (copper sandstone and shale type) and in folded belts as well as “manto” type deposits, 6 – deposits in sedimentary and volcanogenic cratonic covers and in folded belts associated with breccia pipes, skarn zones and carbonatite bodies

положенные на Канадском щите и в обрамляющих его структурах [2; 19; 20].

Докембрийские стратифицированные железокислотно-медные и железокислотно-золото-медные месторождения представлены такими их известными представителями, как Салобо и другие месторождения рудного района Каракас в Бразилии [21]. Месторождение Салобо (Бразилия) — один из крупнейших в мире производителей меди и крупный производитель золота. Эти месторождения локализованы в глубокометаморфизованных архейских толщах, нередко в пространственной близости от крупных батолитов калиевых гранитоидов, и представлены крупными линзовидными телами массивного магнетита и/или гематита, залегающими субсогласно с вмещающими метаморфическими толщами. Вместе с тем иногда отмечается четкий контроль рудных тел различными складчатыми и флексурными структурами, зонами скрытых разломов и узлами их пересечения и т. п.

Особую группу составляют месторождения существенно железных руд, которые характеризуются подавляющим преобладанием оксидов железа (преимущественно магнетита, а также гематита) и иногда апатита, тогда как сульфидная минерализация развита весьма угнетенно. Такой парагенезис минералов характерен и для ранних стадий формирования собственно железокислотно-золото-медных

месторождений, поэтому данные железорудные и апатит-железорудные месторождения нередко рассматриваются в качестве «незавершенных предшественников» железокислотно-золото-медных месторождений или ранних членов соответствующих эволюционных рядов генетически родственных месторождений [4; 14].

Выделяется несколько типов железорудных (и апатит-железорудных) месторождений, включая стратифицированные и ассоциирующие дискордантные месторождения, месторождения в трубках брекчий и месторождения в связи с карбонатитами и карбонатитоподобными формациями. В частности, к докембрийским стратифицированным железорудным (апатит-железорудным) месторождениям относятся крупное месторождение Кируна и другие рудные объекты соответствующего рудного района в Швеции. Здесь же расположено крупное железокислотно-апатитовое месторождение Малмбергет, включающее более 20 линзовидно-пластовых и штоковидных рудных тел [8]. К таким месторождениям относятся и крупные железорудные (иногда с небольшой медной минерализацией) месторождения Алданского щита [1; 22].

Докембрийские (обычно ранне-среднепротерозойские) железокислотно-золото-медные и родственные железокислотно-медные месторождения в связи с карбонатитами и щелочными гранитами встре-

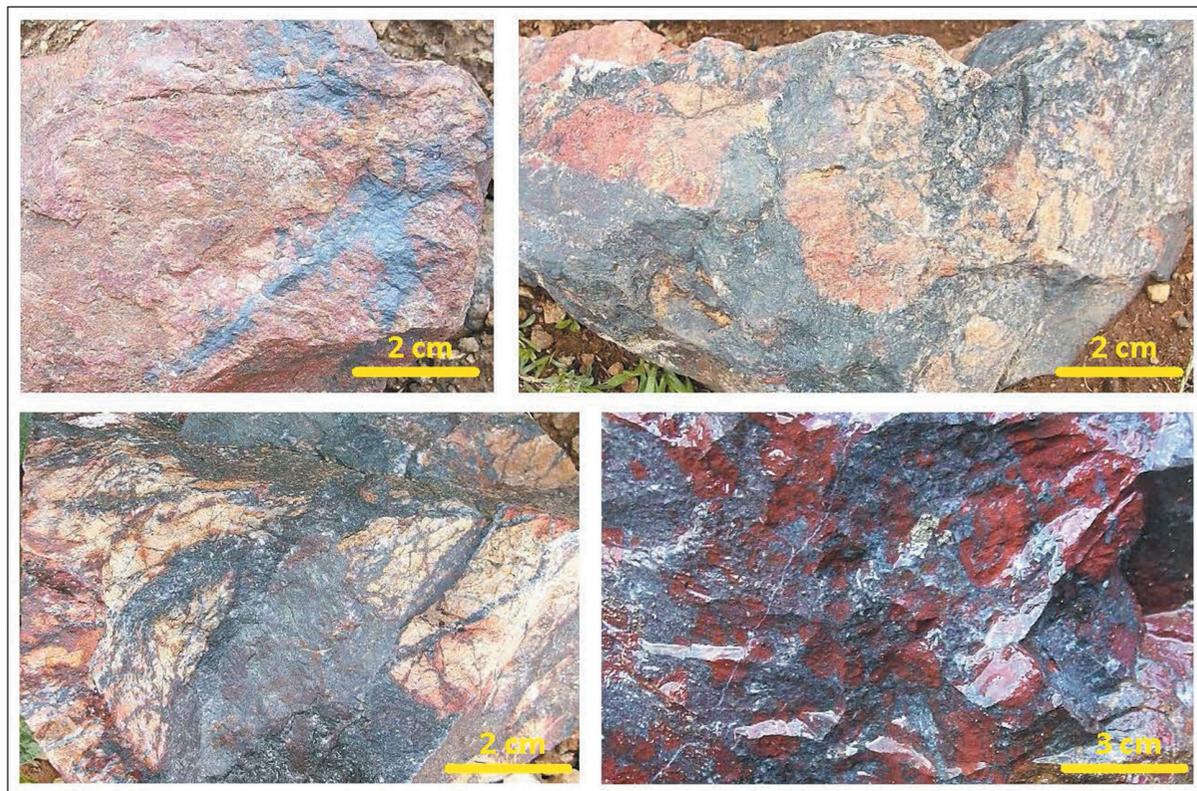


Рис. 3. Типичный облик магнетит-гематит-калишпатовых метасоматитов и брекчий по калиевым гранитоидам
Fig. 3. Typical appearance of magnetite-hematite-K-feldspar and metasomatites and breccias along potassic granitoids

чаются как на докембрийских платформах, так и в структурах их обрамления. Некоторые из этих месторождений связаны с приразломными карбонатитоподобными метасоматитами древних платформ (месторождения Алданского щита), а некоторые представляют, возможно, удаленные зоны фенитизации. По-видимому, существует особая группа карбонатитов, обогащенных низкотитанистыми оксидами железа и в различной степени также апатитовой, апатит-редкоземельной, редкоземельной, флюоритовой минерализацией, тогда как Ta-Nb оруденение отсутствует или играет резко подчиненную роль. Как подчеркивает Н. В. Владыкин [23 и др.], такие карбонатиты обогащены калием, а также Ba, Sr, PЗЭ и флюоритом. Крупные концентрации апатита, ассоциирующие с железными рудами, приводят к развитию характерных апатит-форстерит-магнетитовых пород (намафоритов), которые являются весьма распространенным промышленно-генетическим типом фосфорных месторождений в карбонатитах [24]. Такие объекты могут являться переходными к карбонатитам, обогащенным медью и наиболее полно соответствующим рассматриваемому «семейству» железоокисдно-золото-медных месторождений. Последние представлены крупным медным месторождением Палабора (ЮАР), на котором наряду с железоокисдным и апатит-редкоземельным оруденением развита также весьма существенная медная минерализация. Месторождение включает трубковидное тело магнетита, вмещающее карбона-

титам и обогащенное сульфидами меди, представленными халькопиритом, борнитом и подчиненным халькозином [25].

Месторождения в позднепротерозойских и фанерозойских структурах

Позднедокембрийские и фанерозойские медные (\pm Au, Ag, Co) месторождения типа медистых песчаников и сланцев с изменчивой долей оксидов железа, а также месторождения типа «манто» нередко рассматриваются как «удаленные» стратифицированные аналоги железоокисдно-золото-медных месторождений и обычно размещены в структурах платформенного чехла или в переходных платформенных зонах [4; 14; 15; 26]. В некоторых месторождениях медистых песчаников и сланцев (например в Удоканском месторождении на юге Сибирской платформы и отчасти в месторождениях Купфершифер в Центральной Европе) концентрации оксидов железа также существенны, тогда как на других месторождениях этого типа (Джезказган в Центральном Казахстане, месторождения «медного пояса» Заира-Замбии и др.) содержания оксидов железа обычно невелики. Ряд месторождений характеризуется развитием широких ареалов натриевых и калиевых метасоматитов, проявлением интенсивного брекчирования и другими признаками, подчеркивающими возможное генетическое родство данных месторождений с месторождениями железоокисдно-золото-медного «семейства».

Таблица 1. Типы, возраст, геодинамическая позиция и ресурсы некоторых зарубежных

Месторождение	Страна, регион	Тип (геологическая позиция)	Возраст, млн лет	
<i>Железооксидно-золото-медные</i>				
Олимпик Дэм	Южная Австралия	В диатреме/трубке брекчий в связи с К-гранитами	1590	
Ок Дэм	Южная Австралия	В диатреме/трубке брекчий?	? (более 1500?)	
Проминент Хилл	Южная Австралия	Субвертикальная зона брекчий	1582—1587	
Каррапатина	Южная Австралия	Субвертикальная зона (трубка?) брекчий	Менее 1857	
Эрнст Хенри	Северная Австралия	Субвертикальная зона (трубка?) брекчий	Более 1510	
Салобо	Бразилия, рудный район Карахас	Стратифицированные зоны в связи с К-гранитами	2580	
Игарапе Бая	Бразилия, рудный район Карахас	Субвертикальные (послойные?) зоны оруденелых брекчий	2570	
Сю-Дайен	Канада, Северо-Западные территории	В трубке брекчий в связи с К-гранитами?	1870	
НиКо	Канада, Северо-Западные территории	То же	1870	
Палабора	ЮАР	Карбонатиты	2060	
Канделярия	Чили	В связи со скарнами	115	
Манто Верде	Чили	В трубках (?) брекчий	120	
<i>Родственные</i>				
Кируна	Швеция	Стратифицированные зоны (магнетит + апатит)	1890—1880	
Малмбергет	Швеция	То же	Более 1800	
Пи Ридж и др.	США, район Миссури	Трубки брекчий в связи с щелочными гранитами	Около 1500	
Баян Обо	Китай	Карбонатиты или щелочные граниты?	От 1300—1200 до 500	
Район Бафк	Иран	То же	750—500?	
Маркона	Перу	В связи со скарнами	160—154	
Пампа де Понго	Перу	То же	108?	

железоокисдно-золото-медных и родственных месторождений (по зарубежным источникам)

Глобальная геодинамическая позиция	Запасы/ресурсы руд / средние содержания полезных компонентов (год публикации)	Состояние промышленного освоения
<i>месторождения</i>		
Щит древней платформы	Ресурсы 10,7 млрд т руды / 0,62% Cu, 0,27 г/т Au и 0,20 кг/т U ₃ O ₈ для отработки карьером и 1,68% Cu, 0,64 г/т Au и 0,49 кг/т U ₃ O ₈ для подземной отработки (2018), 0,24—0,45% La, 0,3285% PЗЭ (2002)	Отрабатывается
То же	Ресурсы 560 Мт / 41—56% Fe, до 1,3% Cu, до 1,35% U ₃ O ₈ , 0,05—0,25 г/т Au (2007)	Резервное
«	Ресурсы 130 Мт / 1,1% Cu, 0,6 г/т Au, 3 г/т Ag (2018)	Отрабатывается
«	Ресурсы До 240 Мт / 1—2% Cu, 0,42—0,87 г/т Au, 2400—4800 г/т U (2010)	Резервное
«	Ресурсы не менее 167 Мт / 1,1% Cu, 0,5 г/т Au (2000)	«
«	Ресурсы 1112 Мт / 0,69% Cu, 0,43 г/т Au (2012)	Отрабатывается
«	v219 Мт / 1,4% Cu, 0,86 г/т Au (2005)	«
«	Ресурсы 17 Мт / 0,72% Cu, 2,7 г/т Ag (2000)	Резервное
«	Ресурсы 42 Мт / 0,5 г/т Au, 0,1% Co, 0,12% Bi, а также 1500 Мт/35% Fe (2000)	«
«	Ресурсы 850 Мт / 0,5% Cu (+Au, Ag, PGE, U, Zr, PЗЭ) (1992), более 1,6 Мт PЗЭ	Отрабатывается
Фанерозойский подвижный пояс	Ресурсы 470 Мт / 0,95% Cu, 0,22 г/т Au, 3,1 г/т Ag (2000)	«
То же	Ресурсы 600 Мт / 0,5% Cu, 0,1 г/т Ag (2003)	«
<i>месторождения</i>		
Щит древней платформы	Ресурсы 3400 Мт и 400 Мт отработано / 60% Fe (2007)	«
То же	Запасы 346 Мт / 42,5% Fe (2018), продукция 17,4 Мт апатита в год	«
Погруженная часть древней платформы	Ресурсы 120 Мт / 57% Fe (2007), в целом по району — более 1000 Мт, 0,2 Мт/12% PЗЭ	Отработано, возможна доработка на PЗЭ
То же	Ресурсы 1500 Мт / 35% Fe (1994), 48—100 Мт / 6% PЗЭ ₂ O ₅ (2000) 1 Мт / 0,13% Nb	Отрабатывается
«	Ресурсы в целом по району: резервы 750 Мт, ресурсы 1500 Мт / 65% Fe (1994—2002); отработывались руды со средними содержаниями 34—65% Fe и до 13,5% P ₂ O ₅	«
Фанерозойский подвижный пояс	Ресурсы 1440 Мт / 54% Fe и 0,11% Cu (2002—2010)	«
То же	Ресурсы 1000 Мт / 40% Fe (2002), часть руд обогащена медью и золотом	«

Изучение и освоение природных ресурсов Арктики

Для Удоканского месторождения, представляющего оруденение в структурах позднепротерозойских трогов периферии Сибирской платформы, родство с месторождениями этого «семейства» было впервые отмечено автором [1; 22; 27; 28] и впоследствии принято Б. И. Гонгальским [6; 7] при более детальном изучении Удокан-Чинейского рудного района. Данные по абсолютному датированию минералов также подтвердили постседиментационный характер медного оруденения по отношению к позднепротерозойской осадочной толще на Удоканском месторождении [29].

Другие примеры стратифицированных месторождений, относимых к железооксидно-золото-медному «семейству» и размещенных в фанерозойских структурах, — ряд месторождений типа «манто» [4]. Эти месторождения, известные, например, в Чили (Манто Бланкос и др.), отличаются высокими концентрациями оксидов железа, залегают в толщах вулканитов и представлены стратифицированными телами вкрапленных руд наряду с крутопадающими телами рудоносных гидротермальных брекчий и жильными рудными телами, возможно, маркирующими подводные каналы.

Железорудные (часто с апатитом) месторождения в трубках брекчий, рассекающих докембрийские и фанерозойские структуры, в том числе структуры платформенного чехла, также могут относиться к «предшественникам» железооксидно-золото-медных месторождений. К ним относятся известные железорудные месторождения рудного района Бафк (Иран; [30]), возможно, связанные с щелочными гранитами, и наиболее характерные месторождения ангаро-илимского типа в Южной Сибири, связанные с сибирскими траппами (известково-щелочными и толеитовыми континентальными базальтами), а также, вероятно, с калиевыми субщелочными (шошонитовыми) базальтоидами [31]. Для этих месторождений типична локализация железорудных тел в трубках брекчий и диатремах, многоэтапность брекчирования, нередко развитие различных скарнов и апоскарновых метасоматитов. Некоторые авторы предполагают на данных месторождениях присутствие карбонатитов. Как и близкие по типу мезо-протерозойские месторождения, эти месторождения наиболее отчетливо связаны с эпиплатформенным магматизмом и тектогенезом, формированием рифтогенных структур, в том числе с развитием окраинноконтинентальных рифтов.

Железорудные, апатит-железорудные, редкоземельно-железорудные, флюорит-железорудные месторождения в связи с комплексами ультраосновных-щелочных пород и карбонатитов распространены в различных регионах и весьма разнообразны по составу оруденения. Отмечаются также постепенные переходы оруденения разного состава. Отчетливо проявлена специфика некоторых месторождений, в которых наряду с карбонатитами присутствуют и субщелочные гранитоиды (например на месторождениях Тувы), что в ряде случаев сближа-

ет их с месторождениями в трубках брекчий, упомянутыми выше [32].

Особую позицию занимает также месторождение Баян-Обо (Внутренняя Монголия, Китай), которое имеет черты сходства как с карбонатитами, так и с экзоконтактовыми месторождениями в связи с массивами щелочных гранитоидов [4; 33]. Это месторождение, содержащее крупные ресурсы гематитовых руд, — один из крупнейших мировых производителей редкоземельных элементов.

Критерии прогнозирования, поисков и оценки

Мировой опыт поисков, разведки и изучения многих железооксидно-золото-медных и родственных месторождений позволил наметить ряд благоприятных признаков их проявления с соответствующими критериями их прогнозирования, поисков и оценки. Различаются критерии и признаки, отвечающие задачам регионального (мелкомасштабного), средне-масштабного и локального (крупномасштабного) прогнозирования.

В частности, комплекс региональных прогнозно-поисковых и оценочных критериев и признаков базируется на определении геодинамической позиции прогнозных территорий, возраста и геологических позиций различных потенциально продуктивных геологических формаций, в первую очередь магматических, выявлении зон крупных линейных элементов, в том числе скрытой природы, и узлов их пересечения, на определении геологической природы крупных геофизических и геохимических аномалий, выявлении и оценке зон региональных гидротермальных изменений, а также на металлогеническом анализе прямых признаков оруденения. Как отмечено выше, по многим из этих признаков железооксидно-золото-медные и родственные месторождения имеют вполне отчетливую специфику. При этом крупные докембрийские железооксидно-золото-медные месторождения приурочены к устойчивым геотектоническим элементам — щитам древних платформ и проявлены соответственно в связи с платформенным («плюмовым», или «анорогенным») калиевым субщелочным и щелочным гранитоидным магматизмом, а также в связи с определенными разновидностями карбонатитов.

Области интенсивных региональных (площадью до несколько сотен квадратных километров) гидротермально-метасоматических изменений с развитием как кальций-натриевых (альбитизация, скаполитизация, пропилитизация — амфиболитизация и др.), так и калиевых (биотитизация, калишпатизация) метасоматитов, являются индикаторами возможности развития железооксидно-золото-медных месторождений [4; 14]. При этом наиболее широкий ареал занимают кальций-натриевые метасоматиты, которые окружают зоны, обогащенные оксидами железа. Калиевые метасоматиты образуют внутренние зоны, наиболее тесно связанные с железооксидным и золото-медным оруденением; при этом различаются

широкие зоны собственно калиевых метасоматитов (с преобладанием калишпата) и узкие («вложенные» в них) зоны биотита, калишпата и кальциевых минералов (амфибола, клинопироксена). Разумеется, наиболее характерным признаком является широкое развитие «ранней» (или «предшествующей») железооксидной минерализации — мощные зоны железистых кварцитов, распространение «полосчатых железистых формаций», проявлений гематитизации вулканических толщ и т. п.

Более локальные (среднемасштабные) критерии прогнозирования железооксидно-золото-медных месторождений отвечают рудным районам. Последние приурочены к узлам пересечения отдельных ветвей линеаментных зон и развитым в таких узлах локальным очаговым структурам. Детальное расчленение потенциально-продуктивных магматических комплексов и оконтуривание соответствующих магматических ареалов позволяет более уверенно определять позиции рудных зон. В масштабе рудных районов еще более отчетливо и, главное, более концентрированно проявлена зональность гидротермально-метасоматических изменений с развитием внешнего ареала альбитизации и скаполитизации и внутренних зон калишпатовых и ассоциирующих метасоматитов. При этом распространение железооксидной минерализации обнаруживает связь со структурными особенностями территорий — зонами крупных разломов, поверхностями несогласия, пологими зонами месторождения и обычно не превышает нескольких километров в поперечнике; вместе с тем рудные районы, маркируемые сосредоточением проявлений железооксидного и железооксидно-золото-медного оруденения, могут занимать территории в десятки и сотни квадратных километров. В некоторых рудных районах отчетливо проявлена многоэтапность развития как железооксидного, так и ассоциирующего золото-медного оруденения, а также проявление этого оруденения в связи с различными магматическими телами, формирующимися в ходе становления многофазных магматических комплексов.

Среди критериев локального прогнозирования, отвечающих отдельным месторождениям и их рудным полям, следует подчеркнуть довольно обычную связь оруденения с телами многофазных брекчий, а также зональность в распределении разных типов железооксидной и ассоциирующей, но более поздней медной и золотой минерализации. В частности, гематит преобладает в менее эродированных (более высоких) и более удаленных (внешних) зонах соответствующих локальных гидротермально-рудных систем, тогда как магнетит развит преимущественно на их более глубоких уровнях и в центральных зонах. Характерно также преобладание халькозина и борнита на высоких, а халькопирита — на более глубоких уровнях этих систем. Отмечается также развитие локальных ореолов поздних метасоматитов (березитов и им подобных), с которыми связана значительная часть золоторудной и урановой минерализации.

Важнейшую роль при прогнозировании и поисках железооксидно-золото-медных месторождений играет оценка геофизических и ассоциирующих геохимических аномалий, поскольку данные месторождения наиболее отчетливо проявлены в геофизических полях, а при сравнительно неглубоком залегании — также в виде геохимических аномалий. Это обусловлено тем, что оксиды железа, а также многие сульфидные минералы обладают известными специфическими чертами удельного веса, магнитных и электрических характеристик. На многих месторождениях присутствуют также минералы, обуславливающие проявление аномальной радиоактивности.

В частности, высокая магнитная восприимчивость связана с высоким содержанием магнетита в рудах; она понижается при росте содержания гематита, нередко замещающего магнетит совместно с развитием сульфидной (халькопирит и др.) минерализации. В любом случае присутствие значительных скоплений (рудных тел) магнетита обычно легко определяется по хорошо выраженным положительным магнитным аномалиям. Локальные положительные аномалии силы тяжести являются еще более типичным признаком значительных концентраций магнетита, а также гематита и сульфидов, обладающих высоким удельным весом. Такие гравитационные аномалии служат надежным индикатором наиболее продуктивных железооксидно-золото-медных месторождений, в которых магнетит интенсивно замещен гематитом и сульфидами (борнитом, халькопиритом и др.), что обуславливает слабое выражение таких месторождений в магнитных полях.

Электрическое сопротивление или проводимость ведущих минералов руд значительно отличаются от таковых вмещающих безрудных пород, что служит важным поисковым признаком рассматриваемых месторождений. В частности, величина электрического сопротивления руд на несколько порядков превышает этот показатель различных безрудных пород. В результате существенно сульфидные рудные тела обычно обладают гораздо более высокой электропроводимостью / низким сопротивлением, чем безрудные вмещающие породы, и даже породы, содержащие магнетит и гематит, отличаются повышенной электропроводимостью. Особое значение имеет выявление поляризуемости пород и основанные на этом геофизические методы.

На рассматриваемых месторождениях нередко отмечается аномальная радиоактивность калиевой и урановой природы. Первая связана с развитием калиевого метасоматоза, причем последний сопровождается обеднением пород торием, что способствует повышению отношения K/Th. В случае развития урановой минерализации месторождения четко маркируются ореолами аномальной радиоактивности урановой природы. Вместе с тем при развитии мощного осадочного чехла, перекрывающего рудные тела, интенсивность соответствующих радиометрических аномалий понижается, что приводит

Изучение и освоение природных ресурсов Арктики

к малой эффективности использования поверхностных и аэрометодов поисков. Напротив, использование методов скважинного каротажа нередко бывает весьма результативным [34].

Наконец, геохимические аномалии меди и золота, выявляемые при металлометрической и лито-геохимической съемках разных масштабов, наряду с прямыми признаками оруденения (наличием соответствующих рудопроявлений) могут существенно дополнить набор поисковых признаков, благоприятных для выявления железоокисно-золото-медного оруденения, особенно при сравнительно неглубоком залегании последнего.

Изложенные критерии регионального, среднемасштабного и локального прогнозирования железоокисно-золото-медных месторождений, безусловно, нуждаются в конкретизации применительно к территориям, в которых выполняются соответствующие прогнозно-поисковые и оценочные работы, а также применительно к тем задачам, которые при этом решаются. Конечным результатом должны являться региональные, среднемасштабные и локальные комплексы критериев прогнозной оценки, дополненные геофизическими, поисково-геохимическими и другими материалами, а также сведениями о прямых признаках оруденения и его характере на площади прогнозных построений, отвечающими масштабу и целям выполняемых работ и ранжированными по степени информативности и устойчивости связей с известными (или предполагаемыми) данными о ресурсах и других параметрах оруденения эталонных объектов конкретных территорий.

Перспективы арктических регионов России

Перспективы арктического региона России определяются присутствием здесь крупных блоков (террейнов) континентальной коры, отвечающей фрагментам древних платформ, а также различных меньших по размерам блоков-отторженцев древнего платформенного фундамента, образующих «микроконтиненты» в пределах фанерозойских орогенных систем. В первую очередь это относится к территориям, представляющим соответствующие кристаллические щиты — Балтийский и Анабарский (рис. 4).

В частности, весьма существенны перспективы выявления крупных железоокисно-золото-медных месторождений на территории восточной части Балтийского щита, которая остается малоизученной в этом отношении. Между тем в западной части этого щита давно известны крупнейшие железорудные районы Кируна и Малмбергет, отмеченные выше, с месторождениями, относимыми к «предшественникам» железоокисно-золото-медных месторождений. Растет информация о распространении железоокисно-золото-медных и родственных месторождений в этом и других рудных районах западной части щита [6]. Значительные проявления данного оруденения выявлены и в более восточных областях Балтийского щита (например в Финляндии), а соответствующие крупные контролирующие структуры

прослеживаются еще далее к востоку [6]. Соответственно существенные перспективы Карельского и других регионов восточной части Балтийского щита связываются с возможностью выявления железоокисно-золото-медного оруденения [9].

На Анабарском щите, как показал А. А. Кузнецов [12], существуют признаки выявления месторождений типа Олимпик Дэм. Здесь присутствуют серии сближенных в разрезе, на площади и по возрасту разноэлементных линейных рудных, рудоносных, минерализованных и геохимических зон, среди которых выделяется несколько золото-ураноносных (часто с редкими землями) и золото-медных металлогенических зон, ассоциирующихся с роями диабазовых даек с возрастом 1,7—1,9 млрд лет, а также плутонами лейкократовых гранитов, монцогранитов, чарнокитов, сформированных при региональной гранитизации. Они приурочены к участкам и зонам дробления, катклаза, брекчирования, милонитизации, маркирующим зоны сквозных линейных элементов, и выделяются в качестве «особого (анабарского) типа комплексного Cu-Mo-U-Au (+Ni, платиноиды, РЗЭ) оруденения с некоторыми чертами месторождения-гиганта Олимпик Дэм» [12]. Косвенным подтверждением перспективности Анабарского щита и других платформенных террейнов Сибири на данное оруденение является распространение его признаков, как и близких по возрасту месторождений-«предшественников», в структурах Алданского щита [1; 28; 32].

Стратифицированное железоокисно-золото-медное и родственное, в том числе урановое, оруденение в периферических троговых структурах Сибирской платформы наиболее представлено в Удокан-Чинейском рудном районе [1; 27; 28; 35; 36]. Такая возрастная и тектоническая позиция данного оруденения подчеркивает перспективность и других регионов периферии Сибирской платформы, в том числе арктических регионов, на оруденение железоокисно-золото-медного «семейства».

Соответственно наряду с проявлениями железоокисно-золото-медного оруденения в фундаменте указанных платформенных образований привлекают внимание материалы о присутствии близкого по составу оруденения в породах соответствующих платформенных чехлов в арктических и субарктических регионах. В частности, в Восточной Якутии — подобные проявления были недавно описаны А. В. Костиным [10; 11; 37] на территориях, ранее известных развитием стратифицированной медной минерализации (медистые песчаники и т. п.). Эти проявления представлены протяженными зонами гематитовых брекчий, содержащими вкрапленность халькопирита, палладистого золота и редкоземельных минералов. Ресурсы одного из наиболее изученных проявлений превышают 700 млн т при средних содержаниях 0,53% Cu и 1,17 г/т Au [37]. Такие проявления могут отвечать более молодым (фанерозойским) этапам формирования железоокисно-золото-медного оруденения в регионе. Имеются также и признаки развития комплексного

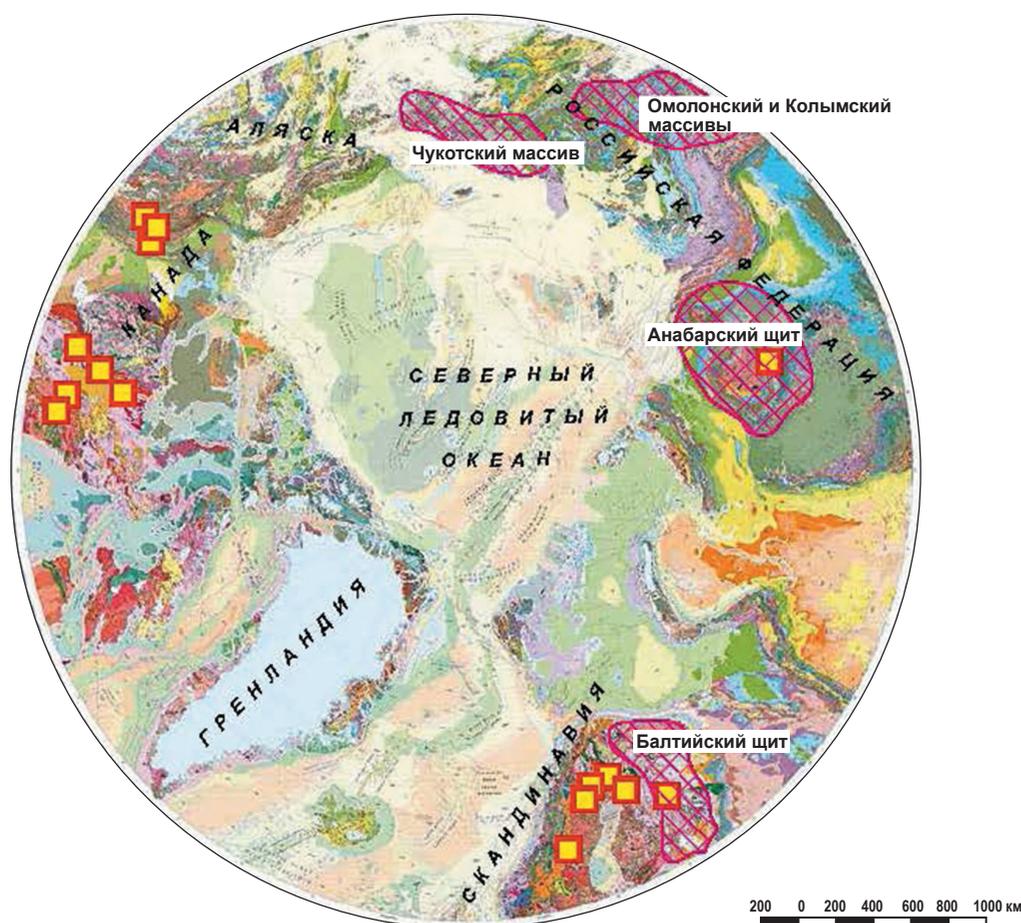


Рис. 4. Схема размещения месторождений и проявлений железоокисдно-золото-медного и родственного оруденения в арктических регионах. Штриховкой показаны перспективные площади в Северной Евразии, связанные со структурами восточной части Балтийского щита, Сибирской платформы (Анабарский щит и его обрамление) и отдельными микроконтинентами (Чукотским, Колымским, Омолонским срединными массивами) с возможным докембрийским фундаментом. В качестве базисной карты использована Геологическая карта Арктики масштаба 1:5 000 000 (доступна на сайте ВСЕГЕИ <https://vsegei.ru/ru/info/inter-proj/geo-arctic5000/>)

Fig. 4. Layout of iron-oxide-copper-gold deposits and occurrences and related mineralization in the Arctic regions. The hatching shows promising areas in Northern Eurasia associated with the structures of the Eastern Baltic Shield, the Siberian Craton (the Anabar Shield and its frame) and selected micro-continents (the Chukchi, Kolyma and Omolon median massifs) with a possible Precambrian basement. The Arctic geological map in the scale of 1:5 000 000 is used as the base map (available at the VSEGEI website at <https://vsegei.ru/ru/info/inter-proj/geo-arctic5000/>)

золото-уран-редкоземельного оруденения в зонах минерализованных брекчий, выявленных в районах Восточной Якутии [38].

В связи с последним обращают на себя внимание также характерные ассоциации ряда золоторудных месторождений Северного и Полярного Урала, в которых золото сопровождается минералами палладия и редких земель цериевой группы. Такие ассоциации рассматриваются в качестве характерных для месторождений железоокисдно-золото-медного «семейства», что подчеркивает необходимость особого внимания к данным территориям [13].

Заключение

К настоящему времени в мире сложилось и развивается важное научное направление — изучение, систематизация, моделирование железоокисд-

но-золото-медных и родственных месторождений. В решении проблемы прогнозирования и выявления крупнейших комплексных (многометалльных) месторождений данного «семейства» необходимы учет и изучение соответствующих российских представителей. Последнее тем более актуально, что большинство этих месторождений связано с террейнами древних платформ и их ближайшего обрамления, а также платформенного чехла, которые широко представлены в арктических регионах России. В этих регионах можно наметить целый ряд значительных площадей с существенными перспективами выявления крупных железоокисдно-золото-медных (возможно, также с ураном и/или редкими землями) и родственных месторождений. Эти регионы, несомненно, заслуживают скорейшей оценки на данные типы оруденения.

Работа выполнена при финансовой поддержке программы Президиума РАН № 55 «Арктика — научные основы новых технологий освоения, сохранения и развития».

Литература/References

1. Соловьев С. Г. Железоокисдно-золото-медные и родственные месторождения. — М.: Науч. мир, 2011. — 472 с.
Soloviev S. G. Zhelezooksidno-zoloto-mednye i rodstvennyye mestorozhdeniya. [Iron-Oxide-Copper-Gold and Related Deposits]. Moscow, Scientific World, 2011, 472 p. (In Russian).
2. Exploring for Iron-Oxide-Copper-Gold Deposits: Canada and Global Analogues. L. Corriveau, H. Mumin (eds.); Geological Association of Canada; Univ. of Newfoundland. St. John's, 2010, 185 p. (Short Course Notes, 20).
3. Groves D. I., Bierlein F. P., Meinert L. D., Hitzman M. W. Iron oxide copper gold (IOCG) deposits through Earth history: implications for origin, lithospheric setting, and distinction from other epigenetic iron-oxide deposits. *Economic Geology*, 2010, vol. 105, pp. 641—654.
4. Williams P. J., Barton M. D., Johnson D. A, Fontboté L., de Haller A., Mark G., Oliver N. H. S., Marschik R. Iron oxide-copper-gold deposits: Geology, space-time distribution, and possible modes of origin. *Economic Geology*, 2005, 100th Anniversary Vol., pp. 371—405.
5. Reynolds L. Geology of the Olympic Dam Cu-U-Au-Ag-REE deposit. *Hydrothermal Iron Oxide Copper-Gold and Related Deposits: A Global Perspective. Vol. 1. T. M. Porter (ed.). 2000, pp. 93—104.*
6. Billstrom K., Eilu P., Martinsson O., Niiranen T., Broman C., Weihed P., Wanhainen C., Ojala J. IOCG and related mineral deposits of the Northern Fennoscandian Shield. *Hydrothermal Iron Oxide Copper-Gold and Related Deposits: A Global Perspective. Vol. 4. T. M. Porter (ed.). [S. I.], 2010, pp. 381—414.*
7. Stensgaard M., Kolb J. The potential for iron-oxide-copper-gold occurrence in Greenland. *Hydrothermal Iron Oxide Copper-Gold and Related Deposits: A Global Perspective. Vol. 4. T. M. Porter (ed.). [S. I.], 2010, pp. 357—378.*
8. Bauer T. E., Andersson J. B. H., Sarlus Z., Lund C., Kearney T. Structural controls on the setting, shape, and hydrothermal alteration of the Malmerget iron-oxide-apatite deposit, Northern Sweden. *Economic Geology*, 2018, vol. 113, pp. 377—395.
9. Голубев А. И., Иващенко В. И. Прогнозная оценка ресурсной базы благородных металлов в перспективных рудных районах Карельского региона // Тр. Карел. науч. центра РАН. — 2017. — № 2. — С. 42—59. — DOI: 10.17076/geo384.
Golubev A. I., Ivaschenko V. I. Prognoznaya otsenka resursnoi bazy blagorodnykh metallov v perspektivnykh rudnykh raionakh Karelskogo regiona. [Prognosis evaluation of the resource base of precious metals in perspective ore districts of Karelia Region]. Tr.

- Karel. nauch. tsentra RAN, 2017, no. 2, pp. 42—59. DOI: 10.17076/geo384. (In Russian).*
10. Костин А. В. Минеральные разновидности Fe-оксидных-Cu руд проявлений Джалкан, Росомаха и Хурат (Сетте-Дабан, Восточная Якутия) // Отеч. геология. — 2016. — № 6. — С. 11—15.
Kostin A. V. Mineral'nye raznovidnosti Fe-oksidnykh-Cu rud proyavlenii Dzhalkan, Rosomakha i Khurat (Sette-Daban, Vostochnaya Yakutiya). [Mineral varieties of Fe-oxide-Cu mineralization of the Dzalkan, Rosomakha and Khurat occurrences (Sette-Daban Ridge, Eastern Yakutia)]. Otech. geologiya, 2016, no. 6, pp. 11—15. (In Russian)
11. Костин А. В. Минеральный состав Fe-оксидных-Cu-Au (IOCG) руд проявления Хурат (хребет Сетте-Дабан, Восточная Якутия) // Природ. ресурсы Арктики и Субарктики. — 2018. — Т. 23, № 1. — С. 30—38.
Kostin A. V. Mineral'nyi sostav Fe-oksidnykh-Cu-Au (IOCG) rud proyavleniya Khurat (khrebet Sette-Daban, Vostochnaya Yakutiya). [Mineral composition of Fe-oxide-Cu-Au mineralization of the Khurat occurrence (Sette-Daban Ridge, Eastern Yakutia)]. Prirod. resursy Arktiki i Subarktiki, 2018, vol. 23, no. 1, pp. 30—38. (In Russian).
12. Кузнецов А. А. Геолого-прогнозно-минерогеническая модель и перспективы промышленной рудоносности Анабарского щита // Отеч. геология. — 2008. — № 6. — С. 22—34.
Kuznezov A. A. Geologo-prognozno-mineragenicheskaya model' i perspektivy promyshlennoi rudonosnosti Anabarskogo shchita. [The geologic-prognostic-mineragenic model and the perspectives of economic mineralization of the Anabar Shield]. Otech. geologiya, 2008, no. 6, pp. 22—34. (In Russian).
13. Сафонов Ю. Г. Состояние и рациональные направления освоения рудных ресурсов российской Арктики // Геология и геофизика. — 2010. — № 1. — С. 142—152.
Safonov Y. G. Sostoyanie i ratsional'nye napravleniya osvoeniya rudnykh resursov rossiiskoi Arktiki. [The state and rational directions of mineral resource development in the Russian Arctic]. Geologiya i geofizika, 2010, no. 1, pp. 142—152. (In Russian).
14. Hitzman M. W., Oreskes N., Einaudi M. T. Geological characteristics and tectonic setting of Proterozoic iron oxide (Cu-Au-U-REE) deposits. *Precambrian Research*, 1992, vol. 58, pp. 241—287.
15. Hitzman M. W. Iron oxide Cu-Au deposits: what, where, when and why. *Hydrothermal Iron Oxide Copper-Gold and Related Deposits. T. M. Porter (ed.). A Global Perspective, 2000, vol. 1, pp. 9—25.*
16. Pirajno F. Ore deposits and mantle plumes. Dordrecht, Boston, London, Kluwer Academic Publ., 2001, 556 p.
17. Pirajno F. Mantle plumes, associated intraplate tectonomagmatic processes and ore systems. *Episodes*, 2007, vol. 30, no. 1, pp. 6—19.
18. Соловьев С. Г. Металлогения шошонитового магматизма. — М.: Науч. мир, 2014. — Т. 1. — 528 с.; Т. 2. — 472 с.

- Soloviev S. G. Metallogeniya shoshonitovogo magmatizma. [Metallogeny of Shoshonitic Magmatism]. Moscow, Nauch. mir, 2014, vol. 1, 528 p.; vol. 2, 472 p. (In Russian).
19. Hunt J., Baker T., Tholkelson D. J. Wernecke Breccia: Proterozoic IOCG mineralized breccia system, Yukon, Canada. Hydrothermal Iron Oxide Copper-Gold and Related Deposits: A Global Perspective. Vol. 4. T. M. Porter (ed.). [S. I.], 2010, pp. 345—356.
20. Slack J. F., Corriveau L., Hitzman M. W. A special issue devoted to Proterozoic iron oxide-apatite (\pm REE) and iron-oxide-copper-gold and affiliated deposits of Southeast Missouri, USA, and the Great Bear Magmatic Zone, Northwest Territories, Canada. Economic Geology, 2016, vol. 111, pp. 1803—1814. DOI: 10.2113/econgeo.111.8.1803.
21. Xavier R. P., Monteiro L. V. S., de Souza Filho C. R., Torresi I., de Recende Calvalho E., Pestilho A. L. S., Moreto C. P. N. The iron oxide copper-gold deposits of the Carajás mineral province, Brazil: An updated and critical review. Hydrothermal Iron Oxide Copper-Gold and Related Deposits: A Global Perspective. Vol. 3. T. M. Porter (ed.). [S. I.], 2010, pp. 285—306.
22. Soloviev S. G. Superlarge Udokan Cu deposit in Siberia: possible iron-oxide-copper-gold-uranium (IOCGU) system related to Paleoproterozoic (2.0-1.8 Ga) mantle superplume. Large Igneous Provinces of Asia, Mantle Plumes and Metallogeny, Abstracts of the Internat. Symp., 6—9 August 2009. Novosibirsk, 2009, pp. 328—331.
23. Владыкин Н. В. Петрология калиево-щелочных лампроит-карбонатитовых комплексов, их генезис и рудоносность // Геология и геофизика. — 2009. — Т. 50, № 12. — С. 1443—1455.
- Vladykin N. V. Petrologiya kalievo-shchelochnykh lamproit-karbonatitovykh kompleksov, ikh genезis i rudonosnost'. [Petrology of potassic-alkaline lamproite-carbonatite complexes, their genesis of mineralization]. Geologiya i geofizika, 2009, no. 12, pp. 1443—1445. (In Russian).
24. Белов С. В., Лапин А. В., Толстов А. В., Фролов А. А. Минерагения платформенного магматизма (траппы, карбонатиты, кимберлиты). — Новосибирск: СО РАН, 2008. — 537 с.
- Belov S. V., Lapin A. V., Tolstov A. V., Frolov A. A. Minerageniya platformennogo magmatizma (trappy, karbonatity, kimberlity). [Minerageny of Platformal Magmatism (Trapps, Carbonatite, Kimberlites)]. Novosibirsk, SO RAN, 2008, 537 p. (In Russian).
25. Groves D. I., Vielreicher N. M. The Phalaborwa (Palabora) carbonatite-hosted magnetite-copper sulfide deposit, South Africa: An end-member of the iron-copper-gold-rare earth element deposit group? Mineralium Deposita, 2001, vol. 36, pp. 189—194.
26. Hitzman M., Kirkham R., Broughton D., Thorson J., Selley D. The sediment-hosted stratiform copper ore system. Economic Geology, 2005, 100th Anniversary Vol., pp. 609—642.
27. Soloviev S. G. Paleoproterozoic (2.0-1.8 Ga) mantle superplume and major iron-oxide-copper-gold (IOCG) deposits: a Northern Asian example. Large Igneous Provinces of Asia, Mantle Plumes and Metallogeny, Abstracts of the Internat. Symp., 6—9 August 2009. Novosibirsk, 2009, pp. 332—335.
28. Soloviev S. G. Iron-oxide, copper, gold, and uranium deposits on the Aldan Shield, South-Eastern Siberia, Russia. Hydrothermal Iron Oxide Copper-Gold and Related Deposits: A Global Perspective. Vol. 4. T. M. Porter (ed.). [S. I.], 2010, pp. 515—534.
29. Perello J., Sillitoe R. H., Yakubchuk A. S., Valencia V. A., Cornejo P. Age and tectonic setting of the Udokan sediment-hosted copper-silver deposit, Transbaikalia, Russia. Ore Geology Reviews, 2017, vol. 86, pp. 856—866. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2016.11.004.
30. Белов С. В., Владыкин Н. В., Яковлев Д. А. Железоокисдно-фосфорно-редкоземельное оруденение в Баянском районе // Использование и охрана природ. ресурсов в России. — 2013. — № 1—2. — С. 7—9, 11—14.
- Belov S. V., Vladykin N. V., Yakovlev D. A. Zhelezookisidno-fosforno-redkozemel'noe orudnenie v Bafkskom raione. [Iron-oxide-phosphorus-rare earth mineralization in the Bafk district]. Use and Protection of Natural Resources in Russia, 2013, no. 1—2, pp. 7—9, 11—14. (In Russian).
31. Soloviev S. G. Iron oxide deposits in the Angara and Ilim River basins, South-Central Siberia, Russia. Hydrothermal Iron Oxide Copper-Gold and Related Deposits. Vol. 4. T. M. Porter (ed.). A Global Perspective. [S. I.], 2010, pp. 495—514.
32. Soloviev S. G. Iron-oxide (\pm copper, gold) and associated deposits of the Altai-Sayan orogenic system, Southwestern Siberia, Russia. Hydrothermal Iron Oxide Copper-Gold and Related Deposits: A Global Perspective. Vol. 4. T. M. Porter (ed.). [S. I.], 2010, pp. 475—494.
33. Иогансон А. К. К проблеме закономерностей формирования протерозойских железоокисно-редкоземельных (с медью, ураном, золотом) месторождений типа Олимпик-Дэм — Баян-Обо // Регион. геология и металлогения. — 2015, № 64. — С. 101—113.
- Johansson A.K. K probleme zakonomernostei formirovaniya proterozoiskikh zhelezookisno-redkozemel'nykh (s med'yu, uranom, zolotom) mestorozhdenii tipa Olimpik-Dem — Bayan-Obo. [To the problem of regularities of formation of Proterozoic iron-oxide-rare earth (with copper, uranium, gold) deposits of the Olympic Dam-Bayan Obo types]. Regional Geology and Metallogeny, 2015, no. 64, pp. 101—113. (In Russian).
34. Гонгальский Б. И. Протерозойская металлогения Удокан-Чинейского рудного района (Северное Прибайкалье): Автореф. дис. ... д-ра геол.-минерал. наук. — М.: ИГЕМ РАН, 2012. — 43 с.
- Gongalsky B. I. Proterozoiskaya metallogeniya Udokan-Chineiskogo rudnogo raiona (Severnoe Pribaikal'e). [Proterozoic Metallogeny of the Udokan-Chineis Ore District (Northern Pribaikalia)]. Avtoref. dis. ... d-ra geol.-mineral. nauk. Moscow, IGEM RAS, 2012, 43 p. (In Russian).
35. Smith R. J. Geophysics of iron-oxide-copper-gold systems. Hydrothermal Iron Oxide Copper-Gold and

Изучение и освоение природных ресурсов Арктики

Related Deposits: A Global Perspective. Vol. 2. T. M. Porter (ed.). [S. l.], 2000, pp. 357—367.

36. Гонгальский Б. И. Месторождения уникальной металлогенической провинции Северного Забайкалья. — М.: Изд-во ВИМС, 2015. — 248 с.

Gongalsky B. I. Mestorozhdeniya unikal'noi metallogenicheskoi provintsii Severnogo Zabaikal'ya. [Deposits of the Unique Metallogenic Province of the Northern Zabaikalia]. Moscow, VIMS, 2015, 248 p. (In Russian).

37. Kostin A., Vedyayev A., Rafat G. Iron-oxide-Cu-Au (IOCG) mineralizing systems: an example from north-

eastern Russia. J. S. Afr. Inst. Min. Metall., 2014, vol. 114, no. 8, pp. 645—650.

38. Анисимова Г. С., Кондратьева Л. А. Комплексное благороднометальное оруденение Аллах-Юньского горнорудного района, Восточная Якутия // Руды и металлы. — 2015. — № 3. — С. 5—10.

Anisimova G. S., Kondratieva L. A. Kompleksnoe blagorodnometal'noe orudnenie Allakh-Yun'skogo gornorudnogo raiona, Vostochnaya Yakutiya. [Complex precious metal mineralization of the Allakh-Unsky mining district, Eastern Yakutia]. Rudy i metally, 2005, no. 3, pp. 5—10. (In Russian).

Информация об авторе

Соловьев Сергей Гарольдович, доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН (119017, Россия, Москва, Старомонетный пер., д. 35), e-mail: sergei07@mail.ru.

Библиографическое описание данной статьи

Соловьев С. Г. Железооксидно-золото-медные и родственные месторождения: геолого-генетические модели и перспективы арктических регионов России // Арктика: экология и экономика. — 2019. — № 4 (36). — С. 118—130. — DOI: 10.25283/2223-4594-2019-4-118-130.

IRON-OXIDE-COPPER-GOLD AND RELATED DEPOSITS: GEOLOGICAL AND GENETIC MODELS AND PERSPECTIVES FOR THE ARCTIC REGIONS OF RUSSIA

Soloviev S. G.

Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry, RAS (Moscow, Russian Federation)

The article was received on June 10, 2019.

Abstract

The paper discusses the aspects of geological and genetic models of iron-oxide-copper-gold and related deposits, and considers the prospects for forecasting and identifying these large complex (multi-metal) deposits in the Arctic regions of Russia. These deposits are known in the world for their large resources of copper, gold, locally iron ores, uranium, rare earth elements, apatite; and are situated mainly in the terranes of ancient cratons and their immediate surroundings as well as in the cratonic cover that are widely represented in the Arctic regions. These regions undoubtedly deserve the fastest evaluation for these types of mineralization.

Keywords: *Арктика, Arctic, metallogeny, iron-oxide-copper-gold deposits, geological and genetic model, prospects for the Arctic regions of Russia.*

The research was financially supported by the Program no. 55 of the Presidium of the Russian Academy of Sciences: "The Arctic: scientific foundations of new technologies for exploitation, preservation, and development".

Information about the author

Soloviev Serguei Garoldovich, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Leading Researcher, Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry, RAS (35, Staromonetny per., Moscow, Russia, 119017), e-mail: sergei07@mail.ru.

Bibliographic description

Soloviev G. G. Iron-Oxide-Copper-Gold and Related Deposits: Geological and Genetic Models and Perspectives for the Arctic Regions of Russia. Arctic: Ecology and Economy, 2019, no. 4 (36), pp. 118—130. DOI: 10.25283/2223-4594-2019-4-118-130. (In Russian).