

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЕРРИТОРИИ ВОСТОЧНОЙ ЯКУТИИ НА НАЛИЧИЕ НОВОГО Fe-ОКСИДНОГО Cu-Au (IOCG) ТИПА РУДНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ

Костин А.В.

Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН (ИГАБМ СО РАН), г. Якутск,  
e-mail: kostin@diamond.ysn.ru

Фундаментальной проблемой геологии рудных месторождений является прогноз и поиски новых геолого-промышленных типов месторождений благородных металлов. К ним относится большая группа Fe-оксидных Au-Cu гидротермальных месторождений (IOCG – Iron oxide copper gold ore deposits) с Cu, Au, Ag, U, REE, Bi, Co, Nb, P и др., которые до настоящего времени на северо-востоке России неизвестны (рис.1), а перспективы их обнаружения не изучены.

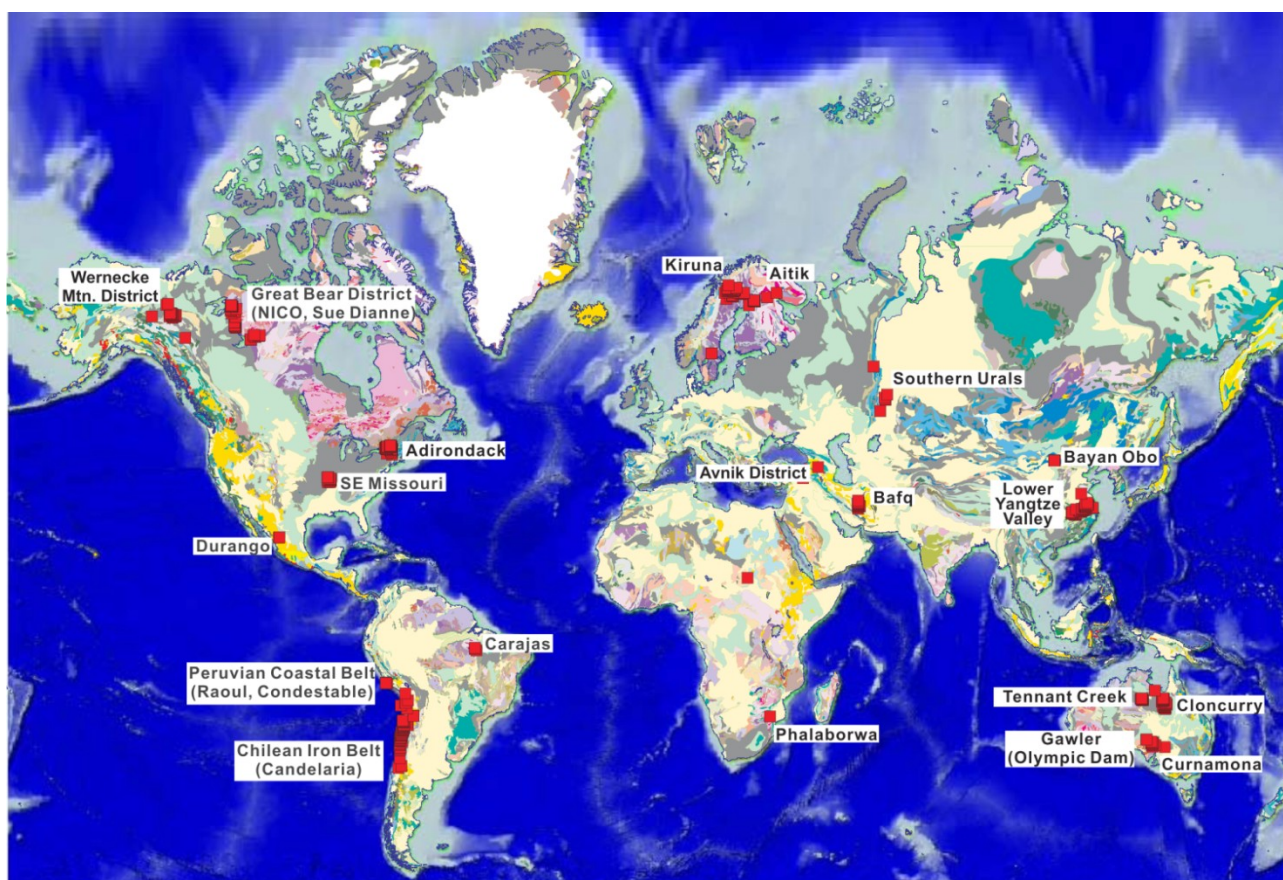


Рис. 1. Страны и провинции с наиболее важными IOCG-месторождениями [Corriveau, 2009].  
**Австралия:** *Gawler* (Olympic Dam, Acropolis, Moonta, Oak Dam, Prominent Hill и Wirrda Well), *Cloncurry* (Ernest Henry, Eloise, Mount Elliot, Osborne и Starra), *Curnamona* (North Portia и Cu Blow), *Tennant Creek* (Gecko, Pecko/Juno и Warrego); **Бразилия:** *Carajas* (Cristalino, Alemao/Igarapé Bahia, Salobo и Sossego); **Канада:** *Great Bear Magmatic Zone* (Sue-Dianne и NICO), *Wernecke* (West Coast skarns), *Central Mineral Belt* и месторождение Kwyjibo; **Чили:** *Chilean Iron Belt* (Candelaria, El Algarrobo, El Romeral, Manto Verde и Punta del Cobre); **Китай:** месторождение Bayan Obo (Inner Mongolia), *Lower Yangtze Valley* (Meishan и Daye); **Иран:** *Bafq* (Chogust, Chadoo Malu и Seh Chahoon); **Мавритания:** Akjoujt; **Мексика:** *Durango* (Cerro de Mercado); **Перу:** *Peruvian Coastal Belt* (Raul, Condestable, Eliana, Monterrosas и Marcona); **Швеция:** *Kiruna* (Kiirunavaara, Loussavaara) и месторождение Aitik; **ЮАР:** Phalaborwa и Vergenoeg; **США:** *Southeast Missouri* (Pea Ridge и Pilot Knob); **Замбия:** Shimyoka, Kantonga и Kitumba.

Выявление месторождений IOCG-типа началось с открытием в 1975 году в Австралии гигантского месторождения Olympic Dam (2 млрд. т руды, содержащей 1.1 % Cu, 0.5 г/т Au, 0.4 кг/т U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>, 0.24-0.45% La+Ce [Orris et al, 2002] и в 1987 году – La Candelaria в Чили (запасы 470 млн. т руды со средним содержанием 0.95% Cu, 0.22 г/т Au, 3.1 г/т Ag [Marschik et al, 2000]). Месторождения характеризуются более, чем 20% содержанием оксидов железа и дефицитом сульфидов. Рудные тела IOCG-месторождений обычно являются крупнотоннажными, представлены залежами типа "манто" и сложены брекчиями в зоне экзо- или эндоконтакта гранитоидных массивов. Месторождения IOCG группы образуются вблизи щелочных и известково-щелочных интрузий, с которыми также ассоциируют порфировые Cu-Mo или Cu-Au месторождения, Cu-Ag месторождения "манто", урановые месторождения, гематитовые и Au-PGE руды, полиметаллические Ag-Pb-Zn±Au жилы. Близповерхностное гипергенное обогащение U, Cu и Au может улучшить качество руд до экономически выгодных для отработки, что будет способствовать последующему вовлечению более бедных руд.

К основным чертам известных месторождений IOCG-типа можно отнести:

**1. Гидротермальные черты.** Все регионы с IOCG месторождениями характеризуются крупными площадями метасоматически измененных пород – от 10 до 100 и более км<sup>2</sup>, включающие Na(Ca) и K-типы [Barton, Johnson, 1996 и 2004; Hitzman et al, 1992]. В большинстве IOCG-районов Na(Ca) изменения распространены на больших (100 и более км<sup>2</sup>) площадях, значительно превосходящих по площади IOCG минерализацию. Na(Ca) метасоматоз мобилизует базовые металлы – Fe, Cu, Pb, Zn [Gandhi, 2004]. Ключевой особенностью IOCG является ассоциация с высоко-K гранитоидами [Pollard, 2000]. K-метасоматоз мобилизует Cu, Au, U, REE и др., с ним связывается образование основных объемов магнетита/гематита.

**2. Минерализация.** Экономическая минерализация представлена халькопиритом ± борнитом и золотом, локализованными в Fe-оксидах. Гематиты характеризуют малоуглубинные, магнетиты – глубокие уровни минерализации.

**3. Геофизические черты.** Массы Fe-оксидов, непостоянное присутствие сульфидов и широкое развитие изменений пород делают IOCG благоприятным объектом для магнитометрических [Костин и др., 2006; Костин, 2008], гравиметрических и других видов геофизических исследований. В сочетании с геологическими наблюдениями гравитационные и магнитные характеристики объектов хорошо отражают богатые Fe-оксидами рудные тела.

**4. Внешние особенности на ДЗЗ.** Использование данных многоспектрального оптико-механического сканирующего радиометра ETM+ позволяет уверенно выделять площади, содержащие Fe-оксидные руды [Костин, 2011; Костин, Осипов, 2012; Kostin, 2012]. Комбинация видимых синего (0.45-0.52 μm), зеленый (0.52-0.60 μm) и красный (0.63-0.69 μm) спектров может использоваться для выявления горных пород, богатых 2-х валентным (закисным) и 3-х валентным (окисным) железом. Также может использоваться тепловой инфракрасный канал (10,40-12,50 μm) для отображения темных минералов с высокой плотностью, к которым относятся массы гематита и гетита.

Время формирования месторождений IOCG-типа относительно эволюции Земли не является определяющим фактором [Nisbet et al, 2000]. Месторождения образовывались с архея (Salobo и Igarapé Bahia) до мезозоя (Chilean Iron Belt) [Requia et al, 2003; Sillitoe, 2003; Tallarico et al, 2004] в широком интервале глубин. В отличие от малоуглубинных порфириновых систем, на больших глубинах магма-флюидные системы не могут генерировать достаточно механической энергии для дробления вмещающих пород. В этих условиях IOCG-месторождения с преимущественно магнетитовыми рудами образуют разнообразные приуроченные к разломам залежи или представлены телами скарнов. На малых глубинах IOCG-месторождения выполнены рудными брекчиями (± вкрапленная минерализация), аналогичными гидротермальным брекчиям и системам сульфидных жил, характерных для многих порфириновых Cu-Au месторождений.

Проведенное дешифрирование космических снимков (сервис ArcGIS online) территории Восточной Якутии позволило обнаружить большое количество полей со специфическими для Fe-оксидов цветовыми оттенками – от темно-оранжевых до красновато-коричневых [Костин, 2011, 2012].

В полевой сезон 2011 года в пределах слабоэродированной группы Реп-Юрюинских плутонов (Тарынский рудно-россыпной узел, Восточная Якутия) было обнаружено обширное поле брекчированных ороговикованных пород с арсенопиритовым (рис. 2а) и Fe-оксидным (рис. 2б) цементом.



Рис. 2а. Брекчия с арсенопиритовым цементом.

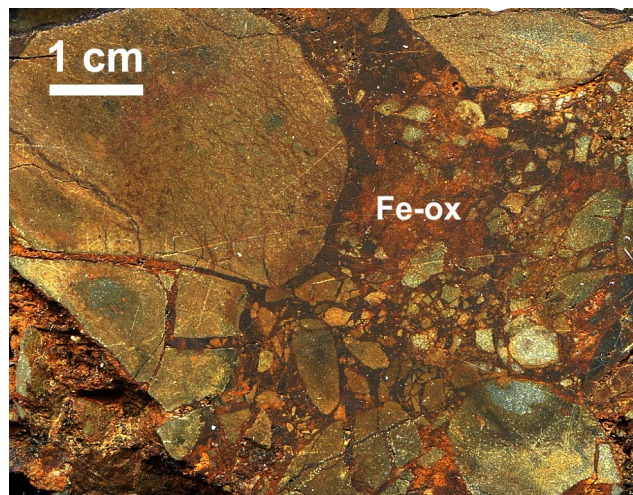


Рис. 2б. ИОСГ-брекчия.

Во всех типах брекчий обломки имеют округлые формы, что может интерпретироваться, как результат растворения в агрессивных гидротермальных растворах. В составе обломков присутствуют граниты ранней фазы и ороговикованные породы зоны экзоконтакта. Цвет брекчий зависит от насыщенности гидрооксидами железа и степени изменения в процессе гипергенеза и меняется от серого и темно-серого до разных оттенков коричневого и желто-коричневого. Поле брекчий зоны ороговикования Реп-Юрюинской группы плутонов было опробовано и проанализировано на рентгенофлуоресцентном спектрометре Niton XL3t 500, средние содержания элементов в брекчиях составляют (в %): Mn – 6.07, Co – 2.34, Ni – 0.29, U – 0.013, Th – 0.053, Mo – 0.009, Cu – 0.17, Hg – 0.21, As – 0.32, Pb – 0.06, Zn – 0.15, Sn – 0.032, W – 0.24, Au – 0.0214, Ag – следы. По данным химического количественного анализа содержание Fe варьирует от 14.25 до 56.43% (среднее – 26.03%).

#### **Выводы**

1. Полученные данные дают основание считать, что ИОСГ минерализация на Северо-Востоке России присутствует, а ее потенциал и геологические особенности совсем не изучены.

2. По классификации месторождений ИОСГ-типа обнаруженная Реп-Юрюинская геохимическая аномалия связана с Fe-оксидными- Au-U-Cu( $\pm$ Hg $\pm$ Co $\pm$ Ni $\pm$ Mo $\pm$ W) брекчиями, приуроченными к кровле щелочных – известково-щелочных гранодиоритовых плутонов, что соответствует подтипу месторождений «Olympic Dam» (Австралия).

#### **Литература**

Костин А.В. ГИС как инструмент прогноза неоткрытых минеральных ресурсов серебра // Геология, тектоника и металлогения Северо-Азиатского кратона. Материалы Всероссийской научной конференции – Якутск: Издательство – полиграфический комплекс СВФУ, 2011 – Т. II. С. 84-87.

Костин А.В. ГИС как средство оценки рудообразующего потенциала интрузивных образований Верхоянского складчатого пояса (Восточная Якутия) // Геология, поиски и разведка рудных месторождений. Известия Сибирского отделения. Секция наук о Земле РАЕН. 2008. №7 (33). С. 97-105.

Костин А.В., Гольцова А.С., Лысенко М.С., Труфакина Т.В. Прогнозирование благороднометалльных рудных узлов Западного Верхоянья (Восточная Якутия) с использованием ГИС // Тихоокеанская геология. 2006. Т. 25. №5. С. 62-72.

Костин А.В., Осипов Л.В. Неоткрытые минеральные ресурсы и ГИС: Новая перспективная комплексная Au-U и Pt-Cu-Hg геохимическая аномалия Реп-Юрюинского рудного поля (Тарынский рудный узел, Восточная Якутия) // Наука и образование. 2012. №1 (65). С. 55-59.

Barton M.D., Johnson D.A. Evaporitic-source model for igneous-related Fe-oxide-(REE-Cu-Au-U) mineralization // *Geology*. 1996. V. 24. P. 259-262.

Barton, M.D., Johnson D.A. Footprints of Fe-oxide (-Cu-Au) systems: SEG 2004 Predictive Mineral Discovery Under Cover – Extended Abstracts, Centre for Global Metallogeny, The University of Western Australia. 2004. V. 33. P. 112-116.

Corriveau L. Mineral Deposits of Canada: Iron Oxide Copper-Gold (+/-Ag,+/-Nb,+/-REE,+/-U) Deposits: A Canadian Perspective // *Natural Resources Canada, Geological Survey of Canada*, 490 de la Couronne, Québec, G1K 9A9, 2009. [http://gsc.nrcan.gc.ca/mindep/synth\\_dep/iocg/pdf/deposit\\_synthesis.iocg.corriveau.pdf](http://gsc.nrcan.gc.ca/mindep/synth_dep/iocg/pdf/deposit_synthesis.iocg.corriveau.pdf).

Frost B.R., Barnes C.G., Collins W.J., Arculus R.J., Ellis D.J., Frost C.D. A geochemical classification for granitic rocks // *J. Petrology*. 2001. V. 42. P. 2033-2048.

Gandhi S.S. Magmatic-hydrothermal Fe oxide±Cu±Au deposits: classification for a digital database and an overview of selected districts: IAVCEI General Assembly 2004, Pucón, Chile, CD-ROM, Abstracts01a\_pt\_169.

Hitzman M.W., Oreskes N., Einaudi M.T. Geological characteristics and tectonic setting of Proterozoic iron oxide (Cu-U-Au-LREE) deposits // *Precambrian Research*. 1992. V. 58. P. 241-287.

Kostin A.V. Undiscovered mineral resources and GIS: A new Iron Oxide Copper Gold (IOCG) deposit type in Eastern Yakutia with complex Au-U and Pt-Cu-Hg geochemical anomaly (Tarynskiy ore node) // *Baikal International Conference "Geology of mineral deposits" Ulan-Ude, Enkhaluk on the Baikal*. 2012. P. 16-17.

Marschik R., Leveille R.A., Martin W., 2000, La Candelaria and the Punta del Cobre district, Chile: Early Cretaceous iron-oxide Cu-Au (-Zn-Ag) mineralization, in Porter, T.M., ed., *Hydrothermal iron oxide copper-gold and related deposits: A global perspective*: PGC Publishing, Adelaide. V. 1. P. 163-175.

Nisbet B., Cooke J., Richards M., Williams C. Exploration for iron oxide copper gold deposits in Zambia and Sweden; Comparison with the Australian experience, in Porter, T.M., ed., *Hydrothermal iron oxide copper-gold and related deposits: A global perspective*: PGC Publishing, Adelaide. 2000. V. 1. P. 297-308.

Orris G.J., Grauch R.I. Rare earth element mines, deposits, and occurrences: USGS, Open-File Report 02-189. 2002. – 174 p.

Pollard P.J. Evidence of a magmatic fluid source for iron oxide-Cu-Au mineralisation, in Porter, T.M., ed., *Hydrothermal iron oxide copper-gold and related deposits: A global perspective*: PGC Publishing, Adelaide. 2000. V. 1. P. 27-41.

Requia K., Stein H., Fontboté L., Chiaradia M. Re-Os and Pb-Pb geochronology of the Archean Salobo iron oxide copper-gold deposit, Carajas mineral province, northern Brazil // *Mineralium Deposita*. 2003. V. 38. P. 727-738.

Sillitoe R.H. Iron oxide-copper-gold deposits: an Andean view// *Mineralium Deposita*. 2003. V. 38. P. 787-812.

Tallarico F.H.B., McNaughton N.J., Groves D.I., Fletcher I.R., Figueiredo B.R., Carvalho J.B., Rego J.L., Nunes A.R. Geological and SHRIMP II U-Pb constraints on the age and origin of the Breves Cu-Au-(W-Bi-Sn) deposit, Caraja's, Brazil // *Mineralium Deposita*. 2004. V. 39. P. 68-86.