

ГАЗОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОРЕОЛЫ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В УГЛЕРОДИСТО-ТЕРРИГЕННЫХ ТОЛЩАХ

С.Г.Кряжев

ФГУП Центральный научно-исследовательский
геологоразведочный институт цветных
и благородных металлов,
г. Москва

Показано, что формирование крупных золоторудных месторождений в углеродисто-терригенных толщах могло происходить при активном участии углекислотно-метанового флюида как ведущего транспортирующего агента рудообразующих систем. Соответственно, повышенные концентрации включений углекислоты и метана в кварце служат критерием выделения перспективных поисковых участков.

Ключевые слова: золоторудные месторождения, флюидные включения, поисковые критерии.

По мере исчерпания фонда открытых месторождений возрастает необходимость не только развития традиционных геолого-геофизических и геохимических поисковых методов, но и разработки принципиально новых методов прогноза и поисков скрытых и слабоэродированных золоторудных объектов. К числу таких методов относится прикладная термобарогеохимия, основанная на анализе состава и свойств реликтов природных минералообразующих растворов, законсервированных в минералах в виде флюидных включений.

Перспективы расширения отечественной минерально-сырьевой базы золота, в первую очередь, связаны с вероятностью обнаружения большеобъемных золоторудных месторождений в обширных ареалах распространения потенциально продуктивных углеродисто-терригенных толщ. В связи с этим в ЦНИГРИ выполнены целенаправленные исследования по выявлению термобарогеохимических критериев прогноза и поисков оруденения данного типа. В основу работы положен сравнительный анализ валового состава флюидных включений в жильном кварце из руд и околорудных ореолов крупных и мелких месторождений, а также в кварце «фоновых» жил, находящихся на удалении от

известных рудных полей. Для решения поставленной задачи разработана специализированная комплексная методика, обеспечивающая одновременное определение воды, газов, солей и широкого спектра микроэлементов (Au, Ag, As, Sb, Mo и др.) при вскрытии включений путём дробления или нагревания небольших (0,5–1 г) навесок кварца [4]. При анализе использовались современные высокочувствительные количественные методы (газовая и ионная хроматография, ICP MS). Стандартизация процесса максимально компенсирует ошибки и повышает корректность сравнения состава флюидных включений в серии изучаемых образцов. Исследовались образцы кварца, отобранные на объектах Средней Азии, Казахстана, Енисейской, Байкало-Патомской и Верхояно-Колымской провинций (всего 180 проб).

В результате установлен исключительно разнообразный состав золотоносных флюидных систем в углеродисто-терригенных толщах. Содержания главных анионов и катионов, газов, а также их отношения в золотоносном кварце подвержены сильным вариациям, свидетельствующим о способности гидротермальных систем практически любого солевого состава к эффективной мобилизации и переносу золота.

Данный вывод подтверждает существующие представления о том, что в восстановительной среде миграция благородного металла осуществляется при участии сульфидных комплексов в широком диапазоне физико-химических условий [9].

В пределах каждого рудного района или рудного узла жильный кварц повсеместно содержит достаточно однотипные включения (например, для золото-кварцевых объектов Енисейского кряжа характерны существенно метановые концентрированные хлоридные растворы, Центрально-Колымского региона – разбавленные натриево-гидрокарбонатные с углекислотой и т.д.). При этом отмечается рост концентрации хлор-иона и CH_4 по мере повышения температуры и давления флюидов (по данным термометрии), что, вероятнее всего, – следствие типичной гидрогеохимической зональности [8].

Никаких отличий между «фоновыми» пробами и золотоносным кварцем по составу минералообразующих растворов не выявлено как в целом, так и для каждого рудного района в отдельности. В любых координатах на графиках наблюдается «хаотичное» облако точек, а статистические расчёты не позволяют говорить о значимых различиях между выборками.

Практически единственный устойчивый признак, позволяющий дифференцировать золоторудные объекты по результатам валового анализа включений, – содержание газовой фазы ($\text{CO}_2 + \text{CH}_4$), закономерно возрастающее в ряду безрудные жилы → рудопрооявления и мелкие месторождения → крупные золоторудные поля (рис. 1). Газогеохимические аномалии сопровождают все крупные золоторудные месторождения и могут быть предложены в качестве эффективного критерия прогноза и поисков большеобъёмного оруденения.

Однако достоверность и надёжность критериев, выявленных с учётом эмпирически установленных закономерностей, не могут быть достаточно высокими без понимания причинно-следственных связей между наблюдаемыми явлениями и процессами формирования руд. Приуроченность скоплений рудного вещества к ореолам развития углекислотно-метановых включений в большинстве публикаций рассматривается с двух точек зрения. Первая предполагает поступление золота вместе с углеродсодержащими газами из особого (преи-

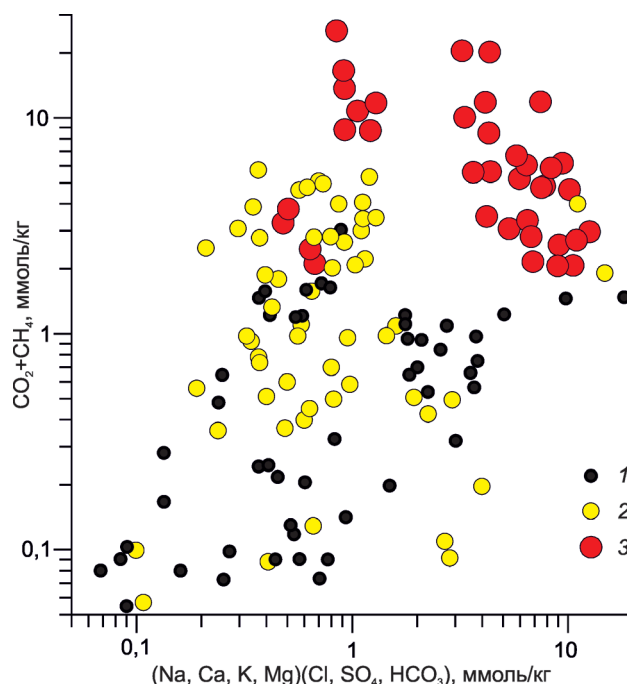


Рис. 1. Содержание главных флюидных компонентов в жильном кварце из углеродисто-терригенных толщ:

1 – безрудные жилы; 2 – мелкие золоторудные месторождения и рудопрооявления; 3 – крупные и весьма крупные месторождения

мущественно мантийного) источника. Вторая главную роль отводит процессу вскипания рудоносного водно-углекислотного флюида как основному механизму рудоотложения.

Является ли углекислотно-метановый флюид продуктом «глубинного дыхания» мантии? Результаты исследования изотопного состава углерода и гелия во флюидных включениях позволяют с уверенностью ответить на вопрос отрицательно [3]. Полученные данные указывают на то, что газы поступали с глубоких горизонтов разреза углеродисто-терригенных толщ при их метаморфизме и гранитизации.

Вскипание, или выделение углекислотно-метанового флюида в самостоятельную фазу, однозначно фиксируется на всех месторождениях при микроскопическом исследовании сообществ флюидных включений. Однако именно повсеместно выраженная гетерофазность рудообразующей среды противоречит предположению о вскипании как причине рудоотложения. Несмешимость газового и водно-солевого флюидов отмечается во всем диапазоне установ-

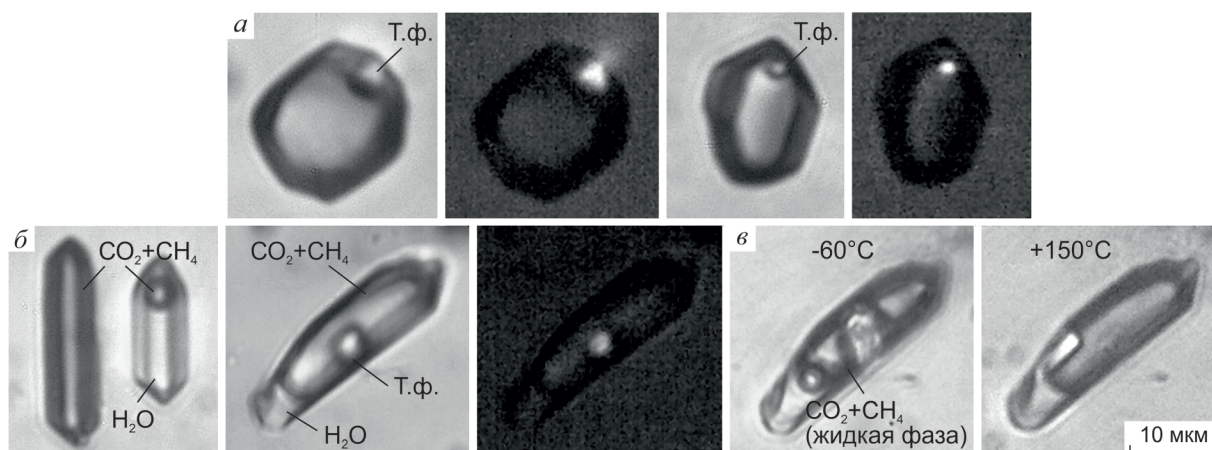


Рис. 2. Флюидные включения в кварце из руд месторождения Раздольнинское, Енисейский край:

а – анизотропная твёрдая дочерняя фаза (Т.ф.) во включениях плотного углекислотно-метанового флюида ($0,6 \text{ г/см}^3$, $x\text{CO}_2=x\text{CH}_4$), справа николи скрещены; *б* – ассоциация сингенетичных включений водно-солевого раствора (T гомогенизации 260°C) и углекислотно-метанового флюида (T гомогенизации -45°C в жидкую фазу); *в* – поведение твёрдой фазы при изменении температуры: при -60°C она значительно увеличилась в размерах, при $+150^\circ\text{C}$ уменьшилась (полностью растворяется при $+170^\circ\text{C}$)

ленных давлений при рудообразовании (от 1,5 до 0,5 кбар, что соответствует глубинам от 6 до 2 км от палеоповерхности). В некоторых крупных рудных полях «кипение» флюида прослежено на сотни метров – первые километры разреза. При этом углекислотно-метановая и водная фазы всегда находятся в равновесии, которое определяется растворимостью газов в водных растворах солей при данных давлении, температуре и солёности [2]. А поскольку в подобной системе избыточное по отношению к равновесию количество газа в виде пузырьков неизбежно будет перемещаться вверх (в область более низкого давления), гетерогенизация является необратимым процессом и охватывает весь диапазон глубин без существенного изменения окислительно-восстановительного потенциала и кислотности минералообразующей среды.

В настоящее время существуют экспериментальные данные о высокой растворимости ряда рудных минералов в газообразном флюиде [1]. Доказано, что водяной пар и газообразный сероводород в условиях гидротермального процесса могут быть важной транспортной средой для элементов-спутников золота Cu , Ag и As , по возможным масштабам переноса сопоставимой с плотными водными растворами. Причём перенос рудных компонентов в газовой фазе при-

водит к разделению элементов, что объясняет геохимическую специализацию и некоторые изотопно-геохимические особенности золото-рудных месторождений [1, 5, 7].

На рис. 2 и 3 приведены микрофотографии, свидетельствующие о сложном поликомпонентном составе надкритического рудообразующего флюида включений в кварце месторождений золота в терригенно-углеродистых толщах. По плотности флюид приближается к жидкости и способен к растворению, транспортировке и отложению минерального вещества, в том чис-

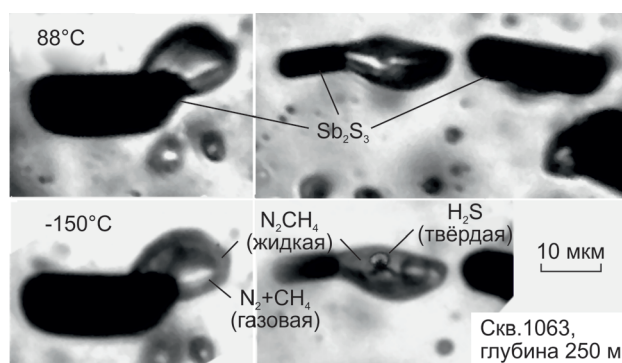


Рис. 3. Сингенетичные с антимонитом и золотоносным арсенопиритом включения плотного поликомпонентного ($\text{CH}_4+\text{N}_2+\text{H}_2\text{S}+\text{Sb,As,Au}$) флюида, месторождение Олимпиадинское

ле таких элементов, как As, Sb и Au. Высокие содержания мышьяка и золота в подобных газообразных включениях на месторождении Олимпиадинское установлены методом ICP MS с лазерным отбором пробы (устное сообщение А.С.Борисенко, 2012 г.). Этим же методом доказано преимущественное перераспределение золота в газовую фазу при вскипании магматогенных флюидов на медно-порфировых месторождениях [10]. Следует также упомянуть результаты исследования первичных флюидных включений в самородном золоте, которые заполнены углекислотой, метаном и азотом при практическом отсутствии воды [6].

Итак, углекислотно-метановый флюид непосредственно мог участвовать в транспортировке золота при образовании его месторождений, и в этом, вероятнее всего, заключена причина формирования околорудных газогеохимических ореолов. В качестве главной особенности флюидного режима развития золотоносных рудообразующих систем в углеродисто-терригенных толщах можно рассматривать гетерогенность минералообразующей среды и миграцию углекислотно-метановой фазы как самостоятельного рудоносного раствора. Низкая динамическая вязкость указанной фазы обеспечивала более эффективный перенос рудного вещества по сравнению с малоподвижным водным раствором. При этом возникли условия для взаимодействия газообразного флюида с большим объемом водных растворов, находящихся в равновесии с углеродисто-терригенными породами. Так как золото в гетерогенной системе преимущественно распределяется в газовую фазу, то подобное взаимодействие могло служить главным механизмом мобилизации металла из большого объема терригенных толщ, в том числе из пород с повышенной золотоносностью. Предложенная модель служит основанием для использования аномальных концентраций углекислоты и метана в кварце как критерия выделения участков, перспективных на обнаружение крупнообъемного золотого оруденения в углеродисто-терригенных толщах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бычков А.Ю. Перенос и концентрирование элементов в гетерофазных гидротермальных системах: Автореф. дис... д-ра геол.-минер. наук. – Москва, 2012.
2. Кряжев С.Г. Современные проблемы теории и практики термобарогеохимии // Руды и металлы. 2010. № 2. С. 38–45.
3. Кряжев С.Г., Прасолов Э.М., Розинов М.И., Сергеев С.А. Изотопный состав благородных газов флюидных включений в кварце месторождений золота терригенных комплексов // XX симпозиум по геохимии изотопов им. академика А.П.Виноградова. Тез. докл. ГЕОХИ РАН. 2013. С. 200–203.
4. Кряжев С.Г., Прокофьев В.Ю., Васюта Ю.В. Использование метода ICP MS при анализе состава рудообразующих флюидов гидротермальных рудных месторождений // Вестн. МГУ. Сер. 4. Геология. 2006. № 4. С. 30–36.
5. Кряжев С.Г., Устинов В.И., Гриненко В.А. Особенности флюидного режима формирования золоторудного месторождения Сухой Лог по изотопно-геохимическим данным // Геохимия. 2009. № 10. С. 1–9.
6. Петровская Н.В. Самородное золото. – М.: Наука, 1973.
7. Поведение рудных элементов в окисленных хлоридных и карбонатно-хлоридно-сульфатных гетерофазных флюидах Cu-Mo(Au)-порфировых месторождений (по экспериментальным данным) / А.А.Боровиков, Т.А.Бульбак, А.С.Борисенко и др. // Геология и геофизика. 2015. Т. 56. № 3. С. 557–570.
8. Шварцев С.Л. Общая гидрогеология: Уч. для вузов. – М.: Недра, 1996.
9. Bowers T.S. The deposition of gold and other metals: Pressure-induced fluid immiscibility and associated stable isotope signatures // Geochim. Cosmochim. Acta. 1991. Vol. 55. P. 2417–2434.
10. Williams-Jones A.E., Heinrich C.A. Vapor Transport of Metals and the Formation of Magmatic-Hydrothermal Ore Deposits // Economic Geology. 2005. Vol. 100. P. 1287–1312.

Кряжев Сергей Гаврилович,
кандидат геолого-минералогических наук
s34@mail.ru

GAS GEOCHEMICAL HALOS OF OROGENIC GOLD DEPOSITS

S.G.Kryazhev

It is shown that the formation of large gold deposits in carbonaceous-terrigenous strata could happen with the active participation of carbonic fluid as a main transport agent in ore-forming systems. Accordingly, elevated concentrations of carbonic fluid inclusions in quartz is the criteria for the search areas identification.

Key words: gold deposits, fluid inclusions, search criteria.