

## ОТЗЫВ

официального оппонента доктора геолого-минералогических наук Калинина Юрия Александровича на диссертационную работу **Кряжева Сергея Гавриловича «Генетические модели и критерии прогноза золоторудных месторождений в углеродисто-терригенных комплексах»**, представленную на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук по специальности 25.00.11 – Геология, поиски и разведка твёрдых полезных ископаемых, минерагения.

Представленная к защите диссертационная работа Сергея Гавриловича Кряжева состоит из введения, пяти глав и заключения. Её объем 288 стр., включая 82 иллюстрации, 56 таблиц и библиографию из 295 опубликованных источников. Основу работы составляют результаты многолетних исследований С.Г. Кряжева на крупных золоторудных месторождениях Средней Азии и Байкало-Патомского нагорья. Для сопоставления привлекаются материалы по месторождениям Енисейского кряжа и Верхояно-Колымской провинции.

### **Актуальность темы диссертационного исследования**

Работа посвящена разработке весьма актуальной темы – созданию геолого-генетических моделей золоторудных месторождений в углеродисто-терригенных толщах с выходом на обоснование комплекса прогнозно-поисковых критериев. Несомненно чрезвычайно высокий интерес геологов (и ученых, и практиков) к столь важному формационному типу, каковым являются «черносланцевые» месторождения. Собственно, с момента открытия «феномена Мурунтау» не утихают дискуссии относительно роли и соотношения конседиментационных и эпигенетических процессов при формировании уникальных концентраций золота в углеродисто-терригенных комплексах пород. В многочисленных публикациях рассматриваются различные аспекты образования мега-крупных черносланцевых месторождений, причем спектр воззрений весьма широк – от осадочно-метаморфогенной гипотезы (при полном отрицании рудогенерирующей роли магматизма) до плутоногенно-гидротермальной (как главной и единственной рудогенерирующей формации).

Давно назрела потребность выполнения крупного обобщающего исследования, ориентированного на выявление глобальных, региональных и локальных закономерностей, раскрывающих и объясняющих геологическую позицию, строение и условия формирования промышленных концентраций золота в углеродисто-терригенных комплексах, а на этой основе - разработку строго научно обоснованных критериев их прогноза, поисков и оценки на разных стадиях геологоразведочного процесса. Все это вместе взятое и обусловило актуальность исследования С.Г. Кряжева.

### **Степень обоснованности и достоверности защищаемых положений**

Всего к защите выдвинуто 5 положений, обоснованность которых совокупно вытекает из четырёх глав диссертационной работы.

Первая глава «Современные представления о генезисе золоторудных месторождений в углеродисто-терригенных комплексах» представляет собой краткий (12 страниц) обзор по ключевым вопросам генезиса месторождений, их типизации и условиям формирования. Важность этой главы несомненна, поскольку в ней автор обозначает своё собственное отношение и к рудноформационному анализу, и к типизации месторождений рассматриваемого класса, и к предлагаемым геолого-генетическим моделям их формирования. С.Г. Кряжев подчеркивает, что все варианты таких моделей отвечают «многообразию условий формирования месторождений золото-сульфидно-углеродистой группы формаций, образующих единый конвергентный ряд».

Во второй главе «Методология исследования» (26 стр.) подробно описываются использованные автором аналитические методы и принципы интерпретации полученных данных. Следует особо подчеркнуть важность данного раздела, поскольку он позволяет не

только оценить достоверность полученных в диссертационной работе результатов, но и понять суть методологических подходов их достижения. Импонирует также приводимое в этом разделе обсуждение «проблемных» вопросов, в частности, касающихся расчетных оценок давления в рудообразующих растворах. При этом нужно подчеркнуть, что С.Г. Кряжев известен как один из разработчиков комплексной методики валового анализа рудообразующих флюидов, получившей признание специалистов. Рассмотренные ограничения по применимости данной методики при интерпретации данных валового анализа включений гетерогенного газо-водного флюида свидетельствуют о её «жизнеспособности» и возможностях дальнейшего совершенствования. Особое внимание в этом разделе уделено также методам изотопной геологии, позволяющим через сульфиды оценивать непосредственно среду рудообразования. С одной стороны, это позволяет судить об источниках флюидных компонентов, а с другой – об источниках рудного вещества. Поскольку для всех золоторудных месторождений установлена тесная пространственно-временная связь золоторудной и сульфидной минерализации, вариации изотопного состава серы являются основной характеристикой источников серы золотоносных флюидов. Для золоторудных месторождений в углеродисто-терригенных формациях этот вопрос становится ещё более актуальным, поскольку сульфиды являются главными минералами-концентраторами золота, либо находятся в тесной парагенетической связи с ним и входят в состав продуктивных минеральных ассоциаций. Рассмотренные в этой главе диапазоны вариаций изотопного состава серы сульфидов вмещающих пород и продуктивных рудных залежей для наиболее изученных месторождений золота в углеродисто-терригенных комплексах являются обоснованием *первого защищаемого* положения. Эмпирически и статистически установленная изотопная гомогенность серы сульфидов руд крупных золоторудных месторождений хорошо согласуется с аналогичным выводом и для других типов месторождений (колчеданно-полиметаллических) [Ковалев и др., 1998; 2000]. В качестве основного источника для этих месторождений (вулканогенных и вулканогенно-осадочных) рассматривается магматическая сера прямого флюидного поступления или сера магматических сульфидов. Для золото-сульфидных месторождений (Суздальское, Жерек, Большевик), залегающих в черносланцевых толщах Восточного Казахстана, было нами показано, что изотопный состав серы сингенетического пирита и игольчато-призматического золотоносного арсенопирита раннего этапа минерализации отвечает узкому интервалу 0.0...--3.3‰ и указывает на мантийный источник серы с частичным заимствованием коровой серы. Изотопный состав пирита и таблитчатого арсенопирита из минерализованных пород второй продуктивной ассоциации характеризуется более легкой серой (-7.7...10.2‰), что связано с процессами фракционирования серы в условиях повышенной фугитивности кислорода на позднем этапе рудоотложения. В рассматриваемой диссертации многоэтапность рудообразования никак не учитывается, хотя на всех рассматриваемых месторождениях она отмечается. В этой связи и возникает вопрос – действительно ли не существует никакого фракционирования изотопов серы при меняющихся РТ-условиях рудообразующей среды?

Базовая аксиома диссертации об эндогенных флюидах, содержащих сульфидную серу, как главных транспортирующих агентах, обеспечивающих перенос золота от источников к областям рудонакопления, несомненно, имеет право на жизнь. Но остаются сомнения в её безальтернативности.

В целом материал главы 2 несет в себе общетеоретическое и прикладное содержание, базирующееся на большеобъемном массиве фактических материалов. В итоге представленное к защите **Первое положение** достаточно обосновано и принципиальных критических замечаний не вызывает.

**Второе и третье положения** обосновываются материалами главы 3 «Геолого-генетические модели эталонных золоторудных месторождений в углеродисто-терригенных комплексах», задачей которой, как констатирует диссертант, является решение главного вопроса - о вероятном источнике рудного вещества.

В этой главе, самой большой по объему (стр. 49-219), автор характеризует все эталонные золоторудные месторождения, делая упор на два «классических» типа – сухоложский и кызылкумский. На огромном фактическом материале автор показывает основные особенности их геологического строения, приводит анализ воззрений многочисленных исследователей на природу и механизмы формирования уникальных рудных концентраций. С целью создания геолого-генетических моделей рассматриваемых месторождений в данной главе на основании изучения представительных коллекций образцов по каждому месторождению приводятся характеристики минералого-петрографических парагенезисов, параметры газовой-жидких включений, изотопный состав S, Ar, O, C и других элементов, возрастные соотношения геологических образований. Месторождения рассматриваются в порядке возрастания вероятности их парагенетической связи с проявлениями магматизма.

Рассмотрение распределения изотопов S на месторождении Сухой Лог приводит автора к выводу о «достаточно локальном перераспределении вещества при отсутствии привноса S из внешних источников». Такой вывод неизбежно приводит к предположению и о «местном» источнике золота. Логические построения автора диссертации понятны, но не слишком ли неоднозначна такая «неизбежность»? Существуют ведь и несколько отличающиеся оценки источников поступления рудного вещества [Развозжаева и др., 2002]. Констатируется также, что высокие концентрации сингенетического золота в осадочных сульфидах обязаны «специфическим условиям осадконакопления» (стр. 76). А в чем же заключалась эта специфика? В тексте диссертации автор этот вопрос обходит молчанием. Думается, что в научной дискуссии при процедуре защиты соискатель прокомментирует свое отношение к данным фактам.

В этой же главе приводится раздел (12 стр.) по месторождениям Центрально-Колымского региона, который хотя и показывает широту интересов соискателя, но представляется совершенно излишним. Он практически ничего не добавляет к решению сформулированных в диссертации задач и достижению главной цели. Нет явной связи и с защищаемыми положениями.

Достаточно большой раздел в данной главе посвящен золоторудным месторождениям Енисейского края (стр. 109-144). Автор показывает, что для уникального по масштабам Олимпиадинского месторождения (по аналогии с месторождениями сухоложского типа) достаточно вероятно гидротермально-осадочная природа серы ранних сульфидов. Главный золотосодержащий минерал – арсениопирит по изотопному составу серы ( $\delta^{34}\text{S} = +4 \pm 1.5\%$ ) существенно отличается от более ранних сульфидов и имеет магматические характеристики. При формировании наиболее богатых руд месторождения осуществлялся привнос золота, сурьмы и серы, причем последние имеют автономный источник эндогенной природы. Что это за источник и с каким магматическим событием связан – остается пока только предполагать. Автор диссертации на этот счет вариантов не предлагает. Разумеется, хотелось бы видеть также авторскую оценку времени проявления и продолжительности разных этапов рудообразования на таких полигенных месторождениях, как Олимпиада [Генкин и др., 1994]. Возможно, для золоторудных месторождений Енисейского края ещё не достигнут критический предел накопления геологической информации, который бы позволил совершить качественный скачок в решении вышеназванных проблем.

И, наконец, большая часть этой главы (стр. 145-219) посвящена месторождениям Средней Азии, в частности, золоторудному гиганту Мурунтау. Авторская монография «Изотопно-геохимический режим формирования золоторудного месторождения Мурунтау [2002] является широко известной, поэтому изложенный в диссертации материал не вызывает вопросов. На основе детального рассмотрения геологического строения месторождений, изотопно-геохимических особенностей вмещающих и магматических пород, последовательности минералообразования, физико-химических параметров флюидных систем, в том числе рудообразующих, анализа изотопно-геохимической зональности и режима формирования сульфидной минерализации предложена авторская модель рудообразующей системы. Показано, что закономерности развития минералообразующих процессов на рудном

поле Мурунтау соответствуют магматогенно-гидротермальной модели, в которой источником продуктивных флюидных систем и рудных компонентов служит глубинный магматический очаг.

В целом, можно констатировать, что второе и третье защищаемые положения в достаточной мере обоснованы.

**Четвертое защищаемое положение** раскрывается материалом главы 4 (стр. 220-245) «Флюидный режим рудообразования».

Автор показывает, что состав золотоносных флюидных систем в углеродисто-терригенных толщах характеризуется исключительным разнообразием. Это отражает как множественность обстановок и условий рудообразования, так и возможность самых разнообразных гидротерм мобилизовать и переносить золото и другие компоненты. Последовательное рассмотрение гипотез рудоотложения - мантийного источника рудоносных углекислотно-метановых флюидов или процесса вскипания водно-углекислотного флюида приводит автора к необходимости рассмотрения иных вариантов. На основе анализа включений показывается, что формирование месторождений золота в углеродисто-терригенных толщах происходит в гетерогенной минералообразующей среде на глубинах 2-6 км в условиях литостатического градиента при отсутствии гидродинамической связи с поверхностью. Надкритический рудообразующий флюид, по плотности приближающийся к жидкости, имеет сложный поликомпонентный состав и способен к растворению, транспортировке и отложению многих рудных компонентов (Au, As, Sb и др.).

А.С. Борисенко с коллегами в 2013 году было показано (неопубликованные данные), что формирование золото-арсенопиритовой минерализации месторождения Олимпиада происходило при температурах 335 – 275°C и давлении минералообразующего флюида от 1830 до 930 бар. Рудообразующие флюиды находились в гетерофазном состоянии и были представлены существенно газовыми флюидами, которые резко преобладали, и жидкими гидротермальными растворами. Концентрация последних варьировала от 15,7 до 10,4 мас.% в NaCl-эквиваленте. Специфика состава газовых флюидов выражается в преобладании N<sub>2</sub> и CH<sub>4</sub> при низком содержании тяжелых углеводородов, что определяет их низкий редокс-потенциал, а отсутствие CO<sub>2</sub> – щелочной характер (pH > 7). Своеобразие металлоносности таких флюидов заключается в том, что в газовой части преимущественно концентрируются – As, Sb, Hg и Au, причем содержание золота в них существенно выше, чем в водно-солевой составляющей, в которой концентрируются в наиболее аномальных количествах Sr, Rb, Cs, Sb, Mo и Mn. Формирование парагенезисов золото-полисульфидного этапа в рудном поле протекало при температурах (до 405°C), давлениях (до 1760 бар). Рудообразующие флюиды находились в гетерофазном состоянии: газовые флюиды и водно-солевые гидротермальные растворы, общая концентрация которых варьировала от 11,2 до 4,2 мас.% в NaCl экв. В составе газовой фазы этих флюидов в переменных количествах присутствовали CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> и CH<sub>4</sub>, содержание тяжелых углеводородов не превышало 10-13%, что свидетельствует о их повышенном редокс-потенциале, а присутствие CO<sub>2</sub> – об их слабокислом или близнейтральном характере (pH < 7). Металлоносность газовых флюидов определяется присутствием As и незначительных количеств Sb, Au и Hg. В водно-солевых флюидах в наиболее аномальных количествах устанавливаются Na, K, B, Ba, Sr, Rb, Cs, As, Sb, Mo, W и Mn. Слабокислый или близнейтральный характер рудообразующих флюидов этого этапа определял изометричных форм габитус кристаллов арсенопирита, его низкую золотоносность и раздельное отложение арсенопирита и самородного золота.

Таким образом, обоснованная С.Г. Кряжевым возможность эффективного переноса серы и золота гетерогенными газовыми флюидами углекислотно-метанового состава на примере многих золоторудных месторождений в углеродисто-терригенных толщах составляет суть **четвертого защищаемого положения**, с доказанностью которого я соглашусь.

Пятое защищаемое положение обосновано материалами 5 главы «Прогнозно-поисковые изотопно-геохимические и термобарогеохимические критерии».

С.Г. Кряжев сразу же подчеркивает, что «наибольшую эффективность и практическую значимость будут иметь такие индикаторные показатели потенциальной рудоносности, которые являются устойчивыми атрибутами самих рудоносных толщ» (стр. 247). Предложенные в качестве критериев изотопно-геохимические характеристики ( $\delta^{34}\text{S}$  и  $\delta^{13}\text{C}_{\text{орг}}$ ) вкпе с приведенным примером их апробации, безусловно, срабатывают в конкретной части рудовмещающего разреза, но насколько они универсальны? Будут ли такие критерии работать на другой территории, скажем, совершенно неизученной или с неизвестной «a priori» моделью рудообразования? Из приведенного примера апробации предлагаемого метода на территории Бодайбинского золотоносного района осталось непонятным, на каком по объему массиве изотопных данных построены схема и разрез. Это необходимо, в том числе, для понимания экономической эффективности применения данных критериев, в отличие, например, от традиционных литогеохимических.

Термобарогеохимические прогнозно-поисковые критерии также апробируются на конкретных поисковых площадях Чукотского АО и показывают свою приемлемость. Выявляется устойчивая связь термобарогеохимических ореолов с зонами развития золотоносной минерализации, причем сделано это на достаточно представительной выборке (около 1.5 тыс. проб). Показано, что «в наиболее продуктивных зонах термобарогеохимические аномалии характеризуются высокой устойчивостью как по простиранию жильно-прожилковых зон, так и на глубину». Важным, хотя и несколько хрестоматийным, является вывод о соответствии параметров термобарогеохимических аномалий интенсивности рудообразующего процесса, что может служить критерием масштабов ожидаемого оруденения. Правда, автор справедливо отмечает, что «наличие потока рудоносных растворов является необходимым, но не достаточным условием формирования рудных тел», отчего данный критерий позволяет лишь выделять потенциально перспективные площади. Заявление же соискателя о том, что изотопно-геохимический метод, по сути, является разновидностью хемостратиграфии, как мне представляется, требует расшифровки и обоснования.

В целом же, я соглашусь с обоснованностью пятого защищаемого положения.

#### **Новизна и значимость научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Диссертация представляет собою крупную сводную работу, посвященную анализу условий образования золоторудных месторождений в углеродисто-терригенных комплексах. Её научная новизна и значимость научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированы в четырех главах диссертации. Наиболее значимые новые научные результаты заключаются в следующем.

1. На большом изотопно-геохимическом и термобарогеохимическом материале получены и систематизированы новые данные по эталонным месторождениям крупных золоторудных провинций.

2. На примере уникальных месторождений (Сухой Лог, Мурунтау и др.) установлены источники рудного вещества и рудоносных флюидов. Уточнена роль седиментационных процессов, метаморфизма и магматизма в рудообразовании.

3. Обоснована модель переноса рудного вещества в гетерогенной среде, показана возможность эффективного переноса серы и золота гетерогенными газовыми флюидами углекислотно-метанового состава на примере многих золоторудных месторождений в углеродисто-терригенных толщах.

4. На основе изотопно-геохимических и термобарогеохимических критериев разработан и апробирован прогнозно-поисковый комплекс для золотого оруденения в углеродисто-терригенных толщах.

#### **Личный вклад соискателя в разработку научной проблемы, репрезентативность эмпирического материала**

Проблема золотоносности углеродисто-терригенных комплексов и особенностей формирования в них крупных золоторудных месторождений изучались автором более 30

лет, результаты чего опубликованы в двух крупных монографиях и целом ряде широко известных журнальных статей. На основе многолетних собственных полевых исследований диссертантом получены важные научные результаты, использованные им для разработки теоретических основ по созданию генетических моделей, поискам и прогнозу золоторудных месторождений в углеродисто-терригенных комплексах разных рудных провинций.

### **Рекомендации по использованию результатов исследований**

Результаты работы рекомендуется использовать:

- при совершенствовании теории рудообразования в качестве дополнения, углубляющего и расширяющего знания об эндогенных процессах;
- в преподавании в ВУЗах курсов «Геология полезных ископаемых» и «Прогнозирование и поиски месторождений полезных ископаемых»;
- в научных и производственных организациях при прогнозировании, поисках и оценке золотоносности на известных и слабо изученных площадях в разных регионах, а также переоценке территорий с широким развитием углеродисто-терригенных пород с позиции их потенциальной золотоносности.

### **Полнота публикаций соискателя в научной печати**

Результаты работы опубликованы в 60 научных изданиях, в том числе 2 монографиях, 20 журнальных статьях из Перечня ВАК Минобрнауки РФ. Они широко апробированы на различного ранга международных, российских и региональных научно-практических конференциях и симпозиумах по проблемам металлогении и рудообразования, геохимии изотопов и термобарогеохимии. Разработки соискателя хорошо известны широкой геологической общественности.

### **Квалификационная оценка диссертационной работы**

Диссертационная работа С.Г. Кряжева является крупным фундаментальным обобщением по условиям образования золоторудных месторождений, имеющим важное теоретическое и народнохозяйственное значение. Квалификация работы обоснована совокупностью следующих теоретических положений.

1. Формирование рассматриваемой рудообразующей системы подчиняется общим геологическим закономерностям образования и эволюции эндогенного оруденения.
2. Установленные источники рудного вещества и рудоносных флюидов позволили в существенной мере уточнить роль седиментационных процессов, метаморфизма и магматизма в рудообразовании.
3. Комплекс предложенных критериев и поисковых признаков и соответствующих им методов поисковых работ является непротиворечивым и дополняет таковые для золотого оруденения других рудно-формационных типов.

### **Соответствие диссертации и автореферата критериям, установленным в «Положении о порядке присуждения ученых степеней»**

Диссертационная работа представляет собою завершённое научное исследование по проблеме формирования золотого оруденения в углеродисто-терригенных толщах. В ней на основе обобщения большого фактического материала, лично собранного соискателем, разработаны теоретические положения, совокупность которых следует квалифицировать как крупное геологическое обобщение, имеющее важное хозяйственное значение.

### **Замечания**

Замечания к отдельным главам диссертации отмечены при рассмотрении обоснованности защищаемых положений. Работа написана грамотным языком, хорошо читается. Некоторые технические недоработки (например, отсутствие подписей к рисункам 29 и 30) не смазывают общего весьма положительного впечатления.

## Заключение

В целом, представленная работа по актуальности и значимости решаемых в ней научных и прикладных проблем, по их детальной проработке на обширном фактическом материале, новизне, обоснованности и достоверности защищаемых положений, выводов и рекомендаций соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к докторским диссертациям.

Диссертационная работа характеризует высокий научный и прикладной уровень исследований С.Г. Кряжева. Материал оригинален, нов, системно обработан и представляет большой интерес для геологического сообщества. Результаты исследований апробированы в печати. Автореферат производит хорошее впечатление. Его содержание полностью отражает содержание диссертации.

В завершение необходимо подчеркнуть, что диссертационная работа С. Г. Кряжева актуальна, своевременна, представляет собой крупное научное обобщение личного материала, имеющего большое научное и народнохозяйственное значение. Защищаемые положения четкие, хорошо аргументированные и принципиальных замечаний не вызывают. Они детально проработаны на обширном фактическом материале. Выводы и практические рекомендации вносят определенный вклад в развитие теории рудообразования и практики поисков и прогноза золоторудных месторождений в углеродисто-терригенных комплексах не только описанных в данной работе рудных провинций, но и для других площадей с широким развитием углеродистых пород. Диссертационная работа С.Г. Кряжева соответствует требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям. Она характеризует автора как ученого, способного на высоком уровне ставить и решать актуальные проблемы современной минералогии, поисков и разведки твердых полезных ископаемых. Кряжев Сергей Гаврилович заслуживает присуждения ученой степени доктора геолого-минералогических наук по специальности 25.00.11 - геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минералогия.

**Сведения об оппоненте:** Калинин Юрий Александрович,

**Почтовый адрес:** 630090, г. Новосибирск, проспект академика Коптюга, 3,

**Телефон:** 8-383-3307339, **E-mail:** Kalinin@igm.nsc.ru

**Наименование организации:** Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук

**Должность:** главный научный сотрудник лаборатории прогнозно-металлогенических исследований, специальность 25.00.11 – геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых; минералогия

Главный научный сотрудник лаборатории Прогнозно-металлогенических исследований  
доктор геолого-минералогических наук

Ю.А. Калинин

Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения РАН,  
г. Новосибирск

г. Новосибирск

23 августа 2017 г.

Я, Калинин Юрий Александрович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.