

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию 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 твердых полезных ископаемых, минерагения.

Диссертация общим объемом 288 страниц состоит из введения, 5 глав, заключения, 82 рисунков и фотографий, 56 таблиц, сопровождается списком литературы из 295 наименований.

В работе защищаются следующие положения.

1. Руды всех крупных золоторудных месторождений по сравнению с породами вмещающих углеродисто-терригенных комплексов характеризуются высокой изотопной гомогенностью серы сульфидов ($\delta^{34}\text{S} \pm 3\text{‰}$). Следовательно, привнос золота осуществлялся эндогенными флюидами при обязательном участии серы, что подтверждает представления о ведущей роли этого элемента в гидротермальном транспорте благородного металла. Таким образом, изотопно-геохимическую зональность можно рассматривать как признак инфильтрации золотоносных растворов и использовать для определения их возможного источника.

Поступление серы и золота из эндогенных источников и формирование золото-сульфидных руд происходило как в период осадконакопления, так и синхронно с коллизионным магматизмом.

2. Золоторудные месторождения, образовавшиеся в результате функционирования гидротермально-осадочных палеосистем (сухоложский тип), по условиям локализации и параметрам изотопно-геохимической зональности сопоставимы с колчеданными. Они представлены залежами слоистых, линзовидно-пластовых и послойно-вкрапленных золотоносных пиритовых руд, накопление которых происходило в конседиментационных впадинах вблизи рудоподводящих разломов.

На коллизионном этапе гидротермально-осадочные залежи подвергались частичной регенерации с образованием метаморфогенных прожилково-вкрапленных руд и золотоносных кварцевых жил за счет локального переотложения сульфидов под действием градиента давления. В областях ультраметаморфизма и гранитизации полностью регенерированные гидротермально-осадочные сульфиды могли служить источником золота в плутоно-метаморфических рудообразующих системах.

3. При формировании золоторудных месторождений, парагенетически связанных с коллизионным магматизмом (мурунтауский тип), мобилизация и транспорт рудного вещества осуществлялись флюидами, поступающими из глубинных магматических очагов и наследующими их изотопно-геохимические характеристики. Вещественный вклад углеродисто-терригенных пород как источника серы и золота в таких системах был незначительным. В то же время на размещение месторождений в пределах рудных полей определяющее влияние оказывали активизированные разломы фундамента, что проявлено в закономерном совмещении центров повышенной эндогенной активности конседиментационного и коллизионного этапов.

4. Формирование месторождений происходило в условиях глубинного гидродинамического режима. Эффективный перенос серы и золота осуществлялся в гетерогенной среде независимо от водно-солевого раствора при участии подвижной углекислотно-метановой фазы, поступающей из рудогенерирующего очага. Основной причиной рудоотложения служил распад комплексных соединений золота вследствие связывания серы в сульфидных минералах.

Масштабы оруденения зависят от длительности процесса рудообразования, что отражено в степени насыщенности жильного кварца углекислотно-метановыми включениями.

5. Околорудные изотопно-геохимические и термобарогеохимические ореолы в рудоносных углеродисто-терригенных комплексах являются критериями прогноза скрытых и слабоэродированных месторождений.

На ранней стадии геологоразведочных работ на площади выявляют зоны развития гидротермально-осадочных сульфидов как потенциальные рудные поля. По результатам изотопного анализа серы выделяют и прослеживают потенциально продуктивные литолого-стратиграфические уровни (участки разреза, характеризующиеся минимальной дисперсией $\delta^{34}\text{S}$ сульфидов при максимальной обогащенности серы тяжелым изотопом).

В пределах выделенных площадей по сумме содержаний CO_2 и CH_4 в жильном кварце выявляют газогеохимические аномалии. На основе карт распределения $\delta^{34}\text{S}$ и $\text{CO}_2 + \text{CH}_4$ оконтуривают и ранжируют по степени перспективности поисковые участки. Комплексное использование независимых количественных показателей (например, $\text{CO}_2 * \text{CH}_4 * \delta^{34}\text{S}$) повышает надежность прогнозных построений.

В 1-й главе кратко, но с достаточной полнотой рассмотрены результаты предшествующих исследований золоторудных месторождений в углеродисто-терригенных толщах, опубликованные в обширной литературе. Отдельное внимание уделено геологическим признакам, по которым было бы возможно выявление участков, благоприятных для локализации крупных рудных объектов: возрасту рудовмещающих толщ, составу подстилающих и перерывающих формаций, характеру переслаивания, ритмичности, гранулометрии осадков, содержанию органического вещества и рассеянного золота. Показана неоднозначность и дискуссионность предложенных разными авторами генетических концепций. Автор справедливо заключает, что без определения источников золота решение этой проблемы невозможно.

Во 2-й главе автор обосновывает методологию исследований, которая сформулирована в первом защищаемом положении. Основная идея заключается в использовании изотопного состава серы как геохимического спутника золота в рудообразующих системах с целью выявления возможных источников поступления благородного металла в руды. Это положение опирается на известные данные обширных многолетних теоретических и экспериментальных работ, согласно которым основной формой переноса золота при формировании золоторудных месторождений рассматриваемого типа являются гидросульфидные комплексы. Обобщив результаты собственных исследований и информацию из отечественных и зарубежных источников, автор убедительно демонстрирует, что распределение изотопов серы в рудах и вмещающих породах крупных золоторудных месторождений действительно подтверждает указанные представления: поступление золота в руды всегда сопровождается формированием зональности в распределении $\delta^{34}\text{S}$. Именно изотопно-геохимическую зональность предлагается использовать в качестве объективного показателя привноса рудного вещества, а не абсолютные значения $\delta^{34}\text{S}$, конвергентность которых давно служит причиной пессимистичного отношения к изотопии серы.

В этой же главе с достаточной полнотой освещены все использованные в диссертации методы и методики. Отдельно обоснованы способы оценки давления при рудообразовании, т.к. полученные автором данные в целом отличаются от данных предшественников. Разъяснения, представленные в диссертации, объясняют преимущества использованных автором методических приемов, позволяющих с большей точностью оценить давление по флюидным включениям.

Третья глава, наиболее объемная, содержит результаты изотопно-геохимических и термобарогеохимических исследований эталонных золоторудных объектов четырех провинций. Материалы главы обосновывают второе, третье, частично – первое и четвертое положения диссертации.

Для каждого месторождения дается лаконичное, но достаточно полное геологическое описание, вполне пригодное для анализа литологической и геолого-структурной позиции мест отбора минералого-геохимических проб. Для многих образцов приведены высококачественные фотографии шлифов и аншлифов с указанием точек отбора вещества на анализ. В табличной и графической форме представлены результаты выполненных аналитических исследований. Особо следует отметить высококачественные уникальные микрофотографии, обосновывающие генетический тип флюидных включений и их взаимоотношения с рудной минерализацией.

На примере месторождений Байкало-Патомской провинции (Сухой Лог, Вернинское и Высочайшее) доказываемая модель формирования золото-сульфидных руд в период осадконакопления. Роль более поздних процессов сводится к локальному перераспределению рудного вещества под действием градиента давления, при этом регенерация ранних руд часто сопровождается значительным повышением концентраций золота.

Аналогичное по генезису оруденение выявлено автором в Центральной Колыме. Здесь, помимо изотопных данных, приведено убедительное геологическое доказательство конседиментационного характера золото-сульфидных скоплений – наличие обломков последних (рудокластов) в верхней части разреза атканской свиты. Предполагается, что приуроченность наиболее крупных золоторудных месторождений (Наталкинское и др.) именно к пермским отложениям связано с вовлечением ранних гидротермально-осадочных руд в плутоно-метаморфогенные рудообразующие системы.

Для золото-сульфидных объектов Енисейской провинции (Олимпиадинское, Удерейское) на основании исследования изотопно-геохимической зональности автором установлены признаки как гидротермально-осадочного оруденения, так и позднего, сформированного в период орогенного магматизма. На примере Южного рудопроявления продемонстрировано образование золотоносных кварцевых прожилков за счет локального переотложения ранних золото-сульфидно-вкрапленных руд. Изотопно-геохимические особенности Советского золото-кварцевого месторождения (аномальное обогащение руд тяжелым изотопом серы) интерпретируются автором как свидетельство вовлечения в рудно-магматическую систему полностью регенерированных гидротермально-осадочных руд.

Месторождения Средней Азии (Мурунтау, Кумтор, Кокпатас, Даугызтау) приводятся в качестве примера плутоногенно-гидротермального рудообразования, связанного с глубинным магматизмом при незначительной роли осадочно-терригенных пород как источника серы и золота. Для месторождения Мурунтау этот тезис обоснован с различных позиций, привлечены геологические, минералого-геохимические, геохронологические и изотопно-геохимические данные.

Принимая во внимание представительность исследованных автором разрезов (более 10 км подземных выработок и керна скважин до глубин 2-4 км), выводы автора представляются весьма убедительными.

На месторождении Кумтор кроме преобладающих метасоматических рудных тел установлено широкое развитие слабозолотоносных конседиментационных руд. При этом основной объем герцинских метасоматических руд сосредоточен в центральной части значительно более ранней (вендской) гидротермально-осадочной системы. Этот факт, выявленный в результате изотопно-геохимического картирования рудного поля, является наиболее убедительным доказательством последней части 3-го защищаемого положения.

В 4-й главе результаты всех выполненных автором термобарогеохимических исследований индивидуальных включений обобщены в виде графика в РТ-координатах. Отмечено, что во всем диапазоне температур и давлений флюиды находились в гетерогенном состоянии, что является наиболее общей особенностью флюидного режима рудообразования. На представительном фактическом материале, основная часть которого приведена в 3-й главе, показано, что в кварце крупных золоторудных месторождений содержится на 1-2 порядка больше углекислотно-метановых включений, чем в кварце рудопроявлений и безрудных жил. Источниками газов по изотопным данным являлись флюидно-магматические очаги преимущественно коровой природы.

В главе представлен ряд доказательств, указывающих на ведущую роль углекислотно-метанового флюида как среды, переносящей золото и серу в рудообразующей системе. Это данные по изотопному составу свинца, которые свидетельствуют о малой подвижности этого элемента при рудообразовании, а также отсутствие изменений в изотопном составе кислорода карбонатных пород при наложении на них золото-сульфидного оруденения. Получены также прямые свидетельства отложения сульфидов продуктивной ассоциации из плотного газообразного флюида. Представленные материалы в достаточной степени обосновывают 4-е защищаемое положение.

Последняя глава посвящена практическому использованию выявленных закономерностей как критериев прогнозирования и поисков золоторудных месторождений. Она содержит формулировку критериев и результаты их апробации при геологоразведочных работах. Газогеохимическая съемка выполнена автором на Центрально-Ичугеумской площади, изотопно-геохимическая – в Бодайбинском районе к югу от месторождения Сухой Лог. В обоих случаях получены положительные результаты, которые дают основание для рекомендаций по включению разработанных критериев и методов их выявления в прогнозно-поисковый комплекс.

Автореферат отражает содержание диссертации.

Оценивая работу в целом, следует отметить, что несомненным ее достоинством является комплексный подход к решению проблемы. Диссертация представляет собой достаточно редкое сочетание геологических, минералогических, термобарогеохимических и изотопных исследований, выполненных на очень высоком профессиональном уровне.

Обычно сбор фактического материала для анализов осуществляют геологи, работающие в поле, а работают с пробами и во многом интерпретируют результаты сотрудники лабораторий. В данном случае это достаточно ценное исключение, которое во многом определило успех в достижении поставленной цели: практически весь цикл от целенаправленного отбора проб до проведения анализов и их обсуждения был выполнен одним исследователем, что позволило сделать убедительные и однозначные выводы. Личный вклад диссертанта трудно переоценить.

К диссертационной работе есть следующие замечания.

1. Автором приводятся убедительные свидетельства неравномерного распределения газов в сингенетических сообществах флюидных включений (стр. 33), но возможные причины данного явления не рассмотрены.

2. Изотопно-геохимическая зональность является одним из стержневых понятий исследования, но суть его автором раскрыта недостаточно полно. Например, рис. 22 «Изотопно-геохимическая зональность в разрезе скв. 1023» фактически отражает изменчивость изотопного состава серы, кислорода и углерода с глубиной.

3. Не вполне понятно, на чем основан вывод о «поступлении серы из эндогенного источника в доскладчатый период на этапе осадконакопления и диагенеза» (стр. 74).

4. Основу рудных тел месторождений составляет кварц. Однако, в диссертации не освещена роль кремний-содержащих флюидов в процессах переноса и концентрирования рудного вещества.

Указанные замечания не снижают общую высокую оценку работы. Она посвящена весьма *актуальной* проблеме научного обоснования обстановок, благоприятных для формирования крупных золоторудных месторождений. От ее решения во многом зависит результативность прогнозно-поисковых работ, ведущихся на обширных территориях распространения потенциально золотоносных черносланцевых комплексов в пределах Сибири и Дальнего Востока России.

Достоверность материалов диссертации и результатов исследований обеспечивается весьма большим объемом экспериментальных данных, полученных независимыми методами и приведенных автором в единую систему с минимумом внутренних противоречий.

Основные положения диссертации опубликованы в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК (20 статей), двух монографиях, апробированы на многочисленных научных совещаниях и симпозиумах.

Научная новизна заключается в том, что впервые на единой методологической основе получены доказательства существования двух типов золоторудных месторождений, формирование которых могло независимо проходить либо синхронно с рудовмещающими толщами, либо значительно позже в парагенетической связи с орогенным магматизмом. Обоснована принадлежность к указанным геолого-генетическим типам конкретных крупных месторождений, происхождение которых до настоящего времени активно дискутируется в литературе. По ряду золоторудных объектов (Мурунтау, Кумтор, Бакырчик, Вернинское, ряд месторождений ЦКР) автором впервые определены РТХ-условия рудообразования, по другим месторождениям существенно уточнены данные о давлении. Получены и систематизированы в целом уникальные данные по изотопному составу благородных газов в рудообразующих флюидах, выявлены основные закономерности распределения изотопов свинца в рудах и вмещающих породах месторождений Енисейского кряжа и Средней Азии. Впервые показано определяющее значение серноизотопной зональности как показателя привноса-выноса рудного вещества и экспериментального доказательства преимущественного транспорта золота в составе гидросульфидных комплексов. Всесторонне обоснована новая модель массопереноса в гетерогенной флюидной среде, которая в целом имеет фундаментальное значение для развития теории гидротермального рудообразования.

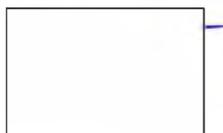
Практическое значение выполненных исследований определяется возможностью использования разработанных автором критериев уже на ранних стадиях геологоразведочных работ с целью прогнозирования потенциальных рудных полей, выделения перспективных поисковых участков и их ранжирования по очередности постановки ГРП на основании комплекса количественных показателей. Следует также отметить что разработанная автором методика анализа состава флюидных включений уже нашла широкое применение в ряде научных организаций страны, полученные результаты вошли в значительное число научных публикаций.

Основные достижения диссертации. Совокупность выполненных исследований и полученные выводы, обобщенные в защищаемых положениях диссертации, можно квалифицировать как крупное научное достижение в области теории генезиса золоторудных месторождений в углеродисто-терригенных комплексах. Диссертация в целом решает важную проблему определения роли конседиментационных и плутоногенно-гидротермальных процессов в формировании крупных скоплений рудного вещества, которая имеет первостепенное значение при прогнозно-поисковых работах в обширных ареалах распространения потенциально золотоносных черносланцевых толщ. Материалы диссертации рекомендуется издать в виде монографии.

Таким образом, представленная работа отвечает всем требованиям, предъявляемым ВАК к докторским диссертациям, а ее автор Кряжев Сергей Гаврилович заслуживает присуждения ученой степени доктора геолого-минералогических наук по специальности 25.00.11 — геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения.

Ведущий научный сотрудник Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук (ИГЕМ РАН)

доктор геолого-минералогических наук,
профессор



Гамянин Геннадий Николаевич

25.08.2017 г.

119017 Москва, Старомонетный пер., 35. тел. (499) 230-82-69

