

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию

Шапаренко Елены Олеговны

на тему: **Физико-химические условия формирования золоторудных месторождений Благодатное и Доброе (Енисейский край)** по специальности 1.6.10 – геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения, представленной на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук.

Диссертационная работа Шапаренко Е.О. представлена в виде рукописи на 205 страницах, состоит из 5 глав и содержит 30 иллюстраций, 138 таблиц, 134 литературных источника.

Актуальность темы не вызывает сомнений, поскольку вопросы генезиса золоторудных месторождений находятся в фокусе внимания большого числа исследователей и широко обсуждаются в научной литературе. Значительное количество публикаций посвящено условиям формирования золоторудных объектов Енисейского края, в которых в разное время рассматривались различные модели формирования золотого оруденения данного региона - магматогенно-гидротермальная, метаморфогенно-гидротермальная, осадочно-гидротермальная, метеорная и др. В той или иной степени на многих объектах изучались физико-химические условия формирования рудной минерализации, в том числе особенности флюидного режима. Тем не менее многие вопросы условий формирования золоторудных месторождений остаются открытыми, как и вопросы выявления надежных минералого-геохимических критериев - индикаторов крупных и уникальных объектов (рудно-магматических систем). Выбор объектов исследования – крупного месторождения Благодатное и мелкого месторождения Доброе, весьма удачен поскольку позволял решать задачу выявления особенностей условий формирования рудных зон сформированных различными по масштабам процессами.

Достоверность и новизна исследований определяется тем, что работа базируется на представительном фактическом материале.

Поставленные в работе задачи решались с привлечением современных методов исследования, некоторые из которых (рамановский и газово-хромато-масс-спектрометрические анализы флюида) только начинают внедряться в практику геологических исследований. Весь объем аналитических работ выполнен в авторитетных исследовательских центрах.

Степень обоснованности защищаемых положений.

Первое защищаемое положение базируется на результатах микротермических исследований. Проведенные автором исследования показали, что формирование кварцево-жильных зон месторождений Благодатное и Доброе происходило в схожих условиях. Температурные диапазоны образования месторождений Благодатное и Доброе практически совпадают. Интервалы температур гомогенизации составляют 180 – 350 и 180 – 360 °С, соответственно, что отражает среднетемпературный характер минералообразующей среды. Солевой фон водной фазы флюидов обоих месторождений определяют хлориды натрия и магния. В формировании месторождения Доброе участвовали флюиды с более низкой соленостью (1.5 – 15 мас.%, NaCl.-экв.), чем флюиды месторождения Благодатное (6 – 16.5 мас.%, NaCl.-экв.). На исследуемых объектах наблюдаются вариации флюидного давления: 0.2 – 2.6 кбар на Благодатном и 0.2 – 1.3 кбар на месторождении Доброе.

Каких то особенностей в температурах образования минерализованных зон, давлении и составе флюидов, отличающих данные месторождения от золоторудных месторождений Енисейского кряжа не выявлено.

Проведенный анализ и выявленные параметры формирования кварца из рудных зон изученных месторождений послужили основанием для формулировки первого защищаемого положения: *«Кварцево-жильные зоны золоторудных месторождений Благодатное и Доброе сформированы гидротермальными растворами в интервале температур 180 – 360 °С, давлений – 0.2 – 2.6 кбар и солености от 1.5 до 16.5 мас. % (NaCl-экв.), характерных для золотого оруденения Енисейского кряжа».*

В представленной формулировке положение доказано достаточным фактическим материалом.

Обоснованием **второго защищаемого положения** послужили определения составов газов минералообразующих флюидов, принимающих участие в формировании золоторудных месторождений. Состав газовой фазы в индивидуальных флюидных включениях в кварце определен методом рамановской спектроскопии. Для определения валовый состав летучих, извлеченных из флюидных включений в кварце, сульфидах и самородном золоте, применен оригинальный метод газовой хромато-масс-спектрометрии.

Методом рамановской спектроскопии в индивидуальных флюидных включениях в кварце выявлено наличие трех основных компонентов в газовой составляющей флюида: CO₂, CH₄ и N₂ в различных соотношениях. По соотношению данных газов сделан вывод о двух типах флюида, сформировавших золотое оруденение месторождений Благодатное и Доброе. В первом водно-углекислотном типе преобладает углекислота, а соотношение CO₂/CH₄ варьирует от 4.7 до 145.3 (Благодатное) и от 1.7 до 329.3 (Доброе). Во втором типе флюида – углекислотно-углеводородном отмечено преобладание метана, а отноше-

ния CO_2/CH_4 составляют 0.01-0.2 (Благодатное) и 0.04-30.5 (Доброе). Показано, что продуктивные стадии минералообразования и отложения золота на исследуемых объектах связаны с более поздними восстановленными углекислотно-углеводородными порциями флюида.

По данным газовой-хромато-масс-спектрометрические анализы, во флюиде обнаружены вода, углекислота, широкий спектр бескислородных и кислородсодержащих углеводородов, азот-, серо- и галогенсодержащих соединений. В составе летучих из флюидных включений в кварце, сульфидах и кальците месторождения Благодатное вода и углекислота являются основными компонентами, при этом установлено преобладание воды. Тогда как в составе летучих из флюидных включений в кварце и сульфидах месторождения Доброе показано преобладание CO_2 . Установлены количественные соотношения всех газов.

По данным газовой-хромато-масс-спектрометрического анализа также выполнена реконструкция окислительно-восстановительных условий минералообразования с использованием отношений $\text{CO}_2/(\text{CO}_2+\text{H}_2\text{O})$, $\text{H}/(\text{H}+\text{O})$ и алканы/алкены. Показано, что в процессе формирования кварцево-жильных зон исследуемых объектов изменялись окислительно-восстановительные свойства флюидов. При этом, для продуктивных стадий отмечено присутствие более восстановленных газов.

Оригинальные данные получены по составу газов содержащихся в самородном золоте месторождения Благодатное. В газовой составляющей флюидных включений в нем преобладают углеводороды, S-, N- и галогенсодержащие соединения, доля которых составляет 85.5 отн. %. Вода и углекислота присутствуют во флюиде в подчиненном количестве, 7.3 и 7.4 %, соответственно. Эти данные указывают на то, что флюиды, действующие на рудном этапе, имели сложный водно-углекислотно-углеводородный состав. Отношение $\text{H}/(\text{O}+\text{H})$, которое является индикатором окислительно-восстановительных параметров флюида, составляет 0.84. На восстановленный характер флюидов в золоте также указывает отношение алканы/алкены.

На основании проведенных исследований и большого фактического материала надежно обосновано второе защищаемое положение: *Минералообразующие флюиды содержали H_2O , CO_2 , углеводороды и кислородсодержащие органические соединения, S-, N- и галогенсодержащие соединения. Два типа флюида принимали участие в формировании кварцево-жильных зон месторождений: водно-углекислотный и углекислотно-углеводородный. Золотоносные ассоциации были сформированы более восстановленными углекислотно-углеводородными флюидами.*

Материал обосновывающий данное положение в представленной диссертации резко выделяется по объему, а результаты и выводы могли бы быть предметом отдельной самостоятельной научной работы. В частности, полученные данные по составу газов в самородном золоте имеют безусловный самостоятельный научный и практический интерес. Дальнейшее развитие методики и расширение базы аналитических данных по газам в самородном золоте, может дать импульс к разработке новых минералого-геохимических критериев для поисков и оценки золоторудных месторождений, выявления коренных источников для россыпных месторождений и прочих генетических построений.

Замечания (вопросы) к данной части работы сводятся главным образом к методике проведения газовой хромато-масс-спектрометрии и отчасти к выводам.

1. Какова воспроизводимость данных в нескольких сериях анализа одного и того же минерального вещества?
2. Есть ли какие-то метрологические характеристики аппаратуры для понимания с какими погрешностями определялись столь разнообразные компоненты газов?
3. Каким образом контролировалось отсутствие посторонних минеральных фаз в образцах золота отобранного для анализа?
4. Для характеристики окислительно-восстановительной обстановки во ФВ соискатель использует соотношение алкановых (парафиновых) УВ и алкеновых (непредельных УВ). Достоверность данных соотношений достаточно спорна. ФВ являются замкнутыми изолированными системами и образовались в достаточно жестких термобарических условиях, в которых возможны различные физико-химические процессы преобразования УВ, так:
 - при дегидрировании алканов, содержащих от 2 до 4 атомов углерода в молекуле получают алкены;
 - достаточно изучены процессы крекинга алканов – разложение соединений с длинной углеводородной цепью на алканы и алкены. Различают термический крекинг – сильное нагревание без доступа воздуха и каталитический крекинг – происходит при более низкой температуре в присутствии катализаторов (золото);
 - при температуре выше 140°C и наличии катализаторов протекают процессы дегидратации спиртов (присутствуют в ФВ) – отщепление молекул воды приводит к образованию алкенов. Все перечисленные физико-химические процессы могли происходить в изученных флюидных включениях.

В обоснование **третьего защищаемого положения**, касающегося источника минералообразующего флюида положены данные по изотопии гелия серы и углерода. В данном разделе приведены собственные материалы автора и обобщены сведения из литературных источников. В автореферате, к сожалению, не для всех данных приводятся единицы измерения содержания различных изотопов.

Для Благодатного месторождения по содержанию ^3He и ^4He по флюидным включениям в кварце определен коровый источник рудоносных флюидов.

Установлено, что изотопный состав сульфидной серы арсенопирита, основного концентратора золота на Благодатном месторождении, изменяется в узком диапазоне вариаций от 6.3 до 12.0 ‰. В этом же интервале находится и большая часть значений $\delta^{34}\text{S}$ пирита и пирротина.

Показано, что характер распределения и значения $\delta^{34}\text{S}$ в сульфидах месторождений Благодатное и Доброе схожи и эти значения указывают на коровую природу серы.

Значение $\delta^{13}\text{C}$ во флюидных включениях месторождений Благодатное и Доброе варьирует в широких пределах (от -20.9 до -2.8 ‰), что по мнению автора указывает на полистадийный механизм формирования месторождений и присутствие нескольких источников вещества при формировании месторождения.

Результаты изотопно-геохимических ($\delta^{34}\text{S}$, $\delta^{13}\text{C}$, $^3\text{He}/^4\text{He}$) и термобарогеохимических исследований позволили автору сделать вывод о сложном и многостадийном характере изучаемых месторождений, а флюиды, которые сформировали месторождения Благодатное и Доброе, имеют преимущественно коровую природу. Выводы касающиеся данного раздела сформулированы автором в третьем защищаемом положении:

Изотопный состав гелия ($^3\text{He}/^4\text{He}=0.14\pm0.3$), серы сульфидов ($\delta^{34}\text{S}=1.9-20.1$) и углекислоты во флюидах ($\delta^{13}\text{C}= -2.8\ldots-20.9$), сформировавших месторождения Благодатное и Доброе, указывают на коровый источник минералообразующих флюидов.

В представленной формулировке положение надежно обосновано приведенным фактическим материалом.

По диссертации, помимо вопросов поставленных при обсуждении второго защищаемого положения, имеются следующие замечания:

1. Заявленная тема «Физико-химические условия формирования золоторудных месторождений...», на взгляд оппонента, шире, чем вопросы затронутые в работе. Без внимания остались процессы метаморфизма, предрудного метасоматоза, эволюции химизма растворов при формировании парагенезисов различных минеральных стадий. Более точным названием работы, отражающим ее содержание, было бы «Флюидный режим формирования кварцево-жильных золо-

тоносных зон месторождений Благодатное и Доброе». Именно данной тематике посвящены многочисленные публикации автора.

2. В работе не обозначено в чем автор видит практическую значимость проведенных исследований? Поставленная во введении одна из задач, которая имела бы важное практическое значение «на основе полученных данных, установить особенности условий формирования кварцево-жильных зон месторождений Благодатное и Доброе с различными запасами золота» серьезного решения и обсуждения в работе не получила.

В целом, несмотря на высказанные замечания, следует отметить высокий уровень работы. Полученные результаты значимы для геологической науки, которые дополняют наши знания об условиях формирования золоторудных месторождений Енисейского края. Данные по составу газов в самородном золоте имеют не только научный, но и практический интерес. Дальнейшее развитие данной методики позволит расширить спектр типоморфных особенностей золота и соответственно способствовать выработке новых минералого-геохимических критериев для поисков и оценки золоторудных месторождений, а также использовать эти данные выявления коренных источников для россыпных месторождений.

Диссертация представляет собой законченное самостоятельное исследование. Цель работы - установить физико-химические условия и источник флюидов, принимавших участие в формировании изучаемых кварц-золоторудных объектов Енисейского края, достигнута. Текст диссертации и автореферат хорошо оформлены, насыщены иллюстрациями высокого качества. Основные положения диссертационной работы опубликованы в печати, в том числе в периодических изданиях входящих в перечень ВАК.

Таким образом, диссертация Шапаренко Елены Олеговны является научной-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи выявления физико-химических условий формирования золотоносных кварцево-жильных зон месторождений Благодатное и Доброе, что соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор заслуживает присуждения искомой ученой степени.

Официальный оппонент,

Д. г.-м. н., профессор, заведующий кафедрой Геологии месторождений
и методики разведки ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный
университет» , 660025, Красноярск,
пр. им газеты Красноярский рабочий , 95

Тел. +7 9048905921

e-mail: vmakarov@sfu-kras.ru

/  / В.А. Макаров
(подпись) (расшифровка подписи)

Дата 3.10.2022

