

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Рябухи Марии Алексеевны «Флюидный режим и возраст формирования орогенных месторождений золота Енисейского Кряжа (на примере Богунайского, Герфедского и Панимбинского золоторудных месторождений)», представленную на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук, по специальности 1.6.10 – геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения

Диссертационная работа М. А. Рябухи посвящена исследованиям физико-химических условий формирования и определению возраста золото-кварцевых месторождений Енисейского кряжа, отнесенных к типу орогенных месторождений золота. В пределах рассматриваемой территории известно значительное количество промышленных золоторудных месторождений, что обусловило лидерство Красноярского края по добыче золота в России в настоящее время.

Актуальность рассматриваемой диссертационной работы обусловлена тем, что вопросы генезиса орогенных месторождений золота являются предметом дискуссий. В особенности это касается происхождения рудоносных флюидов и источников рудообразующих компонентов. В литературе преобладает точка зрения на метаморфогенно-гидротермальное происхождение орогенных месторождений, хотя многие из них могут быть сформированы и за счет магматогенных источников. Возраст орогенных месторождений золота во многих случаях остается предметом дискуссий, что обусловлено как сложностью датирования непосредственно рудного процесса, так и тем, что золотое оруденение этого типа зачастую эпигенетично по отношению к вмещающим литокомплексам. Следовательно, датирование руд и решение генетических вопросов имеет принципиальное значение для дальнейших прогнозно-металлогенических исследований золоторудных узлов и провинций.

Диссертация М. А. Рябухи состоит из введения, шести глав и заключения, содержит 153 страницы текста, 34 рисунка и 42 таблицы. Список литературы состоит из 269 наименований. Кроме того, в работе приведены 25 приложений с результатами газовой хромато-масс-спектрометрии летучих компонентов, выделенных из жильных и рудных минералов.

Во введении диссертант обосновывает актуальность исследований, показывает научную новизну и практическую значимость своей работы. Объектами исследования выбраны три золоторудных месторождения – Богунайское, Герфедское и Панимбинское.

Целью исследований является определение физико-химических условий и возраста формирования Богунайского, Герфедского и Панимбинского золоторудных месторождений. В соответствии с поставленной целью сформулировано пять задач.

Научная новизна исследования заключается в том, что автором впервые определены физико-химические условия формирования рассматриваемых месторождений и изучен состав рудообразующих флюидов. Также получены новые данные о возрасте оруденения и изотопно-геохимических особенностях руд.

Практическая значимость исследований определена автором в возможности использования результатов для разработки поисково-оценочных критериев и понимания условий формирования орогенных месторождений золота Енисейского Кряжа.

Замечания к разделу:

1. К сожалению, в тексте диссертации отсутствует обоснование выбора трех изученных месторождений. Почему именно эти объекты? Учитывая, что в пределах Енисейского Кряжа известно более 300 месторождений и рудопроявлений золота.

2. Не совсем понятно, каким образом результаты термобарогеохимических исследований можно использовать в качестве поисково-оценочных критериев. Необходимо дать пояснение.

В первой главе приведен краткий обзор работ предшественников по исследованиям орогенных месторождений золота. Однако не приводятся никаких сведений о ранее проведенных исследованиях месторождений Енисейского Кряжа.

Вторая глава – «Методы исследования». В ней подробно описаны примененные методики аналитических, термобарогеохимических и др. исследований. Замечаний к этой главе нет.

Третья глава посвящена геолого-минералогической характеристике изученных месторождений. Здесь приведены краткие сведения о геологическом строении Богунайского, Герфедского и Панимбинского золоторудных месторождений, включающие описание стратиграфии, магматических образований, вещественного состава руд. Описания очень сжатые и к главе имеется ряд замечаний.

1. Отсутствуют крупномасштабные геологические карты Герфедского и Панимбинского месторождений и, соответственно, места отбора исследуемых образцов.

2. Сами изученные образцы также практически не охарактеризованы, за исключением того, что указано, что это образцы кварца.

3. В целом геология месторождений описана в общих чертах, без детального описания строения рудных тел.

4. Минералогия рудных минералов описана по данным предшественников, причем приведены сведения только о главных рудных минералах. В то же время изучение минеральных ассоциаций руд также несет информацию о физико-химических условиях их

формирования, которую можно было бы сопоставить с результатами термобарогеохимических исследований.

5. Никак не выделены генерации кварца, в которых изучались флюидные включения (ФВ), только выделены такие разновидности как «серый» и «белый» кварц. В то же время этот вопрос достаточно важен, поскольку рудные минералы и золото могут быть приурочены к каким-то конкретным генерациям кварца.

В четвертой главе приведено описание флюидных включений по данным оптических исследований. В рудах исследуемых месторождений обнаружено большое разнообразие типов флюидных включений, различающихся по фазовому составу. Однако при описании не указано какие из них первичные, вторичные и первично-вторичные. Возникает вопрос, чем обусловлено такое разнообразие типов включений? Неоднородностью флюидов, их эволюцией или другими факторами?

Фактический материал, включающий результаты термобарогеохимических, аналитических, изотопных и геохронологических исследований руд изученных месторождений приведен в пятой главе. Здесь показаны значения P-T параметров минералообразования, включающие температуры гомогенизации ФВ, оценки значений плотности флюидов и флюидного давления. На основе криометрических и аналитических исследований определены параметры флюидов – солевой состав, общая соленость, состав, содержания РЗЭ, состав газовой фазы. По данным газовой хромато-масс-спектрометрии установлено наличие многочисленных углеводородных соединений. В этой же главе приведены сведения об изотопном составе серы сульфидов, углерода и гелия из ФВ, а также результаты  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  датирования серицита из руд трех изученных месторождений.

Замечания к главе 5:

1. Температурные условия формирования руд определены по данным измерения значений температур гомогенизации ФВ ( $T_{\text{гом}}$ ). Однако известно, что  $T_{\text{гом}}$  не соответствуют истинным значениям температур кристаллизации минерала-хозяина. Такое возможно только в случае присутствия сингенетичных включений гетерогенного захвата. Если такие включения обнаружены в исследуемых образцах, то на этом нужно как-то акцентировать внимание.

2. Было бы более достоверным сравнить определенные термобарогеохимическими методами P-T параметры с данными по минеральной или изотопной термобарометрии.

3. Графики распределения РЗЭ, нормированные по хондриту, не должны иметь вид «пилы» (см. рис. 14, 16). Такой график свидетельствует о погрешности анализа, кроме того, обсуждаемые европиевые аномалии теряются на фоне «пилообразной» формы кривой распределения.

4. Значения изотопного состава сульфидной серы на Богунайском месторождении (+0.8 ... +3.5‰) интерпретируются как значения коровой серы гранитов (стр. 100), однако в следующем же абзаце указано, что значения серы мантийного происхождения – 0...+3‰. Следовательно, сера в рудах Богунайского месторождения – мантийная? Необходимо пояснение. Кроме того, зная температуру минералообразования можно рассчитать изотопный состав серы в H<sub>2</sub>S рудообразующего флюида, но этого не сделано. Каковы значения изотопного состава серы во вмещающих углеродистых сланцах?

5. В следующем разделе приведены данные по изотопному составу углерода из ФВ и карбонатов, но отсутствуют данные по составу углерода из вмещающих сланцев, возможно часть его привносилась и в рудообразующую систему.

6. В работе не изучался изотопный состав кислорода рудного кварца, хотя такие данные также несут информацию об источниках рудообразующих флюидов.

7. На рис. 29 приведены спектры <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar возрастов серицита, там же приведен спектр биотита из гнейса (рис. 29, г) однако в тексте эта датировка (721±5.9 млн лет) никак не обсуждается. В геологическом описании месторождения возраст гнейсов указан как раннепротерозойский.

8. Мелкое замечание: на стр. 106 указано, что возраст регионального метаморфизма датировался по циркону U-Pb методом, но температура закрытия изотопной системы циркона – около 800 градусов, следовательно, региональный метаморфизм не мог повлиять на изотопные отношения (если это не гранулитовая или эклогитовая фации).

В шестой главе обсуждаются данные, представленные в главе 5. Глава небольшая по объему, возможно ее можно было объединить с предыдущей, а обсуждение привести сразу же за соответствующими результатами. Автором сделан вывод о единообразии источников рудообразующих флюидов, формировавших все три месторождения, и о ведущей роли углеводородов в формировании золотого оруденения. Интерпретация данных изотопного анализа исследуемых руд позволил автору сделать вывод о коровом источнике минералообразующих флюидов, за счет метаморфической дегидратации глубинных пород. Возраста формирования месторождений связываются с этапами тектономагматических событий в интервалах 850 – 600 и 466 – 461 млн лет.

Замечания к главе:

1. Автором предполагается единый источник рудообразующих флюидов для всех трех изученных месторождений, однако измеренные возраста сильно различаются: Богунайское – 466 – 461 млн лет, Панимбинское – 817 – 800 млн лет, Герфедское – 722 – 665 млн лет. Мог ли существовать единый источник на протяжении такого большого промежутка времени (ок. 350 млн лет), учитывая высокую тектоническую активность рассматриваемого

4. Значения изотопного состава сульфидной серы на Богунайском месторождении (+0.8 ... +3.5‰) интерпретируются как значения коровой серы гранитов (стр. 100), однако в следующем же абзаце указано, что значения серы мантийного происхождения – 0...+3‰. Следовательно, сера в рудах Богунайского месторождения – мантийная? Необходимо пояснение. Кроме того, зная температуру минералообразования можно рассчитать изотопный состав серы в H<sub>2</sub>S рудообразующего флюида, но этого не сделано. Каковы значения изотопного состава серы во вмещающих углеродистых сланцах?

5. В следующем разделе приведены данные по изотопному составу углерода из ФВ и карбонатов, но отсутствуют данные по составу углерода из вмещающих сланцев, возможно часть его привносилась и в рудообразующую систему.

6. В работе не изучался изотопный состав кислорода рудного кварца, хотя такие данные также несут информацию об источниках рудообразующих флюидов.

7. На рис. 29 приведены спектры <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar возрастов серицита, там же приведен спектр биотита из гнейса (рис. 29, г) однако в тексте эта датировка (721±5.9 млн лет) никак не обсуждается. В геологическом описании месторождения возраст гнейсов указан как раннепротерозойский.

8. Мелкое замечание: на стр. 106 указано, что возраст регионального метаморфизма датировался по циркону U-Pb методом, но температура закрытия изотопной системы циркона – около 800 градусов, следовательно, региональный метаморфизм не мог повлиять на изотопные отношения (если это не гранулитовая или эклогитовая фации).

В шестой главе обсуждаются данные, представленные в главе 5. Глава небольшая по объему, возможно ее можно было объединить с предыдущей, а обсуждение привести сразу же за соответствующими результатами. Автором сделан вывод о единообразии источников рудообразующих флюидов, формировавших все три месторождения, и о ведущей роли углеводородов в формировании золотого оруденения. Интерпретация данных изотопного анализа исследуемых руд позволил автору сделать вывод о коровом источнике минералообразующих флюидов, за счет метаморфической дегидратации глубинных пород. Возраста формирования месторождений связываются с этапами тектономагматических событий в интервалах 850 – 600 и 466 – 461 млн лет.

Замечания к главе:

1. Автором предполагается единый источник рудообразующих флюидов для всех трех изученных месторождений, однако измеренные возраста сильно различаются: Богунайское – 466 – 461 млн лет, Панимбинское – 817 – 800 млн лет, Герфедское – 722 – 665 млн лет. Мог ли существовать единый источник на протяжении такого большого промежутка времени (ок. 350 млн лет), учитывая высокую тектоническую активность рассматриваемого

региона? Возраст Богунайского месторождения согласно рис. 34 значительно отличается от возрастного интервала формирования месторождений Енисейского Кряжа.

2. Автором говорится о значительной роли углеводородов как агентов миграции золота, а рудоотложение происходило в благоприятной обстановке – углеродисто-терригенных сланцах. Но можно предложить альтернативную версию, что наоборот наличие углеродистых отложений во вмещающей среде и послужило причиной появления УВ-соединений в составе флюидных включений.

На основе проведенных исследований автором сформулировано три защищаемых положения:

**Первое защищаемое положение.** Формирование Богунайского месторождения происходило при температурах 210-350°C и давлении от 0.1 до 1.6 кбар, Герфедского – 200-400°C и давлении 0.1-2.5 кбар, Панимбинского 180-410°C и давлении 0.2-3.3 кбар из гомогенных и гетерогенных гидротермальных флюидов, состоящих из H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, алифатических, циклических и кислородсодержащих углеводородов, а также азот-, серо- и галогенсодержащих соединений.

**Второе защищаемое положение.** Изотопный состав гелия (<sup>3</sup>He, <sup>4</sup>He) из флюидных включений и серы сульфидов ( $\delta^{34}\text{S}$ ) свидетельствуют о коровом источнике гидротермальных флюидов, сформировавших Богунайское, Герфедское и Панимбинское золоторудные месторождения Енисейского кряжа.

**Третье защищаемое положение.** Формирование Богунайского золоторудного месторождения происходило в интервале 466.0±3.2–461.6±3.1 млн. лет и существенно оторвано по времени от метаморфизма вмещающих пород канской серии (~1.9 – 1.84 млрд. лет (Ножкин и др., 2010)). Возраст Панимбинского месторождения составляет 817.2±5.3 – 800.4±5.1 млн. лет и коррелируется с развитием Панимбинско-Шалакитской надвиговой системы Енисейского кряжа (826-798 млн. лет (Тишин и др., 2005; Сазонов и др., 2010)).

Обоснование всех трех защищаемых положений приведено в главах 5 и 6. Несмотря на некоторые дискуссионные моменты, указанные в замечаниях к соответствующим главам, защищаемые положения вполне обоснованы имеющимся фактическим материалом. К представленной работе имеется достаточно много замечаний, но при этом ряд замечаний касается дискуссионных моментов, а часть – приведена в качестве возможных направлений дальнейших исследований.

Достоверность полученных автором результатов обусловлена применением современных методов аналитических, термобарогеохимических, изотопных исследований. Основные положения работы опубликованы в десяти публикациях в рецензируемых журналах, рекомендуемых ВАК России и цитируемых в ведущих базах данных научных

публикаций (РИНЦ, Web of Science, Scopus), 16 публикациях в материалах научных мероприятий. Результаты работ докладывались на международных и российских научных конференциях. Диссертация Рябухи Марии Алексеевны представляет собой законченное научное исследование, посвященное изучению флюидного режима и возраста формирования орогенных месторождений золота Енисейского Кряжа. Диссертация написана хорошим научным языком, достаточно хорошо иллюстрирована. Автореферат соответствует тексту диссертации.

Таким образом, рассматриваемая диссертационная работа отвечает критериям, указанным в пунктах 9 – 14 «Положения о присуждении ученых степеней» от 24.09.2013 г. №842.

Автор диссертационной работы, Мария Алексеевна Рябуха, заслуживает присвоения ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.10 – геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения.

Заместитель директора  
по научной работе ГИН СО РАН,  
заведующий лабораторией  
металлогении и рудообразования,  
доктор геолого-минералогических наук

Дамдинов Булат Батуевич

**Сведения об официальном оппоненте:**

**ФИО:** Дамдинов Булат Батуевич

**Почтовый адрес:** 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6а

**Телефон:** +7-996-936-3350;

**E-mail:** [damdinov@mail.ru](mailto:damdinov@mail.ru)

**Наименование организации:** Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Геологический институт им. Н. Л. Добрецова Сибирского отделения Российской академии наук (ГИН СО РАН)

**Должность:** заместитель директора по научной работе, заведующий лабораторией металлогении и рудообразования, специальность 1.6.10 – геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения

Я, Дамдинов Булат Батуевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

\_\_\_\_\_  
04.09.2023 г. Дамдинов Б. Б.

Подпись  удостоверяю.

Главный специалист по кадрам ГИН СО РАН



« 04 » 09 20 23 г.