

УТВЕРЖДАЮ
Директор ИГХ СО РАН
доктор геол.-мин. наук,
А.Б. Перепелов

29 сентября 2022 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Кардашевской Вероники Николаевны «Золотое оруденение Алгоминского рудного узла Южно-Алдаской металлогенической зоны: минералогия и условия образования руд», представленную на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.10 – геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения.

Диссертационная работа Кардашевской Вероники Николаевны «Золотое оруденение Алгоминского рудного узла Южно-Алдаской металлогенической зоны: минералогия и условия образования руд» объемом 132 страницы состоит из введения, пяти глав, заключения и 147 библиографических ссылок. В целом, работа производит хорошее впечатление широтой подхода, необычной для кандидатских диссертаций, использованием самых современных, информативных методов исследования.

Актуальность темы и цели исследования.

Алданская золотоносная провинция Якутии по количеству золоторудных месторождений является одной из самых уникальных. При этом многие из известных на этой территории рудных объектов до сих пор остаются малоизученными. К ним относятся месторождение Бодороно и рудопроявление Дывок (Алгоминский рудный узел, Южно-Алданская металлогеническая зона). Актуальность проведенных на этих объектах исследований не вызывает сомнений. Впервые детально изучены текстурно-структурные особенности и минеральный состав руд, установлена последовательность минералообразования, дана оценка физико-химическим параметрам (температура, состав) рудообразующего флюида, определены источники рудного вещества и возраст оруденения (изотопно-геохимические и геохронологические исследования). Поставленные автором диссертации основные цели – реконструкция условий образования золоторудной минерализации Алгоминского узла, понимание закономерностей ее распространения и критерии поисков подобных объектов на площади Южно-Алданской металлогенической зоны – были успешно достигнуты.

Научная новизна и практическая значимость.

Впервые для Алгоминского рудного узла выделена золото-теллуридная минерализация, дана оценка физико-химическим параметрам рудообразования, установлены мантийно-коровый и мантийный источники рудного вещества, определены возраст дорудных метасоматитов (150 млн лет) и золотого оруденения (125 млн лет), соотносящийся с раннемеловым этапом тектоно-магматической активизации Алданского щита.

Фактический материал и методы исследований.

Работа основана на обширном по объему фактическом материале (образцы пород и руд), любезно предоставленном руководителем диссертационной работы Г.С. Анисимовой и сотрудником АО «Якутскгеология» Е.П. Соколовым. Для решения поставленных задач соискателем помимо традиционных были использованы современные методы исследования, такие как СЭМ-ЭДС, термометрия и рамановская спектроскопия, изотопный анализ Pb и S, Re/Os и $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ датирование возраста пород и руд. Все это способствовало получению достоверных, обоснованных и принципиально новых данных.

Личный вклад автора заключается в сборе и анализе фондовой и опубликованной литературы по геологическому строению изучаемой и сопряженной территории, проведении

минералогических исследований руд, измерения РТХ-параметров флюидных включений, интерпретации данных минералогических, изотопно-геохимических и изотопно-геохронологических исследований, реконструкции условий формирования рудного узла.

Основные результаты работы докладывались на XVII Всероссийской конференции по термобарогеохимии (г. Улан-Удэ, 2016), X Российской молодежной научно-практической школы «Новое в познании процессов рудообразования» (г. Москва, 2016, 2021), Юбилейном съезде Российского минералогического общества «200 лет РМО» (г. Санкт-Петербург, 2017, 2020), VII, IX, XI Всероссийской научно-практической конференции «Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России» (г. Якутск, 2018, 2019, 2021), на VII Международной конференции по изучению флюидных и расплавных включений ACROFI-2018 (г. Пекин), XXV Международной конференции по изучению флюидных и расплавных включений ECROFI-2019 (г. Будапешт). По результатам работ опубликована 21 научная работа, в том числе 4 статьи в журналах, входящих в перечень ВАК и 3 статьи в WoS/Scopus.

В первой главе приводятся подробно (на наш взгляд излишне подробно) общие сведения о геологическом строении Алгоминского рудного узла, его геологической изученности, положения в региональных структурах, рудной минерализации. Дается геологическое описание объектов исследования, месторождения Бодороно и рудопроявления Дывок. Текст хорошо иллюстрирован.

В качестве замечания к первой главе.

1. п. 1.2. Зачем в диссертации давать описание месторождений, которые в дальнейшем не рассматриваются? В этой главе логичнее было бы кратко отразить, какие типы оруденения известны на этой территории и на каких месторождениях они встречаются (простым перечислением, а не с подробным описанием каждого из них).

2. стр. 15, 5-6 строки сверху. В тексте приводится описание месторождений, а не промышленных типов оруденения. Нужно тогда писать, что приводится краткая характеристика известных месторождений ЦАРР с промышленным оруденением.

3. п. 1.3. Такое подробное описание геологии рудного узла (особенно интрузивных комплексов и тектоники) излишне, ведь в диссертации основной упор делается на изучение вещественного состава и условий образования руд двух объектов – рудопроявления Дывок и месторождения Бодороно.

4. Рис. 2. В подписи к рисунку указан масштаб 1:50000, но он никак не соотносится с линейным масштабом, который приведен на самом рисунке. Масштаб 1:50000 имеет, скорее всего, исходная геологическая карта, с которой произведено сканирование этого рисунка. После вставки рисунка в Word, указанный масштаб уже не соответствует действительности. В таком случае нужно показывать только линейный масштаб.

5. Рис. 5. Такое же замечание, как и к рис. 2. В подписи к рисунку указан масштаб 1:25000, который не соотносится с линейным масштабом. Кроме того, на самом рисунке в линейном масштабе не указаны единицы измерения.

6. стр. 37, 4-6 строки в первом абзаце. «На данном этапе изученности месторождения выделено 3 рудные зоны с содержаниями золота отвечающим промышленным кондициям (рис. 6).» - Этот текст абсолютно не соотносится с тем, что изображено на рис. 6.

4-5 строки в третьем абзаце «Мощность рудных тел колеблется от 0,25–1,2 м». – Если здесь имеется ввиду от 0,25 до 1,2 м, тогда так и нужно писать (или 0,25-1,2 м без предлога «от»).

7. стр. 38, 6 строка во втором абзаце. «Мощность даек от 10 см до 3 м, протяженность от 1–10 м.» – Имеется ввиду от 1 до 10 м?

8. Рис. 8. То же замечание, как к рис. 2 и 5. – Несоответствие масштаба линейному.

Вторая глава посвящена подробной характеристике широкого спектра использованных в работе оптических и аналитических методов, выполненных на современных приборах в лабораториях ИГАБМ СО РАН (г. Якутск), ИГМ СО РАН (г. Новосибирск), РЦ СПбГУ

«Геомодель», Центра Изотопных Исследований ФГБУ «ВСЕГЕИ» и Института геологии и геохронологии докембрия РАН (г. Санкт-Петербург), ЦКП ДГИ ДВО РАН (г. Владивосток). В главе подробно и профессионально дано описание этих методов. Замечаний к главе нет.

В третьей главе дано детальное описание минерального состава руд месторождения Бодороно и рудопроявления Дывок. Приводится текстурно-структурная характеристика руд, которая позволяет выявить возрастные взаимоотношения между минералами, а также установить последовательность минералообразования для определения условий образования месторождений. На высоком профессиональном уровне дается описание рудных минералов, приводится их химический состав. Текст хорошо иллюстрирован, дополнен рисунками, фото- и микрофотографиями, таблицами. Полученные результаты удачно дополнены сведениями о нерудных минералах, выявленных в ходе детального петрографического изучения шлифов. На основании текстурно-структурных особенностей руд и их минерального состава установлена последовательность минералообразования, выделены стадии рудообразования.

На основании материала этой главы четко и ясно сформулировано первое защищаемое положение: *Рудная минерализация на месторождении Бодороно образовалась в три стадии: 1) ранняя – пирит-пирротин-кварцевая, 2) промежуточная – золото-полиметаллическая и 3) поздняя – золото-висмут-теллуридная. Рудопроявление Дывок сформировалось в четыре стадии: 1) ранняя – золото-пирит-арсенопирит-кварцевая, 2) промежуточная – пирит-халькопирит-сфалеритовая, 3) кварц-буланжеритовая и 4) поздняя – теллуридная.*

Несмотря на общую высокую положительную оценку главы 3 в целом, имеется ряд пожеланий и замечаний.

1. Некоторые формулировки крайне неудачны.

С.56. «Пирротин FeS...образует сростки с пиритом I...Стехиометричен...».

Стехиометрический пирротин отвечает очень низкой фугитивности серы и не может сосуществовать с пиритом. Это ошибочные данные или неверное заключение.

С.56, 67, 70 и др. «Пирит (пирротин, халькопирит и т.д....Не содержит примесей».

Это некорректные высказывания; надо указывать, на каком уровне чувствительности аналитического метода они их не содержат.

С.71 «Зерна золота...субмикроскопические – 0.01-0.03 мм». Под субмикроскопическими обычно понимают объекты менее 1 мкм, объекты 10-30 мкм просто микроскопические.

2. стр. 52. Зачем выделена подглава 3.2.1, если глава 3.2 итак посвящена только месторождению Бодороно? Тем более, далее нет подглавы 3.2.2. Логичнее было бы сделать текст этой подглавы в виде преамбулы к главе 3.2 без присвоения отдельного номера 3.2.1

3. стр. 53. «Учитывая особенности морфологии, размера и состава пирита и принадлежности к трем минеральным стадиям нами было выделено две генерации (табл. 2).» Ссылка на таблицу 2, в которой показан состав пирита разной генерации, не имеет отношение к содержанию этого предложения. Ссылку на табл. 2 уместно вставить ниже, после описания химического состава пиритов. То же относится к ссылке на табл. 3 (см. стр. 54) и на табл. 9 (см. стр. 66-67).

4. стр. 54. Подпись к рис. 10 б. Судя по фото, пирит сростается не только с кварцем, но и с фторапатитом.

5. стр. 56. Почему ссылка на рис. 13 предшествует ссылке на рис. 12?

Если в табл. 5 представлено несколько замеров для примесей, то в тексте принято указывать интервал содержаний, от мин. до макс., либо указывать макс. содержание. Например, Ag (2.99-3.62 мас. %) или Ag (до 3.62 мас. %).

6. стр. 57, 58. Ссылки в тексте на рис. 14. Из гистограммы этого не видно. Тем более на гистограмме нет разделения золота на генерации.

7. Рис. 12, 13. На рис. 12 показано золото только первой генерации. Логичнее было бы написать в первом предложении подписи так: *Морфология выделения самородного золота*

первой генерации (Au I) на месторождении Бодороно. А далее генерацию уже не указывать. Иначе из этой подписи следует, что только на рис. 12а показано Au I. Тоже относится к подписи рис. 13.

8. Рис. 14. На рисунке показаны обозначения стадий минералообразования (Au-Polym и Au-Bi-Tel), хотя они еще нигде не упоминались, как и само выделение этих стадий. Названия стадий впервые появляются в тексте только через несколько глав. Если исходить из текста, то здесь должна быть показана пробность золота двух разных генераций.

9. Табл. 7. Если в таблице добавлен лайтакарит, который в группу тетрадимита не входит, тогда в названии таблицы это нужно отразить.

10. стр. 63, первый абзац гл. 3.2.1.5. Этот текст построен некорректно – перемешались этапы и стадии. Лучше написать так: *Минераграфическое изучение структур и текстур руд месторождения Бодороно позволило выделить 2 этапа минералообразования - гипогенный и гипергенный. В гипогенном этапе выделено 3 стадии: 1) пирит-пирротин-кварцевая, 2) золото-полиметаллическая (галенит-сфалеритовая), 3) золото-висмут-теллуридная (рис.16).*

11. Стр. 65. См. комментарий к стр. 52.

12. Стр. 66, в третьем абзаце. «...ильменитом, рутилом, моноцитом и цирконом» – Это не жильные минералы, а аксессуарные.

13. Рис. 22. Au-Ару-Ру-Q – это обозначение стадии минералообразования, как и само выделение этой стадии еще нигде не упоминалось. Названия стадий впервые появляются в тексте ниже, только через несколько глав.

14. Рис. 23. В подписи к рис. не указано сокращение для пирротина (Po).

15. Стр. 76. Некорректно построено первое предложение. Стадия не может выполнять полости. Их выполняют минералы этой стадии. То же к первому предложению 3-го абзаца. Стадия не может образовывать вкрапленность в чем-либо. Наверное, нужно написать, что «Теллуридная стадия представлена такими-то минералами Те, которые образуют вкрапленность в гетите и т.д.».

16. Табл. 2-7 и 9-12 составлены по одному, реже двум замерам на образец. Статистика была бы более убедительной при большем количестве замеров. Почему в этих таблицах разное нормирование (табл. 2-4 на 100%; табл. 5-7, 9-12 не на 100%)? Разные приборы, разные методики?

17. На рис. 10-13, 15, 17-21, 23 не указаны методы и режимы съемки. Масштаб плохо читается.

18. Замечания к гистограммам на рис. 14 и 22. n - это что, количество замеров? Принято на гистограммах пробности золота по оси ординат показывать частоту встречаемости (%). По количеству замеров эта гистограмма мало информативна. Она не отражает реальную статистику. В подписи к рис. 14 и 22 надо обязательно отразить, что показано на осях.

19. Главы 3.2.1.1 и 3.3.1.1 называются «Рудные минералы». Далее, в отдельных главах 3.2.1.2 и 3.3.1.2, рассматриваются самородное Au и теллуриды. Разве они не относятся к рудным минералам?

Четвертая глава содержит информацию о Р-Т параметрах и составе рудообразующего флюида, источнике рудного вещества и возрасте оруденения Алгоминского рудного узла.

В качестве замечаний отметим следующее.

Название этой главы неудачное «Условия образования, источники рудного вещества и возраст оруденения Алгоминского рудного узла». Похожее название и содержание имеет глава 5.2 «Условия формирования Алгоминского рудного узла».

По смыслу название главы 4 должно быть таким: «Физико-химические параметры рудообразующего флюида, источники рудного вещества и возраст оруденения Алгоминского рудного узла».

В работе не использованы возможности типоморфизма минералов и их ассоциаций, и поэтому не получены такие важные параметры рудообразования, как активности серы и кислорода, других летучих компонентов, редокс-условия и др.

В разделе 4.1 приводятся данные исследования флюидных включений на месторождении Бодороно и рудопроявлении Дывок. Установлены Р-Т параметры, изучен состав

рудобразующих растворов. На основании полученных результатов четко и ясно сформулировано второе защищаемое положение.

Продуктивные (Au-Polym, Au-Bi-Tel) стадии минералообразования на месторождении Бодороно происходили из двух типов флюидов: 1) хлоридно-натриевого состава с низкой соленостью при среднетемпературных условиях (270–300° С) с присутствием CO₂ и CH₄ в газовой фазе, и 2) хлоридно-натрий-железо-магниевого состава на фоне некоторого понижения солености при низкотемпературных условиях (145–200° С) с присутствием CO₂, CH₄ и N₂ в газовой фазе. Золотоносная (Au-Apy-Py-Q) стадия минералообразования на рудопроявлении Дывок формировалась из флюида хлоридно-натрий-железо-магниевого состава с невысокой соленостью при среднетемпературных условиях (310–360° С) с присутствием CO₂ и CH₄ в газовой фазе.

Замечание следующее:

Во втором защищаемом положении даны сокращения Au-Polum, Au-Bi-Tel, Au-Apy-Py-Q. Расшифровки этих сокращений нет – надо дать их в тексте главы 3.

В разделе 4.2 приводятся результаты выявления источников рудного вещества по изотопному составу Pb и S в сульфидных минералах (галенит, пирит, сфалерит, халькопирит, пирротин) месторождений Бодороно, Бамское, Петровское и Re-Os изотопному анализу монофракций арсенопирита (2 образца) и халькопирита (один образец) рудопроявления Дывок.

В качестве замечаний отметим следующее

1. Стр. 91. Какое отношение имеет ссылка на табл. 14 к тексту в первом абзаце. В третьем абзаце снова указана ссылка на табл. 14. В обоих случаях должна быть ссылка на табл. 15?

2. В табл. 15 в колонке «Минерал» перечислены галенит, пирит, сфалерит и т.д. При этом в образцах 2-АН-12 и 6-АН-12 указано «Сульфид». Какой конкретно сульфид?

В разделе 4.3 приводятся результаты изотопного Ar-Ar датирования рудной минерализации по двум образцам – мусковита с контактовой части метасоматита и кварцевой жилы рудной зоны 1 месторождения Бодороно и серицита из кварцевой жилы рудной зоны 3 рудопроявления Дывок.

По результаты исследований изложенных в разделах 4.2 и 4.3 главы 4 сформулировано третье защищаемое положение: ***Изотопные характеристики Pb месторождения Бодороно указывают на мантийно-коровый источник рудного вещества. Возраст дорудных метасоматитов составляет 150 млн лет (39Ar/40Ar). Узкий интервал значений изотопного состава S сульфидов (2.9–4.5%) рудопроявления Дывок характеризует единый магматический (мантийный) источник рудного вещества. Золотое оруденение сформировалось в аптское время (125 млн лет, 39Ar/40Ar) и соотносится с раннемеловым этапом тектоно-магматической активизации Алданского щита.***

В качестве замечания к разделу 4.3 отметим:

Подчеркнутое предложение логичнее переставить. ***Изотопные характеристики Pb месторождения Бодороно указывают на мантийно-коровый источник рудного вещества. Узкий интервал значений изотопного состава S сульфидов (2.9–4.5%) рудопроявления Дывок характеризует единый магматический (мантийный) источник рудного вещества. Возраст дорудных метасоматитов составляет 150 млн лет (39Ar/40Ar). Золотое оруденение сформировалось в аптское время (125 млн лет, 39Ar/40Ar) и соотносится с раннемеловым этапом тектоно-магматической активизации Алданского щита.***

В пятой главе приводятся результаты сравнения рассмотренных автором рудных объектов с другими золоторудными объектами Алдано-Станового щита, а также ряда зарубежных месторождений. Проведена типизация золотого оруденения Алгоминского рудного узла. Глава пятая является итоговой, в ней взаимоувязан весь полученный материал, широко используется метод сравнительного анализа и показан высокий уровень знания опубликованных работ по тематике исследования. **По итогам комплексного изучения были выявлены основные условия и критерии формирования золото-**

кварцевого месторождения Бодороно и золото-сульфидно-кварцевого рудопоявления Дывок. По генетическим особенностям месторождение Бодороно отнесено к орогенному типу, а рудопоявление Дывок к типу intrusion-related gold deposits (IRGD).

Замечаний к главе 5 нет, есть пожелание.

Так и хочется на основании выделенных строк сформулировать четвертое защищаемое положение.

В заключении приводится синтез всех основных результатов диссертационной работы.

Замечание. Недостатком является то, что результаты, изложенные в главе 5, вообще не отражены в заключении. Приведенные в гл. 5 результаты обобщения и анализа данных интересны, значимы и соответствуют части заявленных автором диссертации основных целей – реконструкция условий образования золоторудной минерализации Алгоминского узла, *понимание закономерностей ее распространения и критерии поисков подобных объектов* на площади Южно-Алданской металлогенической зоны.

Соответствие автореферата тексту диссертации. Автореферат информативен, его структура и содержание соответствуют в целом основным положениям диссертационной работы.

Замечание.

На с. 22 упоминается о золотоносности пирита, арсенопирита и сфалерита, но численных данных ни в автореферате, ни в самой диссертации о содержаниях Au в этих минералах (впрочем, как и в других) обнаружить не удалось.

Есть и досадные технические ошибки:

1. Фото на рис. 6 и 7 автореферата не соответствуют тексту и подписям. Здесь должны быть рис. 17 и 19 из диссертации. Фото на рис. 6г автореферата – такого фото в диссертации нет.

2. В списке публикаций абсолютно нет информации о городах и датах проведения конференций. Эту информацию можно узнать только из раздела «Апробация работы».

В целом диссертационная работа Кардашевской В.Н. производит хорошее впечатление широтой подхода, необычной для кандидатских диссертаций, использованием современных и информативных методов исследования и оценивается нами положительно. Большинство сделанных замечаний носит технический характер. Представленная диссертационная работа выполнена на высоком профессиональном уровне, является законченным научным исследованием и отвечает квалификационным требованиям Положения ВАК о присуждении ученой степени кандидата геолого-минералогических наук. Содержание диссертационной работы соответствует паспорту специальности 1.6.10. – геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения, а ее автор – Кардашевская Вероника Николаевна – несомненно **заслуживает** присуждения ученой степени кандидата геолого-минералогических наук.

Кравцова Раиса Григорьевна

докт. геол.-мин. наук, ведущий научный сотрудник

лаборатории моделирования геохимических процессов

Института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН (ИГХ СО РАН)

Адрес: 665033, г. Иркутск, ул. Фаворского, 1а

krk@igc.irk.ru, т. 8 983 415 73 59

Я, Кравцова Раиса Григорьевна, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

«28» сентября 2022 г.



Таусон Владимир Львович
докт. хим. наук, главный научный сотрудник, заведующий
лабораторией моделирования геохимических процессов
Института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН (ИГХ СО РАН)
Адрес: 665033, г. Иркутск, ул. Фаворского, 1а
vltauson@igc.irk.ru, т. 8 964 115 42 43

Я, Таусон Владимир Львович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

«28» сентября 2022 г.



Макшаков Артем Сергеевич
канд. геол.-мин. наук, старший научный сотрудник
лаборатории моделирования геохимических процессов
Института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН (ИГХ СО РАН)
Адрес: 665033, г. Иркутск, ул. Фаворского, 1а
artem_m@mail.ru, т. 8 924 637 67 38

Я, Макшаков Артем Сергеевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

«28» сентября 2022 г.



Подписи д.г.-м.н. Кравцовой Раисы Григорьевны, д.х.н. Таусона Владимира Львовича и к.г.-м.н. Макшакова Артема Сергеевича заверяю

Отзыв на диссертацию В.Н. Кардашевской рассмотрен и одобрен в качестве официального отзыва на заседании Ученого совета Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт геохимии им. А.П. Виноградова Сибирского отделения Российской академии наук (ИГХ СО РАН) (протокол № 9 от 29 сентября 2022 года).

Председатель Ученого совета ИГХ СО РАН,
д.г.-м.н.



А.Б. Перепелов

Ученый секретарь ИГХ СО РАН,
к.х.н.

Подпись Таусон В.Л., Макшаков А.С., Кравцова Р.Г.
ЗАВЕРЯЮ Кравцова Р.Г.
Зав. канцелярией
ИГХ СО РАН Перепелов А.Б.

И.Ю. Пархоменко