

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Кардашевой Вероники Николаевны «Золотое оруденение Алгоминского рудного узла Южно-Алданской 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 В. Н. Кардашевой, представленная на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук, посвящена изучению золотоносности Алгоминского рудного узла, на примере наиболее значимых объектов – золото-кварцевого месторождения Бодороно и золото-сульфидно-кварцевого рудопроявления Дывок, включающего характеристику текстурно-структурных особенностей и минерального состава руд, последовательности минералообразования; оценку физико-химических параметров рудообразующего флюида; определению источников рудного вещества и возраста оруденения. В итоге, на основании полученных данных реконструировать условия образования золоторудной минерализации в пределах Алгоминского рудного узла. **Актуальность** работы определяется тем, что в перспективном, но слабо изученном Алгоминском рудном узле, впервые обнаружена поздняя золотоносная висмут-теллуридная минерализация, реконструкция условий образования которой важна для понимания закономерностей ее распространения и поисков объектов-аналогов на площади Алдано-Станового щита. **Новизна результатов** представленной диссертации определяется тем, что впервые для Алгоминского рудного узла выделена теллуридная минерализация и оценены физико-химические параметры образования золотоносных руд. На основе изотопного исследования свинца и серы в сульфидах установлен мантийно-коровый источник рудного вещества. Впервые определен возраст дорудных метасоматитов и золотого оруденения, который соотнесен с раннемеловым этапом тектоно-магматической активизации Алданского щита. **Теоретическая и практическая значимость** результатов работы состоит в возможности их использования при прогнозировании объектов-аналогов на территории Алдано-Станового щита. **Личный вклад автора** состоит в проведении минералогических исследований руд, измерении РТХ-параметров флюидных включений, непосредственном участии в проведении других аналитических работ, обработке, анализе и интерпретации результатов изотопно-геохимических и изотопно-геохронологических исследований, реконструкции условий формирования рудного узла.

Работа состоит из 5 глав, введения и заключения, ее общий объем составляет 132 страницы, кроме текста содержащих 20 таблиц, 36 рисунков и список литературы из 147 наименований.

**Во введении** формулируется актуальность темы диссертации, цели и задачи работы, ее новизна и практическая значимость, личный вклад автора и апробация работы, защищаемые положения, то есть присутствуют все необходимые разделы.

**Глава 1** представляет собой краткий обзор геологической изученности района исследований, рассмотрено положение Алгоминского рудного узла в региональных структурах, приведены данные о рудной минерализации Алдано-Станового щита. Дана геологическая характеристика Алгоминского рудного узла. Методы исследования, использованные в работе, приведены в **Главе 2**. Использовался комплекс современных методов исследования вещества – оптический, электронная сканирующая микроскопия для определения состава минералов, микротермометрия флюидных включений, рамановская спектрометрия для определения состава газовой фазы флюидных включений, анализ изотопного состава свинца и серы сульфидов, Re/Os метод изотопного датирования рудной минерализации по сульфидам,  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  датирование светлых слюд дорудных метасоматитов и рудной минерализации. Описана методика проведения всех видов анализа. В **Главе 3** приведены результаты изучения минералогии руд, которые являются основой **первого защищаемого положения**. По-видимому, основываясь на первичных полевых геологических наблюдениях, а затем и на детальном минераграфических и микросондовых исследованиях руд, на месторождении Бодороно установлен минеральный состав руд и достаточно обоснованно выделены 3 стадии гипогенного минералообразования и заключительный

гипергенный этап. Приведены фотографии образцов руд, описаны формы выделения и взаимоотношения основных рудных минералов, в том числе самородного золота и теллуридов висмута. Приведены химические составы теллуридов, позволяющие убедиться в их корректной диагностике. Аналогичные исследования проведены на рудопроявлении Дывок, позволившие автору определить минеральный состав руд, включая состав самородного золота и редких теллуридов, а по структурно-текстурным и минералогическим особенностям выделить 4 стадии гипогенного минералообразования и 1 гипергенный этап. Приведены химические составы теллуридов, позволяющие убедиться в их корректной диагностике. Показано различие в составе теллуридной минерализации на этих двух рудопроявлениях, в результате чего они отнесены к разным минеральным типам: Бодороно – к Au-Bi-Te типу, Дывок – к смешанному Au-Ag-Bi-Te типу. Проведено сопоставление теллуридной минерализации изученных объектов с аналогичными известными проявлениями теллуридной минерализации в пределах Алданского щита.

В *Главе 4* изложены результаты изучения флюидных включений, стабильных изотопов и данные о возрасте рудной минерализации. Они составляют основу для следующих **двух защищаемых положений**. Второе защищаемое положение, касающееся определения РТХ-параметров продуктивных стадий минералообразования по результатам изучения флюидных включений, хорошо обосновано представительностью материала и аналитическими данными высокого качества. Результаты исследований, приведенных в разделе этой главы «Источники рудного вещества», послужили основой **третьего защищаемого положения**. Для выявления источников рудного вещества автором выбраны разные методы анализа: для месторождения Бодороно – анализ изотопного состава свинца сульфидов из кварцевых жил, для рудопроявления Дывок – анализ изотопного состава серы сульфидов из кварцевых жил. Для месторождения Бодороно вывод о смешанном мантийно-коровом источнике рудного вещества сделан на достаточно представительном материале (11 проб из 3-х рудных зон, из них проанализированы 4 навески галенита, остальные – другие сульфиды). Интерпретация результатов измерения изотопов Рb проведена в соответствии с современной моделью изотопной эволюции Рb, сравнение изотопного состава Рb месторождения Бодороно с известными литературными данными по другим золоторудным месторождениям Алдано-Станового щита подкрепляет достоверность общих выводов, полученных автором. Для рудопроявления Дывок суждение о едином магматическом (мантийном) источнике серы в рудообразующем процессе сделано на основании 3-х анализов изотопного состава серы сульфидов (пирротина, пирита и сфалерита) с положительными, но близкими к метеоритному стандарту значениями  $\delta^{34}\text{S}$ . Этот вывод не противоречит общим представлениям о фракционировании изотопов серы в различных геологических процессах и идентификации ее изотопного состава для определения источников вещества в рудных месторождениях (ниже, замечания п.3). Интересной и важной является попытка автора определить возраст рудной минерализации методом Re-Os датирования сульфидов (арсенопирита, халькопирита). Получена ценная информация о содержаниях Re и Os в сульфидах и изотопном составе осмия, соотношение изотопов которого типично для коровых значений. Re-Os-изохронный возраст минерализации получить не удалось, поэтому, понятно, что полученные данные не вошли в защищаемые положения и не отражены в автореферате. И, наконец, важным достижением автора является определение возраста дорудного метасоматоза на месторождении Бодороно и рудной минерализации рудопроявления Дывок  $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$  методом датирования по серициту. Хотя сам автор признает, что эти исследования нуждаются в продолжении и подтверждении, первый успех вселяет надежду на будущее. В *Главе 5* проведено сравнение изученных объектов с месторождениями Приамурской золотоносной провинции и золоторудной провинции Дзяодун (Северный Китай) и реконструированы условия формирования рудного узла. В результате сравнительного анализа сделан вывод, что месторождение Бодороно по многим признакам сходно с орогенным типом месторождений, но присутствие низкотемпературной теллуридной и селенидной минерализации может свидетельствовать о наложенном позднем эпитептермальном оруденении. Рудопроявление Дывок сопоставимо с типичными объектами типа intrusion-related gold deposits (IRGD).

Заключение содержит основные выводы исследования.

Замечания и вопросы.

1. К автореферату, изложению доказательства 1 защищаемого положения. На рис.6 фотографии (б, в, г) и подпись к рисунку не соответствуют друг другу или обозначения минералов не видны из-за мелкого масштаба рисунков.

2. Глава 3. 1) Результаты анализов состава пирита в табл. 2 приведены к 100%. Почему это сделано? 2) В табл. 2 представлены единичные наиболее типичные составы пирита двух генераций или средние? Для характеристики состава пирита приведенных результатов анализа маловато. 3) Таблица 7, анализ 1А – рассчитанная формула хедлейита не соотносится с теоретической  $Vi_7Te_3$ . 4) Таблица 10., анализ 3-КВ-18. Формулу арсениопирита правильно написать следующим образом:  $(Fe_{0.83}Co_{0.13})_{0.96}As_{0.91}S_{1.00}$ , поскольку кобальт изоморфно замещает железо, а мышьяк занимает самостоятельное положение в структуре минерала. 5) Таблица 12. Наименее удовлетворительно химический состав обр. 18-КВ-18 пересчитывается на формулу раклиджита, что, вероятно, связано с малым размером зерна, и редкой встречаемостью минерала. 6) При том, что показаны различия в составе минералов теллуридной минерализации на двух изученных объектах, и по этому признаку они отнесены к разным минеральным типам, совершенно не затронут вопрос о причинах такого различия. Между тем, присутствие на рудопроявлении Дывок теллуридов палладия – редкое явление в гидротермальных золоторудных месторождениях, которое достойно обсуждения и попытки объяснения.

3. Глава 4, раздел 4.2.2. Вывод о едином гидротермальном источнике серы магматического характера для рудной минерализации проявления Дывок следует считать предварительным исходя из слишком малого количества проанализированных проб. Анализ более представительного материала может значительно расширить интервал вариаций значений  $\delta^{34}S$ , следовательно, повлиять на окончательные выводы об источнике серы.

4. Общее замечание. При изучении как минимум двух золоторудных объектов для выявления источников рудного вещества целесообразнее использовать одни и те же методы исследования, или изотопию свинца, или изотопию серы, или (предпочтительно) и то и другое. Но при выполнении данной работы, вероятно, были объективные причины, не позволившие выполнить оба вида исследований.

Отметим, что диссертационная работа В.Н. Кардашевской написана грамотным литературным и профессиональным языком, практически лишена досадных опечаток и в этом плане также производит хорошее впечатление.

Кардашевская Вероника Николаевна продемонстрировала высокий профессиональный уровень, представив новые и интересные результаты, имеющие как фундаментальное, так и практическое значение. Защищаемые положения полностью обоснованы представленным фактическим материалом и отражены в соответствующих публикациях. Автореферат отражает содержание диссертации.

По теме диссертации опубликована 21 работа, из них 4 статьи в журналах перечня ВАК: статья в журнале «Отечественная геология», две статьи в журнале «Записки Российского минералогического общества» (Scopus) и статья в журнале «Minerals» (WoS/Scopus). Основные результаты работы апробированы на большом количестве Всероссийских и Международных совещаний и конференций. Сделанные по работе замечания носят дискуссионный и технический характер и не умаляют значение полученных автором результатов и сделанных выводов.

Диссертационная работа «Золотое оруденение Алгоминского рудного узла Южно-Алданской металлогенической зоны: минералогия и условия образования руд» соответствует требованиям положения о присуждении ученых степеней ВАК при Минобрнауки РФ, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24 сентября 2013 г., а ее автор Кардашевская Вероника Николаевна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.10 – Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения.

Майорова Татьяна Петровна. Кандидат геолого-минералогических наук, доцент, старший научный сотрудник лаборатория минералогии Института геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар.

167982, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, д. 54  
Интернет сайт: <https://geo.komisc.ru>  
E-mail [mayorova@geo.komisc.ru](mailto:mayorova@geo.komisc.ru)  
Тел.: (8212)245167

07.10.2022

Майор /Т. П. Майорова

