

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Извековой Александры Дмитриевны «ГЕОЛОГИЯ, МИНЕРАЛОГИЯ И УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ЗОЛОТО- КВАРЦЕВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В ДОКЕМБРИЙСКИХ КОМПЛЕКСАХ САЯНО-БАЙКАЛЬСКОЙ СКЛАДЧАТОЙ ОБЛАСТИ (НА ПРИМЕРЕ ПИОНЕРСКОГО И КЕДРОВСКОГО 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 Извековой Александры Дмитриевны посвящена комплексному исследованию золото-кварцевых месторождений Пионерского и Кедровского, локализованных в крупных фрагментах фундамента микроконтинентов (Гарганская и Муйская глыбы). В основу диссертации положены результаты полевых геологических работ и значительный аналитический комплекс методов. Комплексный подход к изучению руд месторождений и проведенный соискателем сравнительный анализ результатов позволил предложить геолого-генетическую модель формирования золото-кварцевого оруденения. С привлечением данных по термобарогеохимии и изотопному составу серы, кислорода и свинца обосновываются источники гидротермального флюида и металлов. На основании изменчивости геохимических характеристик руд делается заключение о зональности оруденения и различных уровнях глубинности рудоотложения. Создание подобных геолого-генетических моделей, базирующихся на комплексных исследованиях, способствует развитию представлений о генезисе золоторудных месторождений и могут быть использованы в прогнозно-металлогенических исследованиях, что в свою очередь определяет **актуальность и практическую значимость** диссертационной работы.

Научная новизна работы заключается в комплексном изучении геологического положения золотоносных кварцевожильных зон Пионерского и Кедровского месторождений, сопряженном с исследованием минералого-геохимических, термобарогеохимических и изотопно-геохимических особенностей руд. В подавляющем большинстве случаев такие комплексные подходы, к сожалению, не применяются к объектам золото-кварцевой формации, оставляя много «белых пятен». Таким образом, полученные в ходе подготовки диссертационной работы данные и результаты их интерпретации, несомненно являются **новыми и оригинальными**, а **научная новизна работы очевидна**.

Личный вклад автора не вызывает сомнений. Александра Дмитриевна принимала участие во всех этапах работы, включая полевые исследования, подбор и анализ опубликованной и фондовой литературы, подготовку проб к анализам и обработку результатов. Результаты работ опубликованы в виде 4 статей в рецензируемых журналах, в том числе в высокорейтинговых. По теме диссертации делались доклады на конференциях. Таким образом считаю, что **работа апробирована**. Текст автореферата отражает содержание диссертации и раскрывает обоснование защищаемых положений.

В основе диссертационного исследования Александры Дмитриевны лежит широкий спектр **методов и подходов к изучению** золото-кварцевых месторождений. В первую очередь, на что хотелось бы обратить внимание, это непосредственное участие соискателя в полевых работах, в ходе которых были получены оригинальные данные о взаимоотношениях кварцевых жил с вмещающими породами и отобрана представительная коллекция штуфных проб с поверхности и из подземных горных выработок. Комплекс камеральных и аналитических методов, положенных в основу работы, включает: (1) оптическую и электронную микроскопию; (2) изучение валового геохимического состава руд и пород (силикатный, РФА и РФА-СИ анализы); (3) изотопные исследования (S, O, Pb); (4) изучение микропримесного состава пирита методом LA-ICP-MS; и (5) определение параметров рудообразования на основе изучения флюидных включений (термометрия, криометрия, КР-спектроскопия). Это, несомненно, является сильной стороной рецензируемой работы.

Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, заключения и четырех табличных приложений, общим объемом 135 стр., включает 34 рисунка, 13 таблиц и список литературы, содержащий 132 наименования. На защиту выносятся три защищаемых положения. Первое рассматривает особенности минерального состава и условий формирования Пионерского золото-кварцевого месторождения. Во втором защищаемом положении показаны характеристики Кедровского месторождения, а также различия в минеральном составе и условиях формирования Осиновой и Баргузинской жил в следствии разной глубинности их формирования. Третье защищаемое положение формулирует основу геолого-генетической модели изученных рудных объектов.

Во **введении** диссертант обосновывает актуальность исследований, показывает научную новизну и практическую значимость работы, формулирует цели и задачи исследований, дает характеристику фактическому материалу и методам исследования.

В **первой главе** «Типы золоторудных месторождений» в сокращенном, но достаточном объеме даются основы современной классификации золоторудных месторождений. Отдельно освещается вопрос генетической классификации месторождений золото-кварцевой формации, которые, как это верно подмечает соискатель, могут быть производными как орогенных (метаморфогенных), так и магматических систем. Незначительным *замечанием* к первой главе может служить некоторая незаконченность мысли, т.е. из текста так и не становится ясно, какой же точки зрения, касательно генезиса золото-кварцевых месторождений, придерживается диссертант.

Вторая глава «Геологическое строение рассматриваемых регионов» посвящена описанию региональной геологии Саяно-Байкальской складчатой области и более дательной характеристике Окинского и Муйского золоторудных районов. Текст главы сопровождается достаточным количеством картографического материала различного масштаба. К главе *замечания отсутствуют*.

Третья глава «Геология, состав руд и условия формирования Пионерского месторождения» обосновывает первое защищаемое положение. Содержание главы согласуется с названием. По тексту приводится информация о геологическом строении, минеральном составе и геохимических характеристиках руд. Оценка условия формирования производится на основании изучения флюидных включений и изотопных характеристик. Повествование логичное и последовательное, текстовая часть сопровождается необходимыми иллюстрациями и графиками.

Геологическое строение Пионерского месторождения освещено в достаточном объеме, в тексте имеется информация как о вмещающих породах, околожильных изменениях, так и морфологии рудных тел. Уместным было бы привести дополнительно информацию о запасах Пионерского месторождения.

Часть главы, посвященная минеральному составу (3.2 и 3.3) написана на высоком профессиональном уровне. Хотелось бы особо отметить, что соискатель в качестве иллюстрационного материала к разделу приводит не только BSE-изображения, но и фотографии с оптического микроскопа, что несомненно улучшает общее впечатление о работе.

В качестве *замечаний* можно указать на некоторое несоответствие состава минералов и их названий. Так, Александра Дмитриевна при описании второстепенных минералов пишет о Cd-содержащем тетраэдрите, хотя, судя по приведенной таблице состава, сурьмы

в минерале не установлено. Правильней было бы использовать термин теннантит или же мышьяковая блеклая руда. Не лишним было бы при описании минерального состава привести формулы малораспространенных минералов, особенно теллуридов. В Таблице последовательности минералообразования (Рис. 12 в тексте диссертации) отсутствует галенит, при этом указан пирротин, про который в тексте ничего не говорится. К сожалению, в работе не делается акцент на минеральный состав руд участка Надежда.

На фоне хорошо написанной первой части главы, раздел 3.4. «Химический состав руд Пионерского месторождения» выглядит недоработанным и вызывает значительное количество замечаний. Наиболее серьезные из них можно сформулировать следующим образом: (1) отсутствует характеристика образцов, которые анализировались, что они из себя представляли? Жилы или минерализованные метасоматически измененные породы? (2) не обсуждаются различия в геохимии руд с Пионерского месторождения и участка Надежда, хотя, как это указано на стр.27, ставилась задача «...оценить изменения характера золоторудной минерализации в вертикальном разрезе...»; (3) больше всего вопросов вызывает Sr-Rb-Y-Zr геохимическая ассоциация, которая, по мнению диссертанта, обусловлена влиянием на рудоотложение вмещающих гранитоидных пород. Что это – обломки вмещающих пород в кварцевых жилах или подразумевается гидротермальный перенос указанных элементов в зону минералообразования гидротермальными флюидами?

Разделы 3.5 и 3.6. третьей главы посвящены изложению результатов исследования флюидных включений и изотопных характеристик. Полученные результаты позволили автору сделать выводы об условиях формирования оруденения и сформулировать защищаемое положение. Из *замечаний* стоит указать на неправомерность использования соискателем диаграммы состояния в координатах T vs. P (Bondar, Vityk, 1994) для оценки давления минералообразующей среды. Приведенная диаграмма в первоисточнике используется для определения параметров несмесимости в системе H₂O-NaCl, а не для оценки давления по температуре или наоборот. Кроме того, перевод полученных оценок давления кипящего флюида в глубину минералообразования в данном случае также не обоснован.

В **четвертой главе** обсуждаются геология, состав и условия формирования руд Кедровского месторождения. Материалы главы положены в основу второго защищаемого положения. Структура главы включает шесть разделов, каждый из которых посвящен

отдельному виду исследований. Первый раздел главы повествует о геологическом строении Кедровского месторождения. На взгляд рецензента, информация, содержащаяся в разделе, в полной мере позволяет получить представление о геологическом строении объекта исследования. К первому разделу есть *незначительные замечания*: (1) упоминающийся по тексту кедровский габброидный комплекс в условных обозначениях к рисунку 16 указан муйским; (2) непривычно смотрится легенда к геологической карте на рисунке 16, где нарушена общепринятая последовательность расположения условных обозначений в хронологическом порядке ($Q - PR_1 - PZ_{2-3} - PR_3 - PR_1$); (3) аналогично первому разделу третьей главы, уместно было бы привести сведения о запасах.

Раздел 4.2 «Минеральный состав руд Кедровского месторождения» включает два подраздела с описанием минералогии Осиновой и Баргузинской жил, соответственно. Текст логичен и структурирован. Повествование сопровождается фотографиями обнажений и штучных проб, микрофотографиями с оптического микроскопа. Исследования минерального состава руд, выполненные Александрой Дмитриевной на высоком профессиональном уровне, позволили выявить минеральные ассоциации и предложить схему последовательности минералообразования. Разделы 4.2 и 4.3 после прочтения оставляют хорошее впечатление. В качестве *незначительных замечаний* к разделу можно указать: (1) гематит, представленный на рисунке 24а, судя по всему, является вторичным гетитом (или скорее смесью вторичных гидроксидов железа), развивающимся по марказиту; (2) нецелесообразно приводить описание монацита совместно с характеристикой рудных минералов, или же, если соискатель предполагает связь формирования монацита с рудным процессом, требуется дополнительное пояснение.

Раздел 4.4. содержит сведения о геохимических характеристиках руд Кедровского месторождения. В тексте диссертации приводятся данные о распределении ряда рудных компонентов по горизонтам рудного тела, на основании чего делается заключение о вертикальной геохимической зональности. Выводы базируются на большом количестве геохимических данных (108 проб). Однако, аналогично разделу 3.4, эта часть диссертации вызывает наибольшее количество *замечаний*: (1) не приведена хотя бы краткая характеристика проанализированных проб, а в табличных приложениях 2 и 3 нет информации о горизонтах, с которых были отобраны пробы; (2) абсолютно не ясно, с какой целью соискатель анализирует изменения отношений Pb/As и Pb/Ag с глубиной (Рис. 27)? Поскольку, как это показано на рисунке 26, с увеличением глубины наблюдается снижение содержания Pb в рудах, то и отношение к нему любого элемента, содержание которого

постоянно на всех горизонтах, будет снижаться соответственно; (3) на 79 стр. Александра Дмитриевна делает заключение, что главными рудообразующими элементами Баргузинской жилы являются Fe и Cu, однако данных о содержании железа в работе не приводится, а содержание меди, по мнению рецензента, носит скорее следовой характер (только в 7 из 32 проанализированных проб содержание меди превысило 300 ppm); (4) спорным выглядит вывод о связи «...вмещающих магматических пород Кедровского гранитоидного массива...» с повышенными концентрациями Sr, Ba и Y, такая ассоциация элементов, скорее, отражает присутствие в жилах карбонатного материала; (5) необоснованным выглядит заключение о сходстве валовых геохимических характеристик Кедровского месторождения (Au-Cu-Pb-Bi-Sb-Ag-Sn) с месторождениями золота орогенного типа, для которых общепринятым набором типоморфных элементов является Au-As-Sb-Hg-Tl. Замечание технического плана – на рисунках 26 и 27 по оси ординат, где показано содержание элементов и их отношение, приводить отрицательные значения не логично.

Заключительные разделы четвертой главы (4.5 и 4.6) освещают вопросы физико-химических условий формирования Кедровского месторождения. На основании изучения флюидных включений, минеральных геобарометров и геотермометров, а также изотопного состава серы, кислорода и углерода, Александра Дмитриевна определяет температуру и давление рудообразующего флюида и делает предположение об источниках вещества. Выводы базируются на значительном количестве аналитических данных и смотрятся обоснованными. Результаты, приведенные в разделах, во многом обосновывают второе защищаемое положение. *Существенные замечания* к разделам у рецензента *отсутствуют*. Немного смущает значительное различие в полученных по мусковитовому геобарометру оценках давления для Осиновой (1044-1056 бар) и Баргузинской жил (2849 бар). Кроме того, не лишним было бы привести результаты анализа мусковита, которые легли в основу оценки давления.

В **пятой главе** приводятся данные о геохимии пиритов, полученные с помощью LA-ICP-MS метода. Глава содержит большое количество новой и актуальной информации касательно микросостава пирита и распределении в нем элементов-примесей. Проведенные исследования позволили соискателю сделать вывод о различии в геохимических характеристиках пирита с изученных месторождений и предположить магматический и смешанный источники для формирования Пионерского и Кедровского месторождений, соответственно. Хотя материалы остались невостребованными при формулировке

защищаемых положений, к разделу имеется ряд существенных замечаний. Во-первых, не ясно, на каком основании используется диаграмма в координатах As vs. Au для дискриминации источника вещества для формирования пирита? Во-вторых, в табличном приложении 4, где приводятся результаты LA-ICP-MS анализов, содержание серы в пиритах Пионерского месторождения и участка Надежда в среднем ~ 10 ppm.

Глава шестая состоит из трех разделов и обосновывает третье защищаемое положение. Первый и второй разделы посвящены вопросам генезиса Пионерского и Кедровского месторождений, соответственно. Третий раздел содержит описание предлагаемой соискателем модели образования изученных золото-кварцевых месторождений. В диссертационном исследовании Александра Дмитриевна предпринимает попытку обоснования источников рудного вещества на основании синтеза большого количества изотопных, геохимических, минералогических и термобарогеохимических данных. Так, для Пионерского месторождения, диссертант предполагает магматогенную природу рудообразующего флюида, которая в свою очередь обусловила обогащение руд теллуридами. На основании изотопных характеристик кислорода, серы и свинца в комплексе с общегеологическими наблюдениями и данными по флюидным включениям для руд Кедровского месторождения предполагается смешанный магмато-метаморфогенный источник флюида. В заключительном разделе, обобщая результаты интерпретации данных по Пионерскому и Кедровскому месторождениям, соискатель предлагает обобщенную геолого-генетическую модель формирования изученных золото-кварцевых объектов. Кроме того, предпринимается попытка увязать формирование золотоносных кварцевожилных тел с глобальными геологическими процессами, протекающими в регионе. Несмотря на то, что рецензент не полностью разделяет точку зрения диссертанта, отмечу, что выводы Александры Дмитриевны обоснованы фактическим материалом и значительным объемом аналитических данных.

Имеются некоторые *замечания* к главе. Не ясно, с каким магматическим процессом соискатель связывает формирование золото-кварцевого оруденения? При том, что приведенные геохронологические данные, напротив, явно доказывают более молодой возраст минерализации относительно проявленных на месторождениях магматических пород. (2) В работе отсутствует прямой ответ на вопрос – к какому все-таки генетическому типу соискатель относит изученные объекты, поскольку из текста диссертации однозначно этого не вытекает. Из обзора типов золоторудных месторождений (Глава 1) и сравнительного анализа изотопных характеристик можно предположить, что Александра

Дмитриевна предполагает отнесение Пионерского и Кедровского месторождений к орогенному типу. С другой стороны, полученные выводы о магматогенной (либо смешанной) природе гидротермального флюида подразумевают связь оруденения с магматизмом и, как следствие, отнесение месторождений к классу «связанных с интрузиями». Согласно многочисленным работам, вышедшим в свет в течение последних 20 лет, типоморфной чертой орогенных месторождений, надежно отличающей их от класса месторождений, связанных с интрузиями, является именно источник флюида. При том что большинство других вещественных характеристик могут быть близки и даже идентичны.

К диссертационной работе имеется ряд замечаний технического характера:

- на многих рисунках подрисовочные подписи перенесены на следующую страницу, что во многом затрудняет восприятие информации. Уместным было бы уменьшить размер рисунков, а подрисовочные подписи дать через меньший интервал;

- по тексту и в таблицах при обозначении десятичных дробей в качестве разделителя целой и десятичной части необходимо использовать запятую, а не точку. В тексте диссертации и части таблиц используется оба варианта;

- ссылки на иллюстрации, особенно в части минерального состава, не всегда правильно расставлены;

- при подготовке табличных приложений, размещенных более чем на одной странице, название колонок необходимо приводить на каждой странице, а не только на первой.

Несмотря на перечисленные замечания, работа является оригинальным законченным исследованием и содержит новые и интересные данные и является важной вехой в понимании природы золотого оруденения в кристаллическом фундаменте докембрийских микроконтинентов Саяно-Байкальской складчатой области. Цели и задачи исследования сформулированы четко и, в основном, выполнены. **Аннотация отражает содержание диссертационной работы. Защищаемые положения являются оригинальными, достаточно убедительно аргументированными и опубликованы в четырех статьях в рецензируемых журналах из списка ВАК, а также доложены на ряде конференций.**

На основании вышеизложенного считаю, что **диссертация** «Геология, минералогия и условия формирования золото-кварцевых месторождений в докембрийских комплексах Саяно-Байкальской складчатой области (на примере Пионерского и Кедровского месторождений)» **соответствует критериям, установленным п. 9-14 «Положения о**

порядке присуждения ученых степеней» (постановление Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. №842) для **ученой степени кандидата наук**, а её автор, Извекова Александра Дмитриевна, **заслуживает присуждения ученой степени кандидата геолого-минералогических наук** по специальности 1.6.10 – Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения.

Официальный оппонент,
Неволько Петр Александрович
кандидат геолого- минералогических наук,
и.о. заведующего лабораторией/старший научный сотрудник
Лаборатория рудообразующих систем
Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН
630090,г. Новосибирск, проспект Академика Коптюга д. 3
www.igm.nsc.ru
nevolko@igm.nsc.ru
+7(383) 373-02-26 (доб. 710).

Я, Неволько Петр Александрович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой Диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

5 сентября 2023 года

Подпись



ПОДПИСЬ У ДОСТОВЕРЯЮ
ЗАВ. КАНЦЕЛЯРИЕЙ
ЖИЛОВА Е.Е.
05.09.2023г