

ОТЗЫВ

официального оппонента

о диссертации **Сильянова Сергея Анатольевича «Геология и минералого-геохимические индикаторы генезиса золоторудного меторождения Олимпиада (Енисейский кряж)»**, представленной на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.11 – геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых; минерагения.

На рецензию представлена диссертация, состоящая из Введения, шести глав, Заключения, списка литературы (273 наименования) и Приложения «Образцы и методы исследования», общим объемом 185 страниц, а также автореферат на 24 стр. Диссертация проиллюстрирована 64 рисунками + 3 в Приложении и 18 таблицами, размещенными в тексте.

Золотое оруденение является одним из важнейших промышленно значимых компонентов минерально-ресурсного комплекса Сибирского федерального округа Российской Федерации, в котором золотоносная провинция Енисейского кряжа занимает ведущее место еще с середины позапрошлого века. Изученность региона весьма высока и широко освещена в литературе. Прежде всего, это касается рудных месторождений Эльдorado, Советское, Герфед, Удерейское. Месторождение Олимпиада в этом ряду занимает особое место, как одно из последних и крупнейшее из открытых в современной истории Енисейского кряжа, и как комплексное золото-сурьмяное, со сложной минералогией. Несмотря на то, что его изучению было уделено повышенное внимание (Генкин и др., 1994; Прокофьев и др., 1994; Баранова и др., 1997; Новожилов, Гаврилов, 1999; Ли, 2003; Савичев и др., 2006; Сердюк и др., 2010; Константинов, 2011; Новожилов и др., 2014; Yakubchuk et al., 2014; Кряжев, 2017; Sazonov et al., 2020), в вопросах происхождения и эволюции рудной минерализации этого объекта имеется много неясностей. Как в условиях локализации полезного компонента руд, так и в вопросах перераспределения вещества в процессе рудообразования, и относительно возраста оруденения, и возможных источников полезных компонентов. Поэтому работы, направленные на изучение тонких минералого-геохимических особенностей руд этого месторождения, получение новой информации по характеристике флюидных рудообразующих систем, дополнительной информации по источникам вещества и датировкам руд, являются весьма актуальными и это определяет актуальность рецензируемого исследования С.А.Сильянова. Актуальность и значение работы также заключаются в комплексном применении тонких минералогических и геохимических (в т.ч. и изотопных) методов исследования рудной минерализации, что позволило впервые показать специфичность геохимии рудных минералов, определить вероятности тех или иных механизмов, отвечающих за типоморфность главных минералов руд и охарактеризовать особенности распределения «невидимого» золота в них, что важно также и в технологическом плане изучения перспективности руд. Автором также проведено обобщение большого объема современного фактического материала, с попыткой определенной его систематизации и анализа в целях разработки геолого-генетической модели рассматриваемого оруденения, важной для определения поисковой стратегии в регионе. В этом отношении, представленная работа также имеет важное практическое значение и является весьма актуальной.

О содержании работы.

Во введении (с. 3-7) стандартно изложен весь круг вопросов организации диссертации, показана ее актуальность и значимость, раскрыты цели и задачи исследования, отмечен личный вклад автора в эту работу. Отмечено авторское видение практической значимости работы и ее новизны, показан достойный уровень ее апробации и сформулированы защищаемые положения. В качестве ремарки отмечу некоторую размытость цели «...аттестация минеральных комплексов руд ...» - это самоцель? Или, все же, это для разработки геолого-генетической модели? Очень обобщенно даны фактические материалы по отдельным видам анализа весьма важным для построений автора. Например, изучено «около 1000 шлифов и аншлифов», а почему не конкретно столько-то шлифов, столько-то аншлифов? Ведь именно по аншлифам и выстраивается последовательность минералообразования на объекте. Или, «около 70 определений изотопов Pb, S, He? А сколько и чего конкретно? Как оценить надежность выводов автора? Как-то неясно написана новизна исследования, часть из которой показана только в Заключение автореферата.

Глава 1 Геология Олимпиаднинского месторождения (с.8-34) представляет собой обзор представлений о геологическом строении рассматриваемого месторождения, его месте в структуре отложений Енисейского кряжа, с упором на характеристику собственно Олимпиаднинского рудного поля, приведена история освоения территории месторождения. Достаточно подробно охарактеризованы вмещающие породы и метасоматиты, даны общие сведения о геохимической специфике руд. Главным замечанием к материалам главы следует отнести отсутствие в ней выводов, обосновывающих геологическую специфику, металлогеническую картину и последовательность формирования разнотипного оруденения. В целом, геология оруденения охарактеризована очень схематично и как-то сумбурно. Так, в региональном аспекте, за пределами внимания автора, почему-то осталась полиметаллическая минерализация региона (Горевское и пр. месторождения) и ее соотношение с золоторудной. Странно, что для иллюстрации геологического строения региона приведена схема 1968 года. Как-то не верится, что для такого региона больше ничего не сделано. На рис. 1.4 показаны «содержания золота в %» без масштаба, что это значит? Частота локализации рудных объектов? Уровень запасов рудных объектов? На карте рудного поля отсутствуют складчато-надвиговые системы, обсуждаемые на с. 20. В локальном плане, при характеристике месторождения не приведено геологической карты объекта (приложение П1, таковой считаться не может, исходя из названия), автор ограничился только цифровой моделью отработки рудных тел (рис. 1.6, 1.7), без каких-либо геологических иллюстраций, кроме локальных разрезов (рис. 1.8, П2-4), кстати на графику приложений в данном разделе главы ссылок просто нет. Как-то неаккуратно автором используются термины, например, «литолого-стратиграфический состав пород» (с. 25). При просмотре главы создалось впечатление, что она представлена здесь, поскольку в названии самой работы есть слово Геология, хотя в последующем, вся работа и защищаемые положения связаны прежде всего с генезисом оруденения, его минералогическими и геохимическими особенностями и материалы этой главы практически не использованы. Для нее лучше бы подошло название Общая характеристика месторождения как объекта исследования Олимпиада: геологическая позиция, минералогические и геохимические особенности руд.

Глава 2 Рудная минералогия месторождения (с.35-60) представляет собой сводную характеристику первичных (сульфидных) с.35-48 и вторичных (окисленных) с.48-59 руд месторождения. Здесь автор показывает свой уровень владения материалами по изучению состава руд, приводит данные об общем составе первичных минералов (табл. 2.1), но при этом не указывает списка вторичных минералов, которым посвящен большой раздел главы. Здесь также наблюдаются разночтения в цифрах, так на с. 36 говорится о том, что «диагностировано порядка 30 рудных минералов...», хотя если посмотреть на список табл. 2.1 там явно гораздо больше минералов. И кстати, это все безымянное, т.е. складывается впечатление, что это авторское достижение. Так ли это? Да и хлоритоид к слюдам относить как-то не очень корректно. Эта глава является ключевой или базовой для дальнейших построений автора, и она насыщена фактическим авторским и литературным материалом,

равно как и демонстрацией авторского владения литературным материалом по рассматриваемым вопросам. Хотя, к сожалению, она написана не в классическом стиле, предусматривающим все же краткие характеристики минералов руд. Здесь дано только перечисление, что заметно снижает впечатление. В этой главе много внимания уделено стадийности процесса минералообразования, на которую в дальнейшем опирается автор, но, к сожалению, ее обоснование также формализовано таблицей 2.2 и у читателя остается недоумение от того, что в тексте характеризуется «ранний вкрапленный сульфидный комплекс» и «поздний золото-сурьмяный» (с.38), и куда-то исчезла «стадия сульфидов полиметаллов». И в дальнейшем тексте фокус именно только на ранние и поздние сульфиды и все, т.е. на два этапа минерализации. Таблица 2.2. приведена также без авторства, правда в автореферате это исправлено, но в тексте диссертации осталось, кстати это общее замечание ко многим рисункам и таблицам текста, например рис. 1.4, 6-7, 11; 2.2, 8; 4.3-4; рис. 5.4; 6.4 табл. 5.5, 6). Следует отметить тщательность исследования минералогии руд, судя по подобранным иллюстрациям, четко фиксирующих процессы эволюции рудной минерализации, что, несомненно, является достижением автора. Здесь уже есть выводы по главе, в которых рассмотрены основные типы руд, их стадийность, и характеристика форм золота. Правда, некоторые выводы автора не совсем корректны. Например цитата: «По парагенетическим отношениям рудных минералов выделяется последовательный ряд стадийного минералообразования, разделенный тектоническими перерывами». Что, по соотношениям минералов выделены тектонические перерывы? Следовало бы показать эти соотношения, равно как минералогические, так и структурные. Ну и все же, следовало бы, хоть как-то видоизменить текст. Так шесть строчек последнего абзаца главы (с.60) являются полным повтором текста на с. 48.

Глава 3 Геохимия рудных минералов (стр. 61-104) посвящена тонкой геохимии главных рудных минералов и несомненно является украшением работы и по самой фактической части, и по новизне полученных результатов, и по уровню анализа полученных данных в сравнении с мировыми примерами. Это позволило автору рассмотреть историю локализации золота в рудах месторождения и оценить факторы перехода от «невидимой» формы к самородной форме этого элемента и рассмотреть геохимические особенности процесса минералообразования, через призму локальной геохимии рудных минералов, показав возможности тонких геохимических методов в минералогии рудных объектов. Но вот выводы у автора, на мой взгляд, совсем не получились. По крайней мере, как можно понимать финальную фразу: «Однако, полученные данные по геохимии редких, рассеянных, сидерофильных и халькофильных элементов, а также благородных металлов позволяют говорить о комплексном источнике рудного вещества, который мог быть связан как с метаосадочными вмещающими породами, так и с магматическими породами и глубинными мантийными процессами.»? (с. 104). Т.е., делай, не делай тонкие исследования – результат один? На мой взгляд, в этой главе автор четко показал эпигенетичность продуктивной минерализации и предпочтительность связи ее именно с магматическим источником, вероятнее всего гранитогенным (ассоциация Au, W, Bi, B). Но это уже дискуссия!

Глава 4 Золото в арсенопирите (с.105-118), самая маленькая в работе и посвящена вопросам типоморфизма арсенопирита – главного из рудных минералов месторождения. Результаты этой главы существенно дополняют выводы автора по предыдущей главе и подтверждают первое защищаемое положение. Автором разобрана позиция золота, через призму изучения минералогии, кристаллохимии арсенопирита конкретных образцов разных типов руд, на основании авторских данных по химическому составу и структурных исследований, и на хорошем обзоре этих вопросов в литературе. Вместе с материалами второй и третьей глав ее данные положены в основу первого защищаемого положения. Существенных замечаний к главе нет.

Глава 5 РТХ – параметры рудообразования (с.119-142) посвящена физико-химическим параметрам рудообразования в пределах глубоких горизонтов этого крупного месторождения. Обзор результатов исследований флюидного режима подтверждает

генетические различия типов руд изученных месторождений. В главе приведены данные достаточные для обоснования второго защищаемого положения. Представляются весьма интересными наблюдения и выводы автора о природе углеводородных включений в кварце, сопровождающем золотоносные ассоциации. Интересны также данные по уровню концентраций во флюидных включениях рудообразующих элементов и элементов спутников, подтверждающих выводы автора. Следует отметить, что отсутствие у автора данных о флюидных включениях в минералах полиметаллической ассоциации, лишний раз указывает на проблематичность ее выделения, а высокие концентрации флюидов золотоносной стадии, равно как и присутствие галогенсодержащих углеводородов (с. 128), служат подтверждением гранитогенности рудной минерализации. В порядке дискуссии также отмечу спорность утверждения автора о преобладании углекислоты в кварце золото-мышьяковых ассоциаций, просто тут надо учитывать и комментировать, выявленные в этом кварце автором, три группы включений (рис. 5.4): существенно метановые, существенно углекислотные и смешанные, с варьирующими концентрациями азота. В качестве замечания укажу на отсутствие связи материалов хорошего авторского обзора о химическом состоянии рудных элементов во флюидах, с собственно авторскими полученными данными. Также неясно содержание рис. 5.1 – где какие генерации кварца? или рис. 5.3 «Солевой состав флюидов месторождения» - это все что есть? Или только авторские данные?

Глава 6 Источники вещества и возраст месторождения (с.143-157). В этой главе автор обосновывает время формирования и обсуждает возможные источники рудной минерализации, и прежде всего, золота. Здесь автор продемонстрировал свои способности к синтезу геологических, минералого-геохимических данных, к анализу оригинальных авторских и литературных данных по стабильным и радиогенным изотопам рудных и жильных минералов. Здесь можно согласиться с ним и с его предшественниками, что оруденение полигенное и полихронное и сформировалось в течение двух этапов раннего, по всем признакам, орогенного, и позднего пост-орогенного, может быть рифтогенного. Конечно, вопросы генезиса оруденения всегда вызывают большие дискуссии, но без них никак не получается. В рассматриваемой главе Сергей Анатольевич собрал почти все доступные ему данные по изотопному составу минералов руд и по датировкам процесса минералообразования и в принципе можно согласиться с тем, что представленное им третье защищаемое положение в данной главе обосновано. Но в порядке дискуссии следует остановиться на ряде аспектов, не учтенных исследователем. Во-первых, рис. 6.1 показывает большую неопределенность в данных А.А.Савичева и автора, о чем свидетельствует разброс точек. Это, по всей видимости, обусловлено проведением анализов в разных лабораториях. Но все равно, автору следовало более пристально рассмотреть эти данные и обсудить разницу – почему изотопный состав свинца позднего арсенопирита оказался более радиогенным и компактным, по сравнению с ранним, и, самое главное, почему главные минералы позднего этапа имеют самый примитивный свинец, резко отличный от позднего арсенопирита? И аналогичная ситуация с изотопией серы, где как-то исчезли две генерации арсенопирита, от чего генетический смысл приведенных данных оказался не раскрытым. Здесь можно говорить только о наследовании изотопного состава серы поздних сульфидов от ранних. Интересен материал по изотопии осмия, четко показавший разницу в происхождении раннего ювенильного и позднего корового арсенопирита. Но опять-таки, автор ушел от обсуждения того, что антимонит и бертьерит в этом плане имеют изотопный состав осмия близкий к раннему арсенопириту (с.147). В чем причина? Во-вторых, о возрасте руд дискутировать можно много, но прежде всего, правильнее говорить о датировках. Потому, что аргон-аргоновые датировки относительно ненадежны, в силу легкой изменчивости аргоновой изотопной системы от наложенных этапов минерализации. Если о позднем этапе можно согласиться, в принципе, с выводом автора, хотя многие приведенные им оригинальные аргонограммы слегка «горбатые», т.е. имеют относительно низкую надежность. То для раннего этапа надо четко себе представлять, что «возраст», который обосновывается автором, является только минимальной оценкой возраста. В качестве

примера, можно указать на недавно опубликованные данные А.А.Савичева с коллегами об изохронных Sm-Nd датировках руд месторождения, которые оказались существенно выше (924-912 млн лет) и, кстати, гораздо лучше согласуются с возрастом орогенного магматизма. По крайней мере, принимая точку зрения автора, следует четко отдавать себе отчет, что истинный возраст раннего оруденения, вероятнее всего, лежит в интервале 850-900 млн лет, близко ко времени становления Чиримбинского массива гранитов. И в этом отношении, типично орогенная, в понимании Ричарда Гольдфарба и Дэвида Гровса, ранняя минерализация нормально увязывается с орогенной фазой развития территории, и не надо притягивать LIP фемического магматизма, с которым оруденение данного типа не ассоциирует, зато обычно ассоциирует позднее оруденение сурьмяного типа со ртутью.

Заключение (с.158-159) содержит основные выводы автора, резюмирующие его построения в предыдущих главах. В сжатом виде, показываются основные результаты авторской работы и указываются проблемы требующие решения. Здесь, в порядке дискуссии о будущих работах, я бы отметил, что главная проблема Олимпиады – это отсутствие систематического фундаментального изучения минералогии руд, что всегда будет оставлять неопределенность в генетических построениях.

Список литературы (с. 160-175). Обычно его не комментируют, но я хочу подчеркнуть, что автором использован очень большой объем англоязычной литературы (две трети списка), что указывает на основательное знакомство его со взглядами иностранных коллег, занимавшихся проблемами, обсужденными автором.

Приложение Образцы и методы исследования (с.176-185). В этом разделе указаны лаборатории и методы исследования минералов, примененных автором, ссылки на которые обычно даются в таблицах аналитических данных. Только автору следовало бы давать сноски на эти приложения хотя бы в тексте.

Переходя к общим положениям отзыва, отмечу, что С.А.Сильянову, несмотря не высказанные в соответствующих разделах отзыва замечания и дискуссию, удалось создать достаточно логичную систему взглядов на процессы формирования золотой минерализации глубоких горизонтов крупнейшего золоторудного месторождения, рассматриваемого региона. Это позволяет говорить о его диссертации как о завершённой работе, внесшей определенный вклад в понимание специфики вещественного состава и геохимии руд, а также генезиса разнотипного и разновозрастного оруденения глубоких горизонтов месторождения Олимпиада. Полученные автором данные о минеральном составе руд, типоморфизме арсенопирита, геохимии рудных минералов, формам нахождения золота и проведенная им их интерпретация, показывают, что С.А.Сильянов, состоялся как специалист, претендующий на искомую степень. Есть и общие замечания: текст работы требует редакции, он написан так, что далеко не всегда ясна роль автора, точнее его вклад, в представленных построениях, да и слово геология можно было не включать в название, поскольку работа все же сфокусирована на проблемах минералогии, геохимии и геохронологии оруденения глубоких горизонтов этого крупного объекта.

Новизна исследования и полученных результатов. Новизной работы является впервые введенные в научный оборот данные о нюансах минералогии и геохимии руд глубоких горизонтов месторождения Олимпиада, одного из крупнейших в России. Важный элемент новизны содержится в комплексной геохимической характеристике главных минералов руд современными аналитическими локальными методами, что позволило предметно говорить не только о формах нахождения золота в рудах, но и на качественно новом уровне охарактеризовать геохимические особенности рудного процесса, что важно для понимания генезиса руд. Новыми являются и приведенные автором данные о характеристике флюидных включений рудной минерализации глубоких горизонтов месторождения.

Степень обоснованности и достоверности каждого научного положения, выводов и заключений соискателя, заключается в тех многочисленных докладах на конференциях разного уровня и в восьми публикациях в «ВАКовских» журналах и признанных иностранных журналах. Этот уровень апробации позволяет не сомневаться в достоверности

авторских разработок. Все рассмотренные положения работы, на мой взгляд, нашли отражение в коллективных публикациях с участием С.А.Сильянова. Защищаемые положения обоснованы в достаточной степени.

Изложенные автором положения и результаты, несомненно, имеют важное практическое значение, поскольку они касаются создания геолого-генетической модели формирования крупнейшего месторождения золота Красноярского края. Такая модель должна быть положена в основу поисково-прогнозных геолого-минералогических критериев промышленной золотой минерализации в Енисейском кряже.

Автореферат, в целом, соответствует содержанию диссертации и защищаемым положениям.

В заключение своего отзыва еще раз отмечу, что диссертация своим содержанием обосновывает защищаемые положения. В соответствии с п.9-11 раздела II «Положения...», она является серьезным научно-квалификационным исследованием, внесшим определенный вклад в познание генезиса золоторудной минерализации глубоких горизонтов месторождения Олимпиада, одного из крупнейших месторождений золота России и ее автору – Сильянову Сергей Анатольевич можно присудить ученую степень кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.11 – геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых; минерагения.

Главный научный сотрудник СВКНИИ ДВО РАН, г.Магадан
Член Президиума ДВО РАН, член-корреспондент РАН,
д.г.-м.н., профессор

Н.А.Горячев

5.04.2021

Николай Анатольевич Горячев, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Северо-Восточного комплексного научно-исследовательского института им. Н.А.Шило Дальневосточного отделения Российской академии наук, 685000 Магадан, ул. Портовая 16, (4132)631510, goryachev@neisri.ru

Дата оформления отзыва - 5 апреля 2021 г.

Я, Горячев Николай Анатольевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой Диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

Подпись члена-корреспондента РАН
Н.А.Горячева заверяю

Главный ученый секретарь
Дальневосточного
отделения РАН, академик
В.В.Богатов

