

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Сильянова Сергея Анатольевича «Геология и минералого-геохимические индикаторы генезиса золоторудного месторождения 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»

Диссертация С.А. Сильянова посвящена изучению вещественного состава одного из крупнейших в мире по своим запасам золоторудных месторождений. В геологическом отношении Олимпиада характеризуется сложной тектоникой и литологией вмещающих пород, широким разнообразием оруденелых минеральных комплексов и длительной, многоэтапной историей своего геологического развития. Актуальность постановки такой работы не вызывает сомнений. Проблема генезиса Олимпиады окончательно не решена и явно заслуживает переосмысления в XXI веке, чему явно могло поспособствовать применение современных методов исследования вещества, использованных диссертантом в своей работе.

Следует отметить, что геология месторождения диссертантом рассмотрена поверхностно, геологическая модель Олимпиады (рис. 1 автореферата), используемая С.А. Сильяновым, далеко не нова и базируется на результатах работ 1970-1980 гг. Результаты геологического изучения глубоких горизонтов месторождения отсутствуют, геологические разрезы месторождения и его рудного поля не приведены, распределение руд разных типов из автореферата не понятны. Исходя из этого, позиция термина «Геология» во главе названия диссертационной работы представляется не совсем уместной.

Во введении автореферата приведена характеристика вещественных комплексов Олимпиады, на основе которой раскрываются защищаемые положения. Вызывает ряд вопросов т.н. «парагенетическая схема» (таблица 1, стр. 9), отражающая минеральную историю формирования месторождения, и использованная С.А. Сильяновым в этой связи терминология: в титуле таблицы 1 заявлены «минеральные парагенезисы», по ее тексту проходят «минеральные ассоциации», а по тексту самого автореферата – уже «минеральные комплексы», что не добавляет ясности в изложении и так достаточно спорных моментов стадийности минерализации. Последних существует множество. Например, почему в составе стадии ранних сульфидов присутствует кварц, но отсутствуют карбонаты - диссертант не считает карбонатную матрицу руд гидротермально преобразованной? Почему в «парагенетической схеме» вообще отсутствуют слюды, на основе изучения которых формулируется третье защищаемое положение? Зачем необходимо выделение стадии(?) сульфидов полиметаллов, по минеральному составу фактически не отличающейся от таковой для ранних сульфидов, если их ареалы распространения перекрываются (стр. 9 автореферата)? В тексте автореферата С.А. Сильянов практически не оперирует терминами «стадия минералообразования» или «генерация минерала», ограничиваясь морфологическими (например, призматический, игольчатый арсенопириты) или возрастными (например, ранний и поздний пириты) определениями, вследствие чего привязать ту или иную изотопно датированную или геохимически охарактеризованную разновидность минерала к парагенетической схеме становится очень сложно.

Далее по тексту автореферата, к сожалению, отсутствует преимущество выбранной ранее «парагенетической схеме». Исходя из табл. 1, читателю автореферата С.А. Сильянова должно быть очевидно, что история минеральных комплексов Олимпиады начинается с вольфрамита и шеелита ассоциации ранних (золотоносных) сульфидов, однако из табл. 2 (стр. 15) читатель узнает, что в

геологической истории месторождения еще существовала дорудная стадия жильного кварца с температурой ее образования в 325-200°C. На стр. 16 автореферата уже постулируется генетическая подоплека таких образований: «...ранний (дорудный) флюид, сформировавший метаморфогенный жильный кварц». А на стр. 17 автореферата внезапно выясняется, что «...гидротермальная деятельность на месторождении началась с формирования незолотоносных кварц-слюдяно-сульфидных ассоциаций». Соискателем не в полной мере осмыслены результаты предшествующих исследований, поскольку еще в 1985 г в отчете по разведке месторождения (В.А.Лопатин и др.) была приведена развернутая схема последовательности минералообразования Олимпиады, с указанием на наличие широкого круга прерудных гидротермалитов, которая впоследствии только немного дополнялась и уточнялась многочисленными авторами. Также крайне удивляет, что «...в первичных (сульфидных) рудах Восточного участка месторождения... На сегодня диагностировано около 48 минералов» (стр. 9), хотя уже в 2004 г кадастр минералов Олимпиады насчитывал более 200 наименований.

На защиту в автореферате вынесены три положения, несущие элементы научной новизны. При их обосновании С.А. Сильянов пользовался результатами современных методов локального исследования вещества, что существенно повышает значимость проведенных исследований. С другой стороны, следует указать на дискретность в осмыслении результатов исследований: некоторым проблемам, например, золото- и сереброносности мало распространенных на месторождении минералов уделено большое внимание, а главный носитель золота – арсенопирит не удостоен простых расчетов средних по морфологическим типам.

При обосновании первого защищаемого положения С.А.Сильянов использует результаты LA-ICP-MS определений золота в арсенопиритах. Всего диссертантом получено 44 точечных анализа этого минерала из одной скважины, при этом, какое количество образцов проанализировано и насколько он репрезентативны типичным рудам Олимпиады, ни из автореферата, ни из диссертации выяснить не удалось. Каких-либо таблиц с численными содержаниями элементов в минералах и металлов в опробованных интервалах руд так же нет. Исходя из приведенного на рис. 3 (стр.11 автореферата) графика, медианные оценки содержания золота для игольчатого арсенопирита составят ~60 ppm, призматического ~20 ppm, дипирамидального ~0.2 ppm. Если исходить из известных количественных данных о содержании арсенопирита в рудах Олимпиады (0,6–2,1 мас. %, стр. 36 диссертации) и принять максимально возможное значение в 2,0 мас. % для игольчатого арсенопирита, то количество золота в рудах, заключенное в этом минерале составит $60 \cdot 2 / 100 = 1,2$ ppm, это только около ~1/3 от среднего содержания Au=3,9 ppm в мышьяковистых рудах (стр. 44 диссертации). Похожие оценки (около 35 % золота связано в арсенопирите) и ранее были приведены в протоколах технологических испытаний сульфидных руд Олимпиады. Остается вопрос - можно ли считать содержания золота, связанного в арсенопирите, на уровне 1 ppm Au на массу руд промышленными для Олимпиады?

Кроме того, возникает еще один вопрос генетического характера – а как образовались другие 2/3 золота Олимпиады? Все ли они были переотложены из игольчатого арсенопирита, или, возможно, существовал другой первичный источник золота - наиболее типичный для Енисейского кряжа кварцевожильный? В поддержку второго варианта следует упомянуть, что рудное поле Олимпиады сопровождалось россыпями крупного золота (по историческим свидетельствам – от золототника, 4,3 гр. до фунта, 410 гр. (Ли, 2003). На Олимпиаде выявлялись золотоносные кварцевые жилы с крупным арсенопиритом. Изотопные составы серы (Кряжев, 2017) и осмия (Naumov et al., 2015) такого арсенопирита - коровые и близки к таковым на орогенных Au-месторождениях (Советское, Эльдорадо и др.).

Соответственно, вопрос, можно ли считать первую часть защищаемого положения 1, гласящую, что «промышленные концентрации золота образовались на стадии ранних сульфидов в структурно связанной и наноразмерной металлической форме в игольчатом арсенопирите» доказанной, остается открытым.

Далее при раскрытии положения 1 в автореферате С.А. Сильянов приводит содержания золота в минералах поздних ассоциаций, в т.ч. сурьмяных, констатируя, что «главным минералом-концентратором «невидимого» Au в этой ассоциации является гудмундит (~1 ppm)» (стр. 14 автореферата). Подобное заключение, мягко говоря, удивляет, поскольку абзацем выше диссертант приводит данные о достаточно широком развитии в рудах Олимпиады аурустибита AuSb_2 , который С.А. Сильянов почему-то считает золотом «низкой пробы (734–825 ‰), однородного строения с повышенным содержанием Sb (до 16,6 %) и примесью Ni (до 6,5 %)». Напротив, изоморфная примесь никеля в аурустибите является его типоморфным признаком вследствие изоструктурности минерала с нисбитом NiSb_2 , неоднократно отмеченным в сурьмяных рудах Олимпиады (Совмен и др., 2009). Очевидно, что при содержаниях $\text{Au} \sim 1$ ppm гудмундит должен почти в 1 000 000 раз по массе преобладать над аурустибитом, чтобы считаться главным концентратором химически связанного золота в сурьмяных рудах.

Вторая часть положения 1 «развитие рудного процесса с формированием полиметаллической и стибнит-бертьеритовой минерализации привело к перекристаллизации ранних сульфидов, ремобилизации и переотложению золота в самородной форме» в автореферате не вызывает принципиальных возражений, за исключением использования термина «перекристаллизация». Ее движущей силой является не вынуждаемое извне явление, например, пересыщение раствора, а самопроизвольное явление трансформации минерального агрегата за счет внутренней энергии (Попов, 2010). На Олимпиаде имело место частичное или полное растворение ранних рудных минералов поздними флюидами и формирование новых минеральных фаз за счет переведенных в истинный или коллоидный раствор металлов (например, аурустибита, под воздействием Sb-носных растворов на высвобожденное из арсенопирита металлическое Au).

Второе защищаемое положение диссертанта достаточно убедительно показывает принципиальные различия между параметрами рудообразующих флюидов, сформировавших золото-арсенопиритовую и золото-сурьмяную минерализацию. Последней отвечают более низкотемпературные, низкосоленые и низкосульфурированные рудообразующие растворы. Параметры же флюидов «дорудной» кварцевожильной и ранней рудной стадии во многом перекрываются, метаморфогенный генезис незолотоносного флюида с $T=325-200^\circ\text{C}$, $P=2.2-0.6$ кбар диссертантом не ничем доказан.

Третье защищаемое положение С.А.Сильянова относит читателя к проблеме генезиса и возраста оруденения на Олимпиаде. Это наиболее дискуссионная часть работы диссертанта. Безусловно, следует отметить, что эти проблемы сложны, на протяжении более 30 лет активно обсуждаются в печати и по сей день не решены. По большей части это связано как с уникально-многоэтапной геологической историей объекта, так и со сложностью и неоднозначностью результатов геохронологических методов датирования рудных минеральных комплексов. Тем не менее, современное состояние аналитической базы позволяет найти применимые решения, чего диссертанту сделать, к сожалению, не удалось. По мнению автора отзыва, положение не корректно как по своему содержанию, так и по методологии примененных для его обоснования исследований.

Во-первых, непонятно, что диссертант подразумевает под словосочетанием формирование месторождения? Если это интервал времени становления всех его минеральных комплексов от седиментации и диагенеза рудовмещающих толщ до

образования руд зоны гипергенеза, то интервал времени в 150 млн. лет слишком мал, он находится на уровне 1,5-1,4 млрд. лет. Возраст метаосадков сухопитской серии оценивается в 1,45 млрд. лет, возраст зоны окисления Олимпиады по наиболее распространенным оценкам – мел-палеогеновый до современного (о чем С.А.Сильянов справедливо указывает на стр. 59 диссертации.).

Если же в третьем защищаемом положении имеется в виду возраст собственно золотого оруденения разных стадий, то приведённые возрастные «вилки» в 45 млн. лет для как для золото-арсенопиритового (803-758 млн. лет), так и золото-сурьмяного (660-615 млн. лет) оруденения представляются неоправданно широкими, и не соответствующими современным представлениям о длительности процесса кристаллизации рудных минералов на протяжении сотен-первых тысяч лет. Отмечу, что от рубежа 800 млн.лет за 45 млн. лет в Заангарье коллизионный режим развития успел смениться рифтогенным, сформировались прогибы шириной более 10 км, где в гораздо более узкий интервал по времени накопились 500-метровые вулканогенно-осадочные толщи Рыбинско-Панимбинского пояса. При минимальной оценке скорости движения Сибирского кратона латеральное перемещение Олимпиады за 45 млн. лет составило 900 км. Все это указывает на геологические противоречия полученным С.А.Сильяновым возрастам.

По мнению автора отзыва, интервалы формирования в 45 млн. лет для Au-As и Au-Sb руд искусственно собраны из датировок совершенно разновозрастных минеральных комплексов – метаморфогенных и собственно гидротермальных. Как показано И.И.Лихановым (2020) в Заангарье Енисейского кряжа неопротерозойский коллизионный метаморфизм достигал своих пиков 862-854 и, особенно, 802-798 млн. лет назад. Как показано в работе Kuzmichev, Sklyarov, 2016, пик возрастов анорогенного гранитоидного магматизма на Кряже составляет 760-750 млн.лет. При обосновании положения З С.А.Сильянов не рассматривает полученные ранее А.С.Борисенко и его коллегами Ar-Ag датировки по рудам Олимпиады, показавшие наличие трех возрастных плато ~ 800, 750 и 675 млн. лет и Re-Os изохронный возраст игольчатого арсенопирита 689 ± 28 млн. лет. Первые две оценки показывают возраст метаморфизма и гранитоидного магматизма, последние две – возраст оруденения. С учетом полученной диссертантом датировки золото-сурьмяных руд 660 ± 20 млн.лет. возраст оруденения Олимпиады должен лежать в более узком интервале, чем 690-660 млн. лет с незначительным отрывом по времени Au-Sb оруденения от более раннего Au-As.

К сожалению, в автореферате, диссертации и статьях С.А.Сильянова по обсуждаемой тематике отсутствует структурно-вещественная характеристика 16 продатированных Ar-Ag методом проб, без которой неясно, что это были за слюды (за исключением характеристик типа мусковит или серицит), какого химического состава, с какими взаимоотношениями с другими нерудными минералами, к каким типам деформаций пород были приурочены, в какой степени парагенные разновозрастным рудным минералам итп. Без таких исследований фактически невозможно доказать генетическую связь слюды и рудного процесса разных стадий. Вследствие морфологических особенностей метаморфогенные слоистые силикаты будут преимущественно концентрироваться в зальбандах прожилков и будин кварца, тенях давления гранатов и др., и в первую очередь попадут в пробу при сепарации минерала. Таким образом, датировки Олимпиадинских руд с возрастом 800 ± 10 млн. лет с очень большой вероятностью проведены по метаморфогенным слюдам, а возраста плато 760-720 демонстрируют потерю радиогенного аргона при воздействии постмагматических флюидов на метаморфогенные слюды.

Несмотря на высказанные замечания, во многом имеющие дискуссионный характер вследствие значительной сложности объекта изучения, следует отметить, что автореферат С.А.Сильянова в целом соответствует содержанию диссертации, ее основные положения опубликованы в печати, несут элементы научной новизны и некоторые перспективы практического применения при прогнозно-поисковых работах на золото. Работа соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», а ее автор Сильянов Сергей Анатольевич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.11 – «Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения».

Савичев Андрей Александрович,
кандидат геолого-минералогических наук (25.00.05 – минералогия,
кристаллография)
Руководитель направления по геологии месторождений блока новых горных
проектов ООО «УК Полюс»
www.polyus.com
123056 Москва, ул. Красина, 3/1
+79112439575, a_savichev@mail.ru

Я, Савичев Андрей Александрович, даю свое согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку

08 апреля 2021 г

Подпись Савичева Андрея Александровича заверяю

Александр Владимирович Савичев

