

ОТЗЫВ

официального оппонента **Чевычелова Виталия Юрьевича** на *диссертацию Выдрича Дениса Евгеньевича «Структура, закономерности локализации и прогнозная оценка молибденового месторождения Бадис (Республика Саха (Якутия))»*, представленную к защите на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.11 – геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения.

Актуальность рассматриваемой диссертационной работы не вызывает сомнений, так как в ней достаточно детально охарактеризованы структурные, минералого-геохимические и генетические особенности перспективного медно-молибден-порфирикового месторождения, расположенного в зоне создаваемого горно-металлургического кластера в Южной Якутии. Месторождения этого типа играют основную роль в мировой добыче молибдена и меди. Благоприятным фактором является также расположение объекта вблизи строящейся железнодорожной ветки (в 40 км). Актуальность работы также связана с недостаточным производством молибдена в России, и удовлетворением потребностей промышленности РФ в значительной степени за счет импорта.

Научная новизна диссертации состоит в следующих установленных закономерностях: (1) доминирующими и наиболее благоприятными для рудолокализации явились тектонические нарушения северо-восточной ориентировки, которые контролируют расположение богатых жильно-штокверковых зон со «стержневыми» кварцевыми жилами; (2) мезозойский гранитоидный шток имеет многофазное концентрически-зональное строение и центростремительную схему развития, при этом молибденовая минерализация ассоциирует с гранодиорит-порфирами второй фазы; а сульфидная (полиметаллическая) - с трубкой взрывных брекчий; (3) оруденение является многостадийным и принадлежит к семейству золотосодержащих медно-молибден-порфириковых месторождений медно-молибденовой рудной формации. Автором впервые предложена инновационная многофакторная прогностическая модель данного месторождения, которая позволила количественно оценить эрозионный срез месторождения и рудный потенциал на глубину.

Защищаемые научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, являются обоснованными и достоверными. Это подтверждается тем, что в основу диссертации положены итоги детальных полевых и камеральных исследований месторождения Бадис, выполненных автором в рамках трехлетнего государственного контракта, при этом диссертант являлся главным исполнителем семи основных разделов работ. В результате изучена трещинная тектоника рамы и рудопродуктивных гранитоидов, установлена

последовательность формирования трещин и роль различных их типов в строении штокверка. Изучены петрографические и геохимические характеристики гранитоидов, а также вещественный состав руд и окколорудных изменений. С помощью рентгеноспектрального, ICP-MS, электронно-микронного и других методов было проанализировано около 200 образцов. Изучено более 200 шлифов, 50 аншлифов и 30 протолок. Определены ведущие минеральные ассоциации и стадийность минералообразования. Составлены и уточнены геологические карты и разрезы, позволившие установить геолого-структурные и минералого-геохимические особенности месторождения. Разработана многофакторная модель месторождения, положенная в основу его прогнозной оценки, выполненной в сравнении с эталонными месторождениями. Проведён анализ опубликованных и фондовых материалов по объекту и обшеметодической литературы по молибденовым месторождениям.

Практическая ценность результатов заключается в выполненной количественной оценке рудного потенциала месторождения, предложенных перспективах наращивания запасов месторождения на флангах и на глубину, а также в разработанных рекомендациях по направлениям дальнейших геологоразведочных работ. В том числе по рациональной ориентировке поисково-разведочных пересечений штокверка горными выработками и скважинами, которые позволяют повысить инвестиционную привлекательность объекта и более целенаправленно ориентировать геологоразведочные работы в соответствии с общей структурой и зональностью. Автор входил в группу экспертов при апробации прогнозных ресурсов данного месторождения, а его обшеметодические разработки использовались при поисках в Якутии и при проведении аналогичных работ на других территориях Сибири и Дальнего Востока.

Работа состоит из введения, трех основных глав, заключения и списка опубликованной и фондовой литературы (103 работы). Объем диссертации – 134 страницы; она содержит 65 рисунков и 13 таблиц. По тематике диссертации опубликовано 11 работ, том числе 6 статей в изданиях, входящих в перечень ВАК Минобрнауки РФ. В 2-х статьях диссертант является первым автором. Основные результаты исследований были доложены на пяти научных конференциях.

В целом, по диссертации и автореферату серьезных принципиальных замечаний нет. Однако хотелось бы отметить ряд мелких замечаний и вопросов, которые автору следует учесть в его дальнейших исследованиях. (1) Что касается оформления работы, то рисунки №№ 6 и 16 в автореферате, а также рисунки №№ 1.11 правый, 3.7 и 3.11 в диссертации имеют чересчур мелкие, практически нечитаемые надписи. Я полагаю, что размер этих рисунков следовало существенно увеличить. (2) Выводы, сделанные в конце каждой из трех глав диссертации, по моему мнению, следовало сформулировать в едином стиле, более тщательно и четко.

В первой главе рассматривается тектоническая позиция, строение и структурно-геодинамические особенности формирования месторождения Бадис, в ней

диссертантом обосновываются первое и отчасти второе защищаемые положения. Рассмотрена геологическая изученность района и самого месторождения в 70-80-ые годы 20-го века. Показано, что месторождение Бадис сформировано в зоне динамического влияния Станового разлома, где в условиях правого взбросо-сдвига возникали оперяющие парагенезисы растяжения и сжатия, которые контролировали образование северо-восточных деформационных структур. Грабенообразные северо-западные структуры растяжения, определили положение Таксакандинского разлома, на пересечении которого со Становым возник локальный, глубоко проникающий раздвиг, создавший обстановку для внедрения субвулканического штока раннемеловых (122 ± 6 млн. лет) гранитоидов. Установлено, что структура месторождения имеет сложное, линейно-кольцевое строение и длительную историю. Еще в позднепротерозойскую эпоху в связи с дизъюнктивными дислокациями северо-восточного направления, вызвавшими динамометаморфизм и диафторез горных пород, происходило перераспределение молибдена и его первичная рудоконцентрация. Характер движений сохранялся и в начале мезозойской эпохи. Образование радиально-концентрических деформационных парагенезисов связано с одноосным радиальным сжатием при магматическом диапиризме в ходе многофазного внедрения гранитоидного штока. Основная масса оруденения ассоциирует со второй фазой этого штока и, отчасти, с трубкой брекчий, динамически воздействовавших на ослабленную разломами кровлю, в которой наиболее благоприятными для рудолокализации явились ранее существовавшие, и впоследствии активизированные тектонические нарушения. В морфологическом плане структура месторождения представляет собой сочетание штокверков, жильно-прожилковых зон с обогащенными молибденом «стержневыми» кварцевыми жилами и минерализованных взрывных брекчий. Форма рудных тел коррелирует с морфологией штока и ранее заложенными дизъюнктивными дислокациями.

(3) Я прошу автора пояснить фразу, приведенную в первой главе на стр. 37. «Количество HF в аксессуарном апатите из пород Бадисского штока закономерно нарастает от 2.28 % в гранодиоритах второй фазы, до 3.14 % в брекчии [Сотников и др., 1981]». Нужно объяснить, как определяли количество HF в апатите (может быть речь идет о содержании F?), и как это связано с высокой флюидонасыщенностью пород (о которой говорится выше в тексте диссертации). Кроме того, в условиях декомпрессии (согласно *P-T* диаграммам плавления кислых пород) возможно частичное плавление только «сухих» горных пород (см. стр. 25). Что при этом является источником высокой флюидонасыщенности? Хотя конечно эти вопросы являются второстепенными в обсуждаемой диссертации и прямо связаны с используемыми диссертантом литературными данными [Сотников и др., 1981; Стриха, 2012].

(4) Второе замечание связано с тем, что на стр. 24 и 30 говорится о раннемеловом возрасте всего штока гранитоидов и второй его фазы, а в 3-м выводе на стр. 43 фигурирует уже позднемеловой возраст второй фазы штока гранитоидов.

В главе 2 подробно разбираются минералого-геохимические особенности данного месторождения. Глава посвящена обоснованию второго защищаемого положения. Показано, что масштабное накопление рудных компонентов приходится на период мезозойской активизации во время становления штока гранитоидов, которое сопровождалось интенсивными метасоматическими процессами биотитизации, калишпатизации, пропилитизации, окварцевания, пиритизации и аргиллитизации. Метасоматические процессы проявлялись как по площади, охватывая весь объём пород, так и локально вдоль трещин, возникших в ходе формирования линейно-кольцевой структуры месторождения. Установленная автором последовательность минералообразования на данном месторождении включает шесть стадий: динамометаморфическую, кварц-КПШ, кварц-магнетитовую, кварц-молибденитовую, кварц-карбонатно-сульфидную (полиметаллическую) и гипергенную. С кварц-молибденитовой стадией связано отложение основной массы молибдена, а в течение кварц-карбонатно-сульфидной стадии происходило отложение халькопирита (основного медьсодержащего рудного минерала) и золотой минерализации, присутствующей в сульфидах в дисперсном состоянии. В качестве плюса нужно отметить приведенное во второй главе большое количество микрофотографий, иллюстрирующих метасоматические и рудные процессы, подробное описание рудной (сульфидной) минералогии с микрозондовыми анализами минералов, а также весьма информативные результаты геохимического исследования монофракций основных рудных сульфидов (пирита, халькопирита, сфалерита и галенита) методом ICP-MS на содержание большого количества элементов-примесей.

(5) По второй главе есть небольшие замечания к схеме последовательности минералообразования, приведенной на стр.51. Так, например, тремолит внесен в список минералов, но не отмечен ни в одной стадии минералообразования; хризоколла описан в тексте как вторичный рудный минерал гипергенной стадии, но не включен в схему последовательности.

(6) В § 2.2 на стр.54-55 при описании стадий минералообразования приведены очень ценные и полезные рекомендации, касающиеся рациональной ориентировки разведочных линий и скважинных пересечений. Однако среди минералогических описаний они теряются, и более целесообразным было бы привести их, например, в § 3.2 при описании рудного потенциала месторождения.

(7) В заключении второй главы, на мой взгляд, полезно было бы рассмотреть более детально соотношение и взаимосвязь рудных стадий минералообразования с выделенными метасоматическими процессами.

В третьей главе диссертации обсуждаются формационно-генетические особенности и прогноз оруденения. Эта глава является самой большой по объему, и в

ней обосновывается третье защищаемое положение. Рассчитанный автором для рыхлых отложений рудного поля Бадис геохимический рудно-формационный ряд элементов свидетельствует о наиболее высоких коэффициентах концентрации и дисперсии для молибдена и специализации площади на рудную минерализацию медно-висмут-молибденового типа. Выявленная пространственная латеральная зональность элементов от центра к периферии является также выражением вертикальной зональности (снизу-вверх): $Cu \rightarrow Mo \rightarrow W \rightarrow Bi \rightarrow (Pb, Zn) \rightarrow Ag \rightarrow Ba \rightarrow Au$. Оценка уровня эрозионного среза различных участков месторождения, путем использования анализа зонального расположения геохимических аномалий и их производных, представляется важным плюсом данной работы. Установлено, что уровень среза на объекте в целом соответствует среднерудному, но в значительной части блоков он характеризуется верхнерудным уровнем, при этом в пределах этих блоков на глубине можно ожидать наличие продуктивного медно-молибденового оруденения. Величина денудационного среза от палеоповерхности составляла порядка 200 м на периферии объекта; 450 м — в блоках с верхнерудным срезом; и 700 м — в более эродированной части месторождения, где вскрыт среднерудный уровень. Автор делает вывод, что различные участки месторождения остались недоразведанными на глубину от 80 до 350 м. По результатам статистической обработки материалов опробования показано, что ореолы меди локализуются на более низких гипсометрических уровнях по отношению к молибдену. При этом с глубиной коэффициент концентрации молибдена закономерно увеличивается, что даёт основание предполагать на глубине продуктивную молибденовую минерализацию. Ценность диссертационной работы заключается также в прогнозно-поисковой многофакторной модели месторождения Бадис, составленной на основе геолого-структурных и минералого-геохимических характеристик, мерой информативности которых выступала их связь с оруденением. Предложенная прогнозно-поисковая модель показывает, что данное месторождение следует относить к разряду крупных, что согласуется с результатами ретроспективного анализа истории оценок его прогнозных ресурсов. Ценность объекта возрастает в связи с комплексностью руд, в которых, помимо молибдена, меди и рения, присутствует попутное золото, изучению которого рекомендуется уделить пристальное внимание. В практическом плане для решения вопроса попутного извлечения золота диссертант подчеркивает необходимость провести укрупненные лабораторно-технологические испытания на представительной пробе, массой 500–600 кг для подтверждения возможности выделения золота из сульфидного промпродукта.

Замечания к третьей главе следующие. (8) На стр. 81 показано, что в соответствии с латеральной и вертикальной геохимической зональностью формирование медной минерализации предшествует молибденовой. На стр. 88 написано: «анализ геохимических данных по разрезу свидетельствует, что ореолы меди локализуются на более низких гипсометрических уровнях по отношению к

молибдену». В тоже время во второй главе на стр. 51, 55 и 59 показано, что основная масса молибденита выделялось в течение более ранней кварц-молибденитовой стадии минералообразования по сравнению с формированием медного (халькопиритового) оруденения на более поздней кварц-карбонатно-сульфидной стадии. Хотелось бы выслушать мнение диссертанта о данном противоречии геохимической и минералогической зональности по времени формирования медного и молибденового оруденения.

(9) На мой взгляд, рис. 3.7, 3.8 и 3.9 на стр. 89, 91 и 92, показывающие первичные геохимические ореолы элементов на разных участках месторождения, демонстрируют богатые интервалы молибденового оруденения не глубже 50 (100) метров от поверхности. Как с этим согласуется предположение диссертанта о присутствии продуктивной молибденовой минерализации на глубине?

(10) В заключении диссертации на стр. 123 написано, что «Прогнозно-ресурсный потенциал месторождения Бадис складывается из ресурсов молибдена – 410 тыс. тонн, меди — 538 тыс. тонн, рения — 78 тонн, и золота — 15 тонн» и «эти цифры характеризует нижнюю границу его суммарного рудного потенциала». На основании данных показанных в третьей главе диссертации, в частности, на стр. 107, приведенные здесь цифры, на мой взгляд, представляются существенно завышенными, по крайней мере, до получения результатов рекомендуемой диссертантом доразведки месторождения на глубину.

Содержание диссертации полностью соответствует специальности 25.00.11 «геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения». А содержание автореферата целиком отражает содержание рассматриваемой диссертации. Защищаемые в диссертации положения являются ясно и четко сформулированными, хорошо аргументированными, обоснованными в тексте работы и не вызывают возражений.

В целом диссертационная работа представляет выполненное на современном уровне цельное законченное исследование на весьма интересную и актуальную тему и вносит заметный вклад в проблемы исследования структурных особенностей, закономерностей локализации и прогнозных оценок золотосодержащих медно-молибденовых порфировых месторождений (медно-порфировый тип). Работа соответствует всем требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а автор работы, несомненно, заслуживает присуждения ученой степени кандидата геолого-минералогических наук.

Чевычелов Виталий Юрьевич
Доктор геолого-минералогических наук
И.О. главного научного сотрудника

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Институт экспериментальной минералогии имени академика Д.С. Коржинского
Российской Академии Наук (ИЭМ РАН)
Лаборатория моделей рудных месторождений

Почтовый адрес: ИЭМ РАН, ул. Академика Осипяна, д. 4, г. Черноголовка,
Московская обл., 14243, Россия

www.iem.ac.ru,

e-mail – chev@iem.ac.ru,

phone - +7(962)971-25-14,

Я, Чевычелов Виталий Юрьевич автор данного отзыва, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

06 мая 2020 г.



М.П.

Чевычелов (подпись)

Подпись Чевычелова Виталия Юрьевича заверяю (указывается должность и ФИО лица, заверившего отзыв, также ставится гербовая печать организации).

Зав. канцелярией ИЭМ РАН *Тухомиров* *Евграф*