

Отзыв официального оппонента

доктора геолого-минералогических наук Мочалова Александра Геннадиевича на диссертацию Дамдинова Булата Батуевича «Типы благороднометального оруденения юго-восточной части Восточного Саяна: состав, условия формирования и генезис», представленную на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук по специальности 25.00.11 «Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения»

Диссертационная работа Дамдинова Булата Батуевича посвящена актуальной проблеме происхождения благороднометального оруденения Восточного Саяна на примере его юго-восточного обрамления, где сосредоточено значительное количество месторождений и рудопроявлений золота и элементов платиновой группы (ЭПГ). Несмотря на сложный характер геологического строения исследуемого региона, вследствие широкого развития здесь покровно-складчатых структур, автору удалось классифицировать все многообразие благороднометального оруденения на вполне конкретные генетические типы золотой и платинометальной минерализации с точной привязкой к конкретным разновозрастным (докембрийским и палеозойским) петрографическим комплексам.

Автором обработан и проанализирован огромный массив фактического материала, который был собран за довольно внушительный период: с 1997 по 1999 гг. и с 2004 по 2015 гг. Физико- и химико-аналитические исследования проведены на более 1000 пробах с изучением 1500 шлифов и аншлифов. Определялось содержания петрогенных элементов, благородных металлов и элементов-примесей, определение изотопного состава серы, углерода и кислорода, изотопных характеристик пород и руд на основе U-Pb, Ar-Ar, Rb-Sr и K-Ar методов, а также термо-криометрическое изучение флюидных включений в минералах.

В итоге был изучен состав золоторудных и платинометальных месторождений и рудопроявлений юго-восточной части Восточного Саяна. Определены изотопно-геохимические характеристики руд и их изотопный возраст, намечены физико-химические и геодинамические условия формирования благороднометальной минерализации и основные закономерности её размещения в регионе. Установлены возрастные этапы формирования рудообразующих систем в ходе развития Восточно-Саянской складчатой области.

Диссертационная работа, объемом 480 страниц, состоит из введения, семи глав и заключения, включает 81 таблицу, 156 рисунков. Список литературы составляет 448 наименований.

Во **введении** раскрыта *актуальность* выбранной темы, обозначены *задачи* и *научная новизна* проведенных исследований, сформулирована *теоретическая и практическая значимость* полученных результатов, приведена информация о *фактическом материале и методах исследований*. *Апробация работы* включает в себя опубликование, по теме диссертации, 85 статей, в том числе 19 статей в рецензируемых изданиях из списка ВАК, 2 статьи в научных сборниках и 64 публикации в материалах конференций и симпозиумов. *Личный вклад автора* заключается в непосредственном изучении 19 золоторудных месторождений, 5 рудопроявлений Cu, Ni и Co, содержащих платинометальную минерализацию, а также 3 офиолитовых массивов. Сформулированы 4 *защищаемые положения*. Представляется, формулировку положений можно было сократить, т.к. в каждом последующем положении повторяются части предыдущих.

Здесь же, во введении, приведен *обширный перечень коллег и соавторов*, которые в той или иной мере способствовали проведению научных работ, и которым автор выражает свою искреннюю *благодарность*.

В **главе 1** «Основные проблемы в изучении благороднометального оруденения юго-восточной части Восточного Саяна» рассмотрена *изученность* золотого и платинометального оруденения, приведен *обзор современного состояния исследований золоторудных месторождений*, включая различные подходы к их типизации, источники вещества и возрастной диапазон формирования. Чего нельзя сказать об анализе в *изучении платинометальных месторождений* в ультрамафитовых формациях. Рассмотрены лишь некоторые вопросы и одна *компилятивная типизация*. При этом *типизация происхождения ЭПГ и хромитовых руд реститовых комплексов офиолитов*, весьма непоследовательно, обсуждается на примерах островодужных зональных многофазных габбро-пироксенит-дунитовых массивов. На стр. 40 сказано, что «в офиолитовых хромитовых рудах признаки влияния летучих компонентов отсутствуют». Это явно ошибочное утверждение. Напротив, формирование хромитовых руд происходит при активном участии флюида, в состав которого входят H₂O, H₂, CO, CO₂, и ряд других компонентов. Это, в частности, показано нашими исследованиями ультрамафитов офиолитов Корякского нагорья (*множество публикаций по которым известны диссертанту, но не включённые в список литературы диссертации и не рассматриваются*), и данными по Кемпирсайскому массиву на Южном Урале, в хромитовых рудах которого зафиксировано обильное присутствие газовой-жидких

включений в хромите (Melcher F, et al., 1997), в многочисленных работах В. А. Симонова и других. В главе 1.3.2 практически сформулирован исследовательский подход диссертанта и в формулировке 3 положение о Pt-Ru-Ir-Os типе в хромититах «Поскольку офиолиты Восточного Саяна сформированы в надсубдукционной обстановке, то, наиболее вероятным механизмом образования хромититов является частичное плавление мантийного клина при просачивании расплава или флюида, отделяющегося от субдуцирующей плиты. Такой механизм предложен для формирования хромитового оруденения в офиолитах Войкарского массива на Полярном Урале (рис. 1.6.) (Batanova et al., 2011)». Хотя характеристика минералов ЭПГ в главе 4 и частично 5 и 6. Так же в главе 1 рассмотрены существующие в литературе взгляды о нетрадиционных типах платинометального оруденения.

В главе 2 изложены общие представления о геологическом строении юго-восточной части Восточного Саяна, включая элементы металлогенического районирования. Здесь же дан обзор представлений о геодинамической эволюции региона, согласно которому автором выделено, с учетом литературных данных, несколько возрастных этапов формирования структурно-вещественных комплексов в соответствующих геодинамических обстановках: океанический этап – более 1000 – 800 млн. лет; островодужный – 800 – 600 млн. лет; этап формирования чехла Тувино-Монгольского микроконтинента – 600 – 510 млн. лет; аккреционно-коллизионный – 500 – 450 млн. лет; сдвиговый – 380 – 285 млн. лет (стр. 75). Обращает на себя внимание, что в 4 защищаемом положении диссертант, так же оригинально, конкретизировал времена и геодинамическую сущность обстановок – «Благороднометалльные оруденения разных типов формировалось в течение пяти этапов геодинамической эволюции региона: (1) 1034 – 860 млн. лет (неопротерозойский океанический)... (2) 860 – 800 млн. лет (неопротерозойский островодужно-обдукционный)... (3) 530 – 500 млн. лет (раннепалеозойский островодужный)... (4) 500 – 420 млн. лет (раннепалеозойский аккреционно-коллизионный – орогенный) ... (5) 380 – 325 млн. лет (позднепалеозойский внутриплитный)».

Глава 3 полностью посвящена золотому оруденению юго-восточной части Восточного Саяна. Здесь содержится описание конкретных месторождений и рудопроявлений золота, включая особенности их геологического строения, вещественного состава и геохимической специализации. Все эти объекты входят в состав четырех структурно-металлогенических зон: Боксон-Гарганской, Ильчирской, Окинской и Хамсаринской.

Определенного внимания заслуживает предложенная автором *типизация золотого оруденения* на основе состава продуктивных минеральных ассоциаций, что позволило привязать все известные в юго-восточной части Восточного Саяна золоторудные месторождения и рудопроявления к вполне конкретным минеральным типам оруденения (всего 8): золото-полисульфидному, золото-кварцевому, золото-теллуридному, золото-тетрадимитовому, золото-антимонитовому, золото-висмут-сульфосольному, золото-пирротинному и золото-блеклорудному. Обоснованность такого подхода к вопросу о типизации золотого оруденения следует из особенностей вещественного состава всех известных в регионе рудопроявлений золота и критического анализа существующих в литературе классификаций, который приведен в первой главе. Понятно, что данная типизация не может претендовать на универсальность – она разработана применительно к конкретному региону. Но сам принцип выделения унифицированных признаков в типизации золотого оруденения может быть распространен и на другие регионы.

К проблемным моментам 3 главы можно отнести немалое количество предположений, о периодах времени образования золотоносных проявлений с формулировками «по-видимому» и «вероятно», так например на стр. 226 «возраст моложе почти на 100 млн. лет, чем возраст вмещающих гранитов, тем не менее, данная датировка свидетельствует». В итоговой табл. 3.29 по типам золоторудного оруденения (стр. 239) колонки: 4 - морфология рудных тел и 5 – структурные особенности рудных тел можно объединить, а вот такие как 1) текстуры руд и 2) структуры руд необходимо было ввести (кстати, эти параметры должны быть обязательными в описании руд по всей главе). В этой таблице весьма неудачно выглядит колонка 9 – содержание типоморфных рудообразующих элементов, в которой демонстрируются ураганные содержания Au и других элементов (ураганные пробы исключаются из подсчетов запасов месторождений; они не являются ориентирами при поисках и т.д.). Согласно оглавлению, в колонке 9 правильней показать - среднее содержание элемента и его стандартное отклонение, а в скобках количество выполненных анализов. Так же неудачно демонстрируется возраст в колонке 10 – возраст, непонятно, что такое два возраста через запятую или со знаком вопроса. Лучше было объединить колонку 9 с колонкой 10 – назвать её месторождения и проявления и их возраст, в млн. лет, в колонке после названия месторождения показать цифрой его возраст и $\pm$ ошибку анализа.

Данную главу можно сравнить с великолепными обобщениями по месторождениям и проявлениям золота в отчётах тематических геохимических партий Производственных геологических управлений Дальнего Востока: Магаданской, Камчатской областей и

Хабаровского края, с которыми работал рецензент. На основании, которых были сделаны многочисленные открытия новых месторождений в «Золотой век геологии СССР».

Глава 4 посвящена *платинометальному оруденению региона на примере трех ультрабазит-базитовых массивов – Оспинско-Китойского, Сангансайрского и Хурай-Жалгинского*. Автором получены новые знания не только по составу этой минерализации, но и определены коренные источники поступления МПГ в россыпные проявления золота, поскольку до недавнего времени отдельные находки МПГ были связаны именно с россыпным золотом, а вероятность генетической связи платинометальной минерализации с офиолитами рассматривалась лишь на уровне общих соображений, исходя из анализа детально изученных коренных проявлений МПГ в других регионах мира.

Проведенное автором детальное изучение вещественного состава пород ультраосновных массивов позволило выделить наличие в них четырех минералогическо-геохимических типов платинометальной минерализации: 1) Pt-Ru-Ir-Os оруденение в хромититах реститового дунит-гарцбургитового комплекса, 2) Pt-Pd оруденение в углеродистых метасоматитах по ультрамафитам, 3) Pt оруденение в сульфидизированных серпентинитах и 4) Au-Pt-Pd оруденение в глаукофансодержащих метабазитах. При этом три из них (2-4) относятся, по мнению автора, к нетрадиционным типам и не имеют аналогов в других регионах, тогда как первый тип минерализации (Pt-Ru-Ir-Os) имеет широкое распространение во многих офиолитовых (дунит-гарцбургитовых) массивах мира.

В главе 4.1.1. отсутствует информация о составе породообразующих минералов реститового комплекса ультрамафитов (гарцбургитов и дунитов), принадлежность которого к дунит-гарцбургитовому типу основана лишь на петрографических данных. Этот пробел не позволяет более четко установить степень деплетирования мантийного субстрата и его положение в ряду от «умеренно истощенный лерцолит» MOR-типа – до «предельно истощенный гарцбургит» SSZ-типа. Для этого необходимо изучить составы аксессуарных хромшпинелидов, ортопироксена и клинопироксенов в гарцбургитах. Составы рудных хромшпинелидов показаны только на очень маленькой по размеру диаграмме (рис. 4.3), вероятно в атомарных процентах Cr, Al и Fe³ с запутанными условными обозначениями. Нет таблиц содержания ЭПГ в хромититах и породах. То же самое относится и к информации о химическом составе минералов ЭПГ в хромититах дунит-гарцбургитового комплекса, что препятствует сравнительному анализу составов МПГ Восточного Саяна с аналогичными объектами в других регионах. Приведено лишь графическое изображение составов системы Os – Ir – Ru и сульфоарсенидов в координатах IrAsS – (Os,Ru)AsS – (Pt,Rh)AsS на рис. 4.6. Термин «гексаферрум» (стр. 259)

впервые был утвержден Международной минералогической ассоциацией в 1996 году (Мочалов и др., 1998), а сами минералы в мантийных перидотитах были впервые описаны в 1986 г (Мочалов и др., 1986), поэтому ссылка на McDonald et al., 2010 не совсем корректна. Таблица 2 (ссылка на стр. 256, 259) о составах «зональных кристаллов (Os – Ir – Ru) состава... гарутита» вообще отсутствует, так же отсутствуют рисунки 6 и 7 (ссылка на стр. 256, 259).

В главе 4.1.2. на рис. 4.7. серпентиниты неожиданно прорывают неоген-четвертичные базальты, и перекрывают четвертичные отложения. Как говорится – этого мы не проходили в данной диссертации. Если это так, то базальты кайнозоя серьезно могут изменить ряд выводов и защищаемых положений диссертации. Пока же, до защиты диссертации, будем считать это какой-то досадной ошибкой. В табл. 4.5 все составы Pd>Pt вероятно являются твердыми растворами, и их надо называть самородным палладием с формулой – (Pd,Pt), а не палладистой платиной. Соединения необычного состава (стр. 268): PdSnPb, PtPdSnPbCu, PtPdPbSn, BaCaZrTi, PbSn, PbSb (с примесью CuSn), BaPbSn, BaTiPbCdZn, BaTiPbBiSbSnFe, BaBi, CaBa если это не рассчитанные формулы минеральных фаз, и не было возможности представить их в виде полных химических анализов, надо писать, как системы минералов, например, Pt-Pd-Sn-Pb-Cu и т.д. Не подписаны условные обозначения на рис. 4.8 (стр. 272).

4.1.3. Благороднометальное оруденение в апоультрабазитовых метасоматитах Оспинско-Китойского массива и его обрамления (стр. 273-279), охарактеризованы рудопроявления: Хуша-Гольское Ni, Контактное Ni, Борнитовое Ni-Cu, Русловое Au с незначительными содержаниями ЭПГ с демонстрацией одной табл. 4.7, 3-х рис. 4.10-4.12. На рис. 4.12 весьма оригинально выглядит распределение редкоземельных элементов для гарцбургитов Оспинско-Китойского массива. Такие данные неплохо проверяются при изучении подобных спектров в минералах концентраторах РЗЭ – лучше всего в клинопироксенах.

В главах 4.2. и 4.3 на примере Сангансайрского и Хурай-Жалгинского массивов охарактеризованы метаморфизованные базит-ультрабазиты полосчатого комплекса офиолитов.

В то же время, описанные диссертантом в главе 2 переходные кумулятивные комплексы в разных офиолитовых ветвях (Ильчирской и Боксон-Харанурской). «....разрез: тонкое (0.01 – 0.2 м) ритмическое чередование дунитов и хромититов (мощность 200 м); ритмическое переслаивание (0.2 – 1 м) перидотитов (верлитов), оливиновых клинопироксенитов, оливиновых габбро, иногда анортозитов (400 – 500 м); ритмическое чередование (0,01 – 1м) габбро, пироксенитов и анортозитов (1200 – 1500 м).

На Харанурском, Улзытинском и Дунджугурском участках также можно иногда видеть ритмическое переслаивание верлитов, пироксенитов и габбро, но эти породы настолько густо пронизаны жилами габбро-пироксенитов и габбро, что переходный комплекс имеет здесь сетчато-полосчатый или брекчиевидный облик (Добрецов и др., 1985). Среди офиолитов обрамления Гарганской глыбы выделяются два типа (Добрецов и др., 1985). Офиолитам первого типа присущи: ритмично-полосчатая переходная кумулятивная зона; полосчатые габбро-пироксенит-анортозитовые нижние габбро; слабая распространенность верхних габбро.... Такие офиолиты распространены в пределах Ильчирского (южного) пояса. Офиолиты второго типа характеризуются: сетчато-полосчатым обликом переходной кумулятивной зоны; массивными грубозернистыми нижними габбро; средне-крупнозернистыми амфиболовыми верхними габбро; комплексом параллельных даек; широким распространением пиллоу-лав и пиллоу-брекчий, преимущественно марианит-бонинитовой и островодужной серий. Эти офиолиты слагают северный Боксон-Харанурский пояс (стр. 57)». Возникает вопрос, с данным типом ультрамафитов и базитов, как правило, связывают основной потенциал перспективных коренных месторождений ЭПГ. Почему диссертант никак не привлекает данные по оценке перспектив этого, пользующихся распространением в юго-восточной части Восточного Саяна, перспективного на ЭПГ и др. полезные элементы комплекса пород офиолитов? Даже если он не изучал эти объекты, надо было освятить результаты работ из фондовых и опубликованных источников.

В итоговой табл. 4.14, как и в табл. 3.29 в колонке 6 – Содержание благородных металлов приведены только ураганные их содержание. В отличие от табл. 3.29 в ней не приведён возраст ЭПГ – содержащих «объектов» (стр. 293).

В главе 5 «Возрастные этапы и геодинамические обстановки процессов благороднометального рудообразования» показано, что на основе авторских и литературных материалов можно говорить о пяти главных возрастных этапах формирования благороднометального рудообразования: неопротерозойском океаническом, неопротерозойском островодужно-обдукционным, раннепалеозойском островодужным, раннепалеозойском аккреционно-коллизийным (орогенным) и позднепалеозойском сдвиговым. Мезозойские породы в регионе практически отсутствуют, а коренных проявлений благороднометального оруденения в кайнозойских комплексах не установлено. Что же касается ряда месторождений золото-кварцевого минерального типа в пределах архейского фундамента Тувино-Монгольского микроконтинента, то их происхождение обусловлено, по мнению автора, более поздними палеозойскими аккреционно-коллизийными процессами. В итоге автор показывает, что

формирование определенного минералого-геохимического типа благороднометалльного оруденения связано с конкретным возрастным этапом и соответствующей геодинамической обстановкой в геологической истории региона, в чем можно однозначно убедиться на рис. 5.1. (стр. 298). В подписи к этому рис. 5.1 (стр. 298) цифру 6 следует заметить на 5.

Глава иллюстрируется серией модельных палеогеодинамических реконструкций на периоды 1000-850 млн. лет (рис. 5.2, стр. 299), 800-700 млн. лет (рис. 5.3, стр. 301), около 500 млн. лет (рис. 5.4, стр. 305). Одно из замечаний к этим рисункам - нет условного обозначения белого поля под верхней мантией, с дугообразными стрелками. Как уже говорилось, в главе 4 «отсутствует информация о составе породообразующих минералов реститового комплекса ультрамафитов (гарцбургитов и дунитов), не позволяя более четко установить степень деплетирования мантийного субстрата и его положение в ряду от «умеренно истощенный лерцолит» MOR-типа – до «предельно истощенный гарцбургит» SSZ-типа. Для этого необходимо изучить составы акцессорных хромшпинелидов, ортопироксена и клинопироксенов в гарцбургитах. В этой связи расположение точек - 5 хромититов с Ru-Ir-Os минерализацией на рис. 5.2 могут оказаться и в другом месте – скажем, в зоне спрединга центрально-океанического или окраинно-морского. Замечу, согласно приобретённого опыта, хромититы в лерцолитах встречаются весьма нечасто. На рис. 5.2 и 5.3 золото-пиротиновые руды оказались под породами верхней мантии, вероятно, перепутана цветовая окраска «Дунжугурских офиолитов» и надо серый цвет поменять на цвет фиолетовый и наоборот.

В главе 5.6 (стр. 307 – 310) основные этапы геодинамического развития региона, так же оригинально сокращены до 4-х относительно 4-ого защищаемого положения (см. выше о главе 2) и составляют – 1100-800, 800-500, 500-420, 420-300 млн. лет

В 6 главе обсуждаются *«условия формирования и генетические модели»* золотого и платинометалльного оруденения. Физико-химические условия формирования золоторудных месторождений рассмотрены применительно к каждому минералого-геохимическому типу золотого оруденения на основе детального изучения состава породообразующих минералов, изотопных характеристик серы и кислорода, а также результатов термобарогеохимического изучения и флюидных включений. Результаты этих исследований позволили автору выделить три генетические группы месторождений: метаморфогенно-гидротермальных, плутоногенно-гидротермальных или связанных с интрузиями (in intrusion-related) и телетермальных, и привязать их к той или иной геодинамической обстановке.

Образование платинометальной минерализации рассматривается с позиции последовательного преобразования мантийного субстрата с ранними «высокотемпературными образованиями» ЭПГ в процессе ранней- и «позднемагматических стадий» его частичного плавления (как и эволюции состава образующихся при этом магматических расплавов и флюидно-гидротермальных систем). Данный подход содержит ряд субъективных моментов, но, несмотря на это, имеет широкое распространение в современной литературе.

Несмотря на дискуссионный характер некоторых моментов в генетических построениях, сам факт обнаружения и детального описания платинометальной минерализации в сложной геологической обстановке Восточного Саяна заслуживает высокой оценки и является надежным фундаментом для продолжения таких же исследования в других сегментах Восточно-Саянской складчатой области.

На стр. 311 в разделе 6.1 читаем: «Согласно представленным в главах 3 и 4 результатам геологических и минералого-геохимических золоторудных и платинометальных месторождений и проявлений юго-восточной части Восточного Саяна были выделены следующие минеральные типы золотого оруденения...» Здесь к словосочетанию «минералого-геохимических» следует добавить слово «исследований», а слово «платинометальных» и цифру 4 опустить, так как речь идет о золоторудных месторождениях.

В последней **главе 7** «Оценка перспектив благороднометального оруденения юго-восточной части Восточного Саяна» намечены поисковые критерии и признаки золотого и платинометального оруденения в соответствии с выделенными минералого-геохимическими типами.

В главе 7.2.2 читаем – «Главный критерий обнаружения повышенных концентраций «тугоплавких» ЭПГ системы Ru-Ir-Os в исследуемом регионе – магматический. Прежде всего, это присутствие слабоизмененных пород *дунит-перидотитового (реститового)* комплекса...1. Появление *дунитовых зон* в пределах реститового комплекса ...;» (стр.435). Хотелось бы поподробней узнать, как дуниты реститов, отличить от дунитовых зон в реститах.

Диссертация написана понятным геологу языком. Её объем можно было бы сократить, добавив, вместо научного текста по описанию пород и минералов, сводные таблицы с химическими составами пород и минералов и фотографии изученных обнажений.

Несмотря на некоторые замечания, высказанные в отзыве, считаю.

1. Избранная тема диссертации «Типы благороднометального оруденения юго-восточной части Восточного Саяна: состав, условия формирования и генезис» - актуальна.

2. На основе обобщения большого фактического материала, собранного соискателем, научные положения обоснованы, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, достоверны и содержат оригинальные решения.

3. Недостатки работы, отмеченные в отзыве, не критичны и охватывают ряд субъективных, дискуссионных моментов.

4. Автореферат в полной мере отражает содержание диссертационной работы.

5. Основные положения диссертации опубликованы в 19 статьях в журналах из Перечня ВАК Минобрнауки РФ и апробированы на российских и международных конференциях.

6. Диссертация представляет собой крупное научное обобщение по благороднометальной минерализации и имеет важное значение для использования предприятиями природопользования промышленно региона Восточного Саяна России.

В целом диссертационная работа выполнена на высоком профессиональном уровне, весьма актуальна и вносит существенный вклад в расширение наших представлений о геологической истории развития и металлогении Восточного Саяна, а её автор Дамдинов Булат Батуевич заслуживает присвоения ему искомой степени доктора геолого-минералогических наук по специальности 25.00.11 – геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения.

Мочалов Александр Геннадиевич, доктор геолого-минералогических наук, специальности 25.00.11 – геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения, ведущий научный сотрудник лаборатории металлогении и рудогенеза Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт геологии и геохронологии докембрия Российской академии наук ИГГД РАН, г. Санкт-Петербург, наб. Макарова, д.2, 199034, т. 89650370811, tag1950@mail.ru

Я, Мочалов Александр Геннадиевич, автор отзыва, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета Д.003.002.01 при ГИН СО РАН, и их дальнейшую обработку.

7 мая 2018 г.

А.Г. Мочалов

