

ОТЗЫВ официального оппонента Толстых Надежды Дмитриевны на диссертацию Степанова Сергея Юрьевича "СТРУКТУРНО-ВЕЩЕСТВЕННЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ ХРОМИТ-ПЛАТИНОВОГО ОРУДЕНЕНИЯ В КЛИНОПИРОКСЕНИТ-ДУНИТОВЫХ МАССИВАХ СРЕДНЕГО УРАЛА" на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.11 – Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения.

*Актуальность работы* в первую очередь заключается в том, что предложенная тема находится в рамках приоритетных научных направлений на 2013-2020 гг: рудообразующие процессы, их эволюция; условия образования и закономерности размещения полезных ископаемых; разработка научно-методических основ прогнозирования и поисков скрытого оруденения. Конкретно работа направлена на решение фундаментальной научной проблемы выявления структурно-вещественных закономерностей проявления хромит-платинового оруденения в зональных габбро-клинопироксенит-дунитовых интрузиях урало-аляскинского типа (массивы Нижнетагильский, Светлоборский, Вересовоборский и Каменушинский).

Элементы платиновой группы (платина, палладий, рутений, родий, иридий и осмий) широко применяются во многих отраслях промышленности, используются в новейших технологиях и являются основными видами стратегического минерального сырья Российской Федерации. В связи с этим, весьма актуальным на современном этапе представляется проведение теоретических основ для поиска этих металлов, что также определяет *практическую значимость* данной работы, поскольку предлагаемые в ней методы и подходы направлены на прогнозирование и поиск коренных руд платиновых металлов в массивах урало-аляскинского типа.

*Целью работы* соискателя является обоснование геолого-генетической модели концентрирования платиноидов в рудных системах клинопироксенит-дунитовых массивов. Результаты работы представлены в трех *основных защищаемых положениях*: 1) обосновывающего закономерности расположения минерализованных зон, 2) устанавливающего ведущую роль магматических процессов и 3) описывающего стадийность минералообразования.

Первые три главы являются вводными, но необходимыми для построения диссертации и не вызывают никаких нареканий. *Первая глава* дает четкое представление о состоянии изученности массивов платиноносного пояса Урала и о трансформации взглядов на их генезис, из которой вытекает вывод о необходимости дальнейшего развития выбранного направления исследований. *Вторая глава* свидетельствует о

№ 177-10  
от 11.09.2018

значительном объеме использованного фактического материала и описывает методику, которая заключается в последовательной детализации исследований от описания опорных разрезов на четырех эталонных объектах Платиноносного пояса Урала до крупнообъемного опробования выделенных перспективных рудных зон. Эта глава обеспечивает *обоснованность научных положений* с точки зрения представительности вовлеченных в исследование образцов (1440 анализов МПП). *Третья глава* характеризует расположение массивов и их строение по литературным данным.

*Результаты работы* представлены в последующих трех главах, которые явились основой для построения защищаемых положений. Первая часть *четвертой главы* детально знакомит со строением дунитового ядра, структурными особенностями пород во всех массивах и показывает повторяющуюся тенденцию тяготения хромит-платиновой минерализации (шлиров и прожилково-вкрапленного оруденения) к зонам перехода крупнозернистых дунитов к среднезернистым и последних к мелкозернистым дунитам. При этом отмечается повышенная порфиридность дунитов, вмещающих оруденение, обладающих протогранулярными структурами и предполагающих генетическую связь оруденения с магматизмом. Выявленная соискателем закономерность согласуется с описанной ранее на Нижнетагильском массиве (Иванов и др. 1997; Столяров, 2002; Пушкарёв и др., 2007). Магнезиальность дунитов всех исследуемых массивов варьирует в нешироких пределах (85-90) за редким исключением. Минералогические данные (изменение #Mg в оливинах) свидетельствуют в пользу вывода о более высокой магнезиальности крупнозернистых дунитов, тогда как химические данные по породам (табл. 1) слабо поддерживают этот вывод, поскольку вариации составов наблюдаются во всех структурных типах. В связи с этим возникает вопрос: как можно объяснить с генетической точки зрения постулируемое увеличение магнезиальности от мелкозернистых дунитов к крупнозернистым?

В процессе кристаллизационной дифференциации эволюционный тренд всегда направлен в сторону уменьшения магнезиальности пород и увеличения концентрации редкоземельных элементов, следовательно по данным соискателя крупнозернистые дуниты должны были кристаллизоваться раньше, чем мелкозернистые. А это противоречит представлению о том, что мелкозернистые дуниты являются протодунитами (Иванов, 1997). В ходе кристаллизации дунитов зернистость пород должна увеличиваться с увеличением концентрации летучих компонентов в остаточном расплаве, а магнезиальность, наоборот, уменьшаться.

Соискателем установлено, что содержания Cr в мелкозернистых дунитах превышают таковые в грубозернистых, о чем свидетельствуют графики на рис. 37. Тогда как объясняется тяготение хромитовой минерализации к крупнозернистым дунитам?

Очень важные результаты получены соискателем по распределению платины и других ЭПГ по скважине Светлоборского массива: порфирировидные дуниты с хромшпинелидами содержат максимальные ее концентрации. Но по данным нескольких массивов соискатель делает один из очень важных выводов о том, что содержание платины (табл. 12) убывает от мелкозернистых и среднезернистых дунитов (среднее 0,051 г/т) к грубозернистым и пегматоидным разновидностям (среднее содержание 0,021 г/т). Хотя этот вывод не кажется однозначным судя по табл. 12, в которой не совсем понятен принцип выделения групп анализов различными цветами. Если брать пробы с индексом "СБ" (Светлый Бор), то в мелко- и среднезернистом дуните концентрация Pt - 33 и 13 мг/т, а в пегматоидном - 42 мг/т. Это противоречит сделанному выводу.

Составы хромшпинелидов из различных дунит-клинопироксенитовых массивов образуют типичный хром-железистый тренд, исключение представляют хромшпинелиды Каменушинского массива, для которых отмечается хром-алюминиевый тренд, характерный для офиолитовых гипербазитов (Barnes and Roeder, 2001). Тогда как зональные кристаллы хромшпинелидов демонстрируют хром-железистый магматический по мнению автора тренд (рис. 45). Было бы интересно обсудить эту особенность.

Из этой главы следуют два *существенных вывода*. *Первый* основан на том, что зоны хромитовой минерализации не совпадают с зонами трещиноватости пород, хотя имеют аналогичную ориентировку, следовательно эта минерализация не связана генетически с постмагматическими флюидами, циркулирующими вдоль ослабленных зон, а является магматической. И *второй* основан на том, что прожилково-вкрапленная минерализация постепенно переходит в жильную, что свидетельствует об едином магматическом/позднемагматическом процессе образования хромитовых руд, таким образом, не подтверждаются ранние представления (Заварицкий, 1935; Пушкарёв и др., 2016) о существовании син- и эпигенетических типов хромититовой минерализации).

Подводя итог анализу материала, представленного в четвертой главе, рецензент полностью согласен с ее основным выводом, вытекающим в защищаемое положение, что хромититы и дуниты связаны единым процессом их становления, и этот процесс - магматический. Но, действительно, как указывает соискатель, требуются дополнительные исследования для доказательства того, что кристаллизация платины происходила на "начальных стадиях эволюции расплавов в условиях повышенного кислородного потенциала", тем более, что этот потенциал повышается в ходе развития магматического

процесса и должен быть максимальным на заключительных его стадиях, когда более логичным является кристаллизация хромшпинелидов и связанного с ними платинового оруденения.

*Пятая глава* посвящена минералогическим особенностям минералов элементов платиновой группы (МПГ). Соискатель на большом фактическом материале демонстрирует составы основных и второстепенных минералов ЭПГ (первично-магматических и вторичных), показывает тренды их изменений по всем исследованным клинопироксенит-дунитовым массивам Среднего Урала. Одним из значимых результатов этой главы является демонстрация одновременного роста хромшпинелидов и Pt-Fe сплавов, что отрицает некоторые представления о постмагматическом происхождении последних.

В работе показана структура распада  $Pt_3Fe$  и  $Pt_2Fe$ , чего не может быть, поскольку изоферроплатина и железистая платина образуют непрерывный ряд твердых растворов, но соискатель ее интерпретирует как последовательную кристаллизацию железистой платины, затем изоферроплатины (рис. 60б).

На основе многочисленных наблюдений взаимоотношений МПГ друг с другом и с породообразующими минералами автор работы дает четкое представление о последовательности их кристаллизации, показывая место деформаций - хрупких для Os-Ir и пластических для Pt-Fe сплавов, которыми завершался магматический этап кристаллизации, сменяющийся постмагматическим, связанным с серпентинизацией интрузий. Соискатель подтверждает большинство ранее высказанных моделей, уточняя и детализируя их на своем собственном материале. Важным из таких уточнений является доказательство совместного роста CrSp и Pt-Fe сплавов. Поэтому третье защищаемое положение можно считать обоснованным большим количеством фактического материала. Единственной (вероятно технической) ошибкой на схеме (рис. 70) является положение серпентина, который образуется по оливину, а не по хромшпинелидам. В рассуждениях о генезисе дунитового ядра автор вправе придерживаться любых моделей, например, что деформации в минералах "отражают характер тектонических преобразований дунитов на стадии их вовлечения в структуру дунит-клинопироксенит-габбровых комплексов". Трудно согласиться с этой точкой зрения и представить вдавливание дунитового ядра в уже консолидированные габбо-клинопироксенит-дунитовые интрузии. Оппонент также считает ошибкой представление соискателя о роли площадной серпентинизации на преобразование платиновых парагенезисов и настаивает, что это преобразование связано исключительно с автотасоматозом, обусловленным воздействием внутренних остаточных растворов (флюидов) по ослабленным зонам на первичные парагенезисы.

*Шестая глава* посвящена исследованию закономерностей пространственного размещения скоплений платины в телах хромититов и сделано заключение об отсутствии таковых. Но выявлено, что ЭПГ сосредоточены в виде собственных минералов и концентрированием их в виде крупных агрегатов, что обуславливает недостоверность анализов на платину. Более того, автор показал, что существует зависимость между распространением крупных агрегатов платины и развитием дунитовых пегматитов. Это противоречит выводам четвертой главы об уменьшении концентрации платины от мелкозернистых к грубозернистым дунитам и пегматитам, но подтверждает представление оппонента о совместной эволюции Pt и Сг и накоплении этих элементов на поздней стадии магматического процесса.

Соискатель логично и обоснованно предложил оценивать ресурсный потенциал хромит-платиновых рудных зон по масштабам проявления россыпной платиновой минерализации. Но *идентичность* этих минеральных ассоциаций является достоверной только в первом приближении. Ранее достоверно установлена геохимическая вертикальная и горизонтальная зональность ассоциаций МПГ в массивах урало-аляскинского типа (Некрасов и др., 1997) и зональность шлиховых ореолов, связанная с последовательным размывом пород от верхних горизонтов к нижним (Tolstykh et al., 2004).

*Важной частью шестой главы* является модель формирования изученных клинопироксенит-дунитовых массивов на основе собственных наблюдений и литературных источников. Автор признает, что кристаллизация дунитов происходит от мелкозернистых с рядовыми содержаниями ЭПГ и хрома к крупнозернистым и пегматоидным во внутренней части дунитового ядра, но факт образования рудных зон объясняет миграцией насыщенных флюидами и некогерентными элементами расплавов обратно от центра в сторону трещиноватых среднезернистых дунитов. Оппонент не может с этим не согласиться. Соискатель разделяет сомнение Е.В. Пушкарева (2007) об отсутствии воздействия транзитных расплавов на дуниты. Тем не менее, автосерпентинизацию дунитов, магнетитовые прожилки и магнетитовые каймы по хромшпинелидам можно считать результатом этого воздействия. Единственно, что не объяснено в предложенной модели соискателя, это какой механизм отвечает за увеличение магнезиальности от периферии к центру дунитовых ядер, если кристаллизация дунитов происходила в этом же направлении?

Большим достоинством работы оппонент считает обоснование рациональных методов при постановке поисково-оценочных и геологоразведочных работ, что отвечает *практической значимости* выполненной работы.

Диссертационная работа Степанова Сергея Юрьевича написана прекрасным научным языком, защищаемые положения обоснованы фактическим материалом и логической его интерпретацией. Автореферат соответствует тексту диссертационной работы, его структура построена на обосновании 3 защищаемых положений, которые опубликованы в пяти печатных работах, рекомендованы ВАК, в 3 из которых соискатель является первым автором. Диссертационная работа выполнена на высоком научном уровне, демонстрирует квалификацию соискателя и вносит существенный вклад в познания в области геологии, геохимии, минералогии и закономерностей размещения платиновых месторождений, что имеет как фундаментальное, так и прикладное значение. Рецензируемая работа отвечает всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а соискатель Степанов Сергей Юрьевич заслуживает присвоения ему ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальностям 25.00.11 – Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения.

Ведущий научный сотрудник  
доктор геолого-минералогических наук



Н.Д. Толстых

ФГБУН Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН,  
лаборатория петрологии и рудоносности магматических формаций  
630055, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3  
тел. (383) 333 21 06 (сл.), +7 913 741 5394 (сот.)

Отзыв составлен 10.09.2018

Подпись Н.Д. Толстых заверяю  
Зав. канцелярией




Шипова Е.Е.