

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор Федерального бюджетного учреждения науки Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук,
чл.-корр. РАН, доктор геол.-мин. наук



К.В. Лобанов

2018 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации Федерального бюджетного учреждения науки Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук на диссертацию **Степанова Сергея Юрьевича** на тему «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

1. **Актуальность избранной темы.** Высокий россыпеобразующий потенциал клинопироксенит-дунитовых массивов Урало-Аляскинского типа и недавнее открытие промышленно значимых рудных зон в дунитах Гальмознанского и Светлоборского массивов определяют актуальность исследований, направленных на изучение генезиса платинометальной минерализации и разработку методических основ поисковых и разведочных работ на оруденение этого типа. Работы автора были сосредоточены на малоизученных, но перспективных Вересовоборском и Каменушенском массивах, а также на более известных Нижнетагильском и Светлоборском массивах на Среднем Урале. Предыдущие исследования не позволили выработать единую точку зрения на механизм образования платинометальных сегрегаций и условия их концентрирования, которые до сих пор является предметом научных дебатов. Выявленные структурно-вещественные закономерности проявления хромит-платинового оруденения и разработанные методические подходы могут быть использованы при прогнозировании россыпных месторождений и коренной минерализации в схожих рудных провинциях России.

2. **Цели и задачи работы.** Главная цель работы заключалась в выявлении закономерностей формирования и размещения платиновой минерализации и обосновании геолого-генетической модели концентрирования платиноидов в хромит-платиновых рудных системах клинопироксенит-дунитовых массивов качканарского комплекса на Среднем Урале. Сформулированные автором задачи работы соответствуют заявленной цели исследований и в целом выполнены.

3. **Новизна исследований и полученных результатов** определяется тем, что в работе впервые разносторонне охарактеризованы хромит-платиновые рудные зоны в дунитах Светлоборского и Вересовоборского массивов. Закономерности распределения элементов-примесей в хромититах и дунитах рассмотрены в целом для потенциально рудоносных зональных клинопироксенит-дунитовых массивов качканарского комплекса на Среднем Урале. На большой статистической выборке охарактеризовано распределение ЭПГ и при

№ 176-10
от 11.09.2018

этом установлена зависимость между структурными разновидностями дунитов и содержанием в них ЭПГ. С использованием онтогенического подхода детально охарактеризованы минералы платиновой группы (МПГ) в хромититах из клинопироксенит-дунитовых массивов качканарского комплекса и на этой основе обоснована оригинальная схема последовательности их кристаллизации.

4. Значимость для науки и производства полученных автором диссертации результатов. Полученные в ходе исследований результаты способствуют повышению эффективности геологоразведочных работ, направленных на выявление коренных месторождений платины в дунитах дунит-клинопироксенит-габбровых комплексов Урало-Аляскинского типа. Анализ авторских и опубликованных данных о геологическом строении хромит-платиновых рудных зон, минеральных формах проявления платиноидов, характере их распределения и концентрации в пределах этих зон, морфологических и анатомических особенностях индивидов и агрегатов МПГ платиноносных массивов Среднего Урала позволил выявить закономерности формирования и размещения платиновой минерализации. Эти результаты могут стать основой проектирования геологоразведочных работ на коренную платину, а также использованы для оптимизации методики геологоразведочных работ и повышения достоверности результатов оценки ресурсного потенциала рудных объектов.

5. Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и заключений определяется большим объемом фактического материала и применением современных аналитических методов. В основу работы положен оригинальный материал, собранный в ходе полевых работ 2012–2017 гг., а также при участии автора в геологоразведочных работах ЗАО «Урал-МПГ», направленных на выявление коренного платиноидного оруденения в дунитах Светлоборской лицензионной площади. В ходе исследования по тематике диссертации автором было изучено 875 шлифов, 1020 аншлифов, 69 блоков с рудными концентратами и обработаны 27 крупнообъемных проб. Высокая достоверность аналитических данных обусловлена их получением в аккредитованных лабораториях по сертифицированным методиками, а также их заверкой с использованием дубликатов проб и параллельных анализов одной пробы разными аналитическими методами. **Личный вклад С.Ю. Степанова** оценивается как доминирующий в его диссертационной работе, и сама работа является его личным научным достижением.

6. Оценка содержания диссертации, ее завершенность в целом. Диссертация состоит из введения, 6-ти глав и заключения, содержит 174 страницы машинописного текста, включая 80 рисунков, 26 таблиц и список литературы из 116 наименований. Текст диссертации обладает внутренним единством. Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы цель и задачи исследования, приведены краткие сведения о методах работы, фактическом материале, приведена оценка научной новизны и практической значимости работы, краткие сведения о степени изученности

рассматриваемых объектов, а также обозначен личный вклад автора и сведения об апробации работы.

Глава 1 «Историческая справка и обзор ранее проведенных исследований» содержит краткий очерк истории освоения Платиноносного пояса Урала и рассматривает состояние изученности проявлений хромит-платиновой минерализации в зональных клинопироксенит-дунитовых массивах Урала. Этот обзор позволил автору сформулировать цели и задачи исследования.

В главе 2 «Методы исследования» охарактеризованы методика полевых работ и отбора материала и методы исследования. В результате рекогносцировочных маршрутов с документацией и пробоотбором было уточнено геологическое строение массивов. На перспективные участки были составлены детальные карты и отработаны схемы детального опробования. Были отобраны крупнообъемные пробы, а также опробованы различные типы россыпей: элювиальные, делювиальные, ложковые и аллювиальные. Во втором разделе главы описаны методики минералого-петрографических и геохимических исследований. Аналитические методы включали различные типы масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой и пробирно-атомно-эмиссионного метода с предварительным концентрированием для селективного определения ЭПГ и осмия. Составы минералов определялись методами энерго-дисперсионного анализа в сочетании со сканирующей электронной микроскопией, а также на волновых спектрометрах. Для точной диагностики Pt-Fe минералов был использован рентгеноструктурный анализ. Для всех типов анализов указаны их методологические характеристики, типы стандартов и условия проведения, что подтверждает достоверность результатов.

В главе 3 приведены общие сведения о геологическом строении клинопироксенит-дунитовых массивов в структуре Платиноносного пояса Урала и охарактеризовано их концентрически-зональное строение. В главе сделан обзор выводов предыдущих исследований. Указано, что для Нижнетагильского массива выявлена пространственная связь хромитит-платинового оруденения с областями фациальных контактов между телами дунитов, отличающихся по зернистости (Иванов, 1997; Столяров, 2002; Пущкарёв и др., 2007).

Самой объемной является глава 4 «Структурно-вещественная характеристика хромит-платиновых рудных зон и вмещающих их дунитов», которая состоит из пяти разделов. Первый подраздел посвящен описанию геологического строения хромит-платиновых рудных зон в структуре дунитовых «ядер» изученных массивов. Здесь автор обосновывает первое защищаемой положение о том, что хромит-платиновые минерализованные зоны в пределах Светлоторского и Вересовоборского клинопироксенит-дунитовых массивов Среднего Урала приурочены к границам текстурно-структурных разновидностей дунитов. Преобладающий объем платиноносных хромититов сконцентрирован в порфиридных дунитах, расположенных в зоне фациальных переходов между полями дунитов, отличающихся

по зернистости. Первое защищаемое положение сформулировано по аналогии с ранними наблюдениями других исследователей структурно-текстурных особенностей рудовмещающих дунитов в пределах дунитового ядра Нижнетагильского платиноносного массива. На основе авторских данных можно было бы сделать более весомый вывод о том, что платиновое оруденение приурочено к местам смены зернистости оливина всех четырех исследуемых массивов, т.е. характерно для всех массивов Среднего Урала.

В третьем, четвертом и пятом разделах главы 4 рассмотрены вещественный состав дунитов, вмещающих хромит-платиновые рудные зоны и состав хромититов, и дана их сравнительная характеристика. Автор подчеркивает существование петрохимической зональности в строении массивов, и взаимосвязанное изменение зернистости оливина, а также присутствие продуктов твердого распада в оливините, которое, по мнению автора, свидетельствует об отсутствии поздних процессов перекристаллизации. На этой основе выведено второе защищаемое положение: **«Геологическая специфика строения рудных зон, характер распределения петрогенных и примесных компонентов в дунитах и хромититах определяют ключевую роль магматических процессов в концентрировании металлов платиновой группы».** В диссертации не обозначены надежные критерии, позволяющие автору идентифицировать ведущую роль магматических процессов в концентрировании металлов платиновой группы (например, не были рассчитаны P-T параметры образования пород и руд). Приведенные оценки, как например: «Первоначально, Ir растворен в Pt-Fe твёрдых растворах, при снижении температуры до 845°C (Tolstykh et al., 2002) формируется распад твёрдого раствора в Pt-Fe минералах» не всегда отвечают температурным условиям магматического процесса.

Наложённые процессы метасоматоза и метаморфизма не обсуждаются в диссертации, хотя порфиоровидные, пегматоидные и миароловидные разности дунитов могли сформироваться в результате протекания метасоматических процессов с участием флюидов. Состав оливина дунитов Нижнетагильского массива (стр. 50-51), закономерно меняющийся от первичных мелкозернистых разностей с максимальной железистостью (Fo_{87}) через средне-крупнозернистые (Fo_{89-90}) к пегматоидным – с минимальной (Fo_{91-94}), также может быть проинтерпретирован как свидетельство метасоматической перекристаллизации пород в твердом состоянии с участием флюида.

Глава 5 «Минералы платиновой группы» посвящена описанию МПГ, оценке их распространенности в различных массивах и вариаций их химического состава. Основываясь на онтогеническом подходе по интерпретации структур и текстур взаимных сростания МПГ и вмещающих их первичных и вторичных шпинелей и силикатов, автор обосновывает последовательность минералообразования в клинопироксенит-дунитовых массивах и порядок кристаллизации минералов платиновой группы. Автор выделяет **минералы раннего магматического парагенезиса, кристаллизующиеся** **близодновременно с хромитом, и минералы позднего парагенезиса, кристаллизующиеся в рамках двух-стадийного гидротермального этапа путем**

замещения первичных МПГ. Этот вывод является третьим защищаемым положением диссертации.

Шестая глава «Особенности концентрирования платиноидов в хромит-платиновых рудных зонах» рассматривает распределение ЭПГ в хромититовых телах, которые содержат основной объем рудных металлов. Второй и третий разделы посвящены оценке платиноносности вмещающих дунитов, как возможного источника ЭПГ в хромититах, а также ресурсного потенциала россыпей как критерия для оценки масштаба коренного оруденения. Четвертый раздел шестой главы описывает авторскую модель формирования хромит-платинового оруденения в зональных клинопироксенит-дунитовых массивах Среднего Урала, которая предусматривает концентрирование ЭПГ и образование хромит-платиновых рудных зон на магматической стадии.

7. Соответствие автореферата основным положениям диссертации. Автореферат полностью соответствует тексту диссертации, верно отражает основные результаты и защищаемые положения.

8. Подтверждение опубликованных основных результатов диссертации в научной печати. По теме диссертации опубликованы 34 работы, из них 4 – в изданиях, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК РФ. Основные результаты были доложены на многочисленных всероссийских и международных конференциях в период с 2015 по 2018 гг.

9. Замечания по диссертации.

1) Автором показано присутствие признаков деформации в кристаллах оливина, таких как волнистое погасание и кинк-бэнды. Однако, для описания структур, возникших в результате перекристаллизации, используются термины зернистая (или полиэдрическизернистая), иногда порфириовидная, тогда как для метаморфизованных или деформированных пород должна быть использована терминология структур метаморфических пород (гранобластовая или порфиробластовая). Автор обосновывает возникновение порфириовидной текстуры в ходе магматического процесса, но не комментирует происхождение кинк-бэндов. Ранее в работе Шмелева и Филипповой (2010) убедительно показано метаморфическое происхождение порфиробластов в Нижнетагильском массиве.

2) Ламелли распада или реакционные ламелли в оливине представляют собой индикативные текстуры в оливине мантийного или внеземного происхождения. Автор описывает их в тексте диссертации на стр. 73 как ламелли распада твердого раствора, ссылаясь на работу Пушкарева (2000). Ряд других исследователей, включая, например, Ashworth (1979); Ashworth and Chambers (2000) и Хисина и др. (2015), занимались этим вопросом, и предложенные ими механизмы различаются. Следовало бы кратко рассмотреть альтернативные точки зрения с указанием их слабых и сильных сторон.

3) К настоящему времени нет никаких экспериментальных подтверждений возможности существования несмесимости жидкостей хромитового и силикатного составов в области допустимых природных температур и давлений, что предполагается автором на стр. 122.

Даже если эта модель «наиболее адекватно отражает выявленные особенности», необходимо осознавать ее несовместимость с экспериментальными и расчетными данными.

Текст диссертации написан грамотно, хорошим литературным языком, сопровождается качественными фотографиями, однако есть ряд замечаний по оформлению:

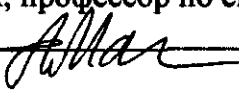
- в главе 4 пропущен четвертый раздел в нумерации;
- имеются опечатки в сокращении MORB на рис. 35 и некоторых других;
- поскольку точность метода ИСПМС не превышает 1 отн.%, значимыми являются только три цифры в результатах анализа в табл. 10, четвертая цифра не значима и поэтому не должна указываться;
- стр. 30, Рис. 8 - дунитовое ядро Светлоборского массива на левой верхней врезке рисунка показано значком габбро (4);
- в формуле диоксида везде лишние скобки вокруг кремний-алюминиевой компоненты (стр. 33, 37, 40);
- что означает не полная 100% сумма пересчета химических анализов дунитов на безводный остаток (в табл. 1, стр. 48), если $\Sigma=98-99\%$?
- стр. 70, рис. 40. Замечено противоречие в цифрах содержаний платины в породах в тексте и рис. 40;
- стр. 72, рис. 41 - в подрисуночной подписи окрашенные поля составов оливина (13 и 14) перепутаны и не соответствуют фигуративным точкам;
- не оправдано отсутствие «крылышек» на диаграммах Н.В. Павлова в развертке треугольной призмы (с положением фигуративных точек двухвалентных катионов хромшпинелидов), и тем самым потеряна важная информация о соотношении Mg^{2+} - Fe^{2+} и трендах их изменения; рис. 43, 47 не заменяют этих данных;
- на рис. 43, 47 не указаны единицы измерений состава FeO, MgO;
- стр. 80, рис. 46 – не понятно разграничение составов рудных хромшпинелидов (из платиноносных и из неплатиноносных) изучаемых Нижнетагильского, Светлоборского, Вересовоборского, Каменушинского массивов - они все платиноносные;
- стр. 88, табл. 17 - в названии таблицы заявлено 19 анализов, а в самой таблице приведено только 10 анализов, причем анализ 10 не привязан ни к какому массиву.

Заключение: Сделанные замечания являются либо редакционными, либо дискуссионными и не влияют на общую высокую оценку рецензируемой работы. Диссертация Сергея Юрьевича Степанова является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение проблемы распределения и происхождения минерализации ЭПГ в клинопироксенит-дунитовых комплексах Среднего Урала, что соответствует требованиям Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. N 842. Диссертация соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор заслуживает присуждения искомой степени кандидата геолого-

**минералогических наук по специальности 25.00.11 – Геология, поиски и разведка
твердых полезных ископаемых, минерагения.**

Составители отзыва:

Ведущий научный сотрудник лаборатории геологии рудных месторождений ИГЕМ РАН,
доктор геолого-минералогических наук, профессор по специальности минералогия

 _____ **Макеев Александр Борисович**

Ведущий научный сотрудник лаборатории геохимии ИГЕМ РАН, кандидат геолого-
минералогических наук

 _____ **Юдовская Марина Александровна**

02.08.2018 г.

Диссертация и отзыв рассмотрены на расширенном заседании лаборатории геологии
рудных месторождений ИГЕМ РАН (Протокол № от 29 августа 2018 г.)

Сведения о ведущей организации: Федеральное бюджетное учреждение науки Институт
геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской
академии наук (ИГЕМ РАН). Адрес: 119017, Москва, Старомонетный пер., 35. Телефон:
84992308249, факс: 84959511587, e-mail: director@igem.ru.

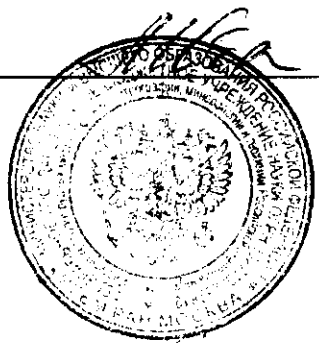
И. о. ученого секретаря ИГЕМ РАН



Е.Ю. Аникина

Подписи А.Б. Макеева, М.А. Юдовской и Е.Ю. Аникиной заверяю

Зав. канцелярией



М.Н. Оболенская

Протокол № 1/18

расширенного заседания лаборатории геологии рудных месторождений при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН от 29.08.2018 г.

Присутствовали: д.г.-м.н. Викентьев И.В., д.г.-м.н. Волков А.В., к.г.-м.н. Жуков В.В., к.г.-м.н. Иванова Ю.Н., д.г.-м.н. Коваленкер В.А., д.г.-м.н. Макеев А.Б., д.г.-м.н. Прокофьев В.Ю., к.г.-м.н. Чаплыгин И.В., д.г.-м.н. Чижова И.А., Чичеров М.В., д.г.-м.н. Гирнис А.В., д.г.-м.н. Борисов А.А.

Повестка дня: рассмотрение кандидатской диссертации Степанова Сергея Юрьевича (Санкт-Петербургский горный университет) «Структурно-вещественные закономерности проявления хромит-платинового оруденения в клинопироксенит-дунитовых массивах Среднего Урала» по специальности 25.00.11 – Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения, по которой ИГЕМ РАН назначен ведущей организацией.

Выступили: Викентьев И.В., д.г.-м.н. Волков А.В., д.г.-м.н. Коваленкер В.А., д.г.-м.н. Макеев А.Б.

Постановили: Принять отзыв ведущей организации, составленный ведущим научным сотрудником ЛГРМ ИГЕМ РАН, доктором геолого-минералогических наук Макеевым А.Б. и ведущим научным сотрудником лаборатории геохимии ИГЕМ РАН, кандидатом геолого-минералогических наук Юдовской М.А., по кандидатской диссертации Степанова Сергея Юрьевича.

Результаты открытого голосования: «за» - 12, против - «нет».

Зав. лаборатории геологии
рудных месторождений, д.г.-м.н.

А.В. Волков

Ученый секретарь, к.г.-м.н.



Ю.Н. Иванова