

УТВЕРЖДАЮ
Директор ИГЕМ РАН

член-корреспондент РАН В.А. Петров
2023 г.



**ОТЗЫВ
ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ**

на диссертационную работу Воробей Софьи Сергеевны на тему:
«Метасоматические ассоциации минералов пород кратонной литосферной мантии на
примере ксенолитов трубок Мир и Обнаженная, Якутия»,
представленную на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук,
по специальности: 1.6.4 – «Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические
методы поисков полезных ископаемых»

Диссертационная работа Воробей Софьи Сергеевны посвящена изучению метасоматических ассоциаций минералов мантийных ксенолитов перидотитового, пироксенитового и эклогитового парагенезисов из кимберлитов трубок Мир и Обнаженная Якутской алмазоносной провинции. В работе детально изучены структуры распада минералов мантийных перидотитов и келифитовые каймы, представлена интерпретация редкоэлементного состава граната и клинопироксена из изученных ксенолитов в терминах силикатного и карбонатитового мантийного метасоматоза, а также изучен ряд редких K-Al- Cr-Ti -содержащих фаз (прайдерит, минерал, изоструктурный линдквиститу, имэнгит и матиасит), образование которых было промоделировано экспериментально.

Актуальность работы обусловлена тем, что несмотря на многолетние исследования состава пород литосферной мантии древних кратонов, выносимых в виде ксенолитов в кимберлитах, многие вопросы, связанные с происхождением глубинных пород, их многостадийное преобразование под влиянием различных процессов, остаются актуальными. С одной стороны, актуальность выбранного направления исследования не вызывает сомнений – действительно, многие вопросы, связанные в том числе с мантийным метасоматозом, являются крайне дискуссионными и, вероятно, не потеряют свою актуальность еще долгое время.

Недостатком обоснования актуальности исследований является то, что, проблематика (как во введении, так и в тематических главах диссертации) представлена в общем виде, без перечисления конкретных вопросов, которые остаются нерешенными или дискуссионными для выбранных объектов (трубки Мир и Обнаженная), которым посвящен большой объем научной литературы.

Цель работы поставлена корректно и связана с расшифровкой процессов преобразования мантийных пород, включая роль кимберлитового расплава, по результатам изучения мантийных ксенолитов, выносимых кимберлитами трубок Мир и Обнаженная. Указанные **объекты и предмет исследования** позволяют достичь поставленную цель.

Задачи исследования сформулированы корректно с точки зрения объекта исследования и основной цели, позволяют ответить на вопросы, поставленные в работе и в

целом были успешно решены. Однако необходимо отметить, что одна из задач под номером 5 – «исследование геохимических особенностей пород, а также распределения главных и редких элементов в минералах» не была в полной степени решена, поскольку основной акцент в работе был сделан на изучении состава минералов, а не валовых составов глубинных пород.

Фактический материал и личный вклад. Была изучена коллекция ксенолитов мантийных пород (коллекция Е.Е. Лазько), состоящая из 25 ксенолитов из трубки Мир и 20 – из трубки Обнаженная. Личный вклад автора заключался в проведении минералогопетрографического изучения образцов. Из текста остается неясным личный вклад автора в проведении экспериментальных работ. Также в этом разделе не указано изучение состава минералов мантийных ксенолитов методами LA-ICP-MS.

Научная новизна работы заключается в обнаружении и изучении минеральной фазы изоструктурной линдквиститу, а также проведении экспериментальных работ, по результатам которых продемонстрирована совместная кристаллизация ассоциации имэнгита и прайдерита и матиасита и К-Ст прайдерита. Детальное изучение этих фаз имеет **практическую значимость**, поскольку их обнаружение среди мантийных ксенолитов может быть использовано при выявлении промышленно алмазоносных кимберлитов.

Защищаемые положения. В диссертации защищаются три положения, детальное рассмотрение которых будет приведено ниже. Однако необходимо отметить, что защищаемые положения представлены только в водной части диссертации. В главах диссертации защищаемые положения не приведены и даже не указано, какие главы работы или выводы лежат в основе защищаемых положений.

Апробация работы. Результаты работы были опубликованы в **семи** статьях из перечня журналов списка ВАК РФ, среди которых одна статья за первым авторством диссертанта. При этом пять публикаций посвящены экспериментальным работам. Результаты работ были также апробированы на различных конференциях.

Структура работы. Диссертация состоит из введения, 9 глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка используемой литературы и трех приложений, изложенных на 198 страницах, из которых 57 страниц занимают приложения и 21 страница – список использованной литературы. Работа содержит 67 рисунка и 24 таблицы. Диссертация написана понятным профессиональным языком и представляет собой завершённую научно-исследовательскую работу. Оформление диссертации не вызывает существенных нареканий; хотя в тексте присутствуют некорректные ссылки на рисунки, пропущенные страницы (номер 142), повторы, а некоторые рисунки нуждаются в улучшении; например, цветокоррекция фотографий шлифов и образцов, а также корректировка размера шрифта условных обозначений на некоторых графиках.

Рассмотрим более детально содержание глав:

Введение. Во введении на 6 страницах содержится необходимая информация о диссертации, а также защищаемые положения. В завершении Введения представлены принятые обозначения минералов и иных терминов, принятых в работе.

Глава. 1. Геологическая характеристика Якутской алмазоносной провинции. Глава содержит краткие сведения о геологическом строении Якутской алмазоносной провинции, изложенные в двух разделах на 9 страницах. Основной акцент сделан на тектоническом строении Сибирского кратона, а также описании трубок Мир и Обнаженная.

В качестве замечания отметим, что в этой главе и в других главах диссертации, где представлен литературный обзор, учитываются не все современные публикации. Так, из списка литературы, включающего порядка 290 позиций, всего около 15 источников (5%) были опубликованы после 2015 года, что ограничивает обзор современной литературы. Например, в этой главе не учитывается ряд публикаций, непосредственно посвященных изучаемым объектам, в частности, истории эволюции Сибирского кратона (Kostrovitsky et al., 2017), или работы посвященные изучению мантийного материала из кимберлитов трубки Обнаженная (Sun et al., 2017; Ionov et al., 2017; Ionov et al., 2018). Также в обзоре геологического строения на рис. 1 следовало бы показать положение изученных объектов на общей схеме Сибирского кратона и дать общую характеристику Куойского поля.

В завершении главы делается вывод об актуальности проблем, связанных с влиянием метасоматических процессов на разных этапах в двух кимберлитовых трубках. Тем не менее, это не добавило ясности в вопросе о том, какие же проблемы остаются неизученными.

Глава 2. Краткий очерк метасоматических процессов, протекающих в литосферной мантии. В главе на 5 страницах представлен краткий обзор мантийного метасоматоза, который фиксируется в ксенолитах глубинных пород, выносимых кимберлитами, а также основные модели формирования келифитовых кайм. Можно отметить корректную структуру обзора, с рассмотрением многих аспектов мантийного метасоматоза. В главе делается вывод, о том, что принципиально существует два типа метасоматоза – непосредственно глубинный мантийный метасоматоз, который происходит до захвата кимберлитами фрагментов глубинных пород, и собственно кимберлитовый метасоматоз, который в первую очередь выражен в формировании реакционных кайм по минералам мантийных ксенолитов. Также по литературным данным делается вывод, что ксенолиты из рассматриваемых кимберлитовых трубок отражают состав литосферной мантии под Мирнинским и Куойским полями.

Замечания к этой главе связаны с тем, что в ней, как и в целом во всей диссертации при интерпретации данных, не был проведен анализ альтернативных моделей как глубинного мантийного метасоматоза и участия в нем кимберлитовых расплавов (или протокимберлитовых расплавов), так интерпретации происхождения мантийных ксенолитов. Например, работы (Giuliani et al., 2016; Bussweiler et al., 2018), в которых показано, что кимберлитовый магматизм является многостадийным процессом, в ходе которого в начале формируется мантийный канал, по которому происходит последующий подъем кимберлитовых расплавов, достигающих поверхности. В этом случае, большая часть ксенолитов, которые выносятся кимберлитами, не идентичны материалу литосферной мантии, а представляют собой стенки магматических каналов подъема кимберлитовых расплавов. Таким образом, обзор проблем и моделей мантийного метасоматоза в этой главе выглядит не полностью актуальным.

Глава 3. Аналитические методы исследования. В главе на трех страницах представлено описание основных аналитических методов, которые использовались при написании работы. Указано место проведения, приборная база и условия анализа. Однако для некоторых инструментальных методов осталось неясным, какова была погрешность определения элементов и какие стандартные образцы использовать для контроля измерений. В приложениях данной информации также нет.

Глава 4. Петрографическое описание образцов исследуемых ксенолитов. В главе на 14 страницах представлено детальное петрографическое описание изученных ксенолитов. Описание корректно структурировано по типам изученных ксенолитов; дается детальная характеристика породообразующих минералов, включая общее описание их химического состава. В некоторых случаях, составы минералов вынесены на дискриминационные диаграммы (гранат). Описание сопровождается большим объемом макро и микрофотографий под оптическим микроскопом, а также обобщением в виде таблицы 4.1. Материалы главы дают представление о детальности изучения автором объектов исследования и проделанном их объеме.

Однако стоит отметить некоторые особенности, описания, которые не позволяют в полном объеме получить информацию о составе ксенолитов:

- в обобщающей таблице следовало бы уточнить относительные доли породообразующих минералов; в тексте содержание минералов представлено только в общем виде по всем образцам;

- также в общем виде представлен состав минералов, при этом обобщение идет по типам ксенолита, т.е. по ксенолитам из двух трубок; возможно, стоило сопоставить составы минералов в ксенолитах из трубки Мир с таковыми из трубки Обнаженная, чтобы показать сходство или различие их состава. Это важно, поскольку в последующих главах и основных выводах идет сопоставление характера мантийного метасоматоза литосферной мантии под двумя трубками; такое сопоставление сделано только по гранатам;

- в тексте мало внимания уделено зональности минералов, хотя при изучении вопросов метасоматического преобразования – это один из ключевых моментов;

- в главе отсутствует вывод или обобщение результатов, а также сопоставление с литературными данными по изучению подобных мантийных ксенолитов из этих трубок.

Глава 5. Структуры распада в породообразующих минералах. В главе на 14 страницах представлен краткий литературный обзор структур распада в породообразующих минералах мантийных ксенолитов и приведены результаты изучения структур распада в зернах граната, клинопироксена и ортопироксена. Описание структур распада имеет высокую степень детальности и хорошо проиллюстрировано изображениями в обратно рассеянных электронах. Сделан вывод о последовательности образования минералов, а также сопоставлены результаты для ксенолитов трубки Мир и Обнаженная, что позволило предположить более длительные по времени процессы преобразования мантийных пород в случае ксенолитов из трубки Обнаженная, по сравнению с ксенолитами из трубки Мир.

Замечания к этой главе связаны с тем, что из приведенного описания осталось не ясным, как обнаруженные структуры распада в изученных минералах мантийных ксенолитов сопоставимы с ранее опубликованными литературными данными для минералов из мантийных ксенолитов Якутской алмазоносной провинции, включая изученные трубки, о которых упоминается в обзорной части главы. Иными словами, соответствуют ли полученные результаты общим наблюдениям, или полученные данные выявили принципиально новые соотношения.

Глава 6. Процесс келифитизации минералов. В главе на 19 страницах представлен литературный обзор, посвященный процессам формирования келифитовых кайм, а также результаты их изучения в ксенолитах мантийных пород из кимберлитов трубок Мир и Обнаженная. Литературный обзор характеризует основные модели формирования

келефитовых кайм, однако содержит блоки, дублирующие друг друга по смыслу. При описании келефитовых кайм большое внимание уделяется реакциям, которые приводят к образованию новых минеральных парагенезисов. Глава показывает глубокую вовлеченность диссертанта в проблематику; выводы подтверждаются большим объемом фактического материала с информативными иллюстрациями (изображениями в обратно рассеянных электронах). Особое внимание в главе уделяется флогопиту. Основным результатом является выявление нескольких этапов мантийного метасоматоза на основании сопоставления составов флогопита с данными из литературы.

Замечания к этой главе связаны с тем, что выводы представленные в ней, базируются на ограниченном количестве материала (например для флогопита из кайм было выполнено всего 13 определений состава для двух типов ксенолитов из двух трубок, т.е. 13 определений на 4 выборки, исходя из рис. 6-12) и в целом дублируют выводы из работы (Соловьева и др., 2012). При этом, в выводах говорится о нескольких эпизодах глубинного мантийного метасоматоза, один из которых протекал в том числе под воздействием Сибирского плюма, хотя последнее вряд ли возможно для ксенолитов, выносимых кимберлитами трубки Мир ввиду возраста внедрения самих кимберлитов. Также выводы о формировании флогопита, который входит в состав келифитовых кайм в ходе эпизодов глубинного метасоматоза, противоречит выводам из предыдущих частей диссертации, в которых было указано, что формирование реакционных кайм связано с поздним этапом кимберлитового метасоматоза при захвате и подъеме к поверхности мантийных фрагментов кимберлитовым расплавом.

Глава 7. Природные включения редких K-Al-Ti-содержащих фаз в магнезиальном алюмохромите из ксенолита гранат-шпинелевого лерцолита, трубки Обнаженная. В главе на 5 страницах представлены результаты изучения редких K-Al-Ti-содержащих фаз, входящие в состав полиминеральных включений в Cr-шпинели. В главе в начале приводится детальное петрографическое описание самого мантийного ксенолита, а затем и включений с K-Al-Ti-содержащими фазами. Обнаружение подобных фаз наглядно демонстрирует K-Ti специфику мантийного метасоматоза и несомненно является важным наблюдением, позволяющим расширить представления о мантийном метасоматозе, повлекшему реакцию хромшпинели с высококалиевыми водно-солевыми флюидами. На основе наблюдений были поставлены эксперименты в системе хромит + ильменит/рутил, с участием $H_2O-CO_2-K_2CO_3$ флюида, при 5 ГПа и 1200°C.

Поскольку в диссертации защищаемые положения были представлены только в начале (введение), то можно предположить, что именно результаты этой главы послужили основанием для выдвижения второго защищаемого положения: *Нахождение в магнезиальном алюмохромите из ксенолита гранат-шпинелевого лерцолита трубки Обнаженная включений K-титанатов (фазы, изоструктурной линдквиститу с эмпирической формулой $(K_{0.89}Ba_{0.11})\Sigma 1.00 Fe_{3+0.99} (Mg_{2.82}Fe_{2+1.18})\Sigma 4.00 (Al_{5.05}Cr_{4.80}Ti_{3.28}V_{0.08})\Sigma 13.21 O_{27}$, имэнгита и матиасита) свидетельствует о проявлении процесса мантийного метасоматоза, протекающего под влиянием флюида/расплава, обогащенного Ti и K.*

Защищаемое положение базируется на полученных результатах и не вызывает сомнений. Однако стоит обратить внимание, что, судя по анализам из табл. 7.2, минерал, изоструктурный линдквиститу, по составу идентичен имэнгиту. Разница заключается только в несколько измененном отношении Al/Cr, но это отношение в природном имэнгите

также не постоянно. Следовательно, можно предположить, что первый минерал является структурной модификацией имэнгита. Но для обоснования этого предположения требуется подробное исследование и описание структуры обеих фаз. Заметим, что нахождение двух фаз близкого состава в сростаниях не означает автоматически, что это разные минералы – проявления контрастных по составу зон одного минерала вполне обычны.

Глава 8. Синтез редких К-титанатов в системах шпинель-рутил/ильменит-флюид при 5 ГПа. В главе на 20 страницах приведено описание выполненных экспериментов по синтезу редких К-титанатов. Природные и экспериментальные данные по составу и фазовым соотношениям редких титанатов представляют большой интерес, поскольку в литературе имеется очень мало сведений об условиях и механизмах их образования.

По результатам было предложено третье защищаемое положение: *Экспериментальные исследования образования редких титанатов (из группы магнетоплюмбита и кричтонита) при реакции хромит + ильменит/рутил с флюидом $H_2O-CO_2-K_2CO_3$ при 5 ГПа и $1200^\circ C$ показали, что совместная кристаллизация: 1) прайдерита и матиасита происходит в системе хромит-рутил-флюид; 2) имэнгита и прайдерита происходит в системе хромит-ильменит-флюид. Совместное образование титанатов, а также впервые синтезированного К-Сr прайдерита, не содержащего Ва, происходит в результате метасоматоза верхнемантийных перидотитов с участием карбонатных флюидов или расплавов в условиях высокой активности калия.*

Защищаемое положение получено по результатам проведенных экспериментов и не вызывает сомнения.

Однако, к приводимым в диссертации данным имеется ряд вопросов и замечаний. Эксперименты в флюид-содержащей системе с титаном, хромом и калием показали, что ряд редких фаз, встречающихся в алмазоносных породах (прайдерит, имэнгит, матиасит) могут быть получены при взаимодействии флюидов с хромитом. Эксперименты показали зависимость фазовых ассоциаций от активности калия. Эти результаты указывают на то, что потенциально ассоциации и составы таких минералов могут служить индикаторами условий минералообразования. Но с другой стороны, полученные результаты показали, что система очень сложна, и нескольких опытов при фиксированной температуре и давлении явно не достаточно для обоснованного приложения к природным ситуациям. Пока вопросов остается больше, чем ответов. Первый и один из главных вопросов – можно ли считать проведенные эксперименты равновесными или хотя бы приближающимися к равновесию? Оксидные фазы медленно достигают равновесия даже при температурах намного выше $1200^\circ C$. Зависимость ассоциации продуктов от минералогии исходного материала при близком валовом составе систем может иметь метастабильную природу. Насколько существенно присутствие CO_2 в системе? Этот вопрос важен, так как мантийный метасоматоз, производимый водными и карбонатными флюидами (расплавами) приводят к разным геохимическим и минералогическим следствиям. Разные результаты, полученные в экспериментах со смесями хромит+рутил и хромит+ильменит, требуют более подробного изучения и анализа. Химически эти смеси отличаются незначительно и тут опять возникает вопрос о равновесности получаемой ассоциации. Переход от рутил- к ильменит-содержащим ассоциациям в равновесии с шпинелью контролируется потенциалом кислорода в соответствии с реакцией $3TiO_2 + Fe_3O_4 = 3FeTiO_3 + 1/2O_2$.

Таким образом, можно предположить, что переход от ассоциации прайдерита с имэнгитом к ассоциациям с матиаситом также определяется потенциалом кислорода. Утверждение о том, что для образования рассматриваемых титанистых фаз необходимо присутствие рутила или ильменита достаточно дискуссионное. На самом деле содержание титана в шпинелевой фазе может быть высоким и приближающимся к насыщению ильменитом или рутилом. Поэтому реакции титан-содержащей шпинели в присутствии или отсутствии других титанистых фаз должны быть практически неразличимы. Это только наиболее существенные вопросы, возникающие при чтении экспериментального раздела. Проведение экспериментального исследования является, несомненно, достоинством работы. В принципе, экспериментальная основа защищаемого положения 3 обоснована, но приложение к природным объектам представляется преждевременным. Эксперименты, описанные в работе, не определяют полей стабильности фаз и контролирующих их реакций. Поэтому предлагаемый механизм их образования при взаимодействии флюида с хромитом в присутствии рутила или ильменита не может считаться единственно возможным или даже наиболее вероятным.

Глава 9. Генетические вопросы происхождения мантийных ксенолитов из трубок Мир и Обнаженная. В главе на 17 страницах представлена интерпретация геохимических данных по изучению состава граната и клинопироксена из 25 образцов ксенолитов перидотитового, пироксенитового и эклогитового парагенезисов. В основу интерпретации данных лежит модель разделения глубинного метасоматоза на силикатный или флюидный / карбонатитовый по концентрациям Zr, Y, Ti в гранате и отношению Ti/Eu и La/Yb в клинопироксене с учетом характера распределения редкоземельных элементов, нормированных на состав хондрита. Данный подход к интерпретации результатов широко используется на практике. Конечно, есть дискуссионные вопросы о корректности дискриминации мантийного метасоматоза по отношениям Ti/Eu и La/Yb в клинопироксене, но такой подход применяется. В главе детально описаны геохимические особенности состава граната и клинопироксена, рассчитаны P-T параметры их формирования (равновесия в условиях литосферной мантии). В результатах были подтверждены более глубинные условия равновесия для мантийных ксенолитов из трубки Мир, по сравнению с таковыми из трубки Обнаженная. По результатам этой главы, по-видимому, было сформировано первое защищаемое положение:

Геохимические признаки метасоматических процессов надежно устанавливаются в мантийных породах кимберлитовых трубок Мир и Обнаженная на основании распределения РЗЭ в гранатах и клинопироксенах. Судя по отношению TiO_2-Zr и $Y-Zr$ зерна граната из двух кимберлитовых трубок были подвержены низкотемпературному флогопитовому и высокотемпературному расплавному метасоматозу. На основании редкоэлементного состава клинопироксена можно выделить два типа мантийного метасоматоза, происходившего до кимберлитового магматизма – карбонатитовый и силикатный в трубке Мир, и силикатный метасоматоз в трубке Обнаженная.

Защищаемое положение полностью соответствует результатам, полученным в ходе работы.

Тем не менее, осталось не ясным взаимоотношение типов метасоматоза, определенных по гранату и клинопироксену: как низкотемпературный флогопитовый и высокотемпературный типы расплавленного метасоматоза, определенные по гранатам,

соотносятся с карбонатитовым и силикатным метасоматозами, определенными по клинопироксену. Было ли это 4 этапа мантийного преобразования или меньше, соответствует ли силикатный метасоматоз высокотемпературному расплавному, а низкотемпературный флогопитовый – карбонатитовому или нет. Находился ли гранат в равновесии с клинопироксеном.

Также стоит отметить, что защищаемое положение обосновано полученными результатами в рамках тех моделей их интерпретации, которые были установлены автором. Однако для полной защиты результатов не хватает более детального обзора моделей мантийного метасоматоза, учитывающих, что выносимые кимберлитами мантийные ксенолиты являются фрагментами стенок мантийных каналов и не могут в полном объеме характеризовать литосферную мантию (т.е. мантийный метасоматоз имеет локальный характер и приурочен к зонам прохождения кимберлитовых расплавов), опубликованных в последнее время (например, Bussweiler et al., 2018). необходимо также сопоставление с литературными результатами, полученными для ксенолитов из этих трубок (например, Ionov et al., 2016, 2017, 2018; Sun et al., 2017; Калашникова 2017).

В главе представлен обобщающий вывод о многостадийном формировании метасоматических ассоциаций в изученных ксенолитах мантийных пород: формирование исходных ассоциаций мантийных пород, К-Тi фаз, структур распада, келифитовых кайм, а также поздних минеральных ассоциаций. Данная последовательность выглядит логичной (хотя предполагает мощную литосферную мантию для района трубки Обнаженная), базируется на полученных в работе результатах и вполне могла бы быть сформулирована в виде дополнительного защищаемого положения. Однако в этой последовательности нет упоминания про выделенные в первом защищаемом положении метасоматических этапов.

После девятой главы в тезисной форме изложены основные научные результаты диссертации. Представленные выводы полностью отражают содержание диссертации, а данный раздел можно считать заключением по работе, поскольку главы Заключение в самой работе нет, но есть ссылка в оглавлении.

Автореферат работы полностью отражает основное содержание диссертации.

Заключение ведущей организации. Отмеченные замечания несколько не умаляют хорошего впечатления от работы, практически все они носят рекомендательный, уточняющий характер. Актуальность, научная новизна, значимость диссертационной работы, обоснованность и достоверность научных положений и выводов сомнений не вызывают. Совокупность защищаемых положений диссертации показывает, что в ней представлено решение задачи, имеющей важное научное и практическое значение.

Рассматриваемая диссертация соответствует критериям, установленным в пп. 9-11, 13 и 14 Постановления Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. N 842 «Положение о присуждении ученых степеней» для ученой степени кандидата наук, а ее автор Воробей Софья Сергеевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.4 – «Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых».

Отзыв подготовлен ведущим научным сотрудником Лаборатории петрографии Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, кандидатом геолого-минералогических наук Каргиным Алексеем Владимировичем, заведующей лабораторией петрографии Института геологии рудных месторождений,

петрографии, минералогии и геохимии РАН, доктором геолого-минералогических наук Носовой Анной Андреевной и главным научным сотрудником лаборатории геохимии Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН Гирнисом Андреем Владиславовичем.

Отзыв рассмотрен и обсужден на расширенном заседании лаборатории петрографии и лаборатории редкометального магматизма Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН (протокол №1 от 05 сентября 2023 года).

Зав. лабораторией редкометального магматизма ИГЕМ РАН,
доктор геолого-минералогических наук,
академик РАН

Ярмолюк Владимир Викторович

Зав. лабораторией петрографии ИГЕМ РАН,
доктор геолого-минералогических наук

Носова Анна Андреевна

Ученый секретарь расширенного заседания
лаборатории петрографии и лаборатории
редкометального магматизма ИГЕМ РАН
кандидат геолого-минералогических наук

Лебедева Наталия Михайловна

05.09.2023 г.

Подпись руки *Ярмолюка В.В.*
удостоверяется. *Носовой А.А.*
Лебедевой Н.М.
Заведующий канцелярией Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук МИНОБРНАУКИ России



Восемь