

УТВЕРЖДАЮ

Директор Института геологии рудных
месторождений, петрографии,
минералогии и геохимии (ИГЕМ) РАН,
член-корр. РАН Петров В.А.



2022 г.

ОТЗЫВ

**Ведущей организации Института геологии рудных месторождений,
петрографии, минералогии и геохимии (ИГЕМ) РАН на диссертацию
Петраковой Марины Евгеньевны**

**"ВОЗРАСТ И ПРОИСХОЖДЕНИЕ МАГМАТИЧЕСКИХ ПОРОД
ХОХОЛЬСКО-РЕПЬЁВСКОГО БАТОЛИТА ДОНСКОГО ТЕРРЕЙНА
ВОЛГО-ДОНСКОГО ОРОГЕНА",**

**представленную на соискание учёной степени кандидата геолого-
минералогических наук по специальности 1.6.3 – петрология, вулканология**

Актуальность работы Петраковой Марины Евгеньевны определяется тем, что объекты её исследования – магматические и метаморфические комплексы Волго-Донского орогена перекрыты платформенным чехлом очень малой мощности и поэтому хорошо доступны для изучения по данным бурения и открытых горных выработок. Изучение этих объектов необходимо для получения информации о строении фундамента Восточно-Европейской

платформы, которую в других районах получить проблематично из-за высокой мощности осадочного чехла. Породы Хохольско-Репьевского батолита образуют один из крупнейших плутонов в западной части протерозойского Волго-Донского орогена. Геологическое строение, возраст, геохимические и изотопно-геохимические характеристики пород этого батолита весьма слабо освещены в литературе. Поэтому, получение новой достоверной информации о строении этого массива и о составе слагающих его пород представляется очень важным для реконструкции истории геологического развития фундамента Восточно-Европейской платформы в докембрии.

Кроме того, на территории Воронежского кристаллического массива в породах фундамента известны месторождения никеля, а в прилегающем Курском блоке – месторождения железистых кварцитов. Это существенно повышает актуальность геологического исследования пород района, так как может дать рекомендации о промышленной перспективности его отдельных участков.

Цель и задачи диссертационного исследования состояли в том, чтобы на основе применения комплекса петрологических, геохронологических и изотопно-геохимических методов изучить строение, определить условия образования и установить возраст пород Хохольско-Репьевского батолита, а также провести сопоставление двух крупных магматических комплексов в его составе – Павловского (монцодиорит-лейкогранитного) и Потуданского (монцогаббро-гранодиоритового).

В основу диссертации положен обширный и оригинальный фактический материал, собранный лично автором при изучении керна скважин и его лабораторных исследованиях с 2017 по 2021 гг. Кроме того, Марина Евгеньевна использовала фондовый материал - геофизические карты по Хохольско-Репьевскому батолиту и плутону Потудань из фондов ООО "Воронежгеология" (г. Воронеж), а также дополнительные фактические и аналитические материалы, предоставленные К. А. Савко и Р. А. Терентьевым

(НИИ Геологии ВГУ, г. Воронеж) и информацию из открытых печатных источников.

В ходе исследований Мариной Евгеньевной был изучен керн **28 скважин**. Вещественный состав пород и минералов изучался комплексом методов оптической и электронно-зондовой микроскопии на основе **65 прозрачно-полированных шлифов**. Для **13 образцов** был выполнен количественно-минералогический анализ на интеграционном столике Андина. Изучение составов минералов было проведено на основе **246 микронзондовых анализов**. Микронзондовые исследования проводились на растровом электронном микроскопе «Jeol 6380 LV» с энергодисперсионным анализатором INCA 250 (ЦКПНО ВГУ). Изучение химического состава пород базировалось на **53 рентген-флуоресцентных анализах**, выполненных на спектрометре «S8 Tiger» (Bruker AXS GmbH, Германия) в ЦКПНО ВГУ. В **29 пробах** были определены концентрации редких и редкоземельных элементов методом индукционно-связанной плазмы с масс-спектрометрическим окончанием анализа (ICP-MS) в лаборатории ВСЕГЕИ (г. Санкт-Петербург). Для **3 проб** было проведено **U-Pb** локальное изучение цирконов с помощью мультиколлекторного вторично-ионного масс-спектрометра высокого разрешения «SHRIMP-II» в Центре изотопных исследований ВСЕГЕИ, г. Санкт-Петербург. В **6 пробах** было проведено изучение **изотопного состава Nd** с использованием термоионизационного многоколлекторного масс-спектрометра «TRITON TI» (ВСЕГЕИ). В **1 пробе** было выполнено изучение **Lu-Hf изотопного состава** циркона на многоколлекторном масс-спектрометре Neptune Plus с приставкой для лазерной абляции проб NWR 213 в Институте геологии и геохимии им. академика А.Н. Заварицкого УрО РАН (г. Екатеринбург).

Обработка аналитических данных, пересчет формул минералов, оценка P-T-параметров формирования пород, моделирование магматического минералообразования проводилось непосредственно автором с использованием современных версий специальных и универсальных

компьютерных программ. Таким образом, можно заключить, что фактический материал, положенный в основу диссертации достаточно представителен, а аналитические исследования отвечают современному уровню.

Научная новизна диссертации определяется результатами сравнения двух массивов - Павловского (монцодиорит-лейкогранитного) и Потуданского (монцогаббро-гранодиоритового), проведённого на основе новых петрографических, петролого-геохимических и прецизионных изотопно-геохронологических данных. Было показано, что в строении Хохольско-Репьёвского батолита принимают участие Павловский и Потуданский типы пород, относящиеся к двум разным сериям: железистой – Потуданской, магнезиальной – Павловской. Впервые установлены режимы кристаллизации магматических пород обоих массивов: Потуданского – при начальной температуре 1150–1000°C, а Павловского при 980–900°C на глубине около 9 км. По комплексу методов геотермо- и барометрии получены оценки водонасыщенности и фугитивности кислорода в магмах изученного батолита: магмы Потуданского типа – относительно “сухие” и формировались в более восстановительных условиях, чем магмы Павловского типа. Впервые было установлено, что породы Хохольско-Репьёвского батолита кристаллизовались в верхнекоровых условиях и, что в их образовании принимали участие расплавы из обогащенного мантийного источника.

Практическая значимость работы определяется прежде всего тем, что её результаты могут быть использованы для составления геологических карт докембрийского фундамента в районе, который перекрыт толщей платформенных отложений, что весьма важно при поисках глубоко залегающих месторождений, связанных с древними кристаллическими породами. Кроме того, результаты работ Марины Евгеньевны могут быть использованы для разработки моделей магматизма раннего докембрия Восточно-Европейской платформы.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, шести глав и заключения; содержит 53 рисунка и 22 таблицы. Общий объём работы составляет 142 страницы. Список литературы включает 158 наименования, из них 3 – фондовые материалы.

Список работ, в которых автор изложила результаты своих исследований, превышает необходимое количество публикаций, установленных ВАК. По теме диссертации Петракова Марина Евгеньевна опубликовала 9 статей, из которых 3 - в рецензируемых журналах ВАК, а также - 4 публикации в материалах совещаний и конференций. Основные положения диссертации и результаты исследований докладывались автором на 7 Российских конференциях в ведущих научных центрах России - в Москве (2020), С.-Петербурге (2020), Иркутске (2021), Апатитах (2021), Петрозаводске (2022). Кроме того, отдельные части диссертации докладывались на ежегодных научных конференциях и семинарах геологического факультета и НИИ Геологии ВГУ в 2017–2018 гг.

Первая глава диссертации кратко раскрывает основные черты постколлизийного магматизма и освещает основные вопросы, связанные с природой разнообразия постколлизийных интрузивных комплексов. В этой главе приводится современное состояние исследований интрузивных массивов, слагающих Хохольско-Репьёвский террейн. Показано, что нет полных данных о возрасте разных массивов; нет данных о строении и составе Потуданского массива, что не позволило отнести его к какому-либо из известных магматических комплексов. В первой главе Марина Евгеньевна обозначила нерешенные вопросы, решению которых и посвящена диссертация.

Вторая глава. В первой части второй главы содержится развёрнутое описание особенностей геологического положения Волго-Донского орогена на стыке двух кратонов - Сарматии и Волго-Уралии. Кроме того, здесь охарактеризованы различные более мелкие блоки коры – Лосевский, Донской, Воронцовский террейны и Курский блок, на стыке которых

расположена изучаемая структура – Хохольско-Репьёвский батолит. В строении каждого из этих блоков охарактеризованы интрузивные комплексы, которые, потенциально, могут быть родственны изучаемым магматическим комплексам Хохольско-Репьёвского батолита.

Вторая часть главы посвящена более детальному описанию геологического строения, состава пород, соотношениям интрузивных фаз в двух сравниваемых батолитах Донского террейна Волго-Донского орогена – Павловского (хорошо изученного, так как он вскрыт карьером) и Хохольско-Репьёвского (относительно слабо изученного, вскрытого только скважинами). Показано, что в Павловском батолите доминирует один тип пород – гранитоиды Павловского комплекса, а в строении Хохольско-Репьёвского батолита принимают участие как гранитоиды Павловского типа, так и более основные меланократовые породы – монцогаббро Потуданского типа. Кроме того, выделен гибридный тип пород, несущий в себе характерные петрографические особенности пород обоих комплексов.

Глава содержит необходимые схемы и иллюстрации. Весьма важно то, что на схемах приведены номера скважин, а в таблицах ниже - этим номерам соответствуют образцы с анализами. То есть исследованные образцы пород строго привязаны к структуре, в которой были отобраны. Кроме того, очень информативен оказался рисунок 2.6 на стр.23, на котором приведены разрезы по некоторым скважинам и их корреляция.

Третья глава – методы исследования – содержит подробное описание петрографических, геохимических, изотопно-геохимических методов анализа вещества, которые применялись для исследования пород Хохольско-Репьёвского батолита. В описании методов анализа вещества Марина Евгеньевна охарактеризовала как приборно-техническую сторону аналитических работ, так и методическую. Для каждого метода указаны погрешности, пределы обнаружения элементов, где необходимо – применяемые стандарты. Кроме того, в этой главе приводится очень подробный разбор различных модификаций Al-роговообманковых

барометров и Amph-P1-термометра с указанием основных сложностей их применения. Весьма важно, что в этой главе указаны программные комплексы, которые использовались для расчетов формул минералов и модального состава породы; подробно охарактеризован программный пакет MELTS и различные его вариации.

Глава 4 – «петрографическая, минералогическая и геохимическая характеристика пород Потуданского и Павловского типов Хохольско-Репьёвского батолита» – самая большая и содержательная глава диссертации. Она построена на сравнительном описании двух типов пород – Павловского (монцодиориты-лейкограниты) и Потуданского (монцогаббро-гранодиориты). Петрографическое описание пород, представленное в этой главе, выполнено с высокой детальностью. Описание текстур и структур сопровождается необходимыми фотографиями, описание составов минералов – таблицами с пересчетом анализов на кристаллохимические формулы и классификационными диаграммами. Геохимические особенности пород наглядно показаны на мультиэлементных и бинарных диаграммах. Из этой главы мы впервые узнали о существовании гибридных пород – промежуточных по составу между Потуданским и Павловским типом.

Глава 5 содержит результаты геохронологических и изотопно-геохимических исследований. В этой главе приведена новая информация о возрасте цирконов из монцогаббро и монцодиорита Потуданского типа и из монцогранита гибридного типа. Показано, что возраст Потуданских и гибридных пород – палеопротерозойский (2056-2067 млн. лет). Этот возраст лишь незначительно моложе гранитоидов Павловского типа, возраст которых, по более ранним оценкам, составляет 2077 млн. лет. При этом возраст гибридных пород близок к возрасту пород Потуданского типа и составляет 2068 млн. лет.

Исследование изотопов Nd показало, что породы как Павловского, так и Потуданского типов имеют отрицательную величину ϵ_{Nd} , что позволило связать их происхождение с обогащённым мантийным источником. Однако,

здесь выявлен интересный факт, который заключается в том, что породы гибридного типа существенно обеднены радиогенным Nd по сравнению с породами Потуданского и Павловского типов (рис. 5.4. на стр. 95). Этот факт, по мнению диссертанта, говорит о более длительной коровой предыстории источника. Полученные глубоко отрицательные данные по ϵ_{Hf} указывают на то, что источником пород Потуданского типа могла служить архейская кора.

Глава 6 – “Петрогенезис” – содержит результаты оценок давления, температуры и фугитивности кислорода при кристаллизации магм Потуданского и Павловского типов. В главе показано, что магмы обоих типов кристаллизовались в малоглубинных условиях верхней коры. По ликвидусным температурам Потуданские монцогаббро (1000-1100°C) существенно превосходят Павловские монцограниты (838-980°C). Для гибридных пород, промежуточных по составу между Павловским и Потуданским типом получен самый низкий интервал оценок (815-900°C). Хотя причины этого низкого интервала не рассматриваются. Оценки фугитивности кислорода показали, что оба типа магм – окисленные и находятся выше буфера Ni-NiO, при этом Павловские породы – более окисленные, чем Потуданские. Содержание воды в магмах, оцененное по составам амфиболов также разное – Павловские более водосодержащие, чем Потуданские.

Кроме определения физико-химических условий формирования магм, в главе 6 Марина Евгеньевна проводит поиск генетической связи между магмами Павловского и Потуданского типов, выделяя при этом только три возможные схемы этой связи: 1) - породы Потуданского типа – это кумулаты средних–кислых магм Павловского типа; 2) - Павловские гранитоиды – продвинутые дериваты родоначальных магм Потуданского типа; 3) - смешение в разных пропорциях практически одновозрастных магм контрастного состава. Основываясь на расчётах в программе MELTS, было показано, что оба типа магм не могут быть получены один из другого дифференциацией или фракционированием. Следовательно, остаётся третий

путь – смешение магм. Существование других вариантов генетической связи Потуданских монцогаббро и Павловских монцогранитов не рассматривается.

В завершении главы 6 делается вывод о том, что рассматриваемые типы магм были сформированы из обогащенного литосферного мантийного источника, но претерпели значительную контаминацию материалом континентальной коры.

В заключении приводится краткое резюме по основным результатам, полученным в процессе диссертационного исследования.

Все шесть глав, введение и заключение написаны ясно, структурировано, хорошим и понятным языком, оформление работы отвечает соответствующим требованиям.

В целом можно сказать, что приведенные во введении защищаемые положения сформулированы предельно лаконично и полностью обоснованы фактическим материалом, изложенным в шести главах.

В диссертации Марины Евгеньевны Петраковой можно отметить несколько положительных аспектов, связанных с вопросами петрологии гранитоидов Хохольско-Репьевского батолита. Ниже остановимся на наиболее значимых:

1) Марина Евгеньевна собрала и обработала большой и весьма ценный фактический материал. Керн фундамента платформы – это штучные и уникальные образцы, которые невозможно отобрать повторно. Отсюда и формируются повышенные требования к качеству и достоверности исследований полученного материала. Из текста диссертации видно, что автор понимает важность и уникальность того материала, с которым приходится работать.

2) Для исследования применён целый комплекс оптических, аналитических и расчётных методов, которые охватывают практически все уровни исследования вещества: оптический петрографический анализ, микронзондовый анализ, XRF и ICP MS анализы горных пород, изотопно-геохимические валовые и локальные методы анализа, минеральная

термобарометрия, моделирование фазового соответствия при кристаллизации расплавов и др. Аналитические исследования выполнены в ведущих отечественных аналитических лабораториях и поэтому качество анализов не вызывает сомнений. При этом каждый метод очень хорошо охарактеризован с методической стороны: показаны погрешность и допустимые пределы измеряемых концентраций. Для применяемых Al-роговообманковых барометров указан температурный интервал, в котором этот барометр работает (что встречается весьма редко в работах по термобарометрии). В тех случаях, где процесс получения информации можно было автоматизировать с помощью применения специальных программ (например оценка модального состава породы по её химическому анализу), Марина Евгеньевна отлично применяла эти расчётные возможности.

3) Добротное петрографическое описание пород и составов породообразующих минералов. Сейчас хорошее петрографическое описание пород редко можно встретить в петрографической литературе, так как доминирует тенденция к переходу к более локальным методам или более тонким анализам. А именно петрографическое описание создаёт тот образ породы, который исследователь держит подсознательно в голове и который направляет его на применение более детальных методов. Марина Евгеньевна в своей диссертации очень логично построила методическую цепочку исследований: начав с подробного петрографического описания и только потом перейдя к более детальным методам исследования вещества. Все составы минералов представлены очень наглядно на классификационных диаграммах, что несомненно создаёт лёгкость в прочтении материала.

Эти положительные стороны диссертации позволят характеризовать её автора – Петракову Марину Евгеньевну - как специалиста-петролога, способного работать с уникальным материалом, получать от него новую информацию и доносить её до широкого круга исследователей.

Однако, как и любая большая работа, диссертация Марины Евгеньевны Петраковой вызывает ряд дискуссионных вопросов и не лишена редакционных замечаний.

Редакционное замечание.

Диссертация построена по очень хорошему принципу – на основе сравнения двух типов пород – широко распространённого (Павловского) и мало известного (Потуданского). Это самый выигрышный принцип построения описательных научных работ. Но в описании мы сначала читаем всё про Потуданские монцогаббро-гранодиориты, потом всё про Павловские монцодиориты-лейкограниты. А в выводах по главе 4 (петрография и геохимия), где как раз и нужно сравнить эти массивы по их ключевым особенностям никакого сравнения нет. И это очень печально, так как теряется весь научный “шарм” сравнительного описания. При этом работа начинает превращаться в “сухой” и формальный отчёт, которых сейчас и так слишком много. Выводы по другой описательной главе 5 тоже выглядят очень формально. Коллектив лаборатории метаморфизма и метасоматизма ИГЕМ надеется, что, когда Марина Евгеньевна соберётся выпустить монографию по своей диссертации, она будет более эффективно использовать сравнительное описание объектов.

Мелкие замечания и вопросы, которые остались непонятны из текста или требуют обсуждения.

1). Стр. 17. Рис. 2.3. Вокруг массивов Потуданских монцогаббро на карте отмечены внешние зоны (светло-зелёного цвета). В эти зоны попадают скважины 6420 и 6435. По смыслу - в этих внешних зонах должны располагаться гибридные породы. Но чем в действительности сложены внешние зоны – совершенно не указано.

2) В геологическом описании Потуданского типа пород указано, что в составе массивов присутствуют породы от монцогаббро до гранодиоритов (Стр.21). Однако осталось непонятно, какие геологические соотношения

между ними и как эти породы расположены в пространстве, какие между ними контакты? Также непонятно, являются ли они фазами внедрения или фациями какого-то параметра в пределах одной фазы. Конечно, по керну однозначный ответ на эти вопросы дать трудно, но предположение высказать вполне возможно.

3) Стр. 95, рис. 54. Предполагается, что гибридный тип пород сформировался в результате смешения магм Павловского и Потуданского типов. В таком случае все геохимические характеристики гибридных пород должны располагаться на линиях смешения этих магм. А на этом рисунке отчётливо видно, что гибридные породы обладают существенно меньшей величиной ϵNd , чем Потуданские и Павловские породы. Тогда как получилось такие низкие характеристики?

4) Стр. 99. Температура ликвидуса Потуданских монцогаббро, оцененная по термометру клинопироксен-расплав, составляет по центрам кристаллов – 1047-1154 °С, а по краям 1076-1114°С. То есть интервал по центрам перекрывает интервал по краям. Это говорит о том, что температурной зональности в клинопироксенах нет и можно приводить только данные по центрам кристаллов.

5) Стр. 104. Марина Евгеньевна приводит три типа генетической связи Павловских и Потуданских магм: - 1) породы Потуданского типа – это кумулаты Павловского, 2) Павловские гранитоиды – дериваты родоначальной Потуданской магмы, 3) смешение в различных пропорциях близковозрастных магм контрастного состава. В дальнейшем, автор останавливается на третьем типе связи. Однако, типов родственной связи магматических пород - возможно больше, чем три. Например, можно рассмотреть Потуданские и Павловские магмы как серию фаций таких интенсивных параметров, как активность H_2O и/или температуры?

Кроме того, для гибридных пород возможен и такой механизм формирования – частичное плавление на контакте горячих Потуданских монцогаббро, внедрившихся в относительно легкоплавкую матрицу из

Павловских гранитов? Неравновесные структуры гибридных пород могут быть следствием этого процесса.

6) Оценка давления формирования гранитоидов и монцогаббро по Al-роговообманковому барометру – далеко не самый надёжный способ оценки глубины становления массивов. В районе известны тела амфиболитов и гнейсов, в том числе и в виде крупных пластин внутри массива, которые вероятно являлись останцами кровли или стенок магматической камеры (рис. 2.2 на стр. 16). Вероятно, что некоторые из этих ксенолитов попали и в керн скважин. (Иначе - как и зачем их нанесли на карту?) Не лучше ли было бы использовать метаморфические минеральные ассоциации в этих останцах для оценки давления и глубины формирования массивов? Для этих ассоциаций существуют гораздо больше надёжных минералогических барометров. Или взять для этой цели метаморфические породы экзоконтактового ореола?

Кроме того, в диссертации очень мало информации о породах метаморфического обрамления массивов. А они могли бы дать много недостающей информации.

7) Стр. 105-108. Вызывают сомнение результаты моделирования, при которых в монцогаббро Потуданского типа в качестве ликвидусной фазы появляется оливин, а в гранитоидах Павловского типа – ортопироксен. Эти минералы мы в породах не наблюдаем. Также не наблюдаем структур, указывающих на их замещение другими минералами. Фракционирование и удаление из системы этих минералов должно приводить к формированию меланократовых хнодулей – но этого тоже нет. Кроме того, вызывает сомнение устойчивость модельной шпинели в обоих типах пород. Возможно, что появление этих нехарактерных низкокремнезёмистых и высокоглинозёмистых фаз связано с тем, что в модельную кристаллизующуюся систему не был введён амфибол?

8) Стр. 109-110. Если результаты моделирования не показывают возможность протекания какого-то процесса, (например, эволюцию Потуданской магмы до Павловской) то это не является строгим

доказательством его невозможности. Любое моделирование сводится к подбору параметров. Поэтому, может быть можно изменить начальные условия модели? И тогда родственность двух типов магм будет объяснена.

9) В заключении, на стр. 127, указан возраст пород Павловского типа – 2067-2068 млн. лет, несмотря на то, что по литературным данным, приведённым в главе 2, их возраст существенно древнее и составляет 2077 млн. лет (Бибикова и др. 2009) (стр.18). Собственные определения возраста пород Павловского типа не проводились. Тогда почему для них принят такой молодой возраст? При этом, в защищаемом положении 1 интервал возраста пород Хохольско-Репьёвского батолита указан с учетом более древних литературных данных по Павловскому массиву.

Большинство замечаний к диссертации Марины Евгеньевны носят дискуссионный характер и являются предметом для дальнейшего исследования петрологии Хохольско-Репьёвского батолита. Эти замечания автор может принять к сведению. И мы надеемся, что Марина Евгеньевна их учтёт при подготовке последующих научных статей. Диссертация может быть рекомендована к изданию в виде монографии.

В итоге можно заключить, что диссертация «Возраст и происхождение магматических пород Хохольско-Репьёвского батолита Донского террейна Волго-Донского орогена» представляет собой законченный научный труд, который является существенным вкладом в изучение геологии фундамента Восточно-Европейской платформы. Диссертация соответствует всем требованиям ВАК, установленным к диссертационным работам на соискание учёной степени кандидата наук. Автор диссертации – Петракова Марина Евгеньевна заслуживает присуждения учёной степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.3 – петрология, вулканология.

27.09.2022 г.

Составитель отзыва:

Зав. лаб. метаморфизма и метасоматизма ИГЕМ РАН, старший научный сотрудник, д.г.-м.н.

Козловский Василий Михайлович

Козловский В.М.

119017, Москва, Старомонетный пер. д. 35. ФГБУН Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии (ИГЕМ) РАН; тел.8(916)992-7628; e-mail:bazily.koz@gmail.com

Я, Козловский Василий Михайлович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

27.09.2022 г.

Козловский В.М.

Подпись автора отзыва, В.М.Козловского заверяю.

зав. кафедрой М.М. Вострикова М.Н.



Отзыв рассмотрен и одобрен в качестве официального на заседании лаборатории метаморфизма и метасоматизма им. академика Д.С.Коржинского ИГЕМ РАН.

27.09.2022 г.

Зав. лабораторией метаморфизма

и метасоматизма ИГЕМ РАН, д.г.-м.н.

Козловский В.М.

Научный руководитель лаборатории

метаморфизма и метасоматизма ИГЕМ РАН,

академик РАН

Аранович Л.Я.

Секретарь заседания лаборатории

метаморфизма и метасоматизма

ИГЕМ РАН, д.г.-м. н.

Расс И.Т.

Подписи В.М.Козловского, Л.Я.Арановича, И.Т.Расс заверяю.

зав.каб. ИГЕМ РАН им. академика Д.С.Коржинского М.П.

