

О Т З Ы В

официального оппонента кандидата геолого-минералогических наук Баданиной Елены Васильевны на диссертацию Мамыкиной Марии Евгеньевны на тему «Минералогическо-геохимические характеристики, возраст и условия формирования гранитоидов Белокурихинского массива (Горный Алтай)», представленную на соискание учёной степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.4. Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых.

1. Актуальность темы диссертации

Диссертационная работа Мамыкиной М.Е. посвящена актуальному вопросу разработки модели генезиса многофазного гранитоидного массива на основе большого объёма современных аналитических данных и новаторских методов исследования.

2. Научная новизна диссертации обусловлена применением новых методов и подходов к изучению полифазного гранитоидного массива. В работе содержится большой объём геохимических данных по породам, породообразующим и акцессорным минералам, а также выполненные изотопно-геохронологические и изотопно-химические исследования, благодаря которым были установлены возрастные диапазоны формирования основных типов пород массива, выполнена их типизация и оценены Р-Т условия его генезиса. На основе выполненных исследований впервые:

Получены доказательства принадлежности гранитов к А-типу;

Различными изотопно-геохронологическими методами определены возраста гранитоидов трёх фаз массива, укладывающиеся в интервал 255-245 млн лет;

На основе современных геотермометров и геобарометров оценены Р-Т параметры формирования пород Белокурихинского массива.

На этой основе разработана модель генезиса Белокурихинского массива, соответствующая процессу фракционной кристаллизации

3. Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций.

Достоверность полученных результатов не вызывает сомнения, так как опробование гранитоидов Белокурихинского массива проведено непосредственно автором работы. Аналитические данные получены на современном оборудовании с использованием новых методик. Для построения генетической модели Белокурихинского массива гранитов диссертантом выполнены детальные петрографические, минералогические, геохимические, изотопно-геохимические и изотопно-геохронологические исследования главных дифференциатов пород массива. Полученные автором результаты опубликованы в журналах и представлены на конференциях.

Основные результаты исследований представлены в виде трёх защищаемых положений.

Лейкограниты третьей фазы Белокурихинского массива относятся к высокофракционированным гранитам и характеризуются закономерным, по сравнению с гранитоидами первой и второй фаз, понижением содержания ряда редких элементов (REE, Sr, Ba, V, Zn, Zr, Hf) и индикаторных отношений (Zr/Hf, Nb/Ta, Sr/Rb) и повышением содержания Rb.

U-Pb возраст циркона из трех фаз гранитоидов Белокурихинского массива и возраст титанита из первой фазы показывают, что гранитоиды массива формировались в коротком интервале 255-245 млн лет.

Краевые зоны циркона из второй и третьей фазы гранитов Белокурихинского массива обогащаются LREE, Th, U, Hf и Li в процессе его кристаллизации по сравнению с центральными частями зерен, что отражает обогащение остаточного расплава несовместимыми элементами. Аномальное обогащение несовместимыми элементами установлено для циркона из лейкогранитов третьей фазы (REE до 38000 ppm, Y до 50000 ppm, U до 24000 ppm, вода до 3.5 мас.%).

В целом защищаемые положения обоснованы. Есть ряд замечаний, которые будут указаны в разделе «Замечания и вопросы по работе».

4. Научные результаты, их ценность

Полученные диссертантом в ходе проведенного исследования результаты опубликованы в 3 статьях, в том числе одной – в издании, рекомендованных ВАК Минобразования РФ (перечень ВАК), две – в журналах, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus. Результаты работы доложены на конференциях различного уровня и опубликованы в 10 тезисах докладов.

Ценность представленных в работе результатов заключается в разработке комплексного подхода к исследованию многофазного гранитоидного плутона, каким является Белокурихинский массив, основанного на большом объеме высококачественных геохимических и изотопных данных и возможности их дальнейшего использования в рамках решения петрологических, регионально-геологических и поисково-геохимических задач.

Диссертационная работа М.Е. Мамыкиной изложена на 178 страницах печатного текста и состоит из Введения, пяти глав с выводами по каждой из них, Заключения и списка литературы, состоящего из 208 наименований.

В разделе диссертации «**Введение**» (5 страниц) обсуждается актуальность и степень разработанности темы, указываются объект, цель и задачи исследования, приводятся другие необходимые сведения, формулируются защищаемые положения.

В **первой главе** «Состояние проблемы и геологическое строение» (16 страниц) автором кратко обсуждаются история исследования важнейших проблем гранитоидного магматизма, его рудоносности, приводятся приёмы различных геохимических и петрологических классификаций гранитоидов, особое внимание уделяется процессу фракционной кристаллизации, как наиболее эффективному механизму дифференциации кислых магм. В этой главе даются основные черты геологического строения территории Горного Алтая и непосредственно изучаемого Белокурихинского массива. Здесь проявляется одна из нерешённых проблем изучаемого массива, а именно дискуссионность классификационной, формационной и геодинамической позиции этих гранитоидов, в том числе их неоднозначная геохронологическая привязка по литературным данным. Эта глава, как и все последующие, завершается краткими выводами, позволяющими подвести итог вышеперечисленной в главе информации.

Во **второй главе** «Методы исследования» (4 страницы) кратко описываются необходимые методы исследования состава пород, породообразующих и акцессорных минералов и даётся характеристика комплексу изотопно-геохронологических и изотопно-геохимических методов, применённых в работе. Эти методы соответствуют самому

современному уровню исследования вещества, в том числе прецизионным анализом, выполняемым на вторично-ионных зондах (SIMS, SHRIMP).

В **Главе 3** «Характеристика состава пород и породообразующих минералов» (34 страницы) в соответствии с традиционными подходами к изучению пород приведена петрографическая, петро- и геохимическая характеристика основных типов пород трёхфазного Белокурихинского массива на основе изучения коллекции из 35 опорных образцов гранитоидов. Петрографическое и минералогическое описание пород массива подтверждает выделение трёх фаз: гранодиоритов, биотитовых гранитов и лейкогранитов в составе массива.

Данные анализа состава пород методами XRF и ICP-MS приведены в таблице в приложении Б. Исходя из положения точек состава пород из выделенных трёх фаз массива на классификационной TAS-диаграмме, диаграммах Харкера и диаграммах «ящик с усами» для главных и редких элементов, диаграммах для оценки степени щёлочности-глинозёмистости (индекс Шенда) и железистости пород, установлены закономерности изменения составов пород от первой фазы к третьей, в основе которых лежит известный (хорошо изученный) для гранитоидов процесс дифференциации гранитоидного расплава. В соответствии с положением точек состава пород на ряде общепринятых дискриминационных диаграмм делается вывод о приуроченности изучаемых гранитоидов, особенно наименее дифференцированных гранитоидов первой фазы, к А-типу гранитов. Анализ результатов по составу породообразующих минералов – плагиоклазов, калиевых полевых шпатов и слюд, в том числе редкоэлементному и редкоземельному, позволил автору работы более детально охарактеризовать процесс фракционирования редких элементов от ранних фаз к поздним.

Глава 4, наибольшая по объёму (37 страниц), посвящена изотопным исследованиям пород и минералов и очень детальному рассмотрению состава циркона и титанита – минералов-геохронометров. Из результатов этой главы вытекают два защищаемых положения. Впечатляют объёмы ионно-зондовых определений циркона – 77 точек-определений и локального U-Pb его датирования – 59 точек анализа для 5 образцов пород.

В результате изучения состава циркона установлено присутствие в каждой выборке как типично магматического, так и «гидротермально-метасоматического» циркона. Каждый из типов циркона детально геохимически охарактеризован. Обогащение краевых зон циркона из биотитовых гранитов и лейкогранитов LREE, Th, U, Hf и даже Li и обнаружение в последних популяции пористого циркона с аномально высокими содержаниями несовместимых элементов диссертант объясняет обогащение остаточного расплава несовместимыми элементами. **Этот результат позволяет сформулировать третье защищаемое положение.**

Диссертантом проведена большая корреляционная работа по совмещению точек геохимического анализа циркона с датированием, благодаря чему автор получает максимально выгодную информацию для интерпретации полученных возрастных данных. Особенно этот подход оказался ценен при интерпретации довольно-таки неоднозначного разброса возрастных параметров в цирконах из лейкогранитов. Для согласования возрастов гранитоидов трёх фаз автором выполнена серьёзная авторская селекция точек, чтобы исключить «омоложение» (при частичной метамиктности) и «удревнение» (из-за высокоурановых доменов циркона) возрастов. Из 59 точек определений для

интерпретации оставлено лишь 34 точки! **На результатах этого раздела главы 4 формулируется второе защищаемое положение.**

Результаты раздела главы, посвящённого обсуждению результатов Rb-Sr и Sm-Nd изотопных систем указывают на вклад как мантийной, так и коровой компонент при образовании гранитоидов массива. Широкой разброс значений $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ для гранитов третьей фазы авторы пытаются объяснить, привлекая в качестве протолита для гранитных магм неких (мета)осадочных пород с широкими вариациями содержания Rb и Sr.

В **Главе 5** «Геохронология и условия образования Белокурихинского массива» (25 страниц) обобщаются результаты всего исследования, проводится корреляция результатов датирования с литературными данными, оценивается длительность и P-T параметры формирования массива, приводятся данные по изотопному составу кислорода в цирконе.

В разделе 5.5. делается попытка предложить модель формирования массива, основанную на механизме фракционной кристаллизации. В её основе лежат полученные закономерности распределения редких элементов в породах и минералах, с учётом присутствия минералов-концентраторов этих элементов, при этом акцент делается на составе граната, как известного индикатора степени фракционирования.

Особое внимание в главе уделено наиболее позднему продукту дифференциации – лейкократовым гранитам третьей фазы. Они отнесены к А-типу гранитов, в их генезисе принимал участие флюид, контактирующий с (мета)осадочными породами рамы, предположительно рифейского возраста, судя по присутствию детритового циркона в них, температурный режим их формирования оценён в диапазоне 700-650°C, давление составляло 3-6 кбар. По всем геохимическим признакам лейкограниты отнесены к высокофракционированным гранитам. **На основании этих результатов сформулировано первое защищаемое положение.**

В **Заключении** работы формулируются основные полученные результаты и указываются перспективные направления для продолжения исследований гранитоидов Белокурихинского массива - количественное моделирование процессов фракционной кристаллизации с помощью программных комплексов, что можно только приветствовать.

5. Теоретическая и практическая значимость результатов диссертации.

Полученные диссертантом результаты исследования позволяют расширить представления о гранитоидном магматизме Горного Алтая, совершенствовать модели генезиса гранитоидов на основе геохимических, минералогических и изотопно-геохронологических подходов.

В практическом плане результаты исследования Белокурихинского массива были использованы в отчётных материалах НИР ИГГД РАН «Совершенствование изотопных методов датирования докембрийских комплексов и разработка новых геохимических подходов использования минералов-геохронометров» (№ FMUW-2022-0005), что зафиксировано в акте внедрения от 13 мая 2024 г.

6. Рекомендации по использованию результатов работы

Результаты диссертационного исследования могут быть использованы для решения вопросов типизации гранитоидов и оценки их потенциальной рудоносности.

Результаты работы могут быть включены в программы учебных курсов «Инструментальные методы анализа вещества» и «Изотопная геохимия».

7. Замечания и вопросы по работе

Содержание диссертации логично изложено и сопровождается многочисленными иллюстрациями. Тем не менее, к работе возник ряд вопросов и замечаний.

Главные замечания касаются формулировки защищаемых положений. В представленном виде эти данные отражают скорее полученные результаты, но не продуманные выводы из большого объёма проведённых исследований. Особенно это касается третьего защищаемого положения, которое имеет характер констатации фактов без их оценки. На взгляд рецензента главным обсуждаемым моментом для защиты мог бы быть вопрос о принадлежности гранитоидов Белокурихинского массива к А-типу, так как применённые автором дискриминационные диаграммы однозначно не отвечают на этот вопрос. Это важный момент для изучения гранитоидного магматизма Горного Алтая. Вопрос об отнесении штоков лейкогранитов третьей фазы к Белокурихинскому массиву также мог быть вынесен в качестве положения для защиты. Значительное внимание в работе уделено построению генетической модели фракционной кристаллизации для пород изучаемого массива, однако в защищаемых положениях этот процесс не раскрывается вообще.

Вопросы и замечания по главам.

Замечания к главе 1.

В этой главе автор большое внимание уделяет процессу рудообразования, связанному с гранитоидным магматизмом. Можно согласиться, что редкометальные граниты всегда представляют собой высокодифференцированный тип гранитов. В тоже время следует подчеркнуть, что высокофракционированные лейкограниты, завершающие образование батолитового магматизма (Гребенщикова, 2004), как правило, не являются рудоносными гранитами. В этом отношении высокофракционированные лейкограниты Белокурихинского массива являются, очевидно, безрудными, за исключением маломощных тел пегматитов с бериллием.

Замечания к главе 2.

В начале главы приводится перечень образцов, которые отобраны автором для исследования с указанием их привязки. Однако, для трёх образцов лейкогранитов, предоставленных А.И. и Н.И. Гусевыми, места соответствуют Точильному и Черновому штокам. Что это за штоки и где они расположены, остаётся за рамками диссертации.

Замечания к главе 3.

Как следует из сопоставления предложенных в главе 3 дискриминационных диаграмм (Pearce et al., 1984, Whalen, 1987 и др.), отнесение гранитов Белокурихинского массива к А-типу гранитов далеко не однозначно.

Замечания к главе 4.

Очевидно, сложности с большим разбросом возрастных характеристик для лейкогранитов третьей фазы объясняются неоднородностью анализируемого материала. Оппоненту сложно до конца понять все нюансы подбора каменной коллекции. Особенно интригует Точильный шток, материалы по которому представлены А.Н. Гусевым и Н.Н. Гусевым.

Раздел «Результаты Rb-Sr и Sm-Nd изотопных систем» трудно воспринимается из-за обилия кратких фраз телеграфного формата, описывающего фактически данные по восьми изо- и эрохронам породно-минерального характера. Было бы удобнее увидеть эти результаты на рисунках.

Почему не сделана попытка вынести результаты датирования трёх образцов лейкогранитов на общую диаграмму с конкордией?

Замечания к главе 5.

В качестве иллюстрации модели формирования Белокурихинского массива гранитоидов приводится рисунок 2а, который просто иллюстрирует абстрактный процесс фракционной кристаллизации. Вместо него лучше бы было дать итоговую таблицу полученных результатов.

Автор поднимает вопрос о потенциальной редкометальной рудоносности лейкогранитов массива. Учитывая их геохимические и термодинамические характеристики, единственным типом оруденения этого массива могут быть бериллиеносные пегматиты. В этом случае следовало бы остановиться на их характеристике.

В выводах по главе 5 совершенно отсутствует геохронологическая информация, хотя в заголовке заявлена Геохронология. Обсуждаемый в работе гранат - спессартин скорее является альмандин-спессартином.

Высказанные выше замечания не влияют на полученные результаты и защищаемые положения.

Диссертационная работа М.Е. Мамыкиной представляет собой законченное научное исследование, результатом которого явилось создание генетической модели Белокурихинского массива гранитоидов, в основу которой положен процесс фракционной кристаллизации. Модель подтверждена поведением индикаторных редких элементов на породном и минеральном (в пороодообразующих и акцессорных минералах) уровнях, изотопно-геохронологическими и изотопно-геохимическими исследованиями и оценкой Р-Т параметров минералообразующих сред.

Автореферат соответствует содержанию диссертационной работы. Оформление текста и иллюстративного материала диссертации и автореферата соответствует установленным требованиям; работа логично изложена и аккуратно оформлена.

8. Заключение по диссертации.

Диссертация «Минералого-геохимические характеристики, возраст и условия формирования гранитоидов Белокурихинского массива (Горный Алтай)», представленная на соискание учёной степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.4. Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых. Полностью отвечает требованиям раздела 2 «Положения о присуждении ученых степеней» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», утвержденного приказом ректора Санкт-Петербургского горного университета Екатерины II от 20.05.2021 № 953 адм, а её автор **Мамыкина Мария Евгеньевна** заслуживает присуждения учёной степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.4 – Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых.

Официальный оппонент
доцент кафедры геохимии Института Наук о Земле

Санкт-Петербургского государственного университета
кандидат геолого-минералогических наук

Баданина Елена Васильевна

7.04.2025

Подпись ФИО оппонента заверяю

М.П.

 *Начальник И. Морозов С. В. Морозова*

Сведения об официальном оппоненте:

Баданина Елена Васильевна

Кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры геохимии

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет» (СПбГУ), Институт Наук о Земле, кафедра геохимии

Почтовый адрес: 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб. 7/9

Официальный сайт в сети Интернет: <https>

Тел. моб. +7-921- 926-98-26, e-mail: e.badanina@spbu.ru