

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор ИГиП ДВО РАН

член-корр. РАН, доктор геол.-мин. наук

 А.А. Сорокин

« 12 » мая 2022 г.



ОТЗЫВ

ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Ивановой Анны Александровны
«Амазонитовые Li-F граниты агпаитовой REE-Zr-Nb-U-Th специализации как особый
подтип редкометальных плюмазитовых гранитов: геохимия, минералогия,
геохронология Тургинского массива в Восточном Забайкалье», представленную на
соискание учёной степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности
25.00.09 - геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых.

Диссертационная работа состоит из введения, восьми глав, заключения и списка литературы, изложенных на 143 страницах и сопровождаемых 61 рисунком, 18 таблицами. Библиографический список включает 168 наименований, в том числе значительное количество ссылок на международные издания.

Актуальность диссертационной работы

Актуальность представленной диссертационной работы определяется направленностью на углублённое исследование закономерностей распределения и условий концентрации стратегических металлов, являющееся одним из приоритетных направлений в Науках о Земле. Диссертантом Ивановой А.А. проведено детальное изучение нетипичных для Восточного Забайкалья литий-фтористых гранитов Тургинского массива и на их примере выделен особый подтип редкометальных гранитов. Изложенные в диссертационной работе результаты исследований несут в себе значимый вклад в понимание процессов редкометального гранито- и рудообразования. На основании выполненных соискателем

исследований установлено, что редкометальные граниты Тургинского массива не являются геохимическими аналогами одновозрастных, типичных для Восточного Забайкалья амазонитсодержащих Li-F гранитов. Этот массив отличается целым рядом минералогических и геохимических особенностей, в том числе отсутствием структур snow-ball кварца, топаза, высокожелезистым составом слюд, более высокой температурой кристаллизации, акцессорной минерализацией, свойственной гранитам агпаитового ряда, обогащением высокочargedными элементами (РЗЭ, Zr, Nb, U, Th) при отсутствии сколько-нибудь значимого накопления традиционных для редкометальных гранитов региона редких элементов – Ta и Li. Результаты выполненных исследований дают основание рассматривать граниты Тургинского массива в качестве особого подтипа Li-F амазонитсодержащих гранитов плюмазитового состава с агпаитовым типом акцессорной и рудной минерализации.

**Общая характеристика работы,
степень обоснованности защищаемых положений и научных выводов**

Цель исследования, поставленная в диссертации, направлена на выявление условий и причин различного характера концентрирования редких элементов в массивах литий-фтористых гранитов на основе минералого-геохимических и геохронологических исследований редкометальных гранитов Восточного Забайкалья. Задачи, сформулированные автором для достижения поставленной цели, подчеркивают комплексный характер и полноту исследований: 1) выявление особенностей распределения петрогенных и редких элементов в ряду дифференциатов пород Тургинского массива; 2) анализ эволюции состава породообразующих минералов (слюды, полевые шпаты); 3) диагностика и анализ состава акцессорных минералов (циркон, фториды, фторкарбонаты РЗЭ, фосфаты, силикаты, танталониобаты); 4) определение состава расплава на основе изучения расплавных включений в кварце и его сопоставление с расплавами рудоносных массивов; 5) оценка возрастных соотношений пород, изотопно-геохимическая характеристика; 6) оценка физико-химических параметров среды минералообразования (температура, режим кислотности-щёлочности); 7) анализ черт сходства и различия строения и состава Тургинского массива с известными рудоносными массивами; 8) выявление генетических особенностей формирования Тургинского массива.

Фактическим материалом для написания работы послужила обширная коллекция каменного материала, собранная сотрудниками Научно-Исследовательского Института Земной Коры СПбГУ и кафедры геохимии Института Наук о Земле СПбГУ во время полевых

работ в 1988-2019 годах, в том числе с участием автора настоящей работы. В работе А.А. Ивановой используется широкий спектр методов и подходов исследования вещественного состава пород и минералов с использованием самого современного оборудования ведущих аналитических центров. В работе выполнен большой объём петрографических, минералого-геохимических, изотопно-геохимических и геохронологических исследований.

Личный вклад автора заключался в участии в экспедиционных работах, проведении минералого-петрографического исследования пород, интерпретации данных минералогических и химических анализов, анализе изотопных данных, разработке геолого-генетической модели формирования Тургинского массива. А.А. Ивановой усовершенствована методика U-Pb датирования методом CA-ID-TIMS высокоуранового циркона со значительной степенью радиационных повреждений и самостоятельно проведен полный цикл U-Pb геохронологических исследований Тургинского массива.

Во введении сформулированы актуальность исследования, цель и задачи, научная новизна, практическая значимость работы, представлены основные положения, выносимые автором на защиту. Здесь же приведены информация о фактическом материале и личном вкладе автора, краткое упоминание методов исследований, сведения об апробации работы на мероприятиях различного уровня и имеющихся публикациях.

В первой главе в разделе 1.1 рассматриваются известные модели формирования редкометальных Li-F гранитов. Автором сделан современный и объёмный литературный обзор по вопросам редкометального магматизма. В разделе 1.2 приводится геологическая характеристика Восточного Забайкалья и общее описание кукульбейского гранит-лейкогранитового комплекса как типичного рудоносного комплекса редкометальных провинций фанерозоя. Раздел 1.3 посвящён детальному описанию геологического строения изученного в рамках диссертационного исследования Тургинского массива. Также здесь приводится краткая характеристика рудоносных массивов Li-F гранитов в Восточном Забайкалье, используемых в качестве объектов сравнения: Орловского, Этыкинского, Ачиканского.

Во второй главе изложены аналитические методики, задействованные при комплексном изучении Тургинского массива и реализованные на базе ведущих аналитических центров. В таблице отражён объём имеющегося фактического материала и проведённых работ. Детально изложены методические аспекты и описаны параметры выполнения аналитических исследований.

В главе 3 приводится петрографическая характеристика пород Тургинского интрузива, включая лейкограниты ундинского комплекса, монцонитоиды шахтаминского комплекса, лейкограниты кукульбейского комплекса.

Глава 4 посвящена минералого-геохимической характеристике породообразующих и аксессуарных минералов и интерпретации их петрогенетического значения. В разделе 4.1 приводится детальная минералого-геохимическая характеристика главных породообразующих минералов – слюд и полевых шпатов. В разделе 4.2 охарактеризована уникальная для редкометальных плюмазитовых гранитов аксессуарная минерализация, более свойственная породам агпайтового ряда. В этом разделе обсуждаются особенности химизма таких аксессуарных минералов, как циркон, торит, ксенотим, монацит, колумбит, флюорит, флюоцерит, бастнезит, паризит, уранинит, самарскит и другие.

В главе 5 рассматриваются закономерности распределения петрогенных и редких элементов в породах Тургинского массива и проводится сопоставление с геохимическими особенностями состава рудоносных массивов региона. В разделе 5.1 охарактеризованы закономерности распределения петрогенных элементов. Раздел 5.2 посвящён особенностям редкоэлементного состава дифференциатов Li-F гранитов. Рубрикация на подразделы обусловлена геохимическим родством каждой группы детально рассматриваемых элементов. В разделе 5.3 приведены уникальные данные о составе расплава редкометальных гранитов по результатам изучения гомогенизированных расплавных включений в кварце.

Глава 6 отражает результаты изотопно-геохимических и геохронологических исследований Тургинского массива. В разделе 6.1 приводятся результаты Rb-Sr и Sm-Nd изотопных исследований. В разделе 6.2 детально описан новый методический подход датирования метамиктного циркона по усовершенствованной методике U-Pb геохронологических исследований с использованием предварительной «химической абразии» (CA-ID-TIMS), впервые применённый автором в рамках выполнения диссертационного исследования. Результаты геохронологических исследований метамиктного циркона из гранитоидов Тургинского массива полностью совпадают с опубликованными ранее оценками возраста пород кукульбейского интрузивного гранит-лейкогранитового комплекса.

В главе 7 приводится оценка условий формирования Тургинского массива. Раздел 7.1 посвящён оценке температур кристаллизации пород Тургинского массива с применением различных известных геотермометров. В разделе 7.2 осуществлена попытка оценить геодинамические условия формирования Тургинского массива Li-F гранитов на основе общепринятых дискриминационных диаграмм.

В главе 8 обобщены особенности редкометальных гранитов Тургинского массива, проведено сопоставление с известными рудоносными массивами Li-F гранитов изучаемого региона и обоснована необходимость выделения тургинских лейкогранитов в качестве особого подтипа – редкометальных амазонитсодержащих плюмазитовых гранитов с агпаитовой акцессорной минерализацией, а также предложена возможная модель формирования Тургинского массива.

В заключении сформулированы основные результаты проведенного исследования.

Данные, приведённые в первой, третьей и шестой главах, позволяют сформулировать и обосновать *первое защищаемое положение*, постулирующее вещественный состав Тургинского интрузива и возрастные взаимоотношения слагающих его пород.

На основе материалов, рассматриваемых в четвёртой, пятой, седьмой главах, автор обосновывает *второе защищаемое положение*. Автором установлено существенное различие между литий-фтористыми гранитами Тургинского массива и классическими рудоносными массивами редкометальных гранитов региона, проявляющееся в иной геохимической специализации и условиях кристаллизации.

Результаты исследований, приведённые в третьей, четвёртой, пятой, седьмой главах и обобщённые в главе восемь, позволяют автору сформулировать и обосновать *третье защищаемое положение*. Анализируя особенности минерального и геохимического состава лейкогранитов Тургинского массива, автор предлагает на их примере выделить особый геохимический подтип Li-F гранитов: плюмазитовые амазонитсодержащие колумбитоносные редкометальные граниты повышенной щёлочности с агпаитовым типом акцессорной и рудной минерализации.

Изложенное в шестой и частично во второй главах детальное описание результатов применения усовершенствованной методики U-Pb датирования метамиктного циркона и их сопоставление с литературными данными позволяет автору сформулировать и обосновать *четвёртое защищаемое положение*. Наглядно продемонстрированная возможность применения высокоуранового метамиктного циркона со значительной долей радиационных повреждений для проведения U-Pb геохронологических исследований является важным прикладным результатом диссертационного исследования.

Все защищаемые положения надёжно аргументированы и подтверждены представительным фактическим материалом.

Обоснованность научных выводов диссертанта обеспечивается большим объёмом аналитических данных, комплексностью подхода и детальностью проведённых исследований.

Научная новизна и достоверность результатов работы, апробация работы

Научная новизна заключается в следующем. Впервые проведены детальные минералогические и геохимические исследования редкометальных гранитов Тургинского массива в Восточном Забайкалье и выполнено сопоставление с известными рудоносными массивами региона. Охарактеризован состав расплава по результатам изучения гомогенизированных расплавных включений. Проведены изотопно-геохронологические исследования и установлен возраст формирования слагающих его пород. Впервые успешно применён метод U-Pb CA-ID-TIMS датирования метамиктизированного циркона низкой сохранности с высокой дозой авторадационного облучения. Установлена и охарактеризована уникальная для плюмазитовых редкометальных гранитов акцессорная минерализация. На основе анализа закономерностей распределения петрогенных и редких элементов в рядах дифференциатов пород и минералах показана необходимость выделения особого подтипа амазонитсодержащих плюмазитовых редкометальных гранитов повышенной щёлочности с агпаитовой акцессорной минерализацией.

Степень достоверности результатов проведенных исследований и апробация работы. Достоверность полученных результатов определяется выбором апробированных современных методов изучения состава, возраста пород и минералов. Данные, полученные автором, были представлены на многочисленных совещаниях и конференциях различного уровня. Все основные научные выводы, которые легли в основу защищаемых положений, отражены в материалах опубликованных автором статей и тезисов научных докладов. **По теме диссертации автором опубликованы 25 печатных работ:** 4 статьи в рецензируемых журналах из списка ВАК, 21 в сборниках материалов всероссийских и международных научных конференций.

Практическая значимость работы

Результаты как геохимического, так и геохронологического направлений исследований имеют важное **практическое значение**. Ивановой А.А. предложено выделить на примере Тургинского массива Восточного Забайкалья особый подтип плюмазитовых редкометальных гранитов повышенной щёлочности с агпаитовой акцессорной

минерализацией, минералого-геохимические особенности которого могут использоваться как критерии безрудности на Ta и Li при изучении подобных массивов редкометальных Li-F гранитов на территории других редкометальных провинций фанерозойских ареалов магматизма (Казахстан, Монголия, Приморье) и в оценке рудной продуктивности массивов. Важным практическим результатом исследований Ивановой А.А. является модификация методики U-Pb (CA-ID-TIMS) датирования применительно к метамиктизированному циркону с высокой дозой авторадационного облучения и демонстрация её эффективности при проведении геохронологических исследований. Предложенная методика датирования циркона открывает новые горизонты в сфере геохронологических исследований, позволяя применять высокоточный метод ID-TIMS при изучении максимально широкого круга геологических объектов, в том числе щелочных пород, акцессорный циркон которых ранее считался непригодным для получения надёжной геохронологической информации.

Оформление работы, соответствие автореферата основным положениям диссертации

Диссертационная работа написана грамотным языком, хорошо проиллюстрирована, в целом, аккуратно оформлена и соответствует требованиям ГОСТ Р 7.0.11.2011 «Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления». Структура работы логична, выводы изложены чётко, **структура и содержание автореферата соответствуют основным положениям диссертационной работы.**

Замечания к диссертационной работе и автореферату

Имеющиеся к диссертационной работе замечания носят, в основном, технический или рекомендательный характер.

На Рисунке 1 необходимо было показать район исследований. На этом же рисунке присутствуют элементы (треугольники с цифрами), для которых не приведены условные обозначения. Кроме того, выбор этой схемы нельзя признать удачным, поскольку она единственная, на которой Аргунский, Гонжинский, Мамынский, Буреинский континентальные массивы включены в состав Монголо-Охотского пояса.

Рисунок 2 «Схематическая геологическая карта кукульбейского рудного района» не несет необходимую информацию о структурно-тектонической позиции Тургинского интрузива.

Рисунок 3, представляющий собой уменьшенную копию геологической карты, не читается вообще. Следовало бы оцифровать фрагмент этой карты и использовать для иллюстрации положения объектов исследований.

Не унифицировано оформление таблиц и рисунков. В частности, для обозначения масштаба на рисунках 45-48 используется различное написание единицы «микромметр». На рисунке 56 концентрации циркона указаны в ppm, а на рисунке 57 – в г/т.

Рисунок 54 является одним из главных, иллюстрирующих результаты экспериментов автора по предварительной кислотной обработке цирконов. Согласно подписи на этом рисунке приведены «микрофотографии мелкокристаллического остатка циркона из протолитионитовых гранитов Тургинского массива после кислотной обработки с экспозицией 2 ч при температуре 230 °С». Однако на этом рисунке приведены как зерна с явными следами обработки (в верхней части рисунка), так и без таковых следов (в нижней части рисунка). В этой связи возникает вопрос: на рисунке 54 приведены кристаллы до и после кислотной обработки или кристаллы с разной способностью к растворению?

Раздел 7.2 «Геодинамические условия» написан весьма поверхностно, вероятно, в силу того, что автор не включил этот аспект исследований в основные задачи диссертационной работы. Тем не менее, два замечания к этому разделу: 1) при рассмотрении геодинамической обстановки формирования гранитоидов ундинского, шахтаминского и кульбейского комплексов необходимо (в скобках) указывать их возраст; 2) выводы автора о формировании гранитов кукульбейского комплекса в пост-орогенных условиях, связанных с закрытием Монголо-Охотского океана (стр. 116) и в связи с мантийными плюмами (стр. 119) не одно и то же. Рекомендуем ознакомиться со статьей F. Wang et al., EPSL, 2006.

Возможно, стоило бы добавить в работу детальное сопоставление не только с редкометальными гранитами Восточного Забайкалья, но также и с аналогичными массивами Монголии, Приморья.

Заключение

Представленная диссертационная работа выполнена на высоком профессиональном уровне и является законченной научно-квалификационной работой. Диссертационная работа Ивановой Анны Александровны «Амазонитовые Li-F граниты агпаитовой REE-Zr-Nb-U-Th специализации как особый подтип редкометальных плюмазитовых гранитов: геохимия, минералогия, геохронология Тургинского массива в Восточном Забайкалье» отвечает критериям, изложенным в п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней»,

утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук. Содержание диссертации соответствует научной специальности 25.00.09 – «Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых», а её автор – Иванова Анна Александровна – заслуживает присуждения учёной степени кандидата геолого-минералогических наук.

Научный сотрудник
ФГБУН ИГиП ДВО РАН
к.г.-м.н.

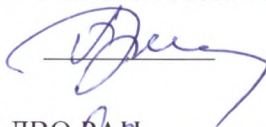
Подпись к.г.-м.н. Овчинникова Романа Олеговича заверяю
Ученый секретарь. к.б.н. Н.Ю. Леусова




Овчинников Р.О.

Отзыв на диссертацию А.А. Ивановой рассмотрен на заседании Учёного совета Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геологии и природопользования Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИГиП ДВО РАН) и одобрен в качестве официального отзыва ведущей организации, протокол № 02 от 12 мая 2022 года.

Заместитель Председателя Учёного совета ИГиП ДВО РАН
к.б.н. С.В. Брянин



Учёный секретарь ИГиП ДВО РАН
к.б.н. Н.Ю. Леусова



Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геологии и природопользования Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИГиП ДВО РАН)

Адрес: 675000, Россия, Амурская область, г. Благовещенск, пер. Рёлочный, д. 1

Адрес официального сайта в сети: <https://ignm.ru>

Телефон: 8 (4162) 225-325

Адрес электронной почты: director@ignm.ru

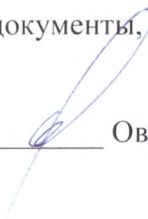
1. Сорокин Андрей Анатольевич, член-корреспондент РАН, доктор геолого-минералогических наук, директор Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геологии и природопользования Дальневосточного отделения Российской академии наук; адрес: 675011, Амурская обл., г. Благовещенск, Релочный пер., д. 1; тел. 8 (416) 222-53-25.

Я, Сорокин Андрей Анатольевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.


_____ Сорокин А.А.

2. Овчинников Роман Олегович, кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геологии и природопользования Дальневосточного отделения Российской академии наук; адрес: 675011, Амурская обл., г. Благовещенск, Релочный пер., д. 1; тел. 8 (416) 222-53-25.

Я, Овчинников Роман Олегович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.


_____ Овчинников Р.О.

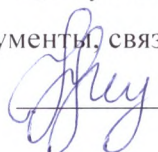
3. Брянин Семен Владимирович, кандидат биологических наук, заместитель директора по научной работе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геологии и природопользования Дальневосточного отделения Российской академии наук; адрес: 675011, Амурская обл., г. Благовещенск, Релочный пер., д. 1; тел. 8 (416) 222-53-25.

Я, Брянин Семен Владимирович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку

 Брянин С.В.

4. Леусова Наталья Юрьевна, кандидат биологических наук, ученый секретарь Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геологии и природопользования Дальневосточного отделения Российской академии наук; адрес: 675011, Амурская обл., г. Благовещенск, Релочный пер., д. 1; тел. 8 (416) 222-53-25.

Я, Леусова Наталья Юрьевна, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

 Леусова Н.Ю.