

## ОТЗЫВ

официального оппонента 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 ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.09 – геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых

Диссертационная работа А.А. Ивановой посвящена комплексному изучению амазонитовых Li-F гранитов агпаитовой REE-Zr-Nb-U-Th специализации Тургинского массива в Восточном Забайкалье.

Исследование закономерностей распределения и условий концентрации редких элементов в гранитоидах является востребованным научным направлением, что определяет актуальность диссертационной работы. Результаты полученные диссертантом являются значимым вкладом в понимание процессов редкометального рудообразования.

Для выполнения основной цели работы, заключающейся в выявлении условий и причин различного характера концентрирования редких элементов в массивах Li-F гранитов на основе минералого-геохимических и геохронологических исследований редкометальных гранитов Тургинского массива и их сопоставления с гранитами рудоносных массивов региона, А.А. Ивановой было поставлено несколько задач:

1) изучение геологической позиции и внутреннего строения Тургинского интрузива и контактирующих с ним пород; 2) изучение петрографического и химического составов рассматриваемых пород; 3) исследование минерального состава пород; 4) проведение геохронологических исследований. Итогом работы явились детальная характеристика Тургинского массива редкометальных гранитов, оценка условий формирования и рудоносности гранитоидов на основе полученных минералогических, геохронологических и изотопно-геохимических данных, а также разработка методики предварительной кислотной обработки с предшествующим высокотемпературным отжигом метамиктизированных цирконов для последующего U-Pb датирования методом ID-TIMS.

В основу диссертации положен обширный фактический материал, собранный, в том числе, при непосредственном участии соискателя. В процессе работы изучена коллекция шлифов и полированных пластинок, в том числе определены составы породообразующих и акцессорных минералов методами микронзондового анализа и Рамановской спектроскопии. Проведена диагностика акцессорных минералов, изучено строение циркона и включений в нем с помощью сканирующей электронной микроскопии. Для гранитоидов

массива определены содержания петрогенных и редких элементов, Sm-Nd и Rb-Sr изотопный состав. Оценка возраста пород массива приведена на основании Rb-Sr минеральных изохрон и U-Pb данных по цирконам методом ID-TIMS. Такой представительный фактический материал позволяет с большим доверием относиться к сделанным в представляемой диссертации выводам. Список используемых методов и объем имеющихся аналитических данных указан в Таблице 1.

Личный вклад автора заключался в участии в экспедиционных работах, проведении минералого-петрографического исследования пород, оцифровке картографического материала, интерпретации данных минералогических и химических анализов, анализе изотопных данных, усовершенствовании методики и проведении полного цикла U-Pb геохронологических исследований, а также разработке геолого-генетической модели формирования Тургинского массива. Таким образом, личный вклад автора, а также актуальность, научная новизна и практическая значимость работы не вызывают сомнений.

Важность и научная новизна диссертационной работы А.А. Ивановой заключается в том, что впервые проведены детальные минералогические и геохимические исследования редкометальных гранитов Тургинского массива в Восточном Забайкалье. Охарактеризован состав расплава по результатам изучения гомогенизированных расплавных включений. Проведены изотопно-геохронологические исследования и установлен возраст формирования слагающих его пород. Впервые успешно применен метод U-Pb CA-ID-TIMS датирования метамиктизированного циркона плохой сохранности. Установлено, что порфиридные биотитовые граниты, которые ранее рассматривались в качестве «материнских» [Иванова и др., 2015, 2018; Сырицо и др., 2021], являются останцами гранитоидов палеозойского ундинского комплекса. Впервые установлена и охарактеризована уникальная для плюмазитовых редкометальных гранитов акцессорная минерализация. На основе изучения закономерностей распределения петрогенных и редких элементов в рядах дифференциатов пород и минералах показана необходимость выделения особого подтипа амазонитсодержащих плюмазитовых редкометальных гранитов повышенной щёлочности с агпайтовой акцессорной минерализацией. В качестве основных достоинств данной работы хотелось бы отметить выявление в амазонитовых гранитах Забайкалья нетипичной для них минерализации и её диагностику с использованием методов оптической и электронной микроскопии, Рамановской спектроскопии и микрозондового анализа. Кроме того, автор работы детально изучил микропримесный состав циркона с помощью масс-спектрометрии вторичных ионов (SIMS) и сопоставил результаты с данными по цирконам из типичных рудоносных массивов Восточного Забайкалья. В результате выполнения диссертационной работы А.А. Иванова провела U-Pb

геохронологические исследования цирконов (CA-ID-TIMS) из гранитов Тургинского массива. Разработан и описан новый методический подход химической абразии и отжига высокоурановых метамиктных цирконов с избавлением минерала от нарушенных участков и включений, с восстановлением U-Pb системы для последующего датирования.

Представленная к защите работа состоит из восьми глав, введения и заключения. Список литературы включает 168 наименований. Диссертант представляет четыре основных защищаемых положения, которые полностью отражают результаты проведенных исследований. Материалы, положенные в основу диссертации, опубликованы автором в 25 работах, в том числе в четырех статьях в рецензируемых научных журналах входящих в перечень ВАК, что доказывает высокий уровень представляемой к защите работы.

Раздел «Введение» является классическим для диссертационных работ и включает в себя все необходимые общие характеристики диссертации. В первой главе диссертации автор приводит краткое описание геологии региона, а также краткий обзор эволюции генетических представлений о формировании редкометальных гранитов. В этой же главе А.А. Иванова представляет геологическое положение и строение Тургинского массива, а также гранитоидных интрузивов, которые в диссертационной работе приведены для сравнения.

Во второй главе диссертации А.А. Иванова кратко описывает аналитические методы, используемые в диссертации. Подробно описаны только изотопные методы, возможно потому, что автор принимал в них непосредственное участие.

Третья и четвертая главы посвящены петрографической, а также минералогической характеристике изученных автором массивов гранитоидов. Четвертая глава диссертации посвящена особенностям порообразующих и акцессорных минералов с обсуждением их элементного состава. Детально описана минералогия гранитов с применением большого количества минерал-диагностических анализов. Сделано сопоставление химического состава минералов из разных гранитных массивов региона, регионально близких к Тургинскому массиву.

Пятая глава посвящена анализу распределения петрогенных и редких элементов в гранитах Тургинского интрузива с использованием принятых для гранитов классификационных диаграмм.

В шестой главе описаны результаты изотопно-геохимических и геохронологических исследований Тургинского массива (Rb-Sr, Sm-Nd, U-Pb), а также приведены литературные данные о возрасте массивов редкометальных гранитов Восточного Забайкалья из опубликованных работ.

В седьмой главе приведена оценка условий формирования Тургинского интрузива на основе расчета температуры кристаллизации гранитов и положения составов пород на дискриминационных диаграммах с вынесенными областями тектонических режимов.

Восьмая глава является итоговой в работе. В этой главе делается вывод о том, что лейкограниты Тургинского массива являются особым подтипом редкометальных плюмазитовых гранитов с агпаитовой акцессорной минерализацией.

Диссертационная работа А.А. Ивановой является законченным исследованием; принципиальные замечания к работе, в том числе замечания к защищаемым положениям, отсутствуют. Тем не менее, можно отметить ряд недочетов, вызывающих вопросы.

1) Фактический материал представлен не полно, хотя работа небольшая, следовало сделать приложения, вставив туда аналитический материал. Например: на стр. 25 в Таблице 1 указано количество имеющихся данных, где указано 17 анализов редкоэлементного состава пород методом ICP-MS при этом на стр. 70 в Таблице 8 «Редкоэлементный состав пород Тургинского интрузива» представлено всего 12 анализов. Стр. 66 в Таблице 7 «Петрохимический состав гранитов Тургинского массива» показано только три средних состава. При этом второе и третье защищаемые положения строятся на анализе химического состава гранитов Тургинского массива. Нет данных о содержании фтора, п.п.п и таким образом сложно оценить выводы, которые приведены в первой части главы 5. Химические составы совсем не приводятся для гранитных массивов, таких как Хангилайский и Орловский, которые используются для сравнения.

2) Есть незначительные неаккуратности в описании с использованием рисунков, например: на стр. 16 есть упоминание Восточно-Монгольской внутриплитной магматической области «К периферии Восточно-Монгольской внутриплитной магматической области приурочен объект настоящего исследования.» Но на схеме тектонического районирования Рис. 1 такой области нет. На Рис. 1 объект исследования не выделен. На данном рисунке также отмечены символы в виде треугольников и цифр к ним, пояснение к которым в подрисуночной подписи отсутствуют.

На стр. 18 В подрисуночной подписи написано «5 – граниты и лейкограниты (пунктиром обозначена вне масштаба выделяемая авторами ранняя фаза)», не нашла на схеме пунктир и не понятно, что автор имел в виду.

На стр. 19-20 «Тургинский массив приурочен к Тургинско-Калангуйской рудной зоне с редкометально золото-флюоритовой специализацией (Рисунок 3)» При этом на Рисунке 3 не обозначено, где находится Тургинско-Калангуйская рудная зона.

На стр. 23 «К востоку от Тургинского массива на расстоянии около 15 км расположен Этыкинский массив амазонитовых гранитов, приуроченный к Талангуйскому

разлому.» При этом если смотреть на Рисунок 2. где указан Этыкинский массив, разлома нет.

В Главе 3 автор выделяет разные участки интрузива (например Джидокан, Бырохча и другие) с петрографическим описанием гранитов. Было бы неплохо указывать их географическую привязку или номера образцов для каждого из участков, так как на рисунке 4 приведены точки отбора. Если на рисунке 4 это номера образцов, то на фото самих исследуемых гранитов (например Рисунок 7) читаются номера, которые на схеме строения Тургинского массива рисунка 4 отсутствуют. На рисунке 4 номера до 843-го, а на фото (рисунок 7) номера образцов больше 1000.

Стр. 37. Таблица 2. Химический состав слюд, нет суммы элементов. При представлении данных химического анализа минералов принято указывать каким методом рассчитана формула (по катионам или кислороду). Также для понимания читателем результатов расписывают, как подсчитывалась железистость и глиноземистость.

На рисунках 18, 20 и 21 обозначены кружочками Ту-1-1, Ту 1-2, Ту-2-4, Ту-2-5, Ту-3-6, Ту-3-7, Ту-3-8 Ту-3-9 без каких-либо комментариев в тексте и подрисуночной подписи. Следовало вписать в подрисуночную подпись пояснение, что это значат выделенные области, по которым получены микроэлементные данные по цирконам с ссылкой на Таблицу 6 где они представлены.

Стилистически неправильно сформулировано предложение Стр. 54. «Доля гафния уменьшается и в амазонитовых гранитах составляет лишь 15 %.» Наверное, автор имел в виду, что доля гафния не в амазонитовых гранитах, а в цирконах из амазонитовых гранитов.

Стр. 56 к чему нормализовано  $(Sm/La)_N$  отношение? Почему оно в тексте как  $(Sm/La)_N$ , а на рисунке как  $SmN/LaN$ ?

3) Используя геохронологические методы датирования, автор диссертации не указал какую программу он использует для построения Rb-Sr изохрон (например, для Рисунков 42 и 43). Стр. 98 какая константа распада используется для Rb?

Почему это важно? Очень похоже, что все данные Rb-Sr которые используются А.А. Ивановой и из опубликованных работ рассчитаны с использованием константы распада Rb опубликованной в работе (Steiger, Jager, 1977). Данная константа устарела и следует использовать константу распада  $^{87}Rb - 1,3972$  принятой из работы (Villa et al., 2015). Пересчитав свои и полученные из других работ Rb-Sr данные, будет более корректно обсуждать их с возрастом, полученным U-Pb системой.

Стр. 121. Глава 8, «Выделение особого подтипа редкометальных плюмазитовых гранитов с апатитовой минерализацией». Акцессорная минерализация отдельно от гранита не кристаллизуется. Если у вас апатитовая минерализация, то может они не плюмазитовые?

Хотя данный вывод опубликован в журнале (Петрология Л.Ф. Сырицо, А.А. Иванова и др., 2021), смущает соединение двух характеристик в одном массиве гранитов, плюмазитовости и как «требуется» наличие акцессорной минерализации – агпаитовости. В данной дискуссии не хватает еще индекса железистости (Fe-index) Frost&Frost (2008). В диссертации рассматриваются субщелочные и железистые граниты (ASI 0.8–1.6; Fe-index 0.86–0.96) и они не попадают в поле агпаитовых гранитов. Используя современные работы по геохимической классификации гранитов Тургинского массива, автор пытается смешать с классификацией, разработанной для рудоносных гранитов 40-летней давности. Получилось неудачно. Современная «алфавитная» классификация гранитов разработана для пород с содержанием SiO<sub>2</sub> не более 70%, а не для лейкогранитов, подробно это обсуждается в статье (Frost et al., 2001). Специфика акцессорной минерализации зависит от наличия и содержания летучих в гранитном расплаве и выделение особого подтипа гранитов не требуется. Для пояснения, беру целиком цитату из работы (Донская и др., 2018), опубликованную по Катугинскому массиву – «Добавление фтора к высокотемпературному силикатному расплаву вызывает уменьшение температуры солидуса и изменение кислых расплавов, в частности понижение их вязкости и увеличение скорости протекания диффузионных процессов в расплаве. Уменьшение температуры солидуса, соответственно, вызывает кристаллизацию главных минеральных фаз при более низких температурах, что приводит в итоге к поведению Ta-Nb, Zr-Nb, РЗЭ как несовместимых элементов в расплаве и объединению их в минеральные комплексы с фтором, который накапливается в остаточном расплаве».

Стр. 125 один из вариантов модели формирования: «В этом варианте в качестве причины появления в редкометальных плюмазитовых гранитах Тургинского массива специфической акцессорной минерализации, и в том числе обилия фторидов и фторкарбонатов REE, можно рассматривать воздействие базитовых расплавов, и прежде всего фтора, на вмещающие карбонатные породы.» Странно, что для привноса фтора требуется участие базитовых расплавов, когда как говорит сам автор диссертации «наличие в обрамлении массива вмещающих карбонатных пород» которые являются более подходящими кандидатами для поставки летучих (F, CO<sub>2</sub>). Так как это осадочный комплекс, то привнос элементов можно было рассмотреть и из него.

Отмеченные в отзыве официального оппонента замечания не снижают высокой научной ценности работы, которая является законченным научным исследованием и отвечает всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Автореферат отражает основные положения диссертации.

Диссертация соответствует критериям, установленным в «Положении о присуждении ученых степеней» и утвержденном постановлении Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г., № 842 для ученой степени кандидата наук, а ее автор Анна Александровна Иванова заслуживает присуждения ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.09 – геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых.

Официальный оппонент,

Демонтерова Елена Ивановна, кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории Палеогеодинамики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института земной коры Сибирского отделения Российской академии наук

Почтовый адрес: 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128

Телефон: +7(3952)427117, 89149038567

Электронная почта:

Интернет сайт Института: [www.crust.irk.ru](http://www.crust.irk.ru)

Я, Демонтерова Елена Ивановна, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Подпись

07 мая 2022 г.

