

Отзыв официального оппонента на диссертацию Ивановой Анны Александровны «Амазонитовые Li-F граниты агпайтовой REE-Zr-Nb-U-Th специализации как особый подтип редкометалльных плюмазитовых гранитов: геохимия, минералогия, геохронология Тургинского массива в Восточном Забайкалье» представленной на соискание степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.09 – геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых.

Редкометалльные Li-F граниты являются предметом исследований в самых разнообразных направлениях геологии уже долгое время. Это связано с их уникальными особенностями, позволяющими изучать магматические процессы, явления перехода от магматической кристаллизации к гидротермальной в открытых и закрытых системах, процессы рудогенеза в редкометалльных рудно-магматических системах и много другое. Несмотря на то, что активное изучение этих объектов началось еще во второй половине прошлого века и в настоящее время появляются новые находки и открываются новые нюансы состава и генезиса редкометалльных гранитоидов, расширяющие представления о них и заставляющие пересматривать все от классификации до петрогенетических моделей их образования. По этой причине и постановка проблемы, и результаты исследований, представленные в диссертации Ивановой А.А. являются актуальными и имеют большое научное значение. В настоящее время большое значение имеет обеспечение высокотехнологических отраслей отечественной индустрии стратегическими металлами. В этой связи опять встает вопрос о развитии минерально-сырьевой базы этих металлов за счет отечественных месторождений. Восточное Забайкалье, где расположен Тургинский массив, является одной из важнейших редкометалльных провинций в России. В этой связи выводы диссертации имеют прямое практическое приложение в оценке рудоносного потенциала редкометалльных магматических комплексов при прогнозных и поисковых работах. В ходе исследований автором был усовершенствован метод геохронологического анализа цирконов с высокой степенью метамиктизации. Это расширяет возможности радиоизотопного датирования многих редкометалльных гранитных массивов и также имеет большое практическое значение.

Целью работы, как указано в диссертации, является выявление условий и причин различного характера концентрирования редких элементов в массивах Li-F гранитов на основе минералого-геохимических и геохронологических исследований редкометалльных гранитов Тургинского массива (Восточное Забайкалье) и их сопоставления с гранитами рудоносных массивов региона. Для достижения поставленной цели автором было выполнено комплексное изучение представительной коллекции образцов, собранной при ее участии, и включающее минералого-петрографические исследования, анализ состава пород, оценку некоторых физико-химических параметров магматической кристаллизации, включая реконструкцию составов материнских расплавов. Данные, полученные по Тургинскому массиву были сопоставлены с аналогичными данными по хрестоматийным рудоносным объектам Восточного Забайкалья – Орловскому и Этыкинскому массивам. Методический подход не вызывает возражений и выглядит адекватным поставленной цели.

Диссертация состоит введения, заключения и 8 глав, в которых изложены материалы исследований. Текст хорошо структурирован и написан понятным и четким языком. Автором сделан хороший анализ литературного материала, касающегося региональной геологии, магматизма и представлений о классификации и генезисе редкометалльных гранитоидов. Работа хорошо иллюстрирована и сопровождается информативными табличными данными. Список публикаций содержит ссылки на 168 источников. По теме диссертации опубликовано 25 работ, 4 из которых в рецензируемых изданиях, входящих в список изданий, рекомендуемых ВАК для публикации результатов диссертационных исследований.

В качестве замечания следует заметить, что защищаемые положения формулируются во введении и более нигде не упоминаются и не формулируются. Это

несколько затрудняет вычленение доказательной базы и логики ее интерпретации при формулировке некоторых защищаемых положений. Однако сама структура работы и четкость изложения позволяют читателю самому разобраться в этом, потратив некоторое время. В целом все защищаемые положения следует признать обоснованными фактическим материалом и результатами его исследования.

Из технических замечаний по оформлению следует отметить непоследовательность автора в выборе условных обозначений на некоторых графиках. В каждом конкретном случае приходилось сначала разбираться с условными обозначениями, а уж потом с самими данными.

Изложение результатов начинается с главы «Геологический очерк», которая в значительной степени сделана по литературным данным. Здесь автор излагает общие представления о номенклатуре, классификации и истории развития взглядов на происхождение редкометальных литий-фтористых гранитов. Вторая часть главы посвящена рассмотрению тектонического районирования МОСП и в последнем разделе рассматривается геологическое строение Тургинского массива, точнее той части, которая была непосредственно изучена автором. Здесь даются представления о строении массива и временных взаимоотношениях между различными фазами внедрения. Выделяются породы, относящиеся к шахтаминскому и кукульбейскому комплексам и останцы пород, которые следует отнести к более древнему ундинскому комплексу. Заключение главы посвящено описанию Этыкинского и Орловского массивов, с которыми в дальнейшем будут проводиться сравнения. По-видимому, эта глава является основополагающей для формулировки временных взаимоотношений между разными фазами внедрения Тургинского массива по геологическим данным.

На взгляд оппонента в этой главе более подробно следовало изложить взаимоотношения ундинских порфиридных биотитовых гранитов с породами кукульбейского комплекса, на которых, судя по тексту, они залегают. Отметить какого рода контакты устанавливаются между ними. Из этой главы остается неясным являются ли эти выходы ксенолитами, повесами кровли или имеют с породами кукульбейского комплекса тектонические взаимоотношения.

Глава «Аналитические методы» содержит подробные данные о количестве и видах проведенных исследований, о количестве материала, подвергнутого этим исследованиям. Объем и разнообразие примененных методик впечатляет. Однако применение некоторых методов вызывает недоумение. Так автор провел определение номера плагиоклаза в иммерсионных жидкостях. Знакомство с этим методом, имеющим уже теперь скорее историческое значение, похвально. Но все-таки в научной работе каждый метод должен давать автору информацию, имеющую ключевое значение для решения задач. В данной ситуации обоснованность применения конкретно этого метода неочевидна. Более того, в главе, посвященной типоморфизму минералов автор демонстрирует, что результаты оптического определения номера плагиоклаза и данные по его составам сильно расходятся. И сам автор отдает предпочтение определению номера по прямому измерению состава.

Есть замечания технического характера, которые связаны с некорректным описанием параметров микроанализа (например, на стр. 26 указывается ток зонда при исследовании методом SIMS около 5×10^{-9} нА эта величина отвечает исчезающе малому току, измеряемому в неприменяемых в аналитическом обиходе аттоамперах, кроме этого на ионном микрозонде в Ярославле (Ярославский филиал ФТИАН) пучок имеет диаметр около 40 мкм, а 10-15 мкм вероятнее всего был диаметр полевой диафрагмы, ограничивающий поток вторичных ионов. При таких малых диафрагмах резко возрастают погрешность и пределы обнаружений. Это следовало отразить в обсуждаемой главе и обсудить в главах, посвященных результатам измерений.

Глава «Петрографическое описание...» посвящена описанию состава и строения горных пород, относящихся к выше перечисленным комплексам. Совершенно очевидно, хотя и не сказано явно, что для диагностики минералов использовался комплекс методов, включающий поляризационную оптическую микроскопию, электронную микроскопию, КР-спектроскопию.

Автор относит акцессорную минерализацию протолитионитовых гранитов к двум парагенезисам. Однако в один парагенезис попадают минералы, имеющие вероятно различное происхождение. Например, Fe-колумбит и сфалерит. Не исключено, что они образовались совместно, но это явно необычно и нигде отдельно их сингенетичность не рассматривается. Либо здесь автор термином «парагенезис» подменяет термин «минеральная ассоциация», либо использует термин «парагенезис» не так, как это было принято в ЛГУ и СПбГУ прежде (в нотации Брейтгаупта).

Не очень понятно отношение автора к термину «амазонит». Если исходить из определения – это разновидность щелочного полевого шпата, окрашенная в зеленый цвет. Можно ли в этом случае называть минерал «серо-белой» окраски амазонитом?

Описание типомофизма минералов начинается со слюд. В таблице приведено 6 составов, вероятно, по литературным данным, так как в примечаниях к таблице даны ссылки. Не очень понятно, почему автор не приводит свои оригинальные данные, которые точно есть и это следует из обилия точек на классификационных диаграммах. Составы в таблице 2 небезупречны. Если бы автор привел суммы анализов, то стало бы ясно, что анализ слюды из пород ундинского комплекса и биотита из протолитионитовых гранитов кукульбейского комплекса – проблемные. Первый с завышением, а второй с явным занижением суммы. Пересчеты приведенных анализов на 11 атомов кислорода не всегда совпадают с приведенными в таблице. При этом автор не указывает метод пересчета – катионный или анионный.

Для классификации используются многочисленные диаграммы из которых следуют различное применение номенклатуры. Одну и ту же слюду автор то называет биотитом, то сидерофиллитом. Для применения номенклатуры автору следовало обратиться к принятой на сегодняшний день номенклатуре слюд ММА (Rieder et al., 1998). Для целей номенклатуры было бы правильней использовать схему, предложенную в (Tischendorf, 2004). Из приведенных автором классификационных схем, пожалуй, самая полезная – схема по Коваль и др. (1972), но на ней автор почему-то не отразил названия выделенных полей.

Рассуждения по степени окисленности и восстановленности среды кристаллизации слюд также требуют более глубоких пояснений. Так автор утверждает, что сравнение со слюдами Орловского и Хангилайского массивов дают основание предполагать высокую щелочность материнского расплава, но при этом сравнение, которое очевидно бы это доказало, не приводится. Нет также принципиальных различий в окислительно-восстановительном потенциале для биотитов протолитионитовых гранитов и амазонитовых гранитов Тургинского массива, о которых заявляется в работе. Но существенно различаются температурные оценки и это также отмечено автором. Автору следовало знать, что даже в пределах одного буфера фугитивность кислорода будет зависеть от температуры. Следовательно, одному и тому же направлению окислительно-восстановительной реакции будут отвечать разные величины парциального давления кислорода.

Нахождение составов слюд между буферами NNO и MH (рис. 16 на стр. 43) никак не могут свидетельствовать о восстановительной обстановке. Это условия, которые традиционно рассматриваются как окислительные.

К этому можно добавить состав цирконов, который в отличие от слюд представлен в работе блестяще. Наличие положительной цериевой аномалии дает все основания считать

условия кристаллизации циркона и сопутствующих ему минералов окислительными, так как при восстановительных условиях в распределении РЗЭ мы наблюдали бы отсутствие или отрицательную аномалию по Се. Все эти замечания ставят под сомнение заключение о восстановительных условиях кристаллизации, выведенное во второе защищаемое положение.

В отличие от главных породообразующих минералов, описание акцессорной минерализации не вызывает замечаний. Описание циркона и тантало-ниобатов сделано подробно, понятно и хорошо проиллюстрировано. Описание других минералов менее детально, что объясняется спецификой самого объекта, но также весьма информативно.

В Главе 5 «Закономерности распределения петрогенных и редких элементов» автор дает подробную характеристику геохимических особенностей пород массива, рассматривая пары индикаторных элементов. В разделе «Rb, Sr» сопоставляются содержания этих элементов с рудоносными массивами и проводится сравнение эволюционных трендов. Совершенно очевидно, что монцитонитовиды шахтаминского комплекса и редкометальные граниты кукульбейского комплекса в Тургинском массиве характеризуются различными путями эволюции. Автор обоснованно делает вывод об исходной обедненности кукульбейских магм стронцием, но предполагает, на этом основании, что состав магмы был принципиально отличен от рудоносных Орловского и Этыкинского массивов. Это неоспорно. Одним из объяснений может быть то, дифференциаты, из которых образовались протолитионитовые и амазонитовые граниты Тургинского массива, относимые к кукульбейскому комплексу, фракционировали от очага, где закристаллизовалась основная часть раннего плагиоклаза. В то же время эволюция гранитов Орловского и Этыкинского массива могла происходить без фракционирования расплава. Иными словами, Орловка и Этыка развивались в пределах квазизакрытой системы, а Тургинский массив – открытой.

Раздел «Состав расплава (по результатам изучения расплавных включений)» вызывает ряд серьезных замечаний. Автору надо было следовать методическим особенностям исследования и описания расплавных включений, как это принято в этой отрасли знаний. Несмотря на то, что представленные отрывочные данные действительно во многом подтверждают некоторые выводы автора, признать, что материал представлен удовлетворительно нельзя. В таблице 9 видно, что данные, полученные методом SIMS с крайне малым размером вторичного пучка ионов (см. замечание к главе «Аналитические методы»), в пределах одной группы пород сильно отличаются. Это может быть вызвано различной представительностью самих включений и методическими особенностями (высокой погрешностью из-за малого размера полевой диафрагмы ионного зонда). Эти моменты в работе не обсуждаются. Не приведено никаких сведений о режиме прогрева включений: ступенчато по одному включению или для каждой ступени выбирались разные включения. Или может быть включения просто грелись до температуры, когда они станут гомогенными без особой привязки к температуре гомогенизации. Достигалась ли гомогенизация и какая фаза растворялась в расплаве последней? Каков был размер и фазовый состав включений до и после прогрева? Были ли признаки гетерогенного захвата включений, очень распространенные при кристаллизации кварца из редкометально-гранитных расплавов? Не показан состав стекол прогретых включений по главным породообразующим окислам и не понятно отвечают ли составы главных компонентов валовым составам пород. Здесь автор могла бы получить бесспорные прямые доказательства повышенной щелочности магматических расплавов, однако не сделала этого, имея на руках всю необходимую информацию. Не понятно, приведены составы по индивидуальным включениям или это усредненные составы по ассоциациям включений. И если приведены данные по индивидуальным включениям, то сомнительно, что по одному включению можно делать вывод о том, что оно представительно для состава всего массива кислой магмы, которая несмотря на высокие содержания воды, фтора и щелочей,

все-таки обладает достаточно высокой вязкостью. Все эти вопросы необходимо было обсудить, а не ограничиваться частичным представлением данных по составам стекол и графиками.

Столь пренебрежительное отношение к расплавленным включениям вызывает недоумение еще и потому, что далее, в главе 7, автор начинает рассуждать о температурном режиме кристаллизации. Для этого используются данные по довольно противоречивым термометрам. Здесь было бы уместно привести данные по гомогенизации и сопоставить расчетные по геотермометрам с ними. Но этого сделано не было.

Глава 6 «Результаты изотопно-геохимических и геохронологических исследований Тургинского массива (Rb-Sr, Sm-Nd, U-Pb)» является одной из ключевых в данной работе. В ней приводятся результаты изотопных исследований, позволяющих оценить природу исходных расплавов, сформировавших Тургинский массив, и определить возраст слагающих его фаз. Все эти задачи представляются исключительно сложными, учитывая редкометалльную специфику массива. Надо отметить, автор на данном материале продемонстрировала исключительно высокую квалификацию. Центральной частью этой главы является методическое описание метода геохронологического анализа высокоуранового сильно метамиктизированного циркона. Для работы с этим, как считалось ранее, практически безнадежным материалом, автор применила метод специальной обработки, направленной на восстановление утраченной структуры с последующим удалением оставшихся метамиктных областей путем кислотного выщелачивания. Судя по полученным результатам, подход оказался успешным. Результаты главы 6 в совокупности с данными, изложенными в главе 1, вероятнее всего, составляют основу первого защищаемого положения.

Глава 7 «Оценка условий формирования Тургинского интрузива» начинается с оценки температурного режима. Конечно же прежде, чем начать обсуждать полученные температуры автору следовало оценить применимость каждого из термометров для изучаемого материала. Если циркониевый и цирконовый геотермометры еще как-то можно использовать, то применять двуполевошпатовый геотермометр в обсуждаемом случае было невозможно. Это становится ясно еще при прочтении петрографического описания шлифов. Оценка температурного режима кристаллизации гранитоидов литий-фтористого типа – задача очень сложная и нетривиальная. Автору надо было соотнести полученные оценки с физико-химическими параметрами гранитоидных магм, обогащенных фтором, бором, водой и редкими щелочами, по которым опубликовано достаточно много экспериментальных данных. По мере дифференциации в них возрастает концентрация лития, фтора, бора и воды и понижается температура кристаллизации. В случае с Тургинским массивом такая тенденция не наблюдается. Что это означает? Что кристаллизация Тургинского массива не подчиняется общим закономерностям эволюции литий-фтористых магм? Или оценки не являются надежными? В этой ситуации возникает вопрос об обоснованности вывода о высоких температурах кристаллизации, вынесенном во второе защищаемое положение.

В Главе 8 «Лейкограниты Тургинского массива как особый подтип редкометалльных плюмазитовых гранитов с агпаитовой акцессорной минерализацией» приводится, по сути, обсуждение минералогических и геохимических данных, изложенных в главах 3-5, и делаются выводы об уникальности сочетания минералого-геохимических характеристик, необычности характера эволюции редкометалльных магм и их происхождения. Выводы относительно уникальности сочетаний указанных характеристик выглядят вполне обоснованными и отнесение гранитов кукульбейского комплекса в составе Тургинского массива к особенному типу пород, характеризующемуся «плюмазитовой» спецификой состава петрогенных компонентов и «агпаитовой» по распределению редких и рассеянных элементов и характеру акцессорной минерализации, следует признать обоснованным.

В заключении автор в сжатой форме формулирует основные выводы диссертационной работы.

В целом работа представляет собой результат завершеного целостного исследования, проведенного комплексом современных методов и демонстрирующего высокую квалификацию автора работы. Обилие сделанных замечаний не снижает общего высокого уровня работы, а сама работа по четкости изложения и качеству оформления оставляет очень хорошее впечатление. Работа соответствует требованиям ВАК и паспорту специальности 25.00.09. Автореферат отвечает содержанию диссертации. Основные выводы диссертации опубликованы в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК для публикации результатов диссертационных исследований. Автор продемонстрировала, что она является состоявшимся самостоятельным исследователем и достойна присуждения искомой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.09 – геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых.

Отзыв подготовлен для представления в Диссертационный совет 003.059.01 при Институте геохимии им. А.П. Виноградова, г. Иркутск.

Официальный оппонент:

Смирнов Сергей Захарович,
доктор геолого-минералогических наук,
заместитель директора по научной работе

Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева

проспект академика Коптюга, 3

Новосибирск 630090

электронная почта: ssmr@igm.nsc.ru

телефон: (383) 373-0526 добавочный 30



ПОДПИСЬ УДОСТОВЕРЯЮ
ЗАВ. КАНЦЕЛЯРИЕЙ
ШИЛОВА Е.Е.
20.05.2022г.

Я, Смирнов Сергей Захарович, даю свое согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку

«20» мая 2022 года