

Отзыв
официального оппонента о диссертации
ХОЛИНОЙ Натальи Викторовны

на тему: «**НЕОАРХЕЙСКИЙ УЛЬТРАКИСЛЫЙ МАГМАТИЗМ КУРСКОГО БЛОКА ВОСТОЧНОЙ САРМАТИИ: ГЕОХИМИЯ, ГЕОХРОНОЛОГИЯ, ПЕТРОЛОГИЯ**»,
представленной на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности: 25.00.04 – петрология, вулканология

Актуальность избранной диссертантом темы определяется важностью получения свидетельств о геодинамической эволюции коры Восточной Сарматии на границе неoarхея и палеопротерозоя. В этом вопросе огромное значение имеет правильность выбора объектов исследования, изучение которых может дать доказательные ответы на поставленные вопросы. В этом отношении представляется очень удачным выбор автором в качестве объекта исследования магматических пород Курского блока, представленных неoarхейскими калиевыми риолитами лебединской свиты и гранитами атаманского комплекса. Появление высококалиевых гранитов и риолитов неoarхея, сменивших ТТГ ассоциации мезоархея в Курском блоке, отражают кардинальные изменения природы геодинамических процессов, которые характерны для всех древних кратонов. Сочетание гранитов и риолитов в пределах одного магматического центра представляет собой редкий случай их нахождения в подобных структурах и дает ценную информацию об условиях возникновения и источниках расплавов пород. Кроме того, возраст излияний риолитов фиксирует время начала накопления мощных толщ терригенных пород и железисто-кр лавами океанического дна емнистых формаций курской серии на границе неoarхея и палеопротерозоя, которые лежат в основе палеотектонических реконструкций, позволивших обосновать принадлежность мегаблока Сарматии к суперконтиненту Ваалбаре в период 2,6-2,2 млрд лет. Как следует из всестороннего обзора литературы (в 1-й главе) по избранному региону, калиевые риолиты и калиевые граниты Курского блока до настоящего времени не были достаточно изучены. В то же время они являются *ключевыми объектами* для решения ряда важных вопросов геологической истории изучаемого региона. Поэтому диссертационную работу Холиной Н.В. несомненно следует считать **актуальным** научным исследованием.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

Автором работы *во введении и 1-й главе* диссертации четко сформулирована цель работы - установление петрогенезиса и тектонической обстановки формирования неoarхейских ультракислых калиевых риолитов лебединской свиты михайловской серии и калиевых гранитов атаманского комплекса. В соответствии с этой целью были проведены обширные исследования изучаемого объекта от важнейших геолого-структурных работ, основанных как на основании анализе уже имеющихся данных, так и подробном изучении в представленной работе конкретных геологических разрезов *Воронежского кристаллического массива* по многочисленным скважинам, о чем говорится во *2-й главе* диссертации. Автором были установлены: 1) тесная пространственная связь проявлений вулканитов и гранитов в южном замыкании Тим-Ястребовской структуры пределах Курского блока; 2) определен возраст обоих типов пород, выявивший синхронность их формирования – 2,61 млрд лет; 3) проведена подробная минералого-петрографическая и геохимическая характеристика, выявившая их близость по многим компонентам и их соотношениям. Необходимо отметить высокий уровень петрографических, минералогических и геохимических исследований автора, проведшего эту огромную, детальную работу по изучению состава всех порообразующих и аксессуарных минералов, с применением как *классических петрографических*, так и многих *современных аналитических методов исследования* (электронно-микроскопического, микронзондового, рентгено-флуоресцентного, метода ICP

MS), которые подробно описаны в 3-й главе диссертации. Описание собранного материала и его обработка содержатся в 4-й главе диссертации. Автором представлены петрографические описания риолитов и гранитов, снабженные фотографиями; химические анализы всех разновидностей пород, в отношении как петрогенных, так и широкого набора редких элементов. Тщательно изучены все главные породообразующие минералы и определены их составы с отнесением к определенным группам (полевых шпатов, биотитов, амфиболов). Проведена обработка петрохимических и геохимических данных с целью получения генетической информации.

Следует отметить достоверность и новизну исследований автора в изучении фактического материала.

Полученные результаты и их анализ позволили автору сделать вывод о том, что неогархейские метавулканыты и граниты представляют собой единую вулканоплутоническую ассоциацию. По геохимическим характеристикам, используя диаграммы (Whalen et al., 1987) автор справедливо относит оба типа пород к внутриплитовым гранитам типа А (рис. 4 автореф., рис. 6.7 – дисс.) .

Автором получены также данные о возрасте изучаемых пород. Они основаны на результатах детальных геохронологических и изотопно-геохимических исследований риолитов и гранитов. Геохронологические и изотопно-геохимические (Sm-Nd) исследования продуктов ультракислого, высококалиевого магматизма составляют большую и очень важную часть работы и изложены в 5-й главе диссертации. Они проведены на основе большой выборки зонального акцессорного циркона из риолитов и гранитов пород Курского блока. Пробы пород были собраны автором в шахте и из керна сважин. Результаты изотопного датирования U-Pb методом показали, что возраст калиевых риолитов лебединской свиты – составляет 2612 ± 10 млн лет. Полученное значение интерпретируется как возраст кристаллизации риолитов и существенно уточняет ранее полученную оценку 2590 ± 88 млн лет.. Только в одном зерне циркона из гранитов сохранилось древнее унаследованное ядро ксеногенного циркона, $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ возраст которого $3180,5 \pm 7$ млн лет, который автор считает одним из компонентов источника расплава, которым могли быть породы этого возраста.

Возраст атаманских гранитов, также определенный по многочисленным зональным зернам циркона, составляет $2611,7 \pm 5,7$ млн лет, т.е. практически совпадает со значениями возраста, полученного для риолитов.

Изотопно-геохимические данные подробно рассматриваются и критически обсуждаются автором работы. В результате делается важный вывод, не оставляющий сомнений в том, что U-Pb изотопная система в цирконах из риолитов и гранитов надежно фиксирует неогархейский возраст кристаллизации кислых магм. *Новизна полученных автором результатов по геохронологии и их достоверность не оставляет сомнений.*

В заключение следует сказать, что автором достаточно убедительно обосновано **первое защищаемое положение: «Высококремнистые риолиты и граниты А-типа Курского блока Восточной Сарматии образовались одновременно в конце неогархея 2,61 млрд. лет, имеют близкие петрогеохимические и изотопные характеристики и представляют единую вулканоплутоническую ассоциацию».**

Второе защищаемое положение касается условий зарождения и существования неогархейских ультракислых риолитов и гранитов Курского блока. Этому вопросу посвящена 6-я глава диссертации. В ее основу положено определение Т-Р параметров кристаллизации риолитовых расплавов. Для определения температуры кристаллизации риолитового расплава использовалось два геотермометра: титан-кварцевый и титан-цирконовый. Оценки температуры и давления кристаллизации кислых расплавов основаны на точном измерении содержания Ti (до 500 ppm) с помощью ионного микрозонда (SIMS) во вкрапленниках кварца и кристаллах циркона из риолитов. Для Т-Р условий в работе использовались 2 геотермометра "Ti-in-quartz" и "Ti-in-zircon" [Wark, Watson, 2006; Harrison, Watson, 1983].

Принцип оценки температур кристаллизации пород основан на определении содержания Ti в кварце и цирконе, изоморфно замещающего Si в их структурах в зависимости от температуры по данным экспериментальных работ [Wark, Watson, 2006; Harrison, Watson, 1983]. Автором проделана тонкая, тщательная работа по измерению содержания Ti по профилям во вкрапленниках кварца из риолитов. Максимальные температуры кристаллизации, зафиксированные в большинстве точек по методу "Ti-in-quartz" в кристаллах кварца, находятся в интервале 900–1000°C, а минимальные в центральной части зерен составляют 850–900°C.

Автором также были измерены содержания Ti в 12 кристаллах циркона. Температуры кристаллизации циркона, определенные по геотермометру "Ti-in-zircon" [Harrison, Watson, 1983] находятся в интервале 820-935°C, в среднем составляют 850°C (погрешность термометра составляет $\pm 35^\circ\text{C}$), что в пределах ошибки совпадает с "Ti-in-quartz" термометрией. Были произведены также оценки давления в магматическом очаге с помощью геобарометра "Ti-in-quartz" [Huang, Audetat, 2012], которые показали, что рассчитанные значения давлений попадают в узкий интервал 2,5-2,6 кбар

Изучение микроэлементного состава циркона позволило автору сравнить свои данные с литературными [Hoskin, Schaltegger, 2003] и сделать вывод о близости содержания малых элементов в изученных кристаллах циркона с типичными для магматического циркона из кислых пород. Из этого сходства следовало предположение автора о свойствах выплавившегося кислого расплава, о том, что он был сухим, высокотемпературным и малоглубинным. По данным автора условия формирования риолитовых магм происходило из корового источника, находившегося на глубине около 7 км, в котором температуры могли превышать 1000°C. Данные Lu-Hf изотопно-геохимических исследований свидетельствуют о гетерогенности корового источника для неоархейских гранитоидов Курского блока, основными компонентами которого были мезоархейские ТТГ-гранитоиды и метапелиты с палеоархейскими изотопными метками.

Для оценки применимости рассматриваемой модели выплавления кислых магм (глава 6) было проведено теоретическое моделирование содержаний REE для состава предполагаемого источника магм: смеси 30 мас. % метапелит + 70 мас. % ТТГ. Было показано, что REE в модельном кислом расплаве и в природных риолитах и гранитах по характеру распределения идентичны (рис. 7 автореф, рис. дисс 6-8). По результатам проведенного моделирования редкоземельных элементов кислые сделан вывод, что кислые расплавы могли образоваться при дегидратационном плавлении мезоархейских ТТГ-гранитоидов в смеси с метапелитом, в равновесии с ортопироксен-плагноклазовым реститом.

*Принимая во внимание тщательность выполненных исследований по оценкам условий формирования кислых пород по геотермометрам и геобарометру, а также исследований, подтвердивших гетерогенность корового источника магм и данным теоретического моделирования содержания REE, второе защищаемое положение о том, что «**Зарождение неоархейских высококремнистых магм происходило при дегидратационном плавлении пород Курского блока при высокой температуре (около 900°C), низком давлении (около 2,5 кбар), в условиях верхней коры в равновесии с ортопироксен-плагноклазовым реститом**» можно признать доказанным.*

*Третье защищаемое положение касается определения источников кислых расплавов. и звучит следующим образом: «**Основные источники неоархейских высококремнистых магм имели длительную коровую предысторию ($\epsilon\text{Nd}_{2.61}$ = от -5,4 до -6,7; $\epsilon\text{Hf}_{2.61}$ = от -0,6 до -8,9) и представлены мезоархейскими ТТГ ассоциациями и палеоархейскими метапелитами Курского блока, слагающими архейское ядро Восточной Сарматии**».*

Для определения источников расплавов риолитов и гранитов были проведены Sm-Nd изотопно-геохимические исследования (глава 5), которые показали, что на диаграмме в координатах возраст - $\epsilon\text{Nd}(T)$ точки риолитов и гранитов попадают в поле палеоархейской

континентальной коры (рис. 8 автореф., рис. 5.5 дисс.). Значения $\epsilon Nd(T)$ отрицательные и варьируют от -5,4 до -6,7, что свидетельствует о древнем коровом источнике риолитов и гранитов. Величины $\epsilon Nd_{(2612)}$ для риолитов попадают в тот же интервал (от -6,4 до -6,1) (рис. 5.5), что и для атаманских гранитов от -6,7 до -5,4. Их Sm-Nd модельные возрасты $TNd(DM) = 3,4-3,6$ млрд лет на 1 млрд лет более древние, чем U-Pb возрасты циркона из этих пород. Как справедливо полагает автор, это свидетельствует о длительной коровой предыстории источника расплавов.

Для идентификации источников и расшифровки коровой предыстории была также детально проанализирована Lu-Hf изотопная система в цирконе. При этом были выявлены широкие вариации изотопного состава гафния в отдельных зернах магматического циркона из риолита. Было сделано предположение, что они отражают неоднородность среды кристаллизации цирконов, унаследованную от разных по составу и возрасту пород в коровом источнике расплавов. Автором был сделан вывод о гетерогенности корового источника для неархейских гранитоидов Курского блока, основными компонентами которого были мезоархейские ТТГ-гранитоиды и метапелиты с палеоархейскими изотопными метками. *Результаты по определению источников расплавов изученных пород Курского блока имеют большое значение для геологии региона, а их обсуждение, проведенное автором и изложенное в главе 5, представляются весьма убедительными и хорошо обосновывают 3-е защищаемое положение.*

*Четвертое защищаемое положение следует из последней 6-й главы работы, где автор рассматривает наиболее общие, глобальные вопросы петрогенезиса неархейских риолитов и гранитов Курского блока, в том числе такие, как «Тектоническая обстановка образования». При нанесении точек состава на диаграммы Пирса [Pearce et al., 1984] (Рис. 6.9) по геохимическим данным риолиты и граниты попадают, главным образом, в поле внутриплитных А-гранитов, что отвечает представлениям автора, и частично в область перекрытий полей внутриплитных и постколлизийных гранитов. При использовании диаграмм [Eby, 1992], показывающих разделению А-гранитов на 2 группы, видно (график 6.10), точки состава гранитов попадают в область гранитов А2 (постколлизийных гранитов), а точки составов риолитов – разделяются между полем внутриплитных А1 и постколлизийных гранитов А2. Поскольку по всем другим имеющимся данным, оба типа пород относятся к внутриплитным гранитом, то автору приходится приводить много аргументов в защиту этой точки зрения. Большинство из этих аргументов представляются убедительными. К ним относится, например, присутствие гранитоидного внутриплитного магматизма с возрастом 2,61 млрд лет, вызванного плюмовым тепловым источником, которое известно и в пределах других архейских блоков, известных на Земле. Другим аргументом является проявление в пределах Курского блока для широко проявленного базитового магматизма, а именно, метабазитов, которые подстилают метариолиты и прорываются внутриплитными гранитами. Автор предполагает существование глубинного плюма, под воздействием которого во внутриплитной обстановке образовались закономерно распространенные, разбросанные малоглубинные очаги плавления, из которых выплавлялись гранитоиды. Изложенные факты и соображения позволяют согласиться с точкой зрения автора, высказанной в 4-м защищаемом положении, о том, что **«Проявления неархейского высококремнистого магматизма в Курском блоке имеют внутриплитную природу и связаны с плавлением вещества верхней коры за счет подъема базальтовых магм, производные которых подстилают высококремнистые риолиты и вмещают граниты»***

В целом диссертация является законченным научно-исследовательским трудом, выполненным автором самостоятельно на высоком научном уровне. В работе приведены результаты, позволяющие решить важнейшие теоретические и практические задачи в области геологии, тектоники и петрологии исследуемых объектов. Диссертация автора представляет собой законченную научно-исследовательскую работу на актуальную тему.

Работа базируется на огромном материале по геологии, петрографии, минералогии и геохимии пород Курского блока. Все исследования проведены на высоком методическом уровне. Она написана логично, грамотно и прекрасно оформлена. В заключение работы сделаны четкие обоснованные выводы. Основные результаты отражены в представленном списке опубликованных работ в соответствии с требованиями ВАК.

Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

К работе имеются некоторые замечания.

1. В главе 6 (6.3. Тектоническая обстановка образования) при использовании диаграмм (Ебу, 1992), показывающих разделению А-гранитов на 2 группы (график 6.9), видно, что точки состава гранитов попадают в область гранитов А2 (постколлизионных гранитов), а точки составов риолитов – разделяются между полем внутриплитовых А1 и постколлизионных гранитов А2. Поскольку по всем другим имеющимся данным, оба типа пород относятся к внутрилитным гранитом, автору приходится приводить много аргументов в защиту этой точки зрения. Полагаю, что правильнее было бы искать причину разброса точек на диаграммах в химизме (скорее по петрогенным компонентам) этих конкретных отклоняющихся от общей тенденции пород, либо признать, что разбиение на граниты А-1 и А-2 не всегда работает и, возможно, не нужно использовать эти диаграммы в данном случае.

2. Для подтверждения выводов о возможности выплавления кислых магм из мезоархейских пород автором был применен метод теоретического моделирования содержаний REE при процессе частичного плавления смеси ТТГ-гранитов(70%) и метапелитов(30%) Курского блока с учетом суммарного коэффициента распределения редких земель между минералами и расплавом. При этом применялся подход, подобный использованному в экспериментальной работе (Patino Douce et al., 1997). Спектр редких земель гипотетического расплава, полученного из древних пород, практически совпадает со спектром риолитов. Это похоже на ситуацию, в которой получен результат, который был заложен в самой модели. В реальности он может быть таким при точном совпадении заданных условий, но любое отклонение от них (концентрации воды в системе, степени плавления, составе фаз и др.) сделает его другим. Этот вопрос следовало бы обсудить в работе

3. Изучение микроэлементного состава циркона позволило автору сравнить свои данные с литературными [Hoskin, Schaltegger, 2003] и сделать выводы о свойствах риолитового расплава. Из них следует, что риолитовый расплаве, был сухим, высокотемпературным и малоглубинным. Этот вывод, по-видимому, в частности опирается на данные о растворимости циркона в расплаве в зависимости от содержания воды, давления, температуры (Hoskin, Schaltegger, 2003, Watson, 1996). Но хотелось бы более подробного и основательного обсуждения. Хотя понятие «сухие» расплавы и принято в настоящее время в литературе, все же не следует называть расплав сухим, если в нем содержится, хотя бы 2 мас.% воды. Хотелось бы, чтобы автор высказал свое отношение к роли других летучих компонентов (F и CL), которым придается особое значение в генезисе А-гранитов. В изученных породах, слюдах и амфиболах не был определен F. Вероятно, он мог в них содержаться и играть свою роль в магматическом процессе, к примеру, в образовании в расплаве комплексов с редкоземельными и высокозарядными элементами (Zr и Hf), обеспечивая их большие содержания в последних порциях расплава риолитов.

Сделанные замечания ни в коем случае не умаляют положительного впечатления от диссертации.

Таким образом, диссертация Холиной Натальи Викторовны. является научно-квалификационной работой, в которой решена задача установления петрогенезиса и тектонической обстановки формирования неархейских ультракислых калиевых риолитов лебединской свиты михайловской серии и калиевых гранитов атаманского комплекса Курского блока Восточной Сарматии. Данные о тектонической обстановке формирования неархейских ультракислых гранитов и вулканитов Курского блока в совокупности с результатами геохронологических и изотопно-геохимических исследований могут быть

использованы при разработке и составлении региональных геологических карт докембрийского фундамента различного масштаба, составления схем корреляции магматизма Восточно-Европейской платформы, палеотектонических карт.

В работе изложены новые научно обоснованные данные, имеющие существенное значение для развития изучаемого региона страны, что соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор заслуживает присуждения искомой ученой степени.

Кандидат геолого-минералогических наук


Татьяна Игоревна Щекина

Ведущий научный сотрудник кафедры петрологии и вулканологии Геологического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова»

Адрес: 119991, Российская Федерация, Москва, Ленинские горы, д. 1, Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, геологический факультет

Тел.(служ.) (495)939-20-40

E-mail: t-shchekina@mail.ru

Специальность, по которой защищена диссертация: 25.00.04 - Петрология, вулканология (геол.-минерал. науки)

Я, Щекина Татьяна Игоревна, согласна на включение персональных данных в документы и их дальнейшую обработку.

10 сентября 2020 года

Подпись Т.И.Щекиной заверяю

Зав. канцелярией

