

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор ИВиС ДВО РАН

академик Е.И. Гордеев

29 июля 2014г.



ОТЗЫВ

ведущей организации ИВиС ДВО РАН на диссертационную работу Давыдовой Марии Юрьевны на тему «Происхождение и эволюция магм вулканического центра Уксичан (Срединный хребет Камчатки)», представленную на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.04 - петрология, вулканология.

На отзыв представлен рукописный труд, объемом 152 стр. текста; содержит 47 рисунков, 2 фотографии и 16 таблиц (8 таблиц в приложении). Он состоит из введения, 5 глав, заключения и дополнительных материалов - каталога результатов анализов образцов и минералов. Список цитированной литературы содержит 175 наименования.

Представленная на рецензию работа отражает итог всестороннего геологического (полевые работы) и петролого-геохимического изучения крупного плиоцен-голоценового вулканического центра Уксичан с целью петрографической, а также изотопно-геохимической типизации продуктов его деятельности на основе новых прецизионных данных о составе вулканитов, реконструкции истории геологического развития, построения петрологической модели.

В водной части работы соискатель справедливо подчеркивает, что несмотря на обилие публикаций по петрологии четвертичных вулканитов Камчатки, большинство из них имеет обзорный характер, работы, в которых детально изучены конкретные длительно развивающиеся вулканические центры, единичны. Тем самым создаются определенные трудности при формировании общей картины развития Камчатского региона, который может быть эталонным для понимания характера взаимоотношений процессов тектоники и магматизма в современной островодужной системе. В этом плане представленная работа, в определенной мере, поможет разрешению сложившейся ситуации.

В первой главе ***«Геолого-геофизические особенности строения и история геодинамического развития Камчатки в позднем кайнозое»*** автор в общих чертах знакомит читателя с геологией Камчатки, начиная с олигоцена и до современного

времени, а также с последними воззрениями по вопросам «геодинамического развития» этой территории. Соискатель владеет таким материалом и хорошо информирован в отношении наиболее известных публикаций не только последних лет, но и 70-х, 80-х годов. Поэтому, совершенно заслуженно звучат фамилии: С.Е. Апрелькова, О.Н. Волынца, Н.Н. Кожемяки, В.Н. Огородова, Э.И. Пополитова, А.Е. Шанцера, М.Н. Шапиро, Э.Н. Эрлиха и других исследователей Камчатского региона. Но, если уж поднимать вопрос изученности этого региона в историческом аспекте, то необходимо помнить, что основной материал по геологии Камчатки был получен в ходе геологических съемок и формационного анализа магматических комплексов, в основе которого лежали представления об этапах геосинклинального развития подвижной области. Геосинклинальная концепция находится сейчас в полном забвении у молодых исследователей.

Еще несколько частных замечаний: 1). Лучше все же говорить не о континентальном, а о субконтинентальном типе земной коры под Камчаткой: 35-40 км (а не 36-46, как у соискателя) относительно небольшой интервал мощности земной коры. 2) В целом, вероятно, следует упомянуть и о пятой (тыловой) вулканической зоне Камчатки (текст и рис.1.1).

Вторая глава *«История изученности и геологическое строение вулканического центра Уксичан»* информирует нас обо всем, что было сделано предшественниками по этому центру до работ соискателя. С присущей автору скрупулезностью, подробно рассмотрены результаты работ многих исследователей, их вклад и воззрения на природу и условия образования вулканического центра. Эффектно выглядит таблица 2.1. по основным геолого-морфологическим показателям наиболее крупных вулканических центров Камчатки. При её рассмотрении действительно убеждаешься, что речь идет о, по-настоящему, грандиозном сооружении. Хорошо было бы в этой таблице показать для каждого примера возрастной интервал проявления вулканизма, где это возможно. Тогда можно было бы оценить и относительную его продуктивность. А то с чем сравнить очень короткий интервал 0.1-0.3 млн. лет для Уксичана и какова при этом была продуктивность вулканизма для столь большого сооружения? В этой главе соискатель подробно рассматривает структурную позицию, геологическое строение, возрастные характеристики и в целом всю историю развития вулканического центра. Существенное различие между докальдерными и посткальдерными образованиями автор априори связывает с разной степенью дифференцированности расплавов и разным режимом их поступления на земную поверхность. Само кальдерообразование, по мнению М.Ю. Давыдовой, является следствием обрушения постройки при исчерпании малоглубинного

магматического очага. Не ясным при этом остается роль взрывного фактора, о чем могло бы рассказать наличие мощных лавово-игнимбритовых толщ.

Глава третья **«Петрография и минералогия пород»**, насыщенная аналитическим материалом, содержит данные о минералогическом составе вулканических пород. Здесь для каждого этапа эволюции вулканического центра и для каждого типа пород приводится информация о составе (по данным микрозондового анализа) минералов вкрапленников и основной массы, текстурные и структурные особенности. Автор подчеркивает присутствие в некоторых разностях пород так называемых гибридных проявлений минералов (в основном плагиоклаз с обратной зональностью). По мнению М.Ю. Давыдовой, гибридные минералы свидетельствуют о пульсационном характере процесса кристаллизации расплавов в очаге, когда новые порции более горячего расплава взаимодействуют с ранними порциями или с уже закристаллизовавшимися составами. Не исключая возможности такой трактовки, можно отметить, что проявление обратной зональности в минералах может быть вызвана изменением условий их кристаллизации (медленная-быстрая декомпрессия, разная флюидонасыщенность системы и др.) без взаимодействия с другими составами. Также необходимо отметить еще одну характерную особенность всех разностей пород Уксичана - относительно ранняя кристаллизация титано-магнетитов (обычное присутствие этой группы минералов в виде вкрапленников, включений в оливине и клинопироксене, гломеропорфировых сростков). Весьма важный показатель, который может пригодиться в дальнейшем при объяснении специфических особенностей эволюции расплавов этого центра.

В четвертой главе **«Геохимия пород и вещественная эволюция вулканического центра Уксичан»** рассматриваются особенности петрохимического и изотопно-геохимического состава пород центра и характер изменения этих характеристик последовательно на разных стадиях его эволюции. Глава предваряется некоторым разделом номенклатурного плана. Соискатель подчеркивает, что принятая в работе типизация вулканических пород проводится на современном уровне в строгом соответствии с Петрографическим кодексом России (2009 г.) и с учетом предложений Подкомиссии по систематике изверженных пород (2002 г.). При этом в табличной форме приводится схема принятой систематики с учетом кремнекислотности пород, суммарной и относительной ($\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$) щелочности и состава минералов-вкрапленников. Такой подход можно только приветствовать. Однако некоторые комментарии в отношении принятых автором ограничений можно было бы сделать. Это касается, в первую очередь, термина *трахибазальты*, который в работе предлагается заменить на *высококальцевые базальты* на том основании, что эти породы в составе центра содержат TiO_2 порядка

1 вес.%, а не 2-4 вес.%, как предлагается согласно Петрографическому кодексу. Но остаются *трахидациты* и *трахириолиты* без ограничения содержаний в них TiO_2 . При этом как бы нарушается естественный ряд дифференциации: *трахибазальты-трахиандезиты-трахидациты*. Понятно, что Петрографический кодекс в основном наработывается на основе изучения вулканитов континентальных и океанических областей, для которых высокие содержания TiO_2 обычное дело. Но природа преподнесла нам сюрприз в виде *внутриплитного* типа базальтов в некоторых островодужных сериях, в которых содержание этого оксида обычно составляет 1.5-2.5 вес.%. Это *трахибазальты* или *высококальевые базальты* с повышенным содержанием TiO_2 ? Впрочем в составе вулканитов Уксичана нет *внутриплитного типа* базальтов, так что с интерпретацией М.Ю. Давыдовой можно и согласиться.

Далее с использованием ряда диаграмм (SiO_2 -сумма щелочей, SiO_2-K_2O , FeO (сумм.)/ $MgO-SiO_2$, MgO -оксиды) подробно рассматриваются макроэлементные составы пород всех этапов эволюции центра в сравнении с породами Южной, Восточной Камчатки, Центральной Камчатской депрессии и Срединного хребта. Как и следовало ожидать наибольшие различия наблюдаются при сравнении составов вулканитов докальдерной-синкальдерной (стратовулкан, щитовой вулкан, кальдерный комплекс) и посткальдерной (поздние щитообразные постройки и ареальные конуса) стадий (представители второй стадии - менее щелочные и менее дифференцированы), а наибольшее сходство в целом - с породами Срединного хребта. Небольшое замечание технического плана - на представленных диаграммах не все условные обозначения расшифрованы.

Таким же образом с использованием диаграмм: MgO -микрокомпоненты, спайдерограммы для всего набора микроэлементов и отдельно для редкоземельных элементов проводится анализ составов вулканитов всего центра Уксичан в сравнении с теми же регионами Камчатки. Здесь также наблюдаются различия для докальдерной-синкальдерной и посткальдерной стадий, но сходство с данными по породам Срединного хребта. В целом породы Уксичана на корреляционных диаграммах (спайдерограммах) характеризуются положительными аномалиями: Ba, K, Pb, Sr и отрицательными Th, U, Nb, Ta, Zr, Ti. Это позволяет отнести их к обычному островодужному типу.

Вероятно одной из наиболее важных и в какой-то мере интригующей особенностью работы М.Ю. Давыдовой является привлечение 10-ти новых данных по изотопии Sr, Nd, Pb и 6 определений изотопии кислорода. Эти характеристики в целом близки для пород, отвечающих различным этапам эволюции всего вулканического центра и свидетельствуют о мантийной природе исходных расплавов. Более того, основные изотопные

характеристики (за исключением несколько более высоких значений по Nd) сходны с таковыми как для островодужных пород, так и для базальтов внутримитного типа Срединного хребта Камчатки. Что касается геохимических данных, то в работе М.Ю. Давыдовой островодужные вулканы Уксичана сравниваются с островодужными проявлениями Срединного хребта. Но этот центр при близких изотопных характеристиках и высокой щелочности в геохимическом плане *отличается отсутствием внутримитного геохимического типа* в составе проявлений вулканизма. Интересный факт, который ждет своего объяснения.

В последней пятой главе, наиболее объемной, но с коротким названием *«Петрогенезис»* рассматриваются представления соискателя об условиях возникновения и эволюции расплавов, давших всю гамму пород вулканического центра.

Глава предваряется убедительным доказательством того, что по изотопным данным процессы коровой контаминации не играли сколько-нибудь существенной роли в процессах петрогенезиса.

Далее последовательно анализируется участие таких факторов, как состав субдукционного компонента и мантийного клина в петрогенезисе вулканического центра.

Здесь можно согласиться с представлениями М.Ю. Давыдовой о том, что, хотя субдукционная модель является общепринятым механизмом образования островодужных серий, существует большая неопределенность в отношении состава субдукционных компонентов и состава мантийного клина и добавим: также - по части соотношения самого механизма субдукции и других факторов, в частности процессов астеносферного диапиризма или плюмовой геодинамики.

Для выяснения доли участия различных компонентов (расплавов, образовавшихся при плавлении поддвигаемой океанической плиты или осадков, а также флюидов, связанных с дегидратации этих источников) в составе субдукционного источника использован целый ряд диаграмм (Sr-Y, Sr/Y-SiO₂, ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd-Th/Nd, Ba/Th Th/Yb). На основании анализа этих диаграмм делается вывод о существенном (до 95%) вкладе в петрогенезис вулканитов Уксичана флюидных компонентов, образовавшихся при дегидратации измененных океанических базальтов. Этот вывод особых возражений не вызывает, хотя, возможно, некоторые коррективы может внести тот факт, что под Камчаткой, по данным Rb-изотопии, присутствует мантийный домен не Тихоокеанских, но Индоокеанских MORB. К этому еще можно прибавить следующее: конечно на Уксичане как таковых нет *адакитов* (общепринятый показатель участия в петрогенезисе расплавов, образующихся при плавлении поддвигаемой литосферной плиты), но явно присутствует *адакитовый компонент*, который, если взглянуть на проблему *адакитовости* шире, может участвовать

в образовании не только магнезиальных пород среднего, но и более основного состава. По крайней мере, значительная часть базальтов и андезибазальтов Уксичана по соотношению Sr-Y попадают в поле адакитовых составов.

Поиск состава мантийного клина на основе соотношения наиболее консервативных некогерентных элементов (Nb, Ta, Zr, Hf, Dy, V, Ho, Er, Tm, Yb) позволяет сделать аргументированный вывод о том, что состав субстрата для докальдерных вулканитов более деплетированный, чем для посткальдерных образований. К этому хотелось бы получить информацию и о степени плавления этого субстрата.

Важной особенностью вещественного состава изученных вулканитов является наличие субвертикального мантийного тренда на Pb-изотопных диаграммах, столь необычного для островодужных серий, который автор связывает с наличием под Камчаткой изотопного домена I-MORB типа. Следует отметить, однако, что этот домен, выделенный впервые еще в работе (Machida et al., 2009), имеет площадной характер, тогда как подобные субвертикальные тренды локально распространены только в пределах так называемой Центрально-Камчатской изотопной аномалии (например, Колосков и др., 2014) и являются отражением OIB-источника.

Большая работа проведена соискателем по части числового моделирования P-T параметров условий возникновения и эволюции расплавов для различных этапов развития флюидно-магматической системы Уксичан на основе известной программы КОМАГМАТ (Ariskin et al., 1993). В результате для докальдерной стадии и поздних щитообразных проявлений была предложена декомпрессионно-изобарическая, а для базальтов ареальных конусов декомпрессионная модель развития системы. Эти выводы можно считать вполне приемлемыми, поскольку они согласуются с геологическими, минералогическими и петрохимическими материалами. Некоторые коррективы может внести анализ геохимических материалов. На Уксичане отсутствует так называемый внутриплитный тип вулканитов, тогда как по изотопным данным его можно было бы ожидать. Конечно исходные расплавы для этой магматической системы были изначально водными, о чем в частности свидетельствует активная постмагматическая переработка изверженных пород. Судя по минералогическим данным, эволюция расплавов происходила в основном при титано-магнетитовом (а не шпинелевом!) контроле. Раннее фракционирование титаномагнетитов, возможно, способствовала отделению от расплавов титана и других высокозарядных элементов, т.е. исчезновению внутриплитных характеристик при сохранении присущих этому типу (для соответствующих пород Срединного хребта Камчатки) изотопных составов.

Геодинамическая обстановка проявления вулканизма на Уксичане рассматривается М.Ю. Давыдовой с точки зрения концепции *астеносферных окон* в субдукционном механизме магмогенеза. И это оправдано в любом случае - говорим ли мы об участии ОИВ-мантийного источника, или о взаимодействии Тихоокеанского и Индоокеанского мантийных доменов, как предлагает соискатель.

В целом можно сказать, что М.Ю. Давыдова справился с поставленной задачей. Все четыре защищаемые положения полностью раскрыты и доказаны в соответствующих разделах диссертации.

Актуальность проведенных исследований не вызывает сомнений. Длительно развивавшийся вулканический центр Уксичан является отражением грандиозного геологического события (по объему извергнутого материала превосходит все известные на Камчатке близкие по возрасту центры проявления вулканизма), недостаточно изученного работами предшественников. Многие вопросы петрогенезиса этой флюидно-магматической системы являются проблемными (соотношение геохимических и изотопных характеристик, адакиты и адакитовый компонент, изначально водный состав расплавов, раннее фракционирование титаномагнетитов, астеносферные окна и субдукционный механизм) и рассмотрение их в представленной работе проведено на современном уровне. Содержание диссертационной работы М.Ю. Давыдовой и её опубликованных работ полностью отвечает тематике заявленных исследований, а сделанные в работе выводы и заключения полностью согласуются с геолого-геофизическими данными по современным вулканам Камчатки.

Работа проведена на высоком профессиональном уровне, хорошо оформлена и отредактирована по своему содержанию в полной мере отвечает требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а, как всякое серьезное, многостороннее исследование вызывает вопросы и научную дискуссию.

Практическая значимость проведенных М.Ю. Давыдовой работ также очевидна: это хорошо обработанная коллекция из 156 геологических проб и образцов, 252 новых химических анализов пород, широкий набор микрокомпонентов, выполненных по 81 пробе современными методами (ICP-MS), впервые для данного региона полученные изотопные характеристики ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$, $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, ^{18}O) для 10-ти образцов, 20 полированных препаратов, минералогия которых изучена с помощью микрозондового анализа. Эти материалы могут быть использованы в научном и образовательном процессах как пример хорошо выполненного комплексного анализа конкретной флюидно-магматической системы.

М.Ю. Давыдова в текущем году проводит уже свой четвертый полевой сезон на Камчатке в составе петрологических отрядов Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН.

Предполагается и в дальнейшем развивать эти контакты, которые позволят лучше пропагандировать и развивать накопленный соискателем опыт комплексного изучения подобных центров в ДВГИ и ИВиС ДВО РАН, в ИГХ СО РАН а также в других организациях системы Академии Наук.

Автореферат полностью отражает содержание работы.

Соискатель безусловно заслуживает присуждение ей ученой степени кандидата геолого-минералогических наук.

Отзыв заслушан и одобрен в качестве официального отзыва головной организации на заседании Ученого Совета ИВиС ДВО РАН (протокол №4 от 29.07.2014 года).

Зав. лабораторией петрологии и геохимии ИВиС ДВО РАН

Д.г.- м.н.

Колосков А.В.

Ученый секретарь Совета
канд. геол.-мин. наук

Леонов В.Л.

