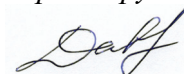


На правах рукописи



УДК 552.11 : 551.21.03 (571.66)

ДАВЫДОВА Мария Юрьевна

**ПРОИСХОЖДЕНИЕ И ЭВОЛЮЦИЯ МАГМ ВУЛКАНИЧЕСКОГО
ЦЕНТРА УКСИЧАН (СРЕДИННЫЙ ХРЕБЕТ КАМЧАТКИ)**

Специальность 25.00.04 - петрология, вулканология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Владивосток
2014

Диссертационная работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Дальневосточном геологическом институте Дальневосточного отделения РАН

Научный руководитель:

кандидат геолого-минералогических наук,
Перепелов Александр Борисович
(ИГХ СО РАН, г. Иркутск)

Официальные оппоненты:

доктор геолого-минералогических наук,
Изох Андрей Эмильевич
(ИГМ СО РАН, г. Новосибирск)

кандидат геолого-минералогических наук,
Дриль Сергей Игоревич
(ИГХ СО РАН, г. Иркутск)

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН
(г. Петропавловск-Камчатский)

Защита диссертации состоится «24» сентября 2014г. в 10 часов на заседании диссертационного совета Д 005.006.01 при Дальневосточном геологическом институте ДВО РАН по адресу: 690022, г. Владивосток, пр-т 100 лет Владивостоку, 159. Факс: +7 (423)231-78-47; E-mail: fegi@vlad.ru, office@fegi.ru

С диссертацией можно ознакомиться в Центральной научной библиотеке ДВО РАН.

Отзывы в двух экземплярах, заверенные печатью организации, просим направлять по адресу: 690022, г. Владивосток, пр-т 100 лет Владивостоку, 159, ученому секретарю диссертационного совета Д 005.006.01.

Автореферат разослан « » июля 2014г.

Ученый секретарь
Диссертационного совета,

Кандидат геолого-минералогических наук



Б.И. Семеняк

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. За последние тридцать лет опубликовано большое количество работ по геолого-структурным (Авдейко и др., 2002; Апрельков, Попруженко, 1984; Очерки тектонического.... 1987; Шеймович, Патока, 1989 и др.), минералогическим, петрохимическим и изотопно-геохимическим (Волынец и др., 1990; Волынец, 1993; Геохимическая типизация....1990; Колосков, 2001; Перепелов, 1989; Пополитов, Волынец, 1981; Churikova et al., 2001; Duggen et al., 2007; Кеpezhinskas et al., 1997; Portnyagin et al., 2001 и др.) особенностям четвертичного вулканизма Камчатки. Вместе с тем в литературе очень мало (Волынец и др., 1999; Горбоч, 2013; Мартынов и др., 2005; Перепелов, 2004, 2005; Хубуная С.А. и др., 2007; Ozerov, 2000; Ozerov et al. 1996, 1997) комплексных петролого-геохимических описаний долгоживущих вулканических центров, выполненных на современном уровне и направленных на решение важных вопросов субдукционного петрогенезиса и геодинамики. Немногочисленна информация и о физико-химических условиях кристаллизации, что затрудняет оценку термодинамических параметров зарождения и эволюции расплавов.

В диссертации сделана попытка решения некоторых из перечисленных вопросов на примере одного из крупнейших вулканических центров Срединного хребта Камчатки – Уксичан. Его становление и развитие происходило в слабо изученный период тектонической перестройки полуострова, прекращения активности древней зоны субдукции и зарождения новой, современной.

Цель исследований. Реконструкция условий происхождения и эволюции разновозрастных магм плиоцен – поднеплейстоцен-голоценового вулканического центра Уксичан на основании новых прецизионных аналитических данных по минералогическому и изотопно-геохимическому составу пород различных возрастных этапов формирования.

В ходе исследований были выполнены:

1. Микроскопические и микрозондовые исследования минералов-вкрапленников разновозрастных эффузивных и экструзивных образований.
2. Анализ распределения петрогенных оксидов, микроэлементов, радиогенных (Sr, Nd, Pb) и стабильных изотопов (O) в преимущественно основных разновидностях пород.
3. Реконструкция состава и вклада в магмогенезис субдукционных и мантийных компонентов.
4. Расчет термодинамических параметров кристаллизации магматических расплавов (T, P, fO₂), оценка роли фракционной кристаллизации в их эволюции.
5. Оценка геодинамического режима формирования вулканогенных серий в плиоцен - голоцене.

Научная новизна исследований. Впервые дана детальная петрологическая и изотопно-геохимическая характеристика пород различных этапов развития вулканического центра Уксичан, включая плиоценовый, совпадающий со временем геодинамической перестройки Камчатки. Проведена оценка возможных механизмов образования высокоглиноземистых лав, роли кристаллизационного фракционирования в магматической эволюции. Предложена взаимосогласованная петрологическая модель строения и эволюции питающей системы вулканического центра, согласующаяся с геолого-геофизическим данным по современным вулканам Камчатки.

Практическая значимость. Новые минералогические и геохимические данные, полученные в ходе выполнения работы, могут быть использованы при дальнейших исследованиях вулканизма Камчатки, построении моделей генерации магм, реконструкции геодинамической истории развития региона.

Фактический материал и личный вклад автора. Автор принимал непосредственное участие во всех этапах исследований: от полевых работ и камерального изучения, до их интерпретации и формулировки окончательных выводов.

В распоряжении диссертанта имеется коллекция из 156 геологических проб и образцов, собранная в ходе предшествующих экспедиционных исследований и любезно предоставленная А.Б. Перепеловым. 30 образцов были отобраны автором в результате экспедиции 2009 года с

участием сотрудников Дальневосточного геологического института ДВО РАН, Института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН.

Всего было описано 155 прозрачных шлифов; выполнено 240 валовых химических анализов, включающих определение содержаний петрогенных оксидов и микроэлементов. Для 13 представительных образцов получены данные по распределению радиогенных ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$) и стабильных изотопов. 20 полированных шлифов были изучены микронзондовым методом.

При интерпретации полученных данных, автор использовал опыт, полученный при работе в Дальневосточном геологическом институте (2007-2014 гг.), стажировке в Московском государственном университете им. М.В. Ломоносова и Институте геохимии РАН им. Вернадского (2009-2011 гг.), участии в работе международной полевой вулканологической школы на Камчатке (влк. Плоский Толбачик, 2011).

Для решения поставленных задач соискатель стремился придерживаться максимальной комплексности исследований, использовать различные современные методы и подходы.

Основные защищаемые положения:

1. Изотопно-геохимические характеристики разновозрастных базальтов долгоживущего вулканического центра Уксичан (Срединный хребет Камчатки) указывают на их происхождение из гетерогенного мантийного источника, в различной степени деплетированного в отношении «консервативных» некогерентных элементов (Nb, Ta, Zr, Hf, HREE) и метасоматически преобразованного субдукционными компонентами (водный флюид, расплав/надкритический флюид).

2. Минералогические, геохимические и изотопные данные, в сочетании с результатами математического моделирования, свидетельствуют о преобладающей роли фракционной кристаллизации в магматической эволюции центра.

3. Происхождение высокоглиноземистых плиоценовых базальтов и андезибазальтов центра Уксичан связано с декомпрессионно-изобарическим фракционированием ранних, обогащенных водой (~ 2.5 мас.%) мантийных выплавов.

4. Геологические и петрологические данные, особенности поведения свинцовых изотопов подтверждают модель происхождения плиоцен – позднеплейстоцен-голоценовых лав вулканического центра Уксичан в сложном геодинамическом режиме перехода от этапа скольжения океанической литосферной плиты, с разрывом древней олигоцен-миоценовой субдукционной пластины, к формированию современной зоны субдукции.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из 5 глав, Введения и Заключения, общим объемом 151 страница. В работе использованы 47 иллюстраций, 2 фотографии, 15 таблиц. В списке литературы – 175 наименований.

Апробация работы. Материалы диссертации представлялись на IV всероссийском симпозиуме по вулканологии и палеовулканологии «Вулканизм и геодинамика», (Петропавловск-Камчатский, 2009), на всероссийском совещании с международным участием «Современные проблемы геохимии» (Иркутск, 2012), на молодежных конференциях: «Современные проблемы геологии, геохимии и геоэкологии Дальнего Востока России» (Владивосток, 2010), «Современные научные исследования на Дальнем Востоке» (Южно-Сахалинск, 2011), «Современные проблемы геохимии» (Иркутск, 2013) и «Геологические процессы в обстановках субдукции, коллизии и скольжения литосферных плит» (Владивосток, 2014).

По теме диссертации опубликовано 7 работ, из которых две – в российских рецензируемых научных журналах, входящих в список ВАК.

Благодарности. Автор глубоко признателен всем тем, кто оказывал помощь и поддержку в работе над диссертацией – как на этапе полевых исследований, так и в процессе обсуждения результатов и окончательных выводов. Автор искренне благодарен научному руководителю к.г.-м.н. А.Б. Перепелову за обсуждения, замечания и рекомендации, позволившие значительно улучшить качество диссертации. Особую признательность хочется выразить д.г.-м.н. Ю.А. Мартынову и к.г.-м.н. А.А. Чашину за постоянную неоценимую помощь в работе, полезные

советы и поддержку на протяжении всех этапов исследований, а также д.г.-м.н. А.А. Арискину – за консультации и помощь в освоении методов компьютерного моделирования. Автор признателен чл.-кор. В.Г. Сахно, д.г.-м.н. О.В. Авченко д.г.-м.н. С.В. Высоцкому д.г.-м.н. В.Г. Гоневчуку, д.г.-м.н. И.А. Тарарину, к.г.-м.н. С.О. Максимову, к.г.-м.н. В.Ф. Полину за ряд полезных советов при подготовке работы. Особая благодарность к.г.-м.н. В.Л. Леонову, А.Н. Рогозину, д.г.-м.н. А.В. Колоскову, к.г.-м.н. С.А. Хубуная, В.В. Ананьеву, к.г.-м.н. А.А. Максимову за помощь и сотрудничество в организации и проведении полевых работ; М.Г. Блохину, Л.С. Левчуку, В.Н. Залевской, Г.А. Горбач, Е.А. Ткалиной, Н.В. Хуркало, А.И. Алексеевой, В.Н. Каминской, Н.И. Екимовой - за аналитическое обеспечение исследований. За предоставленный каменный материал автор выражает искреннюю признательность д.г.-м.н. Перетяжко И.С.; за помощь в техническом оформлении – Н.Н. Семеновой, А.В. Ветошкиной.

Полевые и лабораторные исследования осуществлялись благодаря финансовой поддержке грантов РФФИ (№ 13-05-00100; 13-05-12090), а также грантов руководителем которых являлся автор работы РФФИ № 12-05-31046 и ДВО РАН № 10-III-B-08-202; 12-III-B-08-159; 13-III-B-08-186, 14-III-B-08-175.

Глава 1. Геолого-геофизические особенности строения и история геодинамического развития Камчатки в позднем кайнозое.

В данной главе, на основе литературных данных, приведено описание геологического строения и основных этапов геодинамического развития островодужной системы Камчатки. Изложены представления об истории формирования вулканического пояса Срединного хребта.

Камчатка является одним из наиболее молодых и тектоно-магматически активных участков зоны перехода от Тихого океана к Азиатскому континенту (Очерки тектонического....., 1987). На юге структурные элементы полуострова продолжают тектоническую систему Курильской островной дуги, а на севере переходят в Корякскую складчатую область, находящуюся в стадии орогенеза (рис.1). С востока к ней причленяется Алеутская островная дуга. Всё это вносит специфические особенности в геологическое строение полуострова. Наряду с типичными островодужными тектоническими элементами (глубоководный желоб, внешняя невулканическая и внутренняя вулканическая дуги), здесь присутствуют и ряд нестандартных структурных образований, таких как тыловой вулканический пояс Срединного хребта, Центрально-Камчатская депрессия, Малко-Петропавловская зона поперечных разломов (Эрлих, 1973; Леглер, 1977; Пополитов, Волюнец, 1981 и др.).

Начало формирования позднекайнозойской островодужной системы приходится на поздний олигоцен – ранний миоцен. Но только в конце миоцена – начале плиоцена, после заложения северного отрезка Курило-Камчатского глубоководного желоба, регион приобретает все черты, присущие островной дуге в тектоническом понимании этого термина, включая глубоководный желоб и сопряженные с ним пояса наземного вулканизма. (Петрология и геохимия, 1987). Вулканогенные толщи слагают несколько разновозрастных вулканических поясов северо-восточного простирания: Срединного хребта (Центрально-Камчатский), Центрально-Камчатской депрессии, Восточной и Южной Камчатки.

Вулканический пояс Срединного хребта Камчатки представляет собой зону развития позднекайнозойских вулканогенных толщ на фундаменте, сложенном более ранними олигоцен-миоценовыми эффузивами. Общая протяженность пояса достигает более 700 км – от вулкана Хангар на юге до широты Корякского перешейка, при ширине до 100 км. По данным С.Т. Балесты (1981), мощность континентальной коры под вулканическим поясом Срединного хребта составляет 35-40 км. В пределах южного его окончания кайнозойские эффузивы перекрывают гранито-метаморфические комплексы домезозойского и мезозойского возраста.

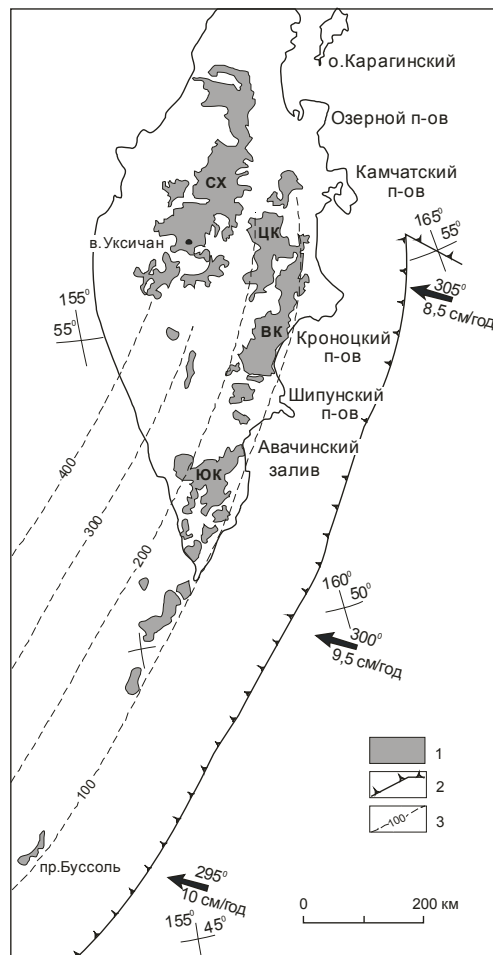


Рис. 1. Распределение позднекайнозойских вулканогенных толщ Камчатской островодужной системы по (Авдейко и др., 2002).

Условные обозначения: 1 – плиоцен-четвертичные вулканогенные толщ; 2 – осевая зона глубоководного желоба; 3 – изолинии глубины до сейсмофокальной зоны в км. Стрелками показано направление и скорость движение Тихоокеанской плиты.

Вулканические зоны: СХ – Срединный хребет, ЦКД – Центрально-Камчатская депрессия, ВК – Восточная Камчатка, ЮК – Южная Камчатка.

В истории плиоцен-четвертичного вулканизма Срединного хребта могут быть выделены два крупных этапа вулканической активности. На *первом этапе* (плиоцен) образуются контрастные базальт-дацитовые толщ известково-щелочного ряда (алнейская серия). Наибольшим распространением они пользуются в восточной части Срединного хребта (хребты Быстринский, Козыревский, Крюки, Столбовая тундра). *Второй этап* развития связан с четвертичным вулканизмом, который проявился преимущественно в водораздельной части Срединного хребта и на его западных склонах, а также, незначительно, на восточных. Формирование новейшей зоны вулканизма началось с развития комплекса платоэффузивов и щитообразных вулканов, а также отдельных страто- и кальдера-вулканов. В этот период времени, наряду с известково-щелочными породами, накапливались субщелочные и щелочные лавы. В позднем плейстоцене и голоцене вулканизм в Срединном хребте приобретает характер массовых излияний недифференцированных известково-щелочных базальтов, которые образуют щитовые вулканы, близкие к исландскому типу, и ареальные зоны шлаковых и лавовых конусов.

Глава 2. История изученности и геологическое строение вулканического центра Уксичан.

В главе изложены и суммированы результаты предшествующих геологических исследований.

Вулканический центр Уксичан расположен в осевой зоне центрального сектора вулканического пояса Срединного хребта Камчатки (рис. 2). Диаметр этого, одного из крупнейшего вулканического сооружения, достигает 54 км, а объем изверженного материала составляет $\sim 750 \text{ км}^3$ (Кожемяка, 1995, 2001). Центральная часть структуры осложнена кальдерной депрессией диаметром до 15 км и глубиной до 900 м. Кровля мелового фундамента залегает на глубине 2-4 км, а гранитно-метаморфического слоя – не более 6 км (Балеста и др., 1977), при общей мощности консолидированной коры 28-30 км.

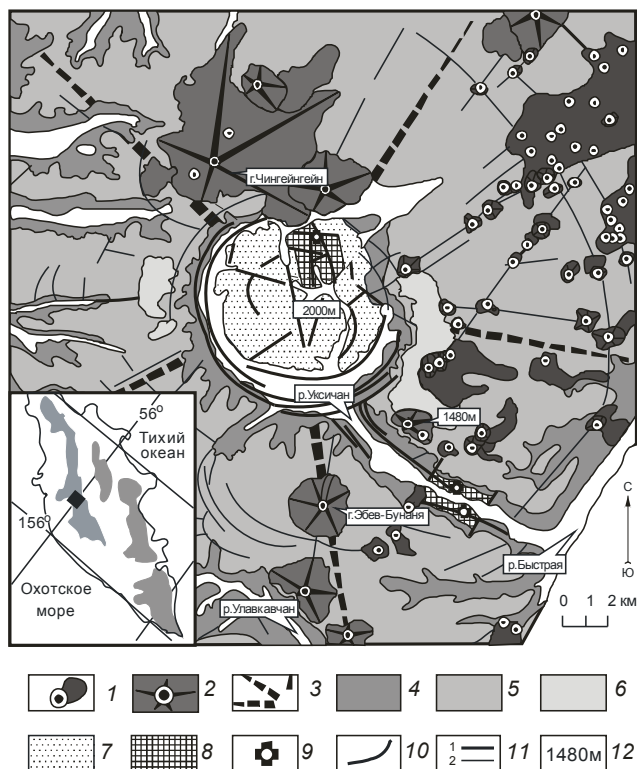


Рис. 2. Схема геологического строения вулкана Уксичан по (Стефанову, Широкому, 1980), с небольшими изменениями.

На врезке: положение вулкана Уксичан (залитый знак ромба) и вулканических поясов Камчатки по (Авдейко и др., 2002), с небольшими изменениями.

Условные обозначения: 1 – голоценовые (Q_4) ареальные шлаково-лавовые вулканические конусы (Mg-базальты и андезибазальты, их туфы и шлаки); 2 – позднеплейстоценовые (Q_3) щитообразные вулканические постройки (базальты, андезибазальты, андезиты); 3 – плиоценовая (N_2) постройка вулкана Уксичан; 4 – стратовулкан (высококалийный базальт); 5 – щитовой вулкан (лавы латитов); 6 – кальдерообразование (кварцевые латиты и их игнимбриты); 7 – внутрикальдерный экструзивный комплекс (высококалийный дациты, трахидациты); 8 – миоцен-плиоценовый (N_1-N_2) вулканогенный фундамент; 9 – участки эпитермального оруденения; 10 – кольцевые разрывные нарушения кальдеры; 11 – разрывные нарушения кальдеры, грабена долины р. Уксичан и вулканогенного фундамента (1), другие предполагаемые и дешифрованные разрывные нарушения (2); 12 – максимальные и маркирующие абсолютные высотные отметки, наименования горных сооружений и рек.

Согласно результатам изотопного датирования, формирование собственно постройки вулкана Уксичан произошло в среднем плиоцене ($3.6 \text{ млн. лет по (Перепелов и др., 2006), } 3.56 \pm 0.50 \text{ и } 3.34 \pm 0.07 \text{ млн. лет по (Bindeman et al., 2010), } 3.28 \pm 0.04 \text{ млн. лет по (Костицын, Аносова, 2013))$), в течение исключительно короткого временного интервала $\sim 0.1-0.3 \text{ млн.лет}$. Главные черты строения и истории вулканического сооружения были отражены в работах Н.В. Огородова с соавторами (1967, 1972), В.Н. Скороходова (1976, 1979), Ю.М.

Стефанова и Б.И. Широкого (1980), а также в материалах государственных геологосъемочных работ, выполненных в разные годы ПГО Камчатгеология под руководством В.Н. Гундобина (1965-1967), С.Е. Апрелькова (1965-1966) и М.Г. Патоки (1984). В работах Э.И. Пополитова и О.Н. Волынца (1981), а также О.Н. Волынца с соавторами (1986) в общих чертах были затронуты петрологические и геохимические вопросы формирования вулкана Уксичан. Авторы впервые отметили, что серия, развитых здесь лав, является типичным представителем абсарокит-шошонит-латит-трахитовой серии, наблюдаемых во многих островных дугах и окраинах вулканических поясах. Петрологические исследования позволили выделить геохимические типы пород (Антипин и др., 1987; Перепелов, 1989) и предложить геодинамическую реконструкцию истории развития (Антипин и др., 1987). Магматические расплавы известково-щелочного базальтоидного и шошонит-латитового составов рассматривались как разноглубинные, образовавшиеся в результате эволюции различных родоначальных магм. При этом генезис высококалийных лав связывался с низкими степенями плавления интенсивно метасоматизированного глубинного субстрата. А.О. Волынец с соавторами (Волынец и др., 2005; Volynets et al., 2010) высказала предположение о связи вариаций составов позднеплейстоцен-голоценовых вулканитов Срединного хребта со смещением трех магматических источников: (1) деплетированного N-MORB-типа, (2) обогащенного OIB-типа и (3) флюида, образовавшегося в результате дегидратации субдуцирующей плиты.

В строении вулканического центра Уксичан принимают участие: (1) плиоценовая постройка вулкана Уксичан (N_2), включающая вулканические аппараты центрального типа: стратовулкан, щитовой вулкан, кальдера-вулкан; (2) позднеплейстоцен-голоценовые щитообразные вулканы (Q_3) и ареальные конуса (Q_4).

В *плиоцене* (N_2) формируются стратовулкан, щитовой вулкан и кальдера-вулкан (рис. 2). Начало вулканической деятельности связано с извержениями эффузивно-пирокластического материала, представленного лавами высококалийных (ВК) базальтов, их аглютинатов, агломератов и псефитовых туфов, реже – магнезиальных (Mg) и глиноземистых (Al) разновидностей ВК-базальтов, ВК-андезибазальтов (Перепелов, 1989). В дальнейшем, вероятно после незначительного перерыва в вулканической деятельности, началось формирование щитовой постройки, сложенной лавами ВК-базальтов, ВК-андезибазальтов, латитов, кварцевых латитов и их игнимбритов. Протяженные потоки латитов (до 20 км), являющиеся для разрезов вулкана Уксичан маркирующими, завершают формирование щитовой постройки. После этого, по системе кольцевых разломов, происходило обрушение центрального блока, с формированием кальдеры.

Синхронно с кальдерообразованием и в посткальдерный этап в центральной части структуры образовался экструзивный комплекс. За пределами кальдеры формируются небольшие по площади покровы лав ВК-андезитов и андезидацитов, реже – трахидацитов и трахириодацитов (Перепелов, 1989). В центральной части кальдеры образуется гигантский экструзивно-эффузивный купол ВК-дацитов. По периферии кальдеры, вблизи кольцевых разломов, произошло внедрение субвулканических тел трахидацитов и трахириодацитов. Завершение магматической деятельности вулкана Уксичан повлекло за собой интенсивную гидротермальную переработку пород экструзивных фаций в северо-восточной части кальдеры (ВК-андезиты, латиты). Здесь отмечаются процессы цеолитизации, алунификации, сульфидизации, пропилитизации и окварцевания вплоть до появления кварцевых прожилков и массивных вторичных кварцитов (Перепелов, 1989).

В *позднем плейстоцен-голоцене* происходит формирование вдоль разломных зон северо-восточного простирания базальт-андезибазальт-андезитовых щитообразных вулканов (Q_3) (гора Чингейнгейн, гора Эбев-Бунаня, в.1480.8 м) и моногенных шлаковых вулканических конусов ареального типа (Q_4), сложенных Mg-базальтами, реже, андезибазальтами (Перепелов, 1989).

Глава 3. Петрография и минералогия пород вулканического центра.

В главе рассмотрена эволюция составов минеральных парагенезисов разновозрастных пород вулканического центра Уксичан.

Породы стратовулкана Уксичан (N_2) характеризуются последовательной сменой парагенезисов от $Pl+Ol+Cpx\pm TiMgt\pm Orx$ в ВК-базальтах, до $Pl+Orx+Cpx\pm TiMgt\pm Ol$ в ВК-андезитах. Высокоглиноземистые ВК-андезибазальты не отличаются от умеренноглиноземистых аналогов по набору и составу минералов-вкрапленников. Например, состав плагиоклаза в тех и других породах варьирует в одном и том же интервале $An_{87} - An_{52}$.

Важной, не отмеченной ранее, минералогической особенностью некоторых образцов ВК-базальтов, ВК-андезибазальтов и ВК-андезитов стратовулкана и ВК-андезибазальтов щитового вулкана Уксичан (N_2) являются гибридные ассоциации фенокристаллов плагиоклазов и пироксенов с прямой, обратной и ритмичной зональностью. При этом составы минералов достаточно близки между собой, что противоречит их происхождению в результате коровой контаминации или смешения различных по составу магм. Образование гибридных минеральных ассоциаций, по-видимому, связано со сложными процессами кристаллизационного фракционирования в периферических магматических очагах - периодическим взламыванием холодных, частично раскристаллизованных приконтактных участков камер новыми порциями расплавов из подводящих каналов или внутренних «горячих» зон.

Вулканиды щитового вулкана и кальдера-вулкана Уксичан (N_2) отличаются от лав стратовулкана более продвинутой степенью дифференциации и присутствием в парагенезисе водных минералов. Ассоциация породообразующих минералов-вкрапленников изменяется от $Pl+Cpx+TiMgt\pm Orx\pm Amp\pm Vi$ в латитах, $Pl+TiMgt+Cpx\pm Orx$ в кварцевых латитах и трахидацитах щитового вулкана (N_2), до $Vi+Amp+Pl+TiMgt\pm Cpx$ в ВК-дацитах и $Pl+Cpx+Orx+TiMgt$ в трахидацитах кальдера-вулкана.

Позднеплейстоцен-голоценовые эффузивы отличаются от пород плиоценового этапа менее продвинутой степенью дифференцированности и составами породообразующих минералов-вкрапленников. Важной особенностью вулканидов поздних щитообразных вулканических построек является присутствие оливина с включениями $Cr-TiMgt$ во всех разновидностях пород вплоть до андезитов. По характеру сростков и включений можно предположить следующий порядок кристаллизации породообразующих минералов: $Ol\pm Px \rightarrow Ol+Px+Pl\pm TiMgt$.

Доминирующий характер оливина в составе минералов-вкрапленников отличает также базальты ареальных конусов от близких по кремнекислотности пород плиоценового и позднеплейстоценового этапов. Установлен следующий порядок кристаллизации минералов: $Ol\pm Px \rightarrow Ol+Px\pm Pl\pm TiMgt$.

Глава 4. Геохимия пород и вещественная эволюция вулканического центра.

В главе изложены основные закономерности эволюции вещественного состава пород вулканического центра Уксичан, рассмотрены вопросы их классификации. Проведено сопоставление геохимических характеристик вулканидов различных возрастных этапов.

Фигуративные точки *плиоценовых лав* на диаграмме $SiO_2 - (Na_2O+K_2O)$ располагаются преимущественно вдоль границы нормальной – и умереннощелочной серии. Все более кислые эффузивы относятся к умеренному и высокощелочному ряду высококалийевой серии (рис. 3). Высокие концентрации калия отличают средние и кислые породы вулкан Уксичан от современных вулканидов Срединного хребта, Центрально-Камчатской депрессии, Восточной и Южной Камчатки (рис. 3).

На диаграммах «петрогенный элемент - MgO » большинство плиоценовых лав (рис. 4), включая вулканиды с гибридными минеральными ассоциациями, формируют единые хорошо выраженные тренды, что подтверждает их происхождение в результате эволюции одного родоначального расплава. Прослеживается отчетливая тенденция уменьшения содержаний когерентных элементов (Cr, Co, Ni, V) и накопления некогерентных (Rb, Ba, Cs, Zr, Th, U) по мере падения магнезиальности пород. Концентрации Sr уменьшаются с ростом

кремнекислотности. Умеренное накопление Th и Nb с падением магнезиальности отличает изучаемые плиоценовые эффузивы от современных, сходных по кремнекислотности, пород Срединного хребта Камчатки (Volynets, 2010).

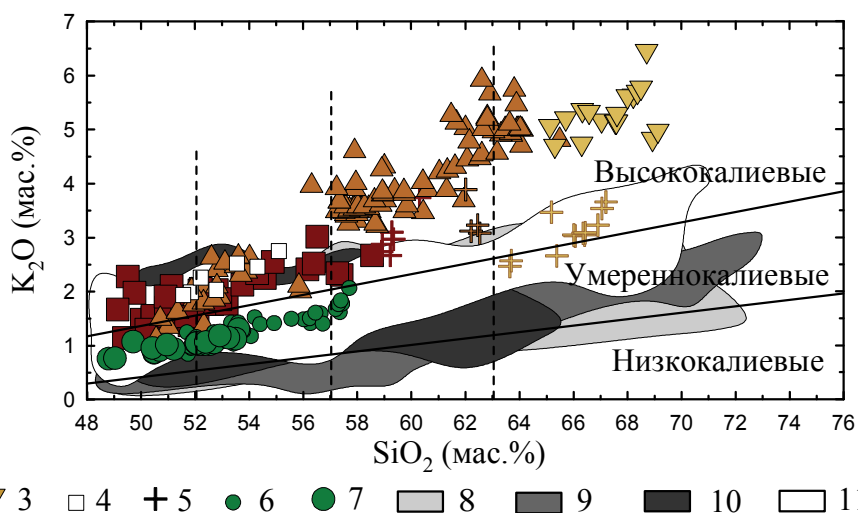


Рис. 3. Классификационная диаграмма SiO₂-K₂O (Петрографический..., 2009) для пород вулканического центра Уксичан (N₂-Q₃₋₄)

Условные обозначения: 1 –стратовулкан Уксичан (N₂); 2 –щитовой вулкан Уксичан (N₂); 3 – кальдера-вулкан Уксичан (N₂); 4 – высокоглиноземистые базальты и андезибазальты стратовулкана и щитового вулкана Уксичан (N₂); 5 – экструзии и субвулканические тела (N₂); 6 –поздние щитообразные вулканические постройки (Q₃); 7 –ареальные конуса (Q₄); 8 – вулканы Южной Камчатки, 9 – Восточной Камчатки, 10 – Центральной-Камчатской депрессии, 11 – Срединного хребта. В построении диаграммы были использованы данные, опубликованные в работах (Bindeman, Bailey, 1994; Churikova et al., 2001; Dorendorf et al., 2000a, 2000b; Dosseto et al., 2003; Duggen, 2007; Hochstaedter, 1996; Kepezhinskas et al., 1997; Kersting, Arculus, 1994; Saha et al., 2005; Volynets et al., 2010).

Составы лав *позднеплейстоцен-голоценовых щитовых построек и ареальных конусов* характеризуются пониженной калиевой щелочностью (умереннокалиевая известково-щелочная серия) (рис. 3). Их петрохимические тренды характеризуются более узким диапазоном вариаций составов (базальт - андезибазальт – андезит), причем андезиты пользуются незначительным распространением и отсутствуют в разрезах пород ареальных конусов (Q₄). Молодые базальты и андезибазальты отличаются от однотипных плиоценовых лав более высокими содержаниями MgO и низкими - FeO и CaO.

Примитивный состав позднеплейстоцен-голоценовых вулканических построек выражается в высоких содержаниях когерентных (Cr, Ni, Co, V) элементов. При этом, закономерно различаются между собой эффузивы поздних щитообразных вулканических построек (Q₃) и ареальных конусов (Q₄). Для последних характерны узкие вариации составов со слабовыраженным накоплением некогерентных элементов (Rb, Ba, Cs, Zr, Th, U).

Вулканогенные образования как плиоценового, так и позднеплейстоцен-голоценового этапов являются типичными представителями островодужной серии, с характерными низкими концентрациями TiO₂, Nb, Ta и повышенными – Al₂O₃, Cs, Rb, Ba, Th, U, K, Sr, Pb. Особенностью позднеплейстоцен-голоценовых эффузивов являются высокие содержания Cr, в ~ 2 раза превышающие таковые в современных эффузивах Срединного хребта, Центрально-Камчатской депрессии, Восточной и Южной Камчатки.

На диаграммах изотопных отношений (рис. 5А) фигуративные точки плиоценовых и позднеплейстоцен-голоценовых вулканических построек ложатся в поле магматических образований Срединного хребта, отличаясь от пород Восточной и Южной Камчатки субвертикальной ориентировкой по отношению к линии средних составов океанических базальтов Северного полушария (NHRL).

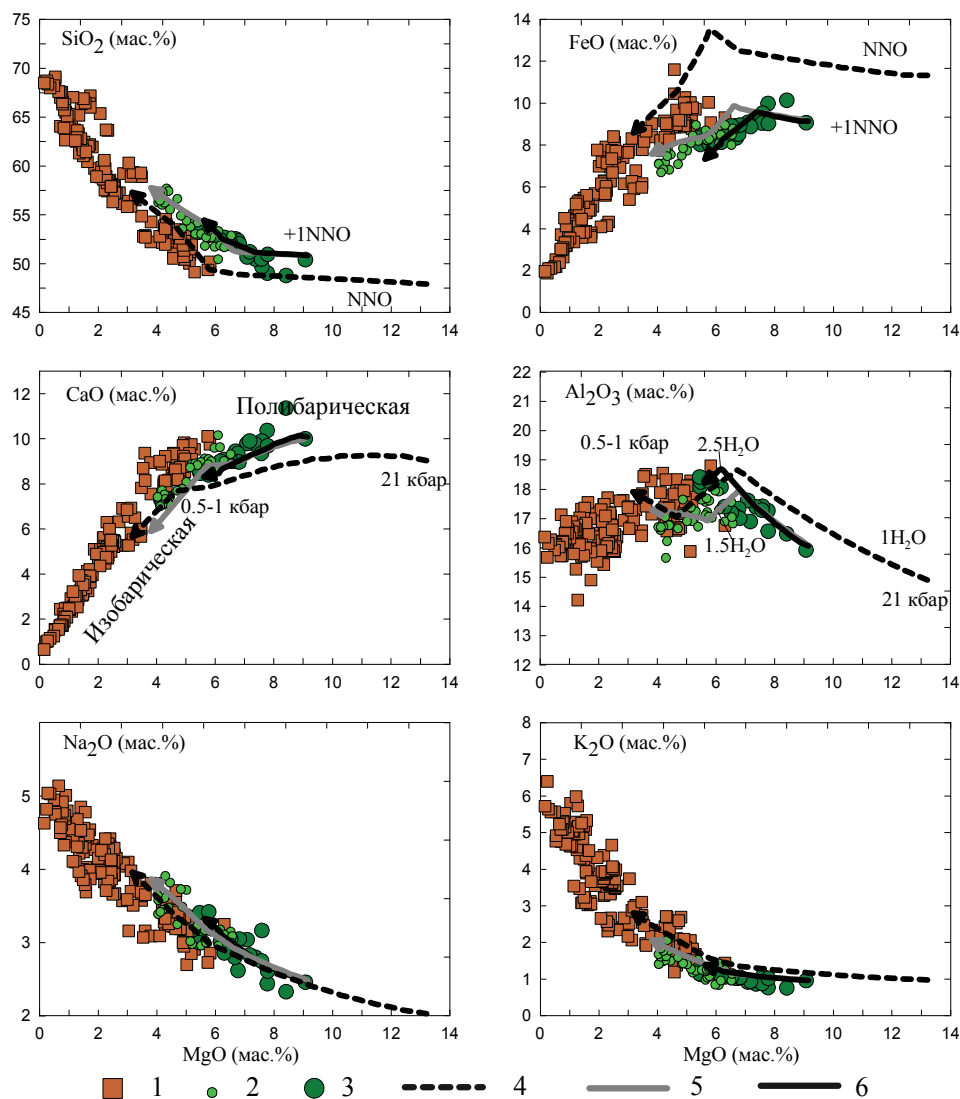


Рис. 4. Природные и рассчитанные тренды эволюции лав вулканического центра Уксичан
1 – 3 природные тренды вулкана Уксичан (1), поздних щитообразных вулканических построек (2), ареальных конусов (3); **4-6** - рассчитанные траектории дифференциации родоначальных магм вулкана Уксичан (4), поздних щитообразных вулканических построек (5), ареальных конусов (6).

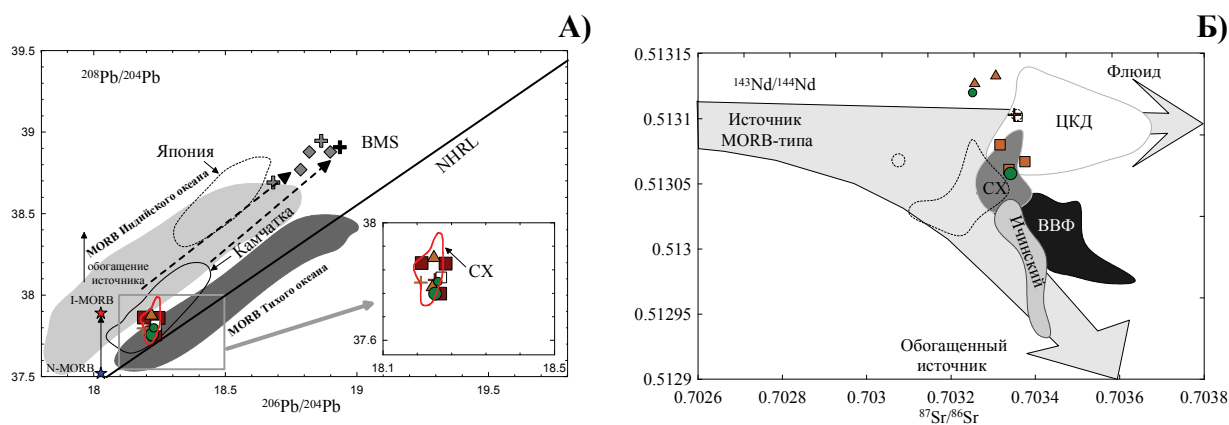
Для вулкана Уксичан (N_2) – «декомпрессионная-изобарическая» фракционная кристаллизация, начальное давление $P_n = 21$ кбар, конечное $P_k = 1$ кбар, содержание воды 1 мас.%, $fO_2 = NNO$, скорость декомпрессии -0.4 кбар/%крист, максимальная степень фракционирования 65 %;

Для поздних щитообразных вулканических построек (Q_3) – «декомпрессионная-изобарическая» фракционная дифференциация, начальное давление $P_n = 10$ кбар, конечное $P_k = 0.5$ кбар, содержание воды 1.5 мас.%, $fO_2 = +1$ NNO, скорость декомпрессии -0.3 кбар/%крист, максимальная степень фракционирования 55 %;

Для ареальных конусов (Q_4) – «декомпрессионная» фракционная кристаллизация, начальное давление $P_n = 10$ кбар, содержание воды 2.5 мас.%, $fO_2 = +1NNO$, скорость декомпрессии -0.25 кбар/%крист, максимальная степень фракционирования 35 %.

Отношения $^{87}Sr/^{86}Sr$ и $^{143}Nd/^{144}Nd$ в плиоценовых и позднеплейстоцен-голоценовых эффузивах, в целом, близки между собой (рис. 5Б).

Породы плиоценового вулкана Уксичан, кроме того, отличаются небольшими вариациями $\delta^{18}O$: 5.4 - 5.6‰ для ВК-базальтов и андезибазальтов, 5.7-6.1‰ для ВК-андезитов и ВК-дацитов, и соответствуют неизменным породам мантийного генезиса (6.0 ± 0.5 ‰ по Taylor, 1968).



■ 1 ▲ 2 □ 3 + 4 ● 5 ● 6 + 7 ◆ 8 + 9

Рис. 5. Изотопные отношения $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ – $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ и $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ – $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ в разновозрастных базальтах вулканического центра Уксичан.

Условные обозначения: 1 – ВК-базальты стратовулкана Уксичан (N_2); 2 – ВК-базальты и ВК-андезиобазальты щитового вулкана Уксичан (N_2); 3 – высокоглиноземистые ВК-базальты и ВК-андезиобазальты (N_2); 4 – ВК-дациты экструзии; 5 – базальты поздних щитообразных вулканических построек (Q_3); 6 – Mg-базальты ареальных конусов (Q_4); 7, 8 – средний состав субдукционного осадка Марианской (7) и Курило-Камчатской (8) островных дуг по (Мартынов, 2010б); 9 – валовый состав океанического осадка BMS (Plank, Langmuir, 1998).

А) На врезке – более крупный масштаб.

NHRL – линия средних составов базальтов северного полушария (по Hart, 1984). Линиями оконтурены поля составов четвертичных пород Камчатки (сплошная линия) и Японии (пунктир), плиоцен-четвертичных лав Срединного хребта (красная линия). Светлосерое поле – MORB Индийского океана, серое – MORB Тихого океана (по Tollstrup, Gill, 2010). Пунктирные стрелки – теоретические линии смещения мантийных выплавки и осадочного материала. Данные из работ (Мартынов, 2010б; Bindeman et al., 2004; Churikova et al., 2001; Dosseto et al., 2003; Duggen et al., 2007; Kepezhinskas et al., 1997; Kersting et al., 1995; Portnyagin et al., 2005; Turner et al., 1998) и неопубликованные данные Перепелова А.Б. ($n=16$).

Б) Поля составов лав Ичинского вулкана (ОИВ) и вулканических поясов Камчатки по (Volynets, 2010) с небольшими изменениями: СХ – Срединный хребет, ВВФ – Восточный Вулканический Фронт, ЦКД – Центрально-Камчатская Депрессия. Пунктирная линия – четвертичные лавы Срединного хребта.

Глава 5. Петрогенезис.

Глава является обобщающей. В ней обсуждаются вопросы состава магматических источников, условий генерации и эволюции первичных магм.

Состав надсубдукционной мантии. Происхождение магматических расплавов в островных дугах и задуговых бассейнах в настоящее время рассматривается как результат парциального плавления надсубдукционной мантии, испытавшей метасоматическое воздействие одного или нескольких субдукционных компонентов (например, Elliot et al., 1997; Hawkenworth et al., 1993).

На многокомпонентных диаграммах, нормализованные к MORB, линии, соединяющие концентрации высоконекогерентных и «консервативных» по отношению к флюидной фазе, элементов (Nb, Ta, Zr, Hf, Dy, Y, Ho, Er, Tm, Yb), позволяют оценить состав мантийного источника (Pearce, 1983; Pearce et al., 2005). Для плиоценовых лав, с аномально низкими нормализованными концентрациями «консервативных» элементов (<1), реконструируется источник значительно более деплетированный по сравнению с N-MORB (рис. 6). Происхождение позднплейстоцен-голоценовых базальтов связано с плавлением сравнительно обогащенного субстрата, близкого по составу (поздние щитообразные вулканические постройки) или незначительно более деплетированного (ареальные конуса), по сравнению с N-

MORB. Эти выводы подтверждают межэлементные отношения высоконекоррентных элементов (Nb/Ta, Nb/Yb и Zr/Hf).

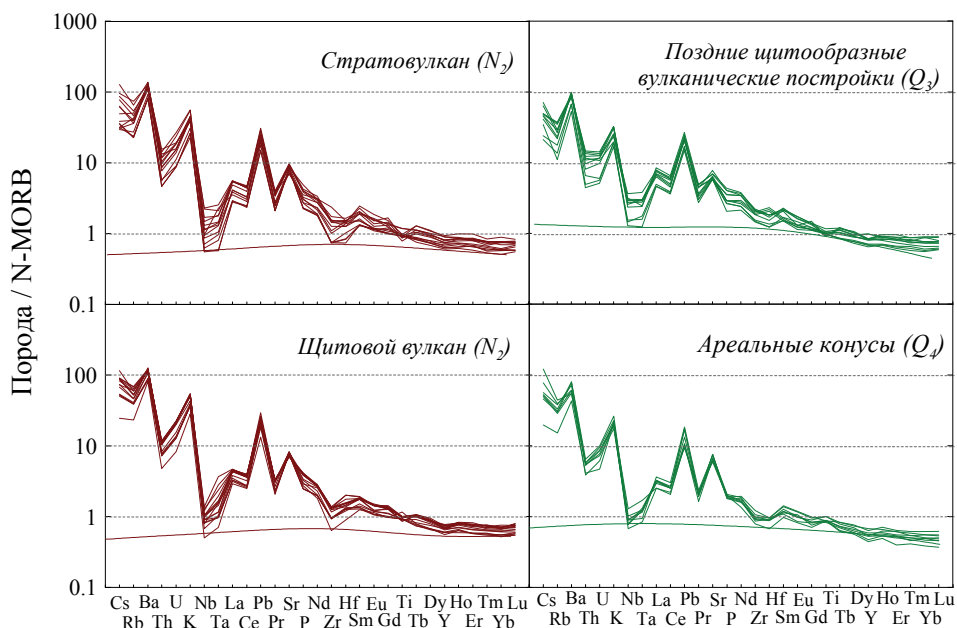


Рис. 6. Содержания «консервативных» некогерентных элементов в основных эффузивах вулканического центра Уксичан, нормализованные к MORB (Sun, McDonough, 1989).

Наклон линий, соединяющих высоко некогерентные, «консервативные» по отношению к водному флюиду элементы, позволяют оценивать степень деплетированности мантийного источника, до его переработки субдукционными компонентами (Pearce et al., 2005).

Субдукционный компонент. Согласно изотопно-геохимическим данным, основную роль в магнезисе разновозрастных лав центра Уксичан играл низкотемпературный водный флюид, деплетированный в отношении большинства микроэлементов, за исключением флюидомобильных (Ba, U, Pb, Cs). Незначительное влияние высокотемпературного субдукционного компонента, расплава и/или надкритического флюида, способного транспортировать большинство некогерентных элементов, включая HFSE и LREE (Pearce et al., 2005), реконструируется только для ранних плиоценовых вулканитов (рис. 7).

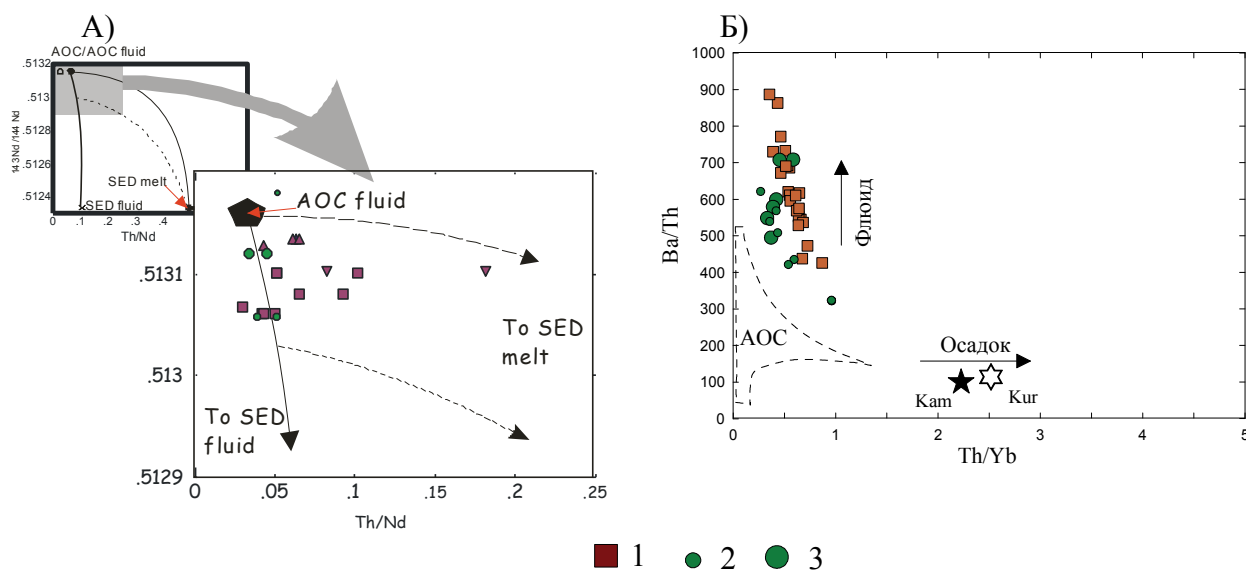


Рис. 7. Диаграммы $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ - Th/Nd (А) и Ba/Th– Th/Yb (Б) для разновозрастных основных лав вулканического центра Уксичан (N_2 - Q_{3-4}).

По (Мартынов, 2013; Мартынов и др., 2010а) с небольшими изменениями.

Условные обозначения: 1 – вулкан Уксичан (N_2), 2 – поздние щитообразные вулканические постройки (Q_3), 3 – ареальные конуса (Q_4).

На диаграмме 7А показаны модельные линии смешения флюидной фазы, образованной при дегидратации измененной океанической коры (АОС fluid) и осадка (SED fluid), с расплавом и/или надкритическим флюидом, результатом высокотемпературного преобразования осадочного материала (SED melt). Состав измененной океанической коры (АОС) и субдукционного флюида по (Ishizuka et al., 2006). Состав флюида и расплава, образовавшихся в результате, соответственно, низко- и высокотемпературного преобразования осадочного материала, рассчитаны с использованием валового состава осадка, погружающего под Курильский (Kur) и Камчатский (Kam) сегменты островной дуги (Plank, Langmuir, 1998), и экспериментально определенных валовых коэффициентов распределения микроэлементов (Johnson, Plank, 1999) - 700°C для флюида и 900°C – для расплава.

На рис. 7Б приведены средние составы осадков, субдуцирующих под Курильский (Kur) и Камчатский (Kam) сегменты островной дуги (Plank, Langmuir, 1998).

Повышенная калиевая щелочность, важнейшая петрохимическая особенность плиоценовых вулканитов центра Уксичан, не сопровождается повышенными концентрациями натрия и титана (рис. 4). Хотя валовый коэффициент распределения последних несколько выше (~ 0.2) (Langmuir et al., 1992.), чем для K_2O (~ 0.01) (Kelemen et al., 1993), при относительно высокой степени парциального плавления все три элемента должны вести себя сходным образом. Аналогичная картина должна наблюдаться и при плавлении обогащенного источника. Например, обогащенная мантия базальтов океанических островов (OIB) характеризуется повышенными концентрациями как калия, так титана и натрия. Различное поведение трех элементов может быть связано с вовлечением в магмогенез субдукционного осадка, отличающегося более высокими концентрациями K_2O по сравнению с мантией N-MORB типа (Мартынов и др., 2009). Но учитывая незначительную роль осадочного материала в происхождении вулканитов центра Уксичан, мы предполагаем присутствие флогопита в магматическом источнике.

Изотопная систематика. Субвертикальный тренд фигуративных точек вулканитов Срединного хребта Камчатки, включая центр Уксичан, на диаграмме $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (рис. 5А) необычен для субдукционных магматитов, поскольку их изотопный состав описывается смешением двух изотопных компонентов – деплетированного мантийного и обогащенного осадочного. Значительные вариации $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ отношения, наблюдаемые в изученных породах, требуют вовлечения в магмогенез третьего компонента. В работах (Вольнец и др., 2005; Churikova et al., 2001; Volynets et al., 2010), в качестве такового предполагался OIB источник, под которым понимался астеносферный материал, локализованный в глубоких горизонтах надсубдукционной мантии и перемещенный в область низких давлений мантийной конвекцией. Но для понимания геологической истории развития Камчатского полуострова необходимо принимать во внимание его локализацию в зоне конвергенции континентальной и океанической литосфер, имеющих различные изотопные характеристики – MORB Индийского и Тихого океанов соответственно (Мартынов и др., 2012). Поскольку они разделены холодной субдуцирующей плитой, их взаимодействие возможно либо при отсутствии субдукции, либо при разрыве субдукционной пластины, с формированием «астеносферных окон» (slab-windows). Первый вариант отвечает северному сегменту Камчатской дуги (Portnyagin et al., 2005); второй - Восточно Сихотэ-Алинскому вулканогенному поясу (Мартынов, Ханчук, 2013). В последнем случае, выявленные изотопно-геохимические признаки взаимодействия двух главных изотопных резервуаров Земли, позволили уточнить представления о происхождении этой крупной мегаструктуры.

Предположение о существовании «астеносферного окна» под Срединным хребтом Камчатки, возникшим в результате разрыва древней олигоцен – миоценовой субдукционной пластины, впервые было высказано в работе (Ханчук, Иванов, 1999). Новые изотопные данные по вулканическому центру Уксичан, а также результаты предшествующих исследователей, подтверждают эту гипотезу

Вопросы эволюции магматических расплавов. Поскольку микроэлементные (Ba/Rb, K/Rb) и изотопные ($^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$, $\delta^{18}\text{O}$) отношения указывают на незначительную роль коровой контаминации в магмогенезисе вулканического центра Уксичан, важнейшую роль в эволюции первичных расплавов как плиоценового, так и позднплейстоцен-голоценового возрастных этапов должна была принадлежать кристаллизационной дифференциации. Компьютерное моделирование, с использованием специализированной программы КОМАГМАТ (Ariskin et al., 1993), подтверждает этот вывод.

Для оценки физико-химических условий кристаллизации (давление, температура, летучесть кислорода, объемы кристаллизующихся фаз), расчетов трендов эволюции остаточных расплавов отбирались образцы с содержанием $\text{MgO} > 8.5$ мас.%, близкие по составу к первичным мантийным выплавкам, находящиеся в равновесии с мантийным Ol_{89-91} (Lee et al., 2009). Поскольку в коллекции пород *плиоценового* возраста такого типа образцы отсутствуют, состав первичных мантийных магм был получен путем пересчета составов природных образцов ($\text{MgO} > 5$ мас.%) на расплавы равновесные с Ol_{90} ($X_{\text{H}_2\text{O}}=0.5\%$) по программе PRIMACALC-2.00 (Kimura, Арискин, 2014, в печати), созданной на основе алгоритмов КОМАГМАТа. Для *позднплейстоцен-голоценовых* вулканогенных образований ареальных конусов и поздних щитообразных вулканических построек в качестве расчетного базиса использовался природный образец (ES-762), с содержанием MgO (9.07 мас.%), лишь незначительно отличающегося от первичных мантийных выплавков, равновесных с Ol_{89-91} (Lee et al., 2009).

Таблица

Составы, используемые в качестве начальных при расчетах.

Этапы вулканизма	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅
N ₂	47.88	0.53	14.89	11.34	0.08	13.25	9.03	2.03	0.98	0.00
Q ₃ -Q ₄	50.41	0.87	15.93	9.07	0.17	9.07	10	2.46	0.96	0.22

Тип кристаллизационной дифференциации, общее давление, содержание воды и фугитивность кислорода в системе оценивались методом подбора параметров для достижения наилучшего совпадения природных и расчетных трендов, ассоциаций и составов породообразующих минералов. Например, высокие концентрации воды сужают поле кристаллизации плагиоклаза, тогда как рост общего давления расширяет область кристаллизации клинопироксена. Следовательно, значение этих двух параметров можно оценить по положению точки перегиба петрохимических трендов в координатах CaO, Al₂O₃ – MgO (рис. 4).

Наилучшее соответствие петрохимических и расчетных трендов для умеренноглиноземистых плиоценовых лав вулкана Уксичан (N₂) наблюдается при использовании комбинированной «декомпрессионно - изобарической» модели, в соответствии с которой на начальном этапе фракционирование расплавов происходит по декомпрессионной модели (начальное давление $P_n=21$ кбар, $T \sim 1420$ °C, NNO, 1 мас. % H₂O, скорость декомпрессии -0.4 кбар/% крист), а затем, при достижения давления ~ 1 кбар (~ 3 км) - по изобарической схеме (рис. 4, 8). Происхождение *плиоценовых высокоглиноземистых вулканитов* связано с высоким давлением и содержанием воды (~ 2.5 мас.%) в ранних первичных выплавках (рис. 8).

При близком составе магматического источника, геохимические отличия базальтов поздних щитообразных вулканических построек и ареальных конусов связаны с особенностями дифференциации их общей родоначальной магмы (рис. 4). Для поздних щитообразных вулканических построек (Q₃) декомпрессионная фракционная дифференциация (начальное давление $P_n=10$ кбар, $T \sim 1220$ °C, +1NNO, 1.5 мас. % H₂O, скорость декомпрессии -0.3 кбар/% крист) ранних этапов магматической эволюции менялась на изобарическую в приповерхностной камере, расположенной на глубине ~ 1.5 км (рис. 4). Базальты ареальных конусов (Q₄) эволюционировали только в условиях декомпрессионной фракционной

кристаллизации, что свидетельствует о быстром подъеме расплавов без длительной задержки в магматической камере. Такая модель, в целом, согласуется с современными представлениями о происхождении ареальных вулканитов. Начало кристаллизации соответствовало давлению 10 кбар, при температуре 1185 °С, фугитивности кислорода +1NNO, содержанию воды в системе 2.5 мас. %. Подъем расплавов к поверхности происходил при скорости декомпрессии 0.25 кбар/% крист (рис. 4).

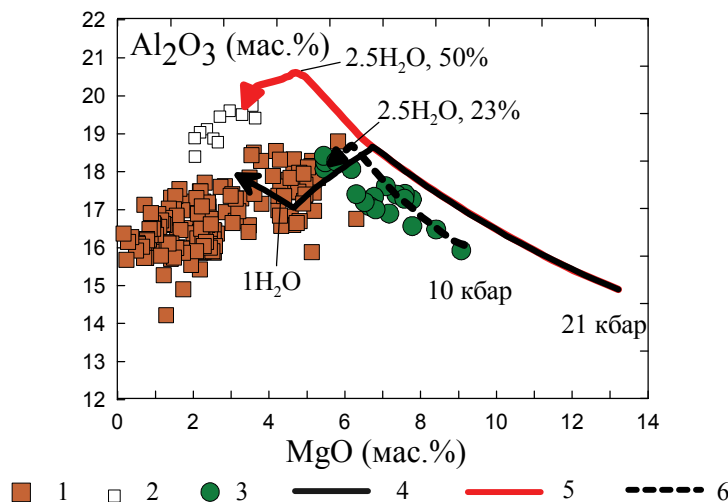


Рис. 8. Расчетные траектории изменения концентрации глинозема в породах вулканического центра Уксичан.

1, 2 – плиоценовые (N_2) лавы вулкана Уксичан: умеренноглиноземистые (1) и высокоглиноземистые (2); 3 – голоценовые (Q_4) базальты ареальных конусов; 4-6 – расчетные тренды фракционной кристаллизации: декомпрессионной-изобарической для плиоценовых умеренноглиноземистых (4) и высокоглиноземистых лав (5), декомпрессионной для голоценовых ареальных вулканитов (6). Цифрами показаны содержания воды (1, 2.5 мас. %), степень фракционирования системы (50%, 23%), начальные давления кристаллизации (10, 21 кбар).

Геодинамика. Закономерная смена характера вулканической активности долгоживущего центра Уксичан от извержений центрального типа в плиоцене (стратовулкан, щитовой вулкан) до ареальных излияний в голоцене косвенно свидетельствуют о нарастании растягивающих напряжений в пределах описываемой территории. Именно с этим процессом, по-видимому, следует связывать изменение изотопно-геохимических характеристик вулканических пород.

Как отмечалось ранее, важная роль «астеносферных» окон в магмогенезисе неоген-четвертичных вулканитов Камчатки, предполагалась в работе (Ханчук, Иванов, 1999). Для юго-восточной Азии аналогичный механизм был предложен М. Флауэром с соавторами (Flower et al., 1998) для объяснения происхождения шошонитовых магм. Предлагаемая нами модель является синтезом двух выше перечисленных гипотез.

Причленение к полуострову Кроноцкой неактивной островной дуги привело к прекращению субдукции, латеральному скольжению океанической плиты относительно Камчатки и, как следствие, разрыву олигоцен – миоценовой субдукционной пластины, формированию «астеносферного» окна (рис. 9). Этот процесс сопровождался орогенцией, утолщением континентальной коры и подстилающей деплетированной и гидратированной литосферы (RLM). Взаимодействие последней с океанической астеносферой выражался в деламинации (отслоении) нижней части литосферы и образовании флогопитсодержащего резервуара, деплетированного в отношении FeO^* , HFSE. Частичное плавление последнего, приводило к появлению насыщенной водой межзерновой магматической жидкости, что, в свою очередь, инициировало мантийный диапиризм. При достижении P-T уровня дегидратация флогопита ($P=7$ GPa и $T=1300$ °C), всплывающий диапир испытывал дальнейшее плавление с образованием первичных магм плиоценовых вулканитов.

Источником первичных расплавов позднеплейстоцен-голоценовых базальтоидов служила обогащенная некогерентными элементами мантия, перемещенная в зону плавления мантийной конвекцией в тылу современной зоны субдукции.

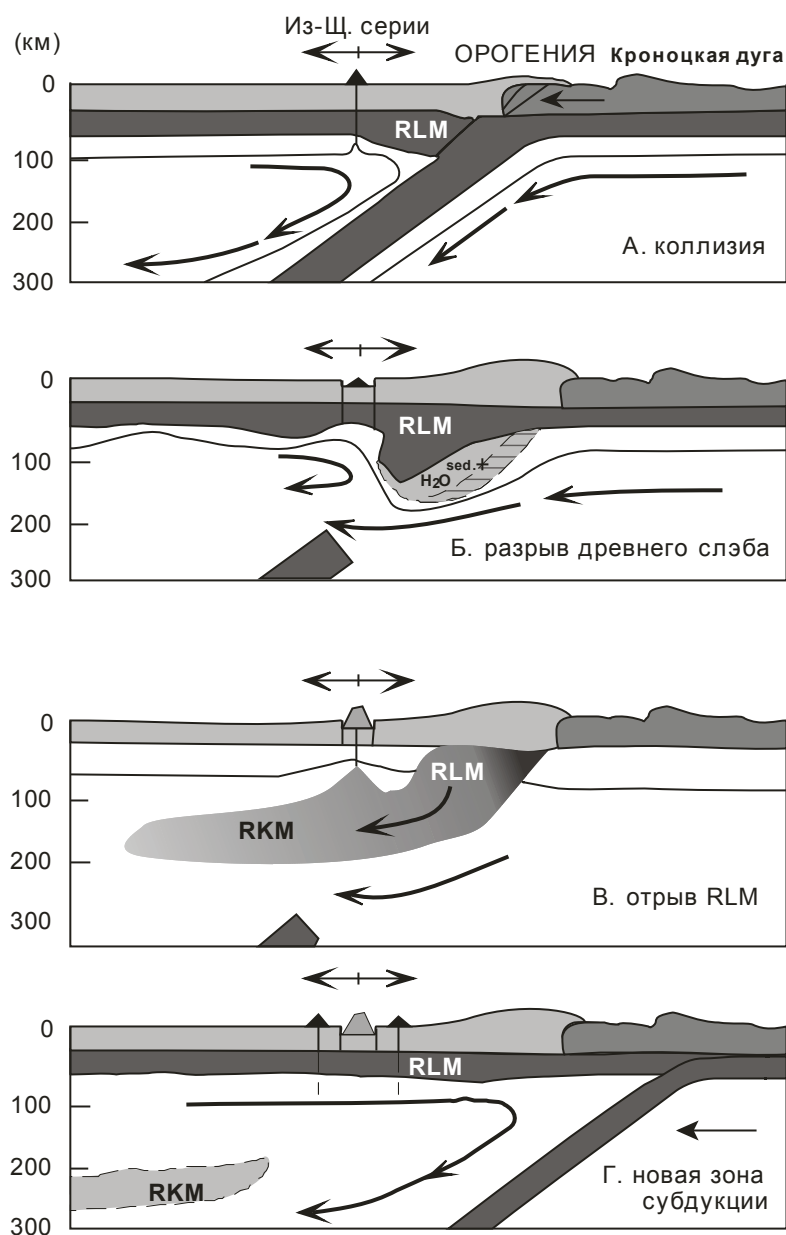


Рис. 9. Образование шшонит-латитовой серии в результате постколлизии разрыва субдукционной плиты по (Flower et al., 1998), с небольшими изменениями.

А) коллизия Кроноцкой островной дуги.

Б) разрыв субдукционного слэба с формированием «астеносферных» окон, дегидратации океанической плиты и гидратации перекрывающей деплетированной литосферной мантии (RLM).

В) тектоническая эрозия контаминированной RLM потоками океанической астеносферы с образованием деплетированного, обогащенного калием источника (RKM).

Г) образование современной зоны субдукции и вовлечение в плавление фертильной мантии, поступающей из тыловой зоны мантийными конвективными потоками.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Детальные минералогические и изотопно-геохимические исследования, результаты математического моделирования позволили реконструировать основные особенности генезиса и эволюции плиоцен-голоценовых лав долгоживущего вулканического центра Уксичан (Срединный хребет Камчатки).

Вулканогенные образования плиоценового возраста, сформированные на этапе тектонической перестройки полуострова, произошли в результате плавления флогопитсодержащего мантийного источника, деплетированного в отношении некогерентных микроэлементов и метасоматически переработанного субдукционными процессами. В составе субдукционного компонента преобладающую роль играл низкотемпературный водный флюид при незначительном влиянии высокотемпературного осадочного субдукционного компонента (расплав/надкритический флюид). Субвертикальный тренд плиоценовых магматитов на диаграмме $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} - ^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ свидетельствует о смешении двух изотопных резервуаров – тихоокеанского и индийского MORB типов. Учитывая конфигурацию границы этих резервуаров в северо-западной Пацифике, это дает основание предполагать разрыв субдуцирующей плиты, взаимодействие океанической и субконтинентальной астеносфер.

Формирование позднеплейстоцен-голоценовых базальтов и андезибазальтов происходило в тыловой зоне современной субдукции. В плавление вовлекалась более обогащенная мантия, близкая по составу к N-MORB типу, метасоматически переработанная низкотемпературным субдукционным компонентом. На диаграмме $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} - ^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ составы молодых лав попадают в поле MORB Тихого океана.

Микроэлементные (Ba/Rb, K/Rb) и изотопные ($^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$) отношения, низкие значения $\delta^{18}\text{O}$, указывают на важнейшую роль кристаллизационной дифференциации в эволюции первичных расплавов, как плиоценового, так и позднеплейстоцен-голоценового возраста.

Первичные магмы плиоценовых вулканитов испытывали декомпрессионную фракционную кристаллизацию, что свидетельствует о сравнительно быстром подъеме расплавов к поверхности. На заключительном этапе дифференциация расплавов происходила по изобарической схеме в близповерхностной магматической камере, располагавшейся на глубине ~ 3 км. Обрушение кровли этой камеры привело к возникновению кальдеры.

Происхождение плиоценовых высокоглиноземистых базальтов связано с высоким содержанием воды в первичных расплавах (~ 2.5 мас.%), образованных на начальных этапах плавления мантийного вещества. Формирование умеренноглиноземистых вулканитов произошло в результате эволюции маловодных (до ~ 1 мас.% H_2O) мантийных выплавов.

Происхождение гибридных минеральных ассоциаций, типичных для плиоценовых эффузивов, по-видимому, связано с особым динамическим режимом кристаллизации в периферических магматических камерах - взламыванием частично раскристаллизованных участков вдоль холодных контактов новыми порциями расплавов из питающей системы или внутренних частей очага.

При близком составе магматического источника, геохимические отличия базальтов поздних щитообразных вулканических построек и ареальных конусов также связаны с особенностями дифференциации первичных расплавов. Для поздних щитообразных вулканических построек (Q_3) декомпрессионная дифференциация на начальных этапах сменялась изобарической в приповерхностной камере, расположенной на глубине ~ 1.5 км. Основные лавы ареальных конусов (Q_4) эволюционировали в условиях декомпрессионной фракционной кристаллизации при начальном давлении 10 кбар, фугитивности кислорода +1NNO, содержании воды 2.5 мас. % и скорости декомпрессии -0.25 кбар/% крист. Это свидетельствует о быстром подъеме расплавов к поверхности без длительной задержки в магматической камере, что, в целом, согласуется с современными представлениями о происхождении ареальных эффузивов.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Мартынова (Давыдова) М.Ю., Антипин В.С. Геологическая и вещественная эволюция вулкана Уксичан в плиоцене и плейстоцене (Срединный хребет Камчатки) // Материалы IV Всероссийского симпозиума по вулканологии и палеовулканологии «Вулканизм и геодинамика», Петропавловск-Камчатский. 2009. С. 429-432.

Мартынова (Давыдова) М.Ю., Перепелов А.Б. Использование программы «Петротип» для выделения петрохимических типов вулкана Уксичан (Срединный хребет, Камчатка) // Современные проблемы геологии, геохимии и геоэкологии Дальнего Востока России: Материалы 3-й региональной конференции молодых ученых, Владивосток. 28-4 сентября 2010 г. Владивосток: Дальнаука, 2010. С. 102-105.

Мартынова (Давыдова) М.Ю., Перепелов А.Б. Оценка физико-химических условий эволюций магматических расплавов в Уксичан и построек его территории с использованием программы КОМАГМАТ // Современные научные исследования на Дальнем Востоке: Молодежный научный симпозиум. Южно-Сахалинск: Изд-во ИРОСО, 2012. С. 73-78.

Мартынова (Давыдова) М.Ю. Петрология и вопросы эволюции плейстоцен-голоценовых лав вулканического центра Уксичан (Срединный хребет, Камчатка) // Петропавловск-Камчатский: Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2012. № 2. выпуск № 20. С.231-246.

Мартынова (Давыдова) М.Ю. Вопросы эволюции плейстоцен-голоценовых лав вулканического центра Уксичан (Срединный хребет Камчатки) // Современные проблемы геохимии: Материалы Всероссийского совещания. Иркутск: Издательство Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2012. В 3-х томах. Т. 2. с. 136-138.

Давыдова М.Ю. Петрология и генезис субщелочных лав вулкана Уксичан (Срединный хребет, Камчатка) // Современные проблемы геохимии: Материалы конференции молодых ученых (Иркутск, 23-28 сентября 2013г.), Иркутск: Издательство Института географии им. Сочавы СО РАН. 2013. С. 17-19.

Давыдова М.Ю. Геохимия пород вулканического центра Уксичан (Срединный хребет, Камчатка) // Известия Сибирского отделения секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. Иркутск: Иркутский государственный технический университет, 2013. №2 (43). С.78-84.