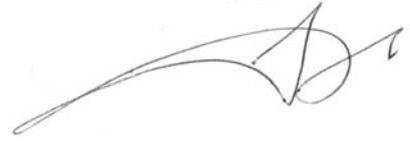


*На правах рукописи*



**ПЕРЕПЕЛОВ Александр Борисович**

**КАЙНОЗОЙСКИЙ МАГМАТИЗМ КАМЧАТКИ НА ЭТАПАХ СМЕНЫ  
ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ОБСТАНОВОК**

25.00.09 - геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
доктора геолого-минералогических наук

Иркутск - 2014

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте геохимии им. А.П. Виноградова Сибирского отделения Российской академии наук.

**Официальные оппоненты:**

доктор геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник,  
**Киселев Александр Ильич**, ИЗК СО РАН (г. Иркутск),  
ведущий научный сотрудник

доктор геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник  
**Федоров Петр Иванович**, ГИН РАН (г. Москва),  
ведущий научный сотрудник

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

**Ведущая организация:**

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Дальневосточный геологический институт ДВО РАН (г. Владивосток)

Защита диссертации состоится «21 мая» 2014 г. в 10-00 часов на заседании диссертационного совета Д003.059.01 при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте геохимии имени А.П. Виноградова Сибирского отделения Российской академии наук по адресу: 664033, а/я 304, г. Иркутск, ул. Фаворского, 1А.

Тел./факс: 8 (3952) 426600  
e-mail: korol@igc.irk.ru  
<http://www.igc.irk.ru>

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геохимии им. А.П. Виноградова Сибирского отделения Российской академии наук.

Автореферат разослан «\_\_\_» апреля» 2014 г.

Ученый секретарь диссертационного совета  
кандидат геолого-минералогических наук



Королева Г.П.

В зонах перехода «океан-континент» в условиях конвергенции литосферных плит основной тип их взаимодействия определяется субдукцией океанической литосферы. С процессами субдукции связано формирование надсубдукционных вулканических поясов и магматических ареалов, породы которых обладают достаточно устойчивыми и специфическими геохимическими особенностями – умеренным обогащением LILE и обеднением HFSE компонентами, связанными с высокой ролью в магмообразовании гидратированных флюидов.

Между тем, результаты петролого-геохимических исследований зон перехода «океан-континент» показывают, что помимо магматизма надсубдукционного геохимического типа (IAB), в островных дугах и на активных континентальных окраинах, на определенных этапах их геодинамического развития проявляются магмы неспецифические или относительно редкие для надсубдукционных обстановок. Одни из таких магм имеют K-Na субщелочную или щелочную специфику и отвечают внутриплитному типу (WPB), или имеют переходные геохимические характеристики между IAB и WPB. Другие отличаются от IAB значительным обогащением легких литофильных элементов (LILE) и относятся к щелочным или субщелочным магмам калиевого ряда. Третьи обладают специфическими геохимическими характеристиками, такими, например, как повышенные магнезиальность (Mg#) и кремнекислотность, свойственные бонинитам, магнезиальным андезитам и адакитам. Проявления таких магм в определенных геотектонических условиях и на определенных временных интервалах вносят существенные ограничения в любые разрабатываемые модели геодинамического и магматического развития зон перехода «океан-континент».

Очевидно, что проявления неспецифических магм WPB типа, переходных по составам между WPB и IAB, а также калиевых щелочных или адакитовых магм должны сопровождаться изменением геодинамических режимов развития зон перехода «океан-континент», сменой источников магматического вещества и условий магмообразования. Эти процессы могут быть реализованы на длительных временных интервалах или в результате быстрых катастрофических событий. Они связываются с прекращением субдукции в результате аккреционно-коллизийных событий, или в результате смены векторов движения литосферных плит, с возникновением разрывов субдуцированной океанической плиты (slab-window), ее деструкцией (slab loss), с развитием трансформно-сдвиговых процессов внутри и на границах различных литосферных блоков (slab-portal). В результате таких геодинамических событий достигаются условия астеносферно-литосферного взаимодействия, что приводит к вовлечению в процессы формирования магм полигенных источников вещества.

Активная континентальная окраина Камчатки, или в понимании других исследователей «островодужная система», является исключительно перспективной структурой для изучения магматизма на этапах смены геодинамических обстановок в зонах перехода «океан-континент». В истории геодинамического развития Камчатки в кайнозой здесь были образованы разновозрастные вулканические пояса и магматические ареалы, а особенности строения и эволюции структуры выражаются в формировании аккреционно-

коллизийных комплексов, различных по строению литосферных блоков, поперечных разломных структур и тектонических депрессий. Среди магматических комплексов Камчатки, наряду с преобладающим по объемам магматизмом IAB типа, установлены проявления K-Na щелочно-базальтовых (Авдейко и др., 2010; Волынец и др., 1983-1985; 1990; 1995-1997; Колосков и др., 2010, 2012; Перепелов, 1990, 2004-2006, 2010; Плечов, 2010; Churikova et al., 2001; Hoernle et al., 2009; Volynets et al., 2010), калиевых щелочных и субщелочных магм (Волынец и др., 1985; 1986; 1987; Перепелов и др., 2001; Перепелов, Иванов, 2006; Цветков и др., 1993; Volynets, 1994), а на основе новых петролого-геохимических идей и представлений о магматизме зон перехода «океан-континент» здесь обнаружено развитие Mg#-андезитового, базальтоидного обогащенного Nb (NEB) и адакитового магматизма (Авдейко и др., 2010, 2011; Волынец и др., 1997; 1998; 2000; Перепелов и др., 2009, 2010, 2012; Bryant et al., 2011; Kerezhinskas et al., 1989; 1995; 1996; Portnyagin et al., 2007; Yagodinski et al. 2001).

Перечисленные типы кайнозойского магматизма или магматических комплексов Камчатки, свойственные этапам смены геодинамических обстановок, являются **главными объектами исследований** диссертационной работы, рассматриваемые на основе оригинальных данных и анализа сведений из литературных источников.

**Актуальность** выполненного диссертационного исследования заключается в установлении роли и индикаторных признаков участия гетерогенных источников вещества в образовании магм различных геохимических типов на этапах смены геодинамических обстановок, в условиях прекращения субдукционных процессов, деструкции литосферных плит и внутриплитной активизации в зоне перехода «океан-континент» с позиций современных представлений о астеносферно-литосферном взаимодействии.

**Целью исследования** является обобщение и анализ геохронологических, минералого-геохимических и изотопно-геохимических данных по кайнозойским магматическим комплексам пород этапов смены геодинамических обстановок, выделяемых в кайнозойской истории развития активной континентальной окраины Камчатки, разработка на основе полученных данных оригинальной модели геодинамической и магматической эволюции этой структуры.

**Задачами работы** были:

- установление геолого-структурной позиции и временных интервалов развития магматизма на этапах смены геодинамических обстановок, выделенных в истории формирования кайнозойской континентальной окраины Камчатки, анализ томографических данных по строению и состоянию литосферы и подлитосферной мантии для решения вопросов глубинной геодинамики в эволюции структуры;

- проведение вещественной типизации и установление индикаторных геохимических характеристик магматизма, свойственного этим этапам, изучение минеральных парагенезисов и направленности кристаллизации магм;

- определение изотопно-геохимических характеристик пород, установление основных параметров происхождения магм для этапов смены геодинамических обстановок;

- оценка роли процессов деструкции литосферных плит, преобразования и рециклинга литосферного вещества и процессов астеносферно-литосферного взаимодействия в развитии магматизма на таких этапах;

- создание модели геодинамического и магматического развития активной континентальной окраины Камчатки в кайнозое, проведение корреляции установленных этапов смены геодинамических обстановок с геодинамическими и магматическими событиями в эволюции других структур в зоне перехода «океан-континент» в Северо-Западном секторе Тихого океана.

**Научная новизна.** Проведенные автором оригинальные исследования кайнозойского магматизма активной континентальной окраины Камчатки привели к обнаружению ряда провинций и ареалов с развитием неспецифических или редких для надсубдукционных геодинамических обстановок серий и ассоциаций пород, а также значительно дополнили представления о времени проявления и геологической позиции магматизма различных геохимических типов. Получен большой объем новых геохронологических, изотопно-геохимических и минералогических данных по магматическим породам Камчатки. Эти результаты позволяют провести ревизию и уточнить существующие модели кайнозойского магматического и геодинамического развития структуры Камчатки, показать особенности эволюции и закономерности смены типов магматизма во времени и дают дополнительную информацию о природе и гетерогенности источников магматического вещества в зонах перехода «океан-континент». На территории Западной Камчатки впервые обнаружены и исследованы: 1) ареал развития среднеэоценового К-На щелочно-базальтового магматизма (Перепелов и др., 2007, 2008, 2010); 2) ареал ранне-среднеплиоценового базанит-гавайитового магматизма WPB и переходного типа (Перепелов и др., 2006, 2007); 3) ареал раннемиоценового калиевого щелочного и абсарокит-шошонит-латитового магматизма (Перепелов и др., 2008). Вблизи Малко-Петропавловской зоны поперечных разломных дислокаций на южных флангах Центральной Камчатской депрессии установлено развитие ранее не известной и уникальной по диапазону представленных типов пород среднеплиоценовой ассоциации Mg#-андезитов, NEB и адакитов (Перепелов и др., 2009, 2010, 2012). Показано, что Mg#-андезитовый и NEB-адакитовый магматизм проявлен в условиях деструкции субдуцируемой океанической литосферы и плавления эклогитизированного вещества фрагментов слэба. Впервые для магматических пород Камчатки определены основные закономерности распределения в них элементов платиновой группы (ЭПГ) (Иванов и др., 2008), установлены индикаторные характеристики распределения ЭПГ при расшифровке источников магм. В рамках модели плюм-литосферного взаимодействия установлено участие в процессах К-На щелочно-базальтового и калиевого щелочного и субщелочного магнообразования рециклированного вещества океанической литосферы и метасоматизированной надсубдукционной

мантии. Изотопными методами датирования в диапазоне средний эоцен – поздний плиоцен установлены временные интервалы проявлений магматизма различных типов на этапах смены геодинамических обстановок в истории развития структуры Камчатки.

**Практическая значимость** выполненного исследования заключается в возможности использования данных изотопного датирования и вещественной типизации пород для региональных корреляций магматических и геодинамических событий в истории кайнозойского развития зон перехода «океан-континент» в Северо-Западном секторе Тихого океана. Полученные данные о типах и вещественных особенностях магматических пород этапов смены геодинамических обстановок в кайнозойской истории геодинамического развития Камчатки могут быть использованы при палеотектонических реконструкциях. Проведенный анализ распределения элементов платиновой группы в магматических породах Камчатки предоставляет необходимую информацию для установления источников рудного вещества и металлогенического районирования.

**Фактический материал и методы исследования.** В основу диссертационного исследования положены результаты геологических исследований магматизма Камчатки, проведенных с личным участием автора с 1981 по 2013 года. В этот период на территории Камчатки автором совместно с сотрудниками других институтов РАН и геологического факультета МГУ были организованы и проведены 20 экспедиций. Оригинальная коллекция проб и образцов магматических пород Камчатки по итогам выполненных геологических исследований составила более 5000 единиц.

Исследования проводились согласно планам НИР Института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, по темам договоров о научном сотрудничестве между организациями СО РАН, ДВО РАН и МГУ, по темам ряда партнерских Интеграционных проектов СО РАН – ДВО РАН, а также при финансовой поддержке РФФИ по темам 7-ми инициативных проектов, руководителем которых автор являлся.

Изотопно-геохимические и минералогические исследования магматических пород Камчатки проводились на базе лабораторий ИГХ СО РАН, ИЗК СО РАН, ИГМ СО РАН, ГИН СО РАН, ИВиС ДВО РАН, ДВГИ ДВО РАН, МГУ, в Байкальском аналитическом центре коллективного пользования ИНЦ СО РАН и в зарубежных научных организациях – Университете штата Орегон (США), Университете штата Аляска (США) и в Институте рудных месторождений и технологии Нью Мехико (США). Исследования проводились с использованием петрографических, микронзондовых, петрогеохимических и изотопно-геохимических методов. Составы минералов магматических пород Камчатки определены с помощью WDS и EDS рентгеновских микроанализаторов, а при установлении химического состава пород и концентраций в них редких, в том числе и летучих элементов использовался широкий круг количественных аналитических методов – RFA, MAES, ICP-MS с контролем качества анализов по международным стандартным образцам. Изотопный состав пород ( $^{87-86}\text{Sr}$ ,  $^{144-143}\text{Nd}$ ,

206-207-208-204<sup>Pb</sup>) определялся на масс-спектрометрах фирм Finnigan (Германия) и Thermoelectron (США). Детальное изложение методов аналитических исследований содержится в тексте работы.

В результате аналитических исследований установлен изотопный  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  возраст 37 образцов магматических пород Камчатки (из них 15 образцов в ИГМ СО РАН) и получены геохимические характеристики около 1250 проб, изучен минеральный состав более 120 образцов, установлен изотопный состав Sr, Nd и Pb для 58 проб. На основе 38 проб в ИГМ СО РАН изучено распределение в магматических породах Камчатки элементов группы платины (Os, Ir, Ru, Rh, Pt, Pd) и Re. При проведении исследований использованы данные из литературных источников и отчетные материалы Государственных геологических фондов России.

**Апробация результатов исследования.** По теме диссертационной работы опубликованы 1 коллективная монография и 36 статей, из них 8 статей в научных сборниках, 27 статей в центральных российских журналах из списка ВАК и 1 статья в зарубежном научном журнале «Journal of Volcanology and Geothermal Research», в том числе 23 статьи из базы цитирования Web of Sciences. За последние 5 лет по теме работы опубликованы 8 статей и 17 тезисов докладов, лично (11) и в соавторстве (6) представлены устные доклады на российских и международных конференциях.

**Структура и объём работы.** Диссертация состоит из введения, 7 глав и заключения, общим объёмом 356 страниц, включая 72 рисунка, 36 таблиц, 10 табличных приложений и список литературы из 302 наименований.

#### **Защищаемые положения.**

1. В кайнозойской истории развития активной континентальной окраины Камчатки на этапах смены геодинамических обстановок проявлен K-Na щелочно-базальтовый, калиевый щелочной, абсарокит-шошонит-латитовый и Mg#-андезит-NEB-адакитовый магматизм. Магматическая активность на этих этапах связываются с прекращением субдукционных процессов, развитием процессов деструкции литосферных плит и внутриплитной активизацией.

2. Геохимические особенности K-Na щелочно-базальтового магматизма этапов смены геодинамических обстановок выражаются в обогащении пород HFSE и LILE компонентами и указывают на их принадлежность к WPB или переходному WPB-IAB типу, а для калиевого щелочного и субщелочного магматизма в значительном обогащении пород LILE компонентами в сравнении с IAB. Mg#-андезит-NEB-адакитовый магматизм характеризуется вариациями геохимических характеристик, примитивными или обогащенными составами пород, высокой степенью фракционирования индикаторных редких элементов (La, Sr, Y, Yb). Магмы таких этапов обладают изотопно-геохимическими признаками участия в их формировании вещества рециклированной и преобразованной океанической литосферы, обогащенного астеносферного источника и метасоматизированной литосферной мантии, мантийных резервуаров DM, PREMA и EMI типа.

3. Установлены временные интервалы развития магматизма на этапах смены геодинамических режимов. На территории Западной Камчатки на протяженном среднеэоцен-среднеплиоценовом этапе последовательно проявлены К-На щелочно-базальтовый (~46-31 млн. лет), калиевый щелочной (~35-17 млн. лет), абсарокит-шошонит-латитовый (~21-6 млн. лет) и базанит-гавайитовый магматизм (~4-3 млн. лет). Вблизи Малко-Петропавловской зоны поперечных разломных дислокаций в средне-позднеплиоценовое время проявляется Mg#-андезит-NEB-адакитовый (~3.4-2.0 млн. лет), а в вулканическом поясе Срединного хребта позднеплиоцен-четвертичный К-На щелочно-базальтовый магматизм (~2-<1 млн. лет).

4. На примере кайнозойских магматических комплексов Камчатки установлена индикаторная роль распределения в породах элементов платиновой группы (Os, Ir, Ru, Rh, Pt, Pd) при установлении источников магматического вещества. Участие в процессах магнообразования метасоматизированной литосферной мантии приводит к относительному обогащению расплавов элементами платиновой подгруппы (Pt, Pd), а вовлечение в магнообразование рециклированного и в различной степени преобразованного вещества океанической литосферы, напротив, влечет за собой обеднение магм этими компонентами.

5. Разработана модель геодинамической и магматической эволюции Тихоокеанского сектора активной континентальной окраины Камчатки в кайнозое. Модель основана на данных о возрасте и вещественных особенностях магматизма на этапах смены геодинамических обстановок и предполагает, что процессы магнообразования на таких этапах развиваются в условиях деструкции литосферных плит и астеносферно-литосферного взаимодействия.

**Благодарности.** Исследования выполнены в лаборатории региональной геохимии магматических пород Института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, переименованной в 2007 году в лабораторию геохимии гранитоидного магматизма и метаморфизма. Автор выражает свою признательность коллективу лаборатории, а также сотрудникам других научных и аналитических подразделений института за помощь и поддержку в выполнении исследований: Дрилю С.И., Митичкину М.А., Литасову Н.Е., Ефремову С.В., Татарникову С.А., Горновой М.А., Медведеву А.Я., Воронцову А.А., Павловой Л.А., Пахомовой Н.Н., Кожарской М.Г., Смирновой Е.В., Ложкину В.И., Васильевой И.Е., Зарубиной О.В., Финкельштейну А.Л. В проведении исследований и научном обсуждении результатов принимали участие сотрудники других организаций: ИВиС ДВО РАН – Пузанков М.Ю., Флеров Г.Б., Колосков А.В., Пономарев Г.П., Философова Т.М. Гриб Е.Н., Леонов В.Л., Дирксен О.В., ДВГИ ДВО РАН - Мартынов Ю.А., Чашин А.А., Попов В.К., Давыдова М.Ю., ИЗК СО РАН - Иванов А.В., Демонтерова Е.И., ИГМ СО РАН – Карманов Н.С., Травин А.В., Палесский С.В., Крук Н.Н., ГИН СО РАН - Канакин С.В., ИФЗ РАН - Ермаков В.А., геологический факультет МГУ - П.Ю. Плечов, В.Д. Щербаков, В.О. Давыдова. Автор благодарен им за их профессиональный интерес к проблеме исследований и неоценимую помощь. Большую помощь в исследованиях, в подготовке и оформлении работы оказали автору Цыпукова С.С. и Щербаков Ю.Д.

Автор благодарит академика РАН М.И. Кузьмина и доктора геолого-минералогических наук В.С. Антипина, в лабораториях которых начинались и проводились геохимические исследования магматизма Камчатки.

Особую благодарность автор выражает светлой памяти Олегу Назаровичу Волинцу, инициатору многих, в том числе и данных, затронутых в работе, научных направлений петролого-геохимического изучения магматизма Камчатки.

В диссертационной работе магматизм этапов смены геодинамических обстановок в кайнозойской истории магматического и геодинамического развития Камчатки рассматривается последовательно, начиная от общих сведений о тектоническом строении структуры, существующих моделей ее формирования, и далее с изложением и анализом полученных данных по магматизму различных геохимических типов, свойственному этапам смены геодинамических обстановок. Заключительные главы посвящены анализу изотопных характеристик пород, особенностям распределения ЭПГ в островодужных, щелочно-базальтовых и адакитовых магмах с заключением об источниках вещества и изложением оригинальной модели магматического и геодинамического развития Камчатки в кайнозое. Завершающий раздел посвящен результатам корреляции геодинамических и магматических событий в кайнозойской истории развития Камчатки с другими структурами зоны перехода «океан-континент» в Северо-Западном секторе Тихого океана.

## **ГЛАВА 1. ТЕКТОНИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И МОДЕЛИ ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ КАМЧАТКИ В КАЙНОЗОЕ**

Целью изложения и анализа данных о тектоническом строении и существующих моделях геодинамического развития активной континентальной окраины Камчатки было обоснование развития продолжительных (до десятков миллионов лет) и кратковременных этапов смены геодинамических обстановок в геологической истории структуры.

Формирование структуры Камчатки на протяжении всего кайнозоя обусловлено неоднократной сменой геодинамических обстановок с проявлениями не только субдукционных и аккреционно-коллизионных процессов взаимодействия литосферных плит, но и процессов деструкции субдуцированной океанической литосферы и рифтогенеза (Леглер, 1977; Соловьев и др., 1998; Богданов, Чехович, 2002, 2004; Константиновская, 2003). В Тихоокеанском секторе Камчатки в раннем кайнозое вслед за мел-раннепалеогеновыми аккреционно-коллизионными событиями был сформирован ранне-среднеэоценовый Западно-Камчатский надсубдукционный вулканический пояс (Федоров и др., 2008, 2011). В завершение эоценовой субдукции произошло полное сочленение Западно-Камчатской и Охотоморской плит с Евразией. Новый надсубдукционный вулканический пояс Срединного хребта Камчатки начинает формироваться, по разным данным, в конце олигоцена или в раннем миоцене в результате субдукции плиты Кула или Изанази с юго-востока. Геодинамическими моделями и на основе палеомагнитных данных (Коваленко, 2003) предполагается,

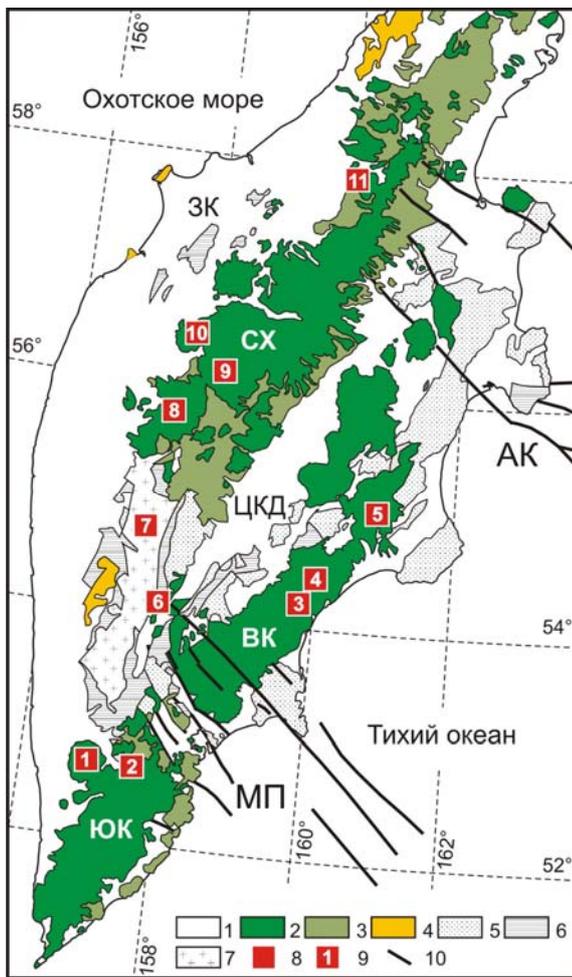
что в среднем-верхнем миоцене к структуре Камчатки была аккрецирована внутриокеаническая Кроноцкая дуга. С ее причленением произошла тектоническая перестройка территории и прекращение субдукционных процессов. В это время на востоке Камчатки были реализованы трансформно-сдвиговые процессы и происходило фрагментирование литосферных блоков. В начале плиоцена сформировалась новая зона субдукции и начинается свое развитие современный Восточно-Камчатский вулканический пояс.

В тектоническом аспекте, в строении Камчатки выделяются вулканические пояса, поперечные разломные зоны и депрессионные структуры. Крупнейшими поперечными зонами являются Малко-Петропавловская и структура Алеутско-Камчатского сочленения, а среди прогибов выделяется Центральная Камчатская депрессия. Согласно сейсмотомографическим данным в мантии под Камчаткой существуют погруженные литосферные массы и восходящие горячие астеносферные потоки (плюмы?) (Gorbatov et al., 2000; Levin et al., 2002).

Наиболее исследованными в петролого-геохимическом отношении к настоящему времени являются современные активные вулканы Камчатки, кайнозойский вулканизм надсубдукционного типа на Восточной и Южной Камчатке, серии пород щелочного и субщелочного типа в строении вулканического пояса Срединного хребта (Churikova et al., 2000; Перепелов, 2004, 2005; Volynets et al., 1994, 2010), вулканические комплексы Центральной Камчатской депрессии (Portnyagin et al., 2007). Особое внимание уделяется также Mg#-андезитовым и адакитовым ассоциациям зоны Алеутско-Камчатского сочленения (Волынец и др., 1998; Portnyagin et al., 2007; Авдейко и др., 2010, 2011). В то же время, кайнозойский магматизм тыловых областей активной окраины, за исключением надсубдукционного вулканического пояса Западной Камчатки (Федоров и др., 2008, 2011), оставался без необходимого внимания. Обнаружение в последнее время новых ареалов развития адакитового вулканизма и щелочных комплексов пород в связи с трансформными разломными зонами и в задуговых обстановках требуют ревизии существующих моделей магматического и геодинамического развития активной окраины Камчатки.

## **ГЛАВА 2. КАЙНОЗОЙСКИЙ НАДСУБДУКЦИОННЫЙ МАГМАТИЗМ КАМЧАТКИ**

Магматизм надсубдукционного геохимического типа исследован на примере ряда крупных вулканических центров и ареалов, входящих в состав плиоцен-четвертичных вулканических поясов Южной и Восточной Камчатки, Срединного хребта и Центральной Камчатской депрессии по оригинальным данным, и ранне-среднеэоценового пояса Западной Камчатки по данным (Федоров и др., 2008, 2011). Рассмотрены вопросы развития таких вулканических центров, как Узон-Гейзерная, Гамченская и Карымская структуры Восточной Камчатки, и вулканы Хангар, Носичан, Кекукнайский и Теклетунуп в Срединном хребте, а также некоторых других вулканических ареалов Южной Камчатки и Центральной Камчатской депрессии (рис. 1).



**Рис. 1. Кайнозойский надсубдукционный магматизм Камчатки. Объекты исследований.**

1 – современные и неогеновые вулканогенно-осадочные и терригенно-осадочные отложения; 2 – плиоцен-четвертичные вулканические пояса Южной Камчатки (ЮК), Восточной Камчатки (ВК) и Срединного хребта (СХ); 3 – олигоцен?-миоценовые вулканогенные комплексы; 4 – ранне-среднеэоценовый Западно-Камчатский вулканический пояс (ЗК); 5 – палеогеновые вулканогенные, вулканогенно-осадочные и терригенно-осадочные комплексы; 6 – поздне меловые вулканогенные и терригенно-осадочные комплексы; 7 – гранитно-метаморфические палеозой?-мезозойские комплексы; 9 – исследованные вулканические центры и магматические ареалы (1 – вулкан Большая Ипелька, 2 – Толмачев Дол, 3 – Карымская структура, 4 – Узон-Гейзерная структура, 5 – Кроноцко-Гамченская структура, 6 – лавовое плато бассейна рек Яковская и Озерная Камчатка, 7 – вулкан Хангар, 8 – вулкан Носичан, 9 – вулкан Уксичан. 10 – вулкан Кекунайский, 11 – вулкан Теклетунуп); 10 – разломные дислокации. ЦКД – Центральная Камчатская депрессия.

Показано, что составы умеренно-калиевых базальтоидов островодужного геохимического типа, которые свойственны как фронтальным, так и тыловым вулканическим поясам, обладают устойчивыми вещественными различиями. Базальтоиды Срединного хребта в сравнении с базальтами Восточной Камчатки на одновозрастных этапах развития вулканических поясов в плиоцен-четвертичное время выделяются своей относительно более высокой степенью обогащения LILE и HFSE (Ba, Th, U, K, Nb, Ta, LREE, Sr) (рис. 2, 3). Предполагается, что такие геохимические различия однотипных базальтоидов вулканических поясов могут быть связаны с особенностями состава и возрастом субдуцированной океанической литосферы, а также с вариациями условий магмообразования, фазовой или вещественной спецификой источников вещества.

Долгоживущие вулканические центры надсубдукционных вулканических поясов нередко демонстрируют в своем развитии смену типов магм, отражающих изменение условий магмообразования во времени, а анализ латеральной вещественной зональности надсубдукционного вулканизма для активной окраины Камчатки указывает на многочисленные исключения из общих представлений о смене относительно примитивных магм на более обогащенные в направлении от фронта субдукции к тыловым областям структуры. Рассматривая петролого-геохимические проблемы островодужного вулканизма в работе, прежде всего, решались задачи поиска общих закономерностей в эволюции надсубдукционных обстановок и возможных различий в источниках магматического вещества для конкретных вулканических поясов, структур, и временных интервалов.

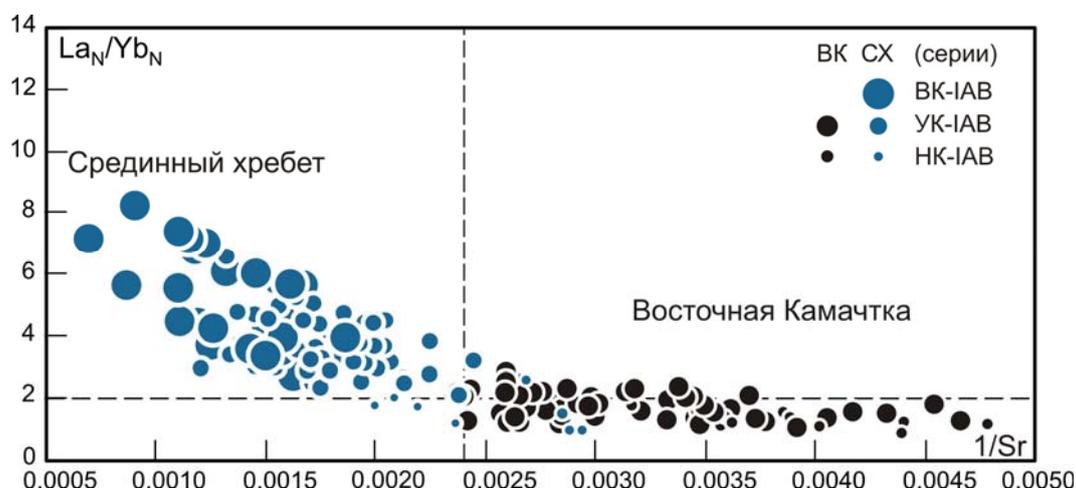


Рис. 2. Распределение REE и Sr в базальтоидах надсубдукционного геохимического типа.

Содержания элементов в г/т. La, Yb нормированы на C1 (Sun, McDonough, 1989). Приведены составы для базальтоидов Восточной Камчатки - вулканы Гамченской и Карымской структур по данным автора и по (Гриб и др., 2008), вулкан Ключевской (Churikova et al., 2001), для Срединного хребта – вулканы Хангар, Носичан, Уксичан, Теклетунуп по данным автора и вулкан Кекукнайский по (Колосков и др., 2011). Обозначения: ВК – вулканический пояс Восточной Камчатки и СХ – Срединного хребта, ВК-IAB – высококалиевая, УК-IAB – умереннокалиевая и НК-IAB – низкокалиевая серии пород вулканических поясов.

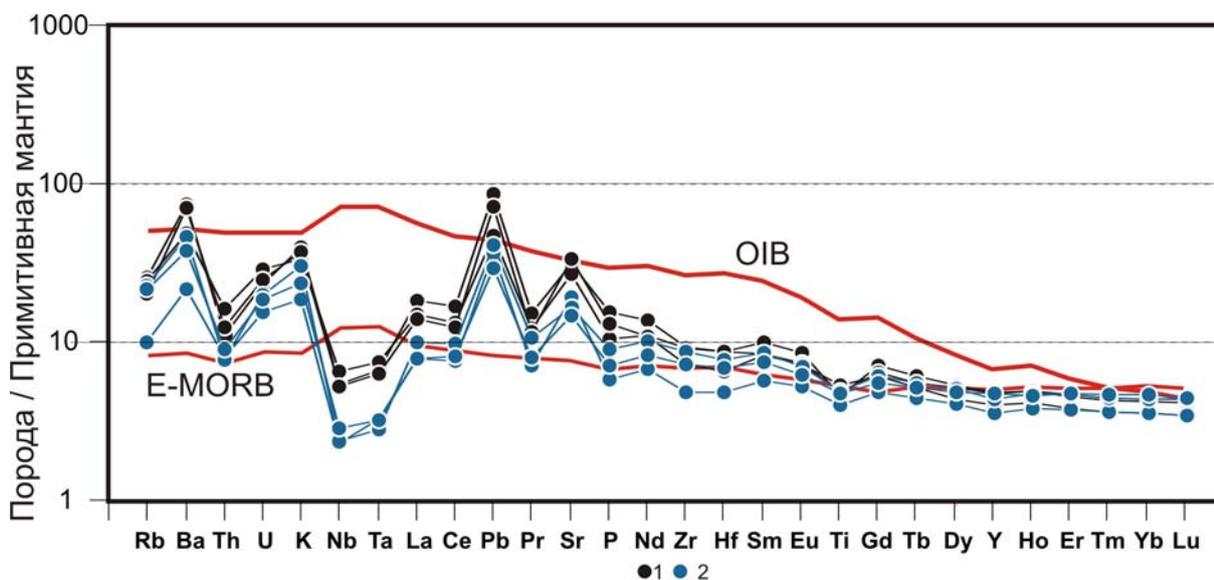


Рис. 3. Распределение магматофильных элементов в базальтоидах надсубдукционного геохимического типа.

Содержания элементов (г/т) нормированы на MORB (Sun, McDonough, 1988). Приведены средние составы для базальтоидов Восточной Камчатки - вулканы Гамченской и Карымской структур по данным автора и по (Гриб и др., 2008), вулкан Ключевской (Churikova et al., 2001), для Срединного хребта – вулканы Хангар, Носичан, Уксичан, Теклетунуп по данным автора и вулкан Кекукнайский по (Колосков и др., 2011).

### ГЛАВА 3. ЭТАПЫ И ОБСТАНОВКИ КАЙНОЗОЙСКОГО K-Na ЩЕЛОЧНО-БАЗАЛЬТОВОГО МАГМАТИЗМА КАМЧАТКИ

Щелочно-базальтовый магматизм K-Na типа, свойственный внутриплитным геодинамическим обстановкам, внутриконтинентальным рифтовым зонам и океаническим островам, достаточно редко проявлен в обстановках активных континентальных окраин и островных дуг. В истории кайнозойского геодинамического развития активной континентальной окраины Камчатки установлен позднемиоцен-раннеплиоценовый этап его развития на Восточной Камчатке (Волынец и др., 1990, 1997; Hoernle et al., 2009; Авдейко и др., 2010) и позднеплиоцен-четвертичный этап проявлений K-Na щелочно-базальтовых магм в вулканическом поясе Срединного хребта (Волынец, 1993; Volynets, 1994; Перепелов и др., 1989, 1996, 2005, 2006; Churikova et al., 2001; Ivanov et al., 2004; Volynets et al., 2010). Проведенными исследованиями развитие K-Na щелочно-базальтового магматизма на среднеэоцен-раннеолигоценовом и ранне-среднеплиоценовом временных этапах установлено для территории Западной Камчатки (Перепелов и др., 2006-2008, 2010). Все ареалы K-Na щелочно-базальтового магматизма Камчатки имеют различный возраст, различную геолого-структурную позицию, а их породы обладают ярко выраженными вещественными особенностями. Их формирование отражает дискретные во времени этапы смены геодинамических обстановок.

#### *Среднеэоцен-раннеолигоценовый K-Na щелочно-базальтовый магматизм Западной Камчатки.*

На территории Западной Камчатки от р. Белоголовая на юге и до бассейна р. Тигиль на севере широко проявлены серии даек и редкие крупные субвулканические тела базальтоидов (рис. 4А), отвечающих по составу субщелочным и щелочным породам K-Na типа. Субвулканические тела залегают среди палеогеновых осадочных отложений и имеют с ними интрузивные контакты. Дайки имеют северо-восточное простирание, вертикальное падение и образуют комплекс параллельных тел. Среднеэоценовый возраст даек щелочных базальтов и раннеолигоценовый возраст крупных субвулканических тел установлен  $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$  методом датирования и составляет 46-31 млн. лет, что соответствует возрасту вмещающей терригенно-осадочной толщи *снатольской* свиты. Согласно полученным датам, щелочно-базальтовый вулканизм этого этапа проявился в завершение развития ранне-среднеэоценового Западно-Камчатского вулканического пояса (53-38 млн. лет) (Федоров и др., 2008, 2011).

Базальтоиды даек и субвулканических тел характеризуются порфириновидным обликом с выделениями фенокристаллов оливина ( $\text{Fo}_{71-47}$ ), с эссекситовой и тонокристаллической структурой основной массы. В породах развиты сростания Pl, Crx, TiMgt и Pm, в интерстициях широко развит анальцит. Полевые шпаты представлены субфенокристаллами битовнитов, лабрадоров и андезинов. В интерстициях отмечены анортоклазы и Na-санидины. Клинопироксены образуют в породах широкий ряд составов и в процессе кристаллизации эволюционируют от Na-содержащих титанистых авгитов к микролитам эгирин-авгитов и редких эгиринов. Особенности составов минералов

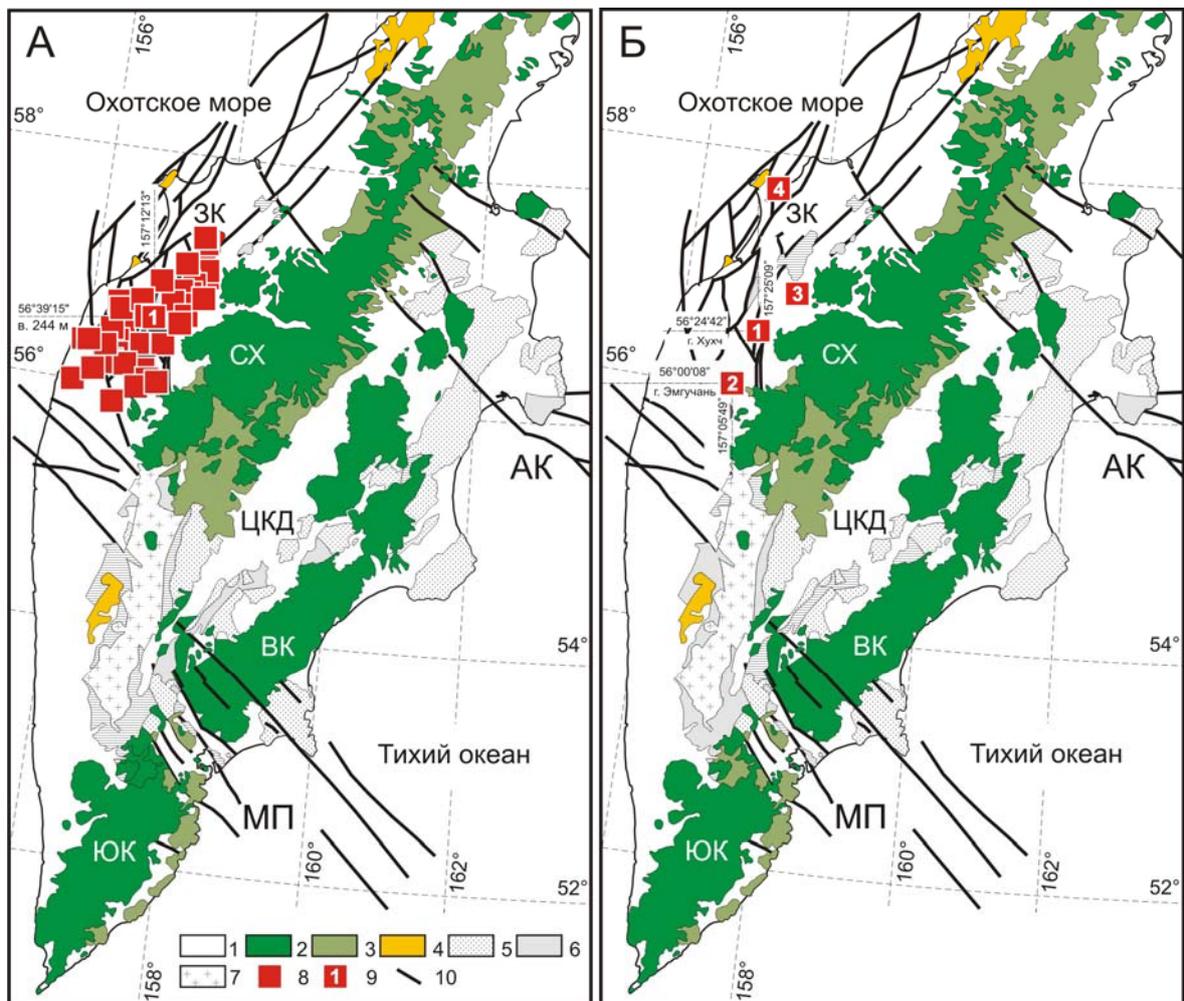


Рис. 4. Ареалы среднеэоцен-раннеолигоценового (А) и ранне-среднеплиоценового (Б) К-На щелочно-базальтового магматизма Западной Камчатки на схеме кайнозойских вулканических поясов.

Условные обозначения см. на рис. 1. Районы исследований (9): А – 1 – дайковый комплекс К-На щелочных базальтоидов в среднем течении р. Быстрая-Хайрюзовская, Б – 1 – базаниты г. Хухч, 2 – лейцит-содержащие гавайиты г. Эмгучань, 3-4 – находки базанитов по данным геолого-съёмочных работ (3 – г. Хлебная, 4 – мыс Утхолок).

парагенезисов исследованных щелочных базальтоидов отражены в высокой натровой щелочности алюмосиликатов и некоторых темноцветных минералов, а также в развитии высокотитанистых оксидных и силикатных фаз.

Уникальной особенностью базальтоидов комплекса параллельных даек является развитие в составе минеральных парагенезисов энигматита. Причиной кристаллизации энигматита в основной массе базальтоидов исследуемого комплекса является формирование специфического трахитового состава остаточного расплава после кристаллизации в магме ОI, Срх и полевых шпатов.

Составы пород среднеэоценового дайкового комплекса и раннеолигоценовых субвулканических тел Западной Камчатки отвечают характеристикам щелочных базальтов, гавайитов, фонотефритов и фонолитов.

Наиболее примитивные по химизму базальтоиды ареала имеют специфические вещественные характеристики, которые сближают их с породами E-MORB типа. Для них характерны повышенные содержания HFSE (Ti, Ta, Nb) и

умеренные содержания LILE (K, Rb, Ba, Th, U, LREE). Им свойственна низкая степень фракционирования REE ( $La_N/Yb_N=2.3-2.7$ ). Индикаторные редкоземельные отношения ( $Ba/Nb=11-27$ ) и положение точек составов пород на дискриминационных диаграммах  $Ba/Zr-Nb/Zr$  и  $Th-Ta-Hf/3$  (рис. 5, 6) также указывают на сходство среднеэоцен-раннеолигоценовых базальтоидов с E-MORB и WPB типами магматических образований. В отличие от E-MORB, щелочные палеогеновые K-Na базальтоиды Западной Камчатки характеризуются некоторым обогащением Ba, K, Pb и Sr, а также более высокой степенью фракционирования элементов (рис. 7).

Развитие в среднеэоцен-раннеолигоценовое время на территории Западной Камчатки магматических комплексов, имеющих вещественные характеристики пород, близкие к E-MORB и WPB, предполагает, что вслед за завершением формирования Западно-Камчатского вулканического пояса в его тыловой области в пределах субконтинентального блока Западно-Камчатской микроплиты в условиях внутриплитной активизации были реализованы процессы рассеянного рифтогенеза.

Магмообразование на этом этапе происходило на уровне переходной гранат-шпинелевой фации глубинности мантии в связи с утонением литосферы и в результате подъема к области магмогенерации астеносферного мантийного вещества.

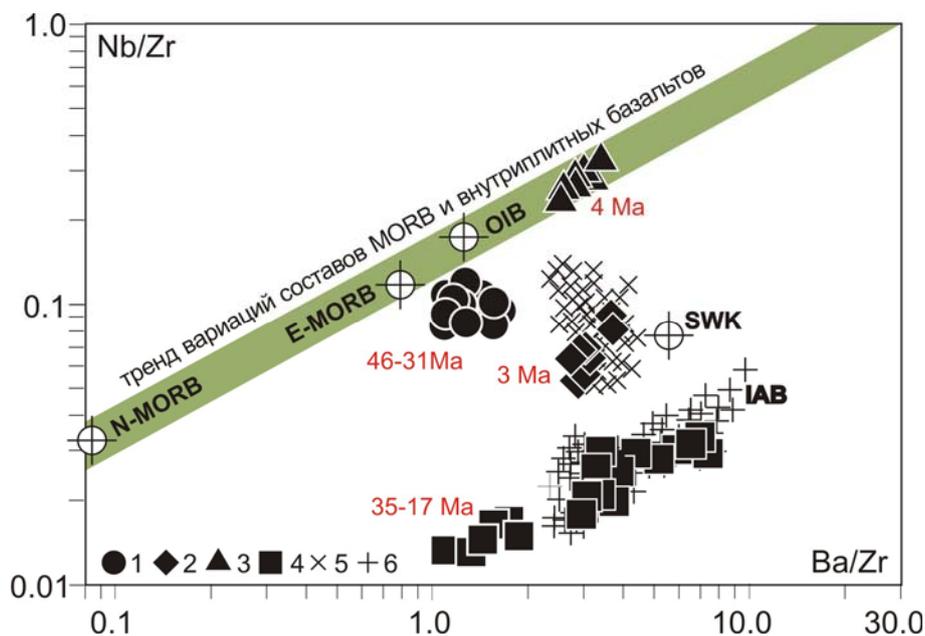


Рис. 5. Дискриминационная диаграмма  $Ba/Zr-Nb/Zr$  (г/г) для пород щелочно-базальтовых комплексов Западной Камчатки.

Точки составов пород: 1 – среднеэоцен-раннеолигоценовые K-Na щелочные базальтоиды (щелочные базальты, гвайиты, фонотефриты, фонолиты), 2 – среднеплиоценовые гвайиты г. Эмгучань, 3 – раннеплиоценовые базаниты г. Хухч, 4 – позднеолигоцен-раннемиоценовые калиевые щелочные базальтоиды, 5 – позднеплиоцен-четвертичные K-Na щелочные базальтоиды вулканического пояса Срединного хребта, 6 – базальтоиды IAB геохимического типа вулканических поясов Срединного хребта и Восточной Камчатки, Резервуары N-MORB, E-MORB, OIB по (Sun, McDonough, 1989) и по базе данных проекта GERM. SWK – средний состав палеогеновых осадков Западной Камчатки (оригинальные данные).

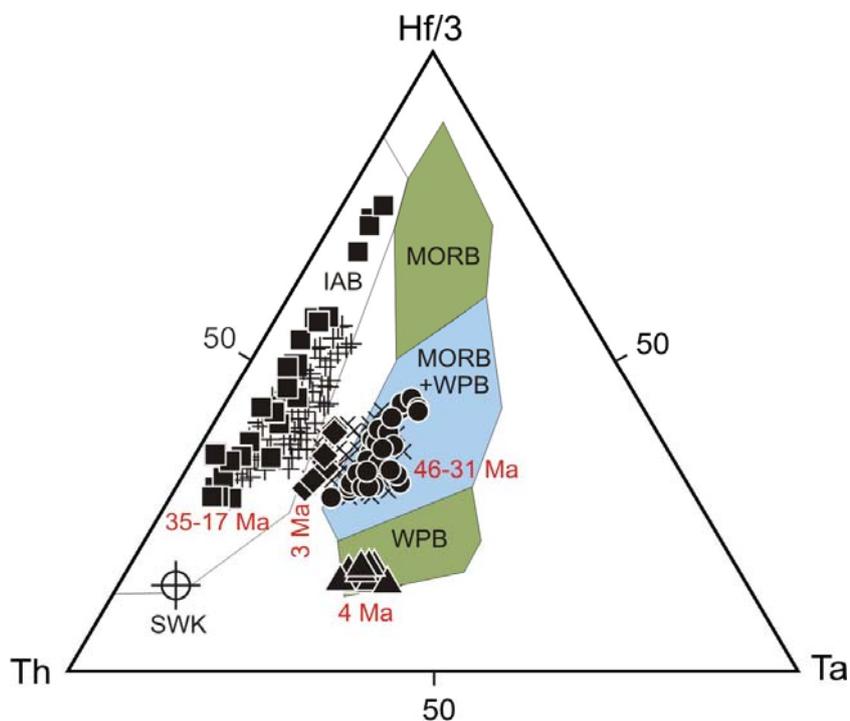


Рис. 6. Дискриминационная диаграмма Th-Ta-Hf/3r (г/г) для магматических пород Западной Камчатки. Поля составов по (Wood, 1980). Условные обозначения см. на рис. 5.

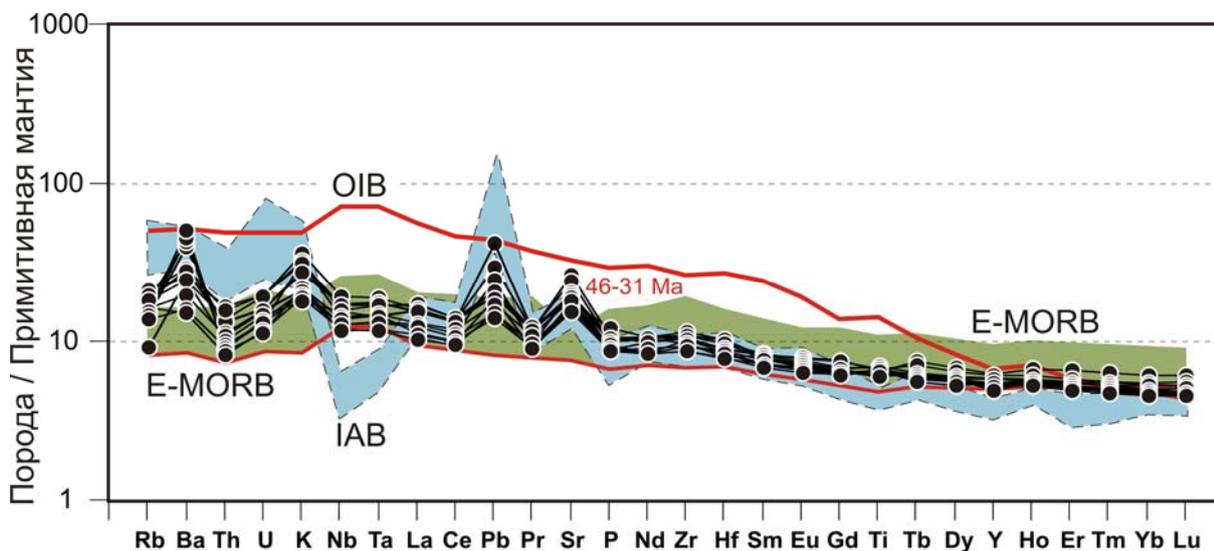


Рис. 7. Диаграмма распределения магматофильных элементов для среднеэоцен-раннеолигоценовых K-Na щелочных базальтоидов Западной Камчатки.

Условные обозначения см. на рис. 5. Здесь и далее содержания элементов в породах (г/г) нормированы на их концентрации в примитивной мантии по (Sun, McDonough, 1989). Поле составов E-MORB по базе данных проекта GERM, тренды E-MORB и OIB по данным (Sun, McDonough, 1989). Здесь и далее поле составов IAB – островодужные базальтоиды ранне-среднеэоценового вулканического пояса Западной Камчатки по (Федоров и др., 2008, 2011).

## ***Ранне-среднеплиоценовый К-На щелочно-базальтовый магматизм Западной Камчатки.***

Установлено, что в завершение позднеолигоцен?-миоценового этапа формирования надсубдукционного Центрально-Камчатского вулканического пояса, связанного с субдукцией с востока океанической плиты Кула под окраинно-континентальный блок Камчатки в тыловой зоне пояса на территории Западной Камчатки проявляется ранне-среднеплиоценовый К-На щелочно-базальтовый магматизм. Магматические комплексы, связанные с этим этапом, проявлены редуцированно и исследованы на примере районов горы Хухч в бассейне реки Быстрой и горы Эмгучань в междуречье рек Анава и 1-я Белоголовая (рис. 4Б). Лавовые и экструзивно-дайковые комплексы этого этапа представлены Lc-Ne-содержащими базанитами WPB типа и Lc-Ne-Sod-содержащими щелочными базальтами и гавайитами переходного WPB-IAB типа.

Базаниты г. Хухч (правобережье р. Быстрая, вблизи устья р. Хухч и истоков р. Чананка) слагают серию субвулканических тел – даек и штоков, а также представлены редкими эффузивными разностями пород. Базаниты вмещаются вулканогенно-осадочной толщей нерасчлененных *вивентекской* и *кулувенской* свит верхнего олигоцена - нижнего миоцена, входящих в состав среднеэоцен-нижнемиоценовой *ваямпольской* серии. Возраст субвулканического комплекса установлен  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  методом инструментального датирования и соответствует нижнему плиоцену (3.8 млн. лет). Базаниты представляют собой сливные породы, их мелкопорфировая структура обусловлена присутствием диоморфных и резорбированных фенокристаллов оливина и единичных крапленников Crx и клинопироксена в тонкокристаллической микродолеритовой основной массе. В микродолеритовой основной массе базанитов развиты лейсты плагиоклазов, клинопироксен, титаномагнетит, микролиты и интерстиционные выделения нефелина, лейцита, реже кислых плагиоклазов и анальцима.

Направленность изменения химизма остаточного расплава базанитов в результате кристаллизации вкрапленников Ol в парагенезисе со шпинелью и магнетитами, а также последующей массовой кристаллизации субфенокристаллов и микролитов Ol, Pl, Crx и Ti-Mgt демонстрируется увеличением щелочности и глиноземистости остаточного расплава в процессе кристаллизации вплоть до появления фонотефритовых составов. Включения шпинелей в ядрах вкрапленников оливинов близки по составам к пикотитам и хромпикотитам.

Базаниты г. Хухч относятся к группе основных фельдшпатоид-содержащих щелочных пород К-На ряда ( $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$  1.5-1.9). Для базанитов характерны высокие концентрации сидерофильных элементов (Co, Ni, Cr), высокозарядных - HFSE (Nb, Ta), радиоактивных - Th и U, а также LREE, на фоне умеренных содержаний Zr, Hf, Rb, Ba, Sr, Pb, Cu и Sn. Породы обладают высоким уровнем фракционирования редкоземельных элементов  $\text{La}_N/\text{Yb}_N = 10,8-12,6$ , а значения многих маркирующих редкоэлементных отношений указывают на принадлежность базанитов Западной Камчатки к группе базальтоидов внутриплитного геохимического типа ( $\text{Ba}/\text{Nb}$  10-12;  $\text{Sr}/\text{Nb}$  17-18;  $\text{Ta}/\text{Yb}$  1.3-1.6. Это отчетливо иллюстрируется положением точек составов пород на

дискриминационных диаграммах (рис. 5, 6), на которых точки составов базанитов находятся на линии вещественного тренда базальтоидов срединно-океанических хребтов (MORB) и внутриплитных обстановок и в пределах поля составов WPB.

На мультикомпонентных диаграммах распределения элементов вещественные отличия базанитов выражены также отчетливо (рис. 8). Базаниты Западной Камчатки обнаруживают значительное вещественное сходство с базальтами океанических островов (OIB). Температуры кристаллизации первых ликвидусных фаз наиболее магнезиальных Ol и Sp в родоначальном базанитовом расплаве оцениваются в  $\sim 1372-1369$  °С. Условий «мантийного» равновесия расплав мог достигать при давлении в 25-26 кбар.

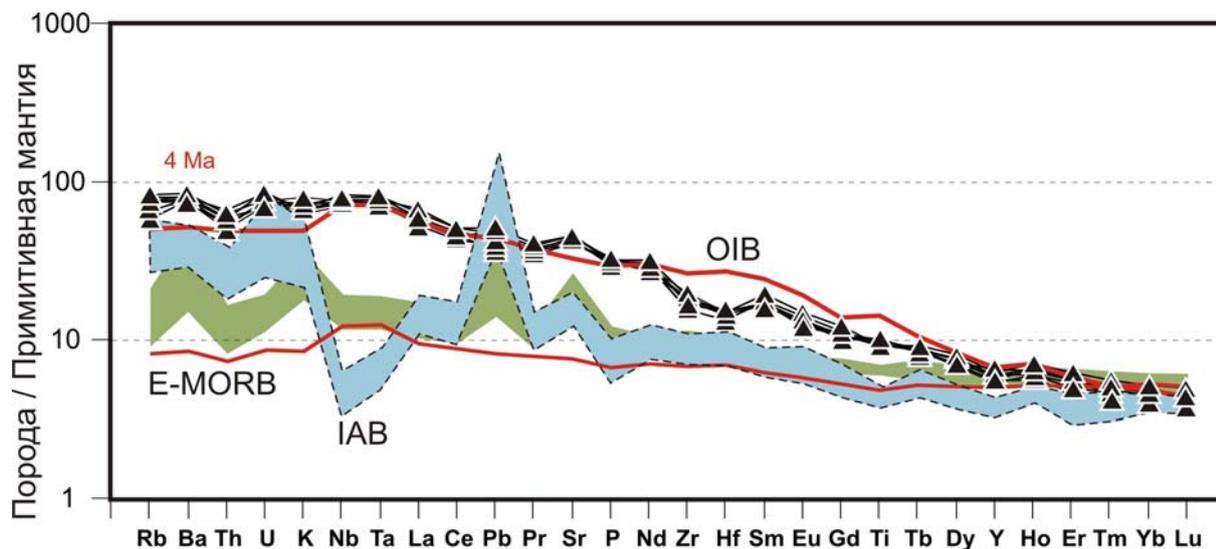


Рис. 8. Диаграмма распределения магматофильных элементов для раннеплиоценовых базанитов горы Хухч.

Условные обозначения см. на рис. 5, 7.

Высокие значения температур кристаллизации первых ликвидусных минеральных фаз Ol+Sp, давления «мантийного» равновесия родоначального расплава и микроэлементные характеристики пород не противоречат модели формирования базанитовой магмы в области гранатовой фации глубинности мантии. При этом диапазон величин отношений  $La_N/Yb_N$ ,  $Dy_N/Yb_N$  и содержаний в породах  $Yb_N$ , отвечают модели  $\sim 6$  % частичного плавления гранат-содержащего перидотита. Предполагается, что на этапе проявления неогеновых щелочных базитовых магм в задуговой геодинамической обстановке Западной Камчатки процессы магмообразования происходили при относительном разогреве мантии и соответствующем утонении литосферы, свойственных процессам внутриплитной активизации. Геодинамическая обстановка проявлений базанитового магматизма Западной Камчатки определяется прекращением олигоцен-раннемиоценовой субдукции океанической плиты под континентальную окраину Камчатки и развитием процессов рассеянного рифтогенеза вплоть до этапа формирования новой плиоцен-четвертичной субдукции Тихоокеанской океанической плиты.

Время проявления щелочно-базальтового магматизма на Камчатке согласуются со временем наиболее интенсивных процессов растяжения в окраинных морях на Западе Тихого океана, которые маркировались вначале направленными к северу сдвиговыми дислокациями, а затем рифтогенными и

спрединговыми структурами. В этот период в условиях преобразования конвергентной границы Азиатской континентальной и океанических плит в трансформную, глубокие расколы литосферы и декомпрессионное магмообразование на фоне относительного разогрева мантии могли определить возможность проявления базитовых магм в тыловых областях активной континентальной окраины.

Щелочные базальты (гавайиты) среднеплиоценового возраста и исследованы на Западной Камчатке в строении вулканической постройки горы Эмгучань в междуречье рек Анава и 1-я Белоголовая Западной Камчатки (рис. 4Б). Вулканическая постройка горы Эмгучань представляет собой существенно эродированный аппарат и представлена субвулканическими телами, развалами лав и туфобрекчиями базальтоидов. Диаметр выходов коренных пород не превышает 300 м. Собственно вулканическая постройка расположена на теле гигантской андезитовой экструзии горы Эмгучань в ее западной части. Возраст щелочных базальтов установлен  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  методом инструментального датирования и соответствует среднему плиоцену  $-3.0 - 2.7$  млн. лет ( $\text{N}_2^2$ ).

Породы вулканического центра горы Эмгучань представлены базальтами сливного и мелкопорфирового облика с вкрапленниками оливина. На уровне субфенокристаллов в породах развиты оливины и клинопироксены. Основная масса пород состоит из микролитов плагиоклазов, К-На полевых шпатов, Срх, TiMgt и редкого Ар. Стекло основной массы раскристаллизовано и состоит из выделений К-На полевых шпатов, анортоклазов и фельдшпатоидов. Уникальным для магматических комплексов активной континентальной окраины Камчатки является развитие в некоторых типах базальтоидов горы Эмгучань вкрапленников лейцита и интерстиционных выделений лейцита, нефелина и содалита. Минералы группы фельдшпатоидов имеют в изученных породах составы обычно близкие по составу к их идеальным формулам.

На классификационной диаграмме  $\text{SiO}_2-(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$  составы базальтоидов горы Эмгучань располагаются в поле гавайитов и щелочных базальтов. Нормативный минеральный состав пород характеризуется высокими содержаниями  $\text{Ne}_N=2.9-7.8$ . Редкоэлементные составы базальтоидов горы Эмгучань отвечают промежуточным характеристикам между щелочными базальтами WPB геохимического типа и островодужными базальтоидами и по ряду маркирующих редкоэлементных отношений могут быть отнесены к базальтоидам переходного геохимического типа WPB-IAB ( $\text{Ba}/\text{Nb}=40-54$ ). На дискриминационных диаграммах точки составов базальтоидов горы Эмгучань также занимают промежуточное положение между полями составов WPB+MORB и IAB базальтоидов (рис. 5, 6). Графики распределения магматофильных элементов для базальтоидов г. Эмгучань обнаруживают значительно более высокие концентрации HFSE и LILE компонентов в сравнении с островодужными базальтами, но также как и последние они имеют положительные аномалии по Ba, Pb и Sr и отрицательные по Nb и Ta (рис. 9). В целом щелочные базальты г. Эмгучань характеризуются повышенными концентрациями LILE компонентов и высокой степенью фракционирования REE ( $\text{La}/\text{Yb}=6.9-12.4$ ).

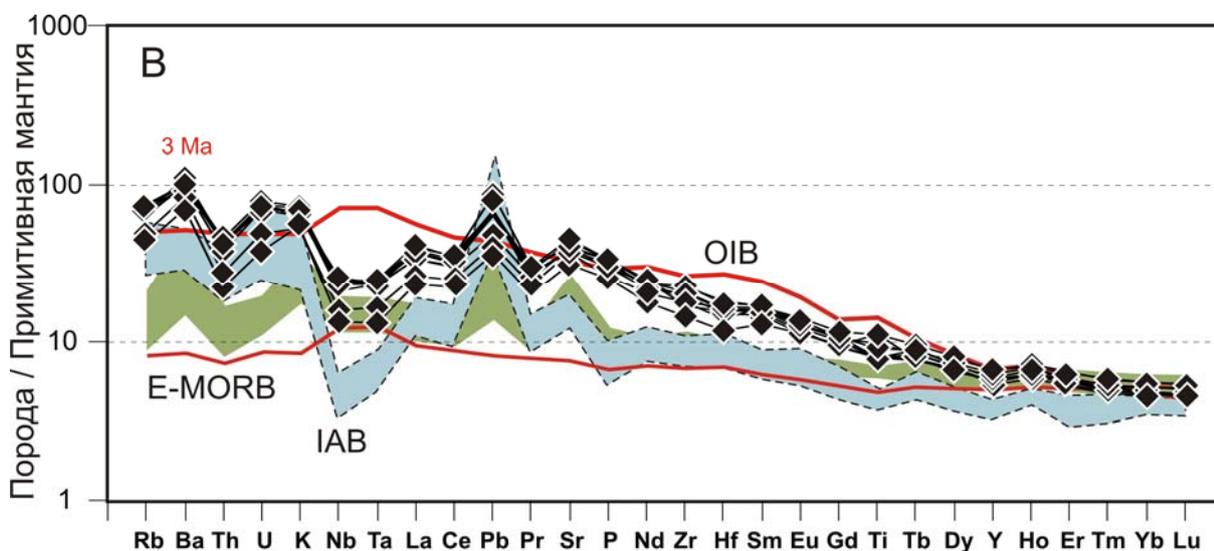


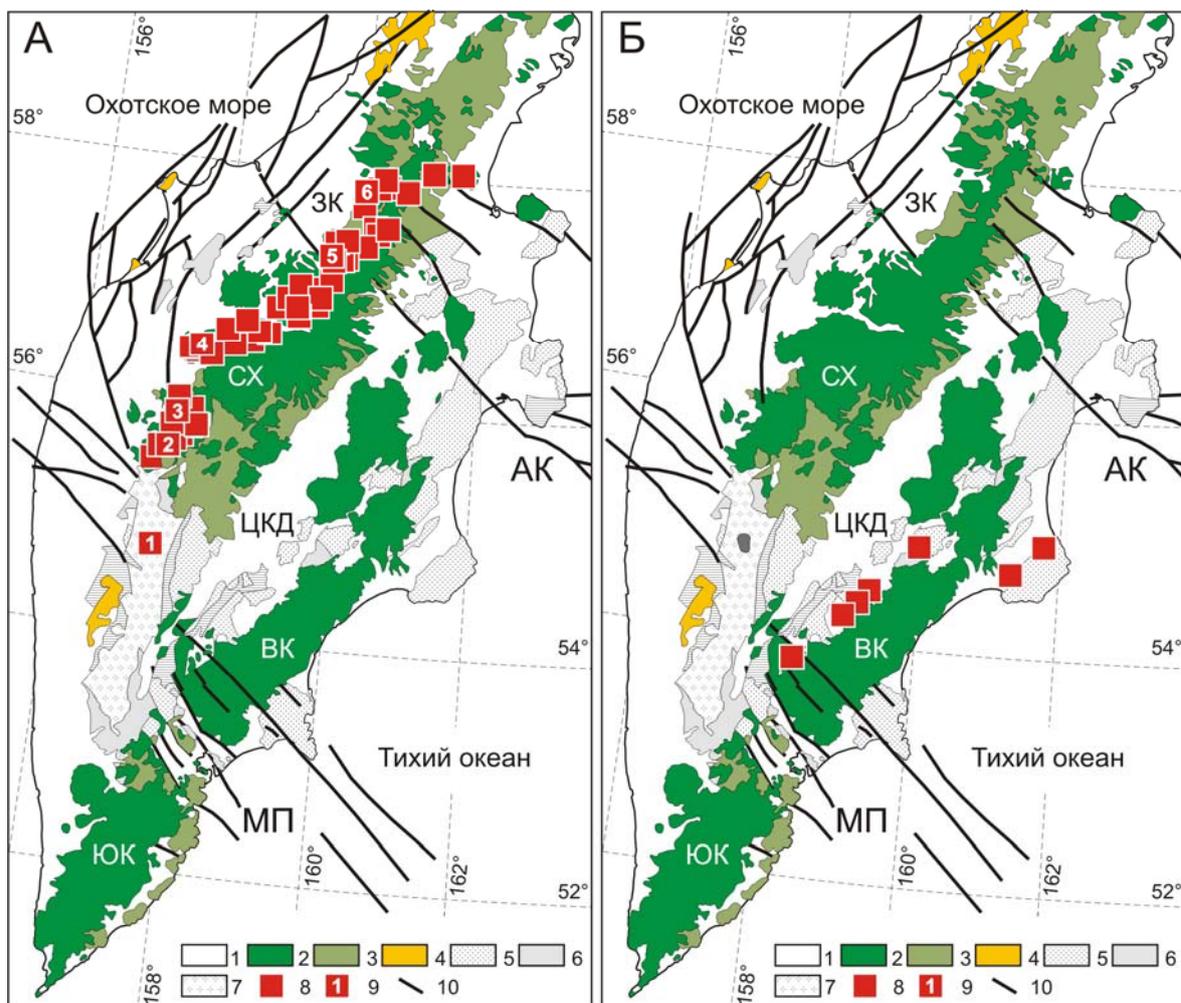
Рис. 9. Диаграмма распределения магматофильных элементов для среднеплиоценовых габбaitов массива горы Эмгучань. Условные обозначения см. на рис. 5, 7.

Проявление на Западной Камчатке в раннем плиоцене типичного WPB щелочного базальтоидного магматизма и в среднем плейстоцене переходных к IAB типов щелочных магм свидетельствует о последовательном увеличении роли в магмообразовании вещества метасоматизированной мантии. Исходные магмы щелочных базальтов и габбaitов образовались в сравнении с базанитовыми в менее глубоких условиях в области Sp-перидотитов и несут признаки участия в их формировании как OIB, так и IAB источников вещества.

### *Позднеплиоцен-четвертичный К-На щелочно-базальтовый магматизм Срединного хребта Камчатки.*

В строении вулканического пояса Срединного хребта исследованы позднеплиоцен-четвертичные щелочно-базальтовые и переходные по вещественному составу комплексы пород (рис. 10А). Они значительно уступают по объемам островодужным вулканическим комплексам в целом, но на определенных возрастных интервалах и в строении отдельных зон сопоставимы с ними или преобладают. Более 50 вулканических сооружений с проявлениями щелочно-базальтовых магм локализованы в пределах шести обособленных зон. С юга на север выделены Хангарская (плато Голодьяк в южной части структуры вулкана Хангар), далее и последовательно к северу Паялпанская, Кекукнайская (вулкан Большой, ареальная зона Дола Геологов), Чекчебонайская, Седанкинская и Теклетунупская структуры.

В результате петролого-геохимических исследований разработана модель происхождения и эволюции К-На щелочно-базальтового магматизма в тыловом вулканическом поясе островодужной системы Камчатки. Установлено, что в пределах Срединного хребта К-На щелочно-базальтовый магматизм в ассоциации с островодужными (IAB) и переходными вещественными комплексами пород проявляется на двух разобщенных во времени этапах - N<sub>2</sub>-Q<sub>1</sub> и Q<sub>3</sub>-Q<sub>4</sub>. Магматизм первого из этих этапов представлен в южной и центральной зоне пояса щелочно-



**Рис. 10. Ареалы позднеплиоцен-четвертичного К-На щелочно-базальтового магматизма вулканического пояса Срединного хребта (А) и позднемиоцен-раннеплиоценового К-На щелочно-базальтового магматизма Восточной Камчатки (Б) на схеме кайнозойских вулканических поясов.**

Условные обозначения см. на рис. 1. Районы исследований (9): А – 1 – плато Голодьяк, 2 – вулкан Белоголовский, 3 – вулкан Большой Паялпан, 4 – вулкан Большой и ареальная зона Дола Геологов, 5 – Седанкинская ареальная зона, 6 – ареальная зона вулкана Теклетунуп; Б – по данным (Волынец и др., 1990, 1997; Hoernle et al., 2009; Авдейко и др., 2010).

базальт-трахит-комендитовой серией щитовых вулканов Белоголовского и Ньюлканде Ичинской группы, а также щелочно-базальт-трахитовой серией вулкана Большого в Кекукнайской структуре.

Возраст проявлений ЩБ магм  $N_2-Q_1$  составляет 2.06-1.35 млн. лет ( $^{40}Ar/^{39}Ar$ ). Следующий этап щелочно-базальтового и переходного к IAB типу К-На субщелочного магматизма проявлен на всем протяжении вулканического пояса, от лавового плато Голодьяк на юге до вулкана Ховхойтун на севере (~ 400 км), в виде щитовых и моногенных вулканических построек ареального типа (> 50). Щелочно-базальтовый магматизм этого этапа развивается одновременно с известково-щелочным островодужным, но без пространственной ассоциации с ними в единых вулканических центрах. Начало этого этапа датируется поздним плейстоценом ~ 0.08 млн. лет ( $^{40}Ar/^{39}Ar$ ) с продолжением развития вплоть до голоцена. Позднеплиоцен-раннеплейстоценовый К-На щелочно-базальтовый

вулканизм имеет наиболее ярко выраженные WPB вещественные характеристики и представлен гавайитами ( $Ba/Nb=25-10$ ,  $Nb/Yb=14.0-7.3$ ). На позднеплейстоцен-голоценовом этапе магматизм с проявлением WPB геохимических характеристик представлен двумя вещественными типами. Первый из них отвечает составам гавайитов Дола Геологов, вулканов Большой, Большой Паялпан и плато Голодьяк, которые характеризуются переходными в направлении к OIB вещественными чертами ( $Ba/Nb=37-27$ ,  $Nb/Yb=10.5-5.4$ ). Второй тип представлен К-На щелочными и субщелочными базальтоидами ряда построек Теклетунупской, Седанкинской и Паялпанской структур. В сравнении с IAB они отличаются заметно более высокими концентрациями HFSE ( $Ba/Nb=96-39$ ,  $Nb/Yb=6.7-2.7$ ) (рис. 11).

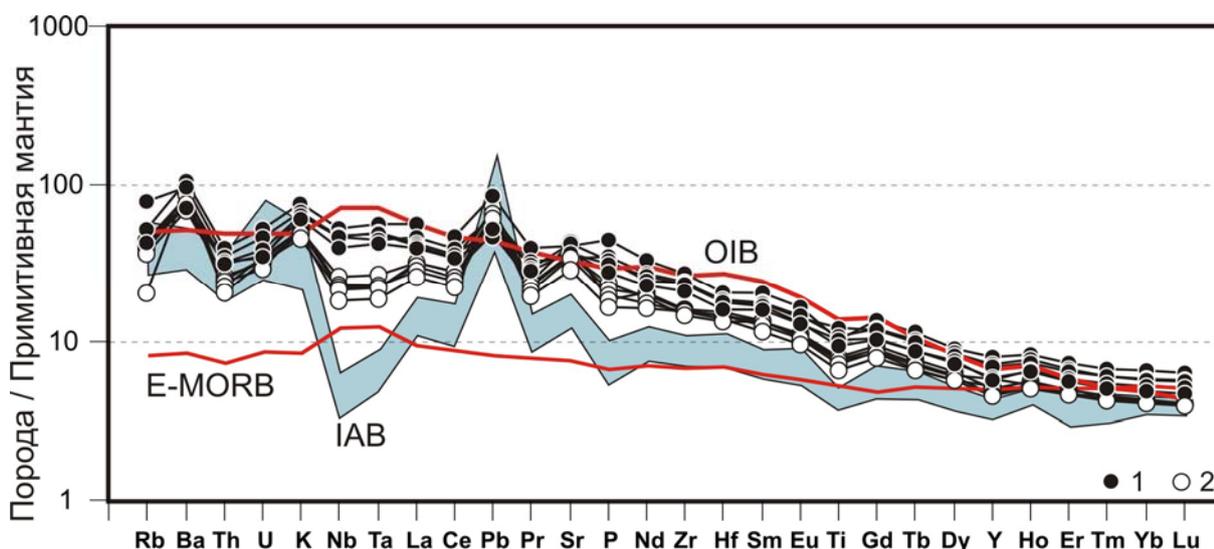


Рис. 11. Диаграмма распределения магматофильных элементов для пород позднеплиоцен-четвертичных К-На щелочно-базальтовых комплексов вулканического пояса Срединного хребта.

Точки составов: 1 – гавайиты и 2 – щелочные базальты позднеплиоцен-четвертичных вулканических центров Срединного хребта.

Модель развития позднеплиоцен-четвертичного щелочно-базальтового магматизма с WPB геохимическими характеристиками в тыловом вулканическом поясе островодужной системы Камчатки предполагает ведущую роль в процессах образования исходных магм астеносферного апвеллинга в зоне деструкции и образования «slab-window» в субдуцированной в олигоцен?-миоценовое время океанической плите. Источником астеносферных магм служила рециклированная и преобразованная океаническая литосфера. В результате подъема преобразованного астеносферного вещества в виде диапира (плюма) реализуются процессы магмообразования с формированием обогащенных HFSE расплавов. На позднеплейстоцен-голоценовом этапе К-На щелочно-базальтовые магмы проявлены в линейных зонах северо-восточного простираения вдоль вулканического пояса Срединного хребта.

В результате начала новых субдукционных процессов, связанных с погружением под континентальную окраину Камчатки Тихоокеанской океанической плиты, магмообразование такого типа в тыловом поясе прекращается и возобновляется лишь в позднеплейстоцен-голоценовое время.

Одни типы расплавов при этом образуются при участии вещества мантийного диапира, который «всплывает» в область метасоматизированной мантии, и отвечают по составам гавайитовому типу магм, другие же расплавы формируются на уровне метасоматизированного мантийного клина с участием вещества диапиров или без него, что приводит к формированию магм как переходного типа, с конвергенцией «внутриплитных» и островодужных вещественных характеристик, так и расплавов с близкими к островодужным геохимическими чертами. В рамках предлагаемой модели могут быть объяснены как современная активность тылового вулканического пояса островодужной системы на всем его протяжении, так и происхождение здесь магм с WPB геохимическими свойствами.

## ГЛАВА 4. ЭТАПЫ И ОБСТАНОВКИ КАЙНОЗОЙСКОГО КАЛИЕВОГО ЩЕЛОЧНОГО И СУБЩЕЛОЧНОГО МАГМАТИЗМА КАМЧАТКИ

### Позднэоцен-раннемиоценовый калиевый щелочной Западной Камчатки.

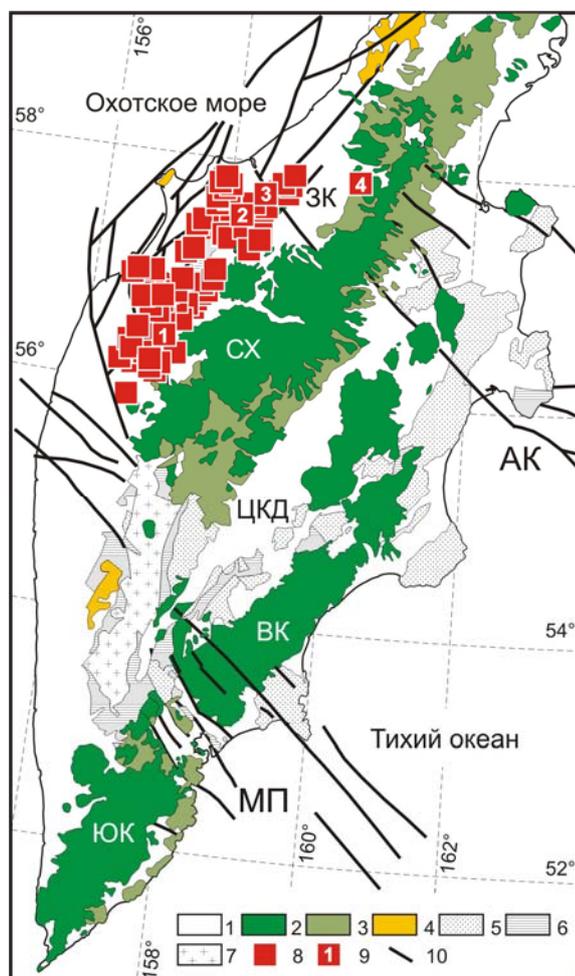


Рис. 12. Ареал позднеэоцен-раннемиоценового калиевого щелочного и абсарокит-шошонит-латитового магматизма Западной Камчатки на схеме кайнозойских вулканических поясов.

Условные обозначения см. на рис. 1. Районы исследований (9): А – 1 – бассейн р. Быстрая Хайрюзовская, 2 – бассейн р. Напана, 3 – бассейн р. Аманина, 4 – вулкан Теклетунуп.

Установлено, что на территории Западной Камчатки от широты р. Сопочная на юге и до бассейна р. Палана на севере широко проявлен субвулканический магматизм представленный сериями даек, силлами, интрузивными залежами, куполами и лакколитами калиевых щелочных пород - трахибазальтов, шонкинитов и сиенитов (рис. 12). Мощность субвулканических тел варьирует от 15-20 до 60 м. Лакколиты и купола достигают размеров в 1-1.5 км. Субвулканические тела локализованы в палеоцен-эоценовых осадочных толщах.

Протяженность ареала в субмеридиональном направлении составляет

более 500 км. Участки проявлений субвулканического магматизма приурочены, главным образом, к Тигильскому антиклинальному поднятию. Возраст субвулканических тел калиевых щелочных базальтоидов установлен  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  методом инструментального датирования в диапазоне 35-17 млн. лет ( $E_2^3$ - $E_3^1$ , поздний эоцен – ранний миоцен).

По типам структур и минералогическим характеристикам в составе калиевой щелочной серии выделяются группы микрошонкинитов, порфирированных шонкинитов и трахибазальтов, а также полнокристаллических разновидностей пород - шонкинитов и сиенитов. Порфирированные шонкиниты и трахибазальты содержат до 10 об.% вкрапленников и субфенокристаллов Ol и Crx в раскристаллизованной основной массе. Рудные минералы представлены в них субфенокристаллами и микролитами CrTiMgt, TiMgt, а также включениями шпинелей в оливинах (алюмохромиты  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  46-60 мас.%, плеонасты  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  8-9 мас.% и  $\text{Al}_2\text{O}_3$  54-55 мас.%). Основная масса этих пород состоит из лейст Pl, Kfs и рудных минералов с более мелкими зернами Phl, Vt и выделениями анальцима. Порфирированная структура шонкинитов определяется присутствием крупных вкрапленников слюды и в меньшей степени Crx. Сиениты имеют лейкократовый облик и состоят из крупных кристаллов K-Na полевого шпата, слюды и реже Crx, анальцима и Amph. Среди полевых шпатов в породах калиевой щелочной серии преимущественным распространением пользуются Na-санидины. Шонкиниты и трахибазальты характеризуются двуполевошпатовым парагенезисом минералов – битовниты, лабрадоры, андезины и Na-санидины (Or 55-76). Пироксены из пород калиевой щелочной серии отвечают по составам салитам, диопсидам, Mg-авгитам и авгитам. Оливины из микрошонкинитов имеют гортонолитовые составы (Fo 79-61), а среди вкрапленников Ol в трахибазальтах обнаруживаются более магнезиальные Ol (Fo 88-82). Слюды из пород калиевой щелочной серии эволюционируют от флогопитов до Mg- и Fe-биотитов, а амфиболы из сиенитов отвечают по составам ферроэденитам и ферроэденитовым роговым обманкам.

Главными вещественными особенностями пород базальтоидов калиевой щелочной серии является их высокая магнезиальность и высокие содержания Ni, Co, Cr при значительной обогащенности многими LILE (P, K, Rb, Ba, Pb, Sn, Be, F, U, Th) и HFSE (Zr, Hf) при значительной деплетированности по Nb. Для пород характерна высокая степень дифференциации REE ( $\text{La}_N/\text{Yb}_N$  8.5-17.5 для микрошонкинитов и 10.4-34.0 для шонкинитов и сиенитов). Индикаторные редкоэлементные отношения ( $\text{Ba}/\text{Nb}=82-328$ ) и положение точек составов пород на дискриминационных диаграммах (рис. 5, 7) указывают на сходство калиевых щелочных базальтоидов с IAB. На мультикомпонентной диаграмме (рис. 13) графики составов калиевых щелочных базальтоидов обладают сходным с IAB относительным распределением элементов, отрицательными аномалиями по HFSE (Ta, Nb), положительными для Rb, Ba, K, Pb и Sr, но более высокими уровнями содержаний большинства LILE компонентов и аномально высокими Zr и Hf.

Модель формирования калиевых щелочных базальтоидных магм Западной Камчатки в позднем эоцене – раннем олигоцене должна быть основана на достаточно точной их привязке к истории геодинамического развития островодужной системы Камчатки. Формирование Тигильского поднятия, к структуре которого приурочено большинство объектов калиевого магматизма, может свидетельствовать об отсутствии в этот период тектонически выраженных процессов растяжения в литосфере. Мантийный субстрат, плавление которого

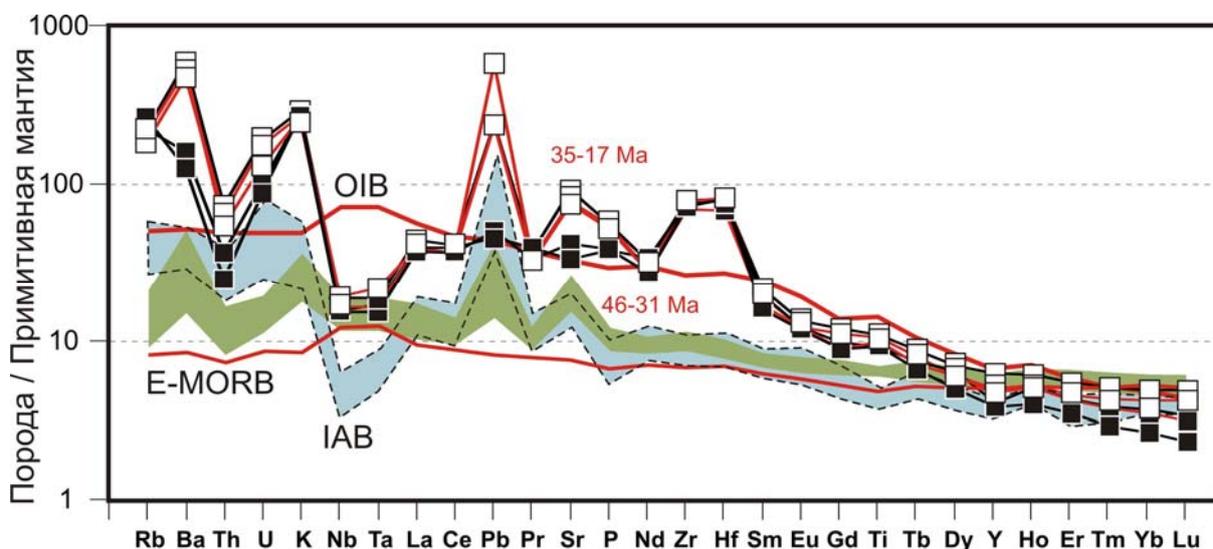


Рис. 13. Диаграмма распределения магматофильных элементов для позднеэоцен-раннеолигоценовых калиевых щелочных базальтоидов Западной Камчатки.

Условные обозначения см. на рис. 5. Поле составов IAB – островодужные базальты плиоцен-четвертичных вулканических поясов Камчатки (данные автора).

привело к образованию калиевых магм, мог отвечать по составу флогопит-содержащему гарцбургиту, метасоматизированной в ходе ранне-среднеэоценовой субдукции со стороны Охотской плиты. Развитие калиевого щелочного магматизма Западной Камчатки связано с процессами постсубдукционного магмообразования в условиях апвеллинга астеносферной мантии.

### Ранне-позднемиоценовый абсарокит-шошонит-латитовый магматизм Западной Камчатки.

Ранне-позднемиоценовый абсарокит-шошонит-латитовый магматизм вулканического пояса Западной Камчатки рассматривается в данном исследовании на примере субвулканических тел бассейна р. Быстрая-Хайрюзовская и вулканической постройки Теклетунуп, локализованной на западной границе вулканического пояса Срединного хребта (рис. 12). Необходимость отнесения этого сооружения к западно-камчатскому ареалу следует из аналогии возраста и состава слагающих его субщелочных пород калиевого ряда с экструзиями Шадринских сопок на Западной Камчатке (бассейн рек Тигиль и Аманина).

В современном виде вулкан Теклетунуп представляет собой существенно эродированный массив диаметром 15-18 км. Объем изверженного материала этого центра оценивается примерно в 56 км<sup>3</sup>. Фундамент вулканического сооружения представлен терригенно-осадочной толщью раннемиоценового возраста. В истории своего формирования постройка вулкана Теклетунуп последовательно прошла стадии развития щитового вулкана, осложненного неглубокой кальдерной депрессией и характеризующегося субщелочным абсарокит-шошонит-латитовым магматизмом, и стратовулкана, сложенного продуктами вулканизма нормальной щелочности, с образованием экструзивно-интрузивного комплекса пород в центральной части сооружения. Возраст игнимбритов латитового состава вулкана

Теклетунуп определен методом  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  изотопного датирования и составил  $5.7 \pm 0.16$  млн. лет (Bindeman et al., 2010). Извержения игнимбритов латитов и последующие редкие излияния лав шошонитов завершают формирование щитовой постройки вулкана Теклетунуп и эволюцию собственно шошонит-латитовой серии.

Главными петрографическими признаками пород шошонит-латитовой серии вулкана Теклетунуп являются развитие, наряду с плагиоклазами, микролитов и реже субфенокристаллов К-На полевых шпатов; наличие среди вкрапленников  $\text{Sr}$  при менее значительном распространении  $\text{Ol}$ , а также развитие в породах крупных выделений рудных фаз ( $\text{TiMgt}$ , и в мегаплагиофировых разностях пород - самородной  $\text{Cu}$ ), реже - выделений анальцима. Общая высокая щелочность пород шошонит-латитовой серии вулкана Теклетунуп выделяет их не только по отношению к известково-щелочным умереннокалиевым вулканическим породам Камчатки, но также и в сравнении с составами пород высококалиевых серий осевой зоны вулканического пояса Срединного хребта. Геохимические особенности субщелочных калиевых пород вулкана Теклетунуп показаны на диаграмме распределения гигромагматофильных элементов (рис. 14). На уровне шошонитовых базальтов тренды распределения элементов обладают глубокими минимумами по  $\text{Th}$  и  $\text{Nb}$  максимумами по  $\text{Ba}$ ,  $\text{K}$ ,  $\text{Pb}$  и  $\text{Sr}$ , что характерно для надсубдукционных известково-щелочных серий пород островных дуг и активных континентальных окраин.

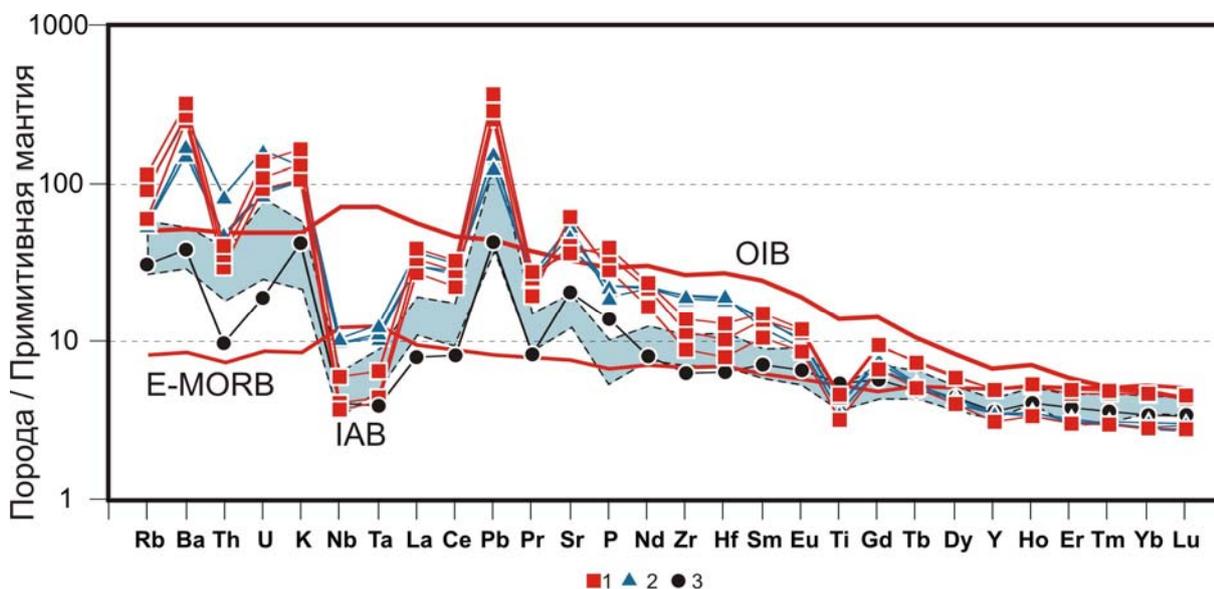


Рис. 14. Диаграмма распределения магматофильных элементов для пород ранне-позднемиоценового шошонит-латитового магматизма Западной Камчатки.

1 – шошонитовые базальты и шошониты вулкана Теклетунуп, 2 – шошонитовые базальты, шошониты и 3 – абсарокиты раннемиоценовых магматических комплексов Западной Камчатки. IAB – поле составов островодужных базальтоидов Восточной Камчатки.

Происхождение дифференцированного ряда пород шошонит-латитовой серии связывается с эволюцией абсарокитовых магм, сформированных в условиях низкой степени парциального плавления мантийного субстрата, имеющего состав флогопит-содержащих верлитов и пироксенитов, то есть обогащенного

источника. Щитовой вулкан Теклетунуп был образован на позднемиоценовом этапе развития вулканического пояса Срединного хребта. Однако этот этап был близок временному интервалу между прекращением эволюции более ранней олигоцен-миоценовой островодужной структуры и началом нового субдукционного процесса в Курило-Камчатском глубоководном желобе. Тектоническая перестройка структуры Камчатки, произошла примерно 7 млн лет назад, в верхнем миоцене, когда образовался новый глубоководный желоб, фиксирующий место погружения океанической литосферы.

Фронт субдукционных магматических процессов мог достичь района вулкана Теклетунуп лишь в раннеплейстоценовое время (1.1-1.2 млн. лет). Таким образом, субщелочная серия пород щитовой постройки должна была быть сформирована ранее перед началом образования современной островодужных структур. Процессы магмообразования, которые привели к развитию шошонит-латитового магматизма в тыловой области вулканического пояса Срединного хребта Камчатки (Центрально-Камчатского пояса) могут быть отнесены к постсубдукционным. Для шошонит-латитовой серии вулкана Теклетунуп признаками участия в образовании исходных для нее магм «островодужного» источника вещества являются высокие содержания LILE компонентов (Rb, Ba, Pb, Sr, REE) и низкие концентрации HFSE (Ti, Ta, Nb). Однако ряд вещественных и минералогических характеристик пород предполагает участие в процессе магмообразования также и обогащенного источника при низкой роли водосодержащих флюидов (высокая магнезиальность и щелочность исходных абсарокитовых магм, отсутствие водосодержащих минералов в породах шошонит-латитового ряда, развитие на уровне акцессорной фазы самородной меди). Магмообразование такого типа возможно в надсубдукционной метасоматизированной мантии на этапе прекращения активной субдукции и подъема астеносферной мантии, также как и в случае образования калиевого щелочного и шошонит-латитового магматизма Западной Камчатки. Подтверждение этому служит факт обнаружения полных аналогов шошонитовых базальтов вулкана Теклетунуп в районе Тигильского поднятия Западной Камчатки (Шадринские сопки). Это обстоятельство не позволяет связывать происхождение шошонит-латитовой серии вулкана Теклетунуп с историей развития собственно вулканического пояса Срединного хребта, а свидетельствует о более региональном характере субщелочного магмообразования не только на Западной Камчатке, но и в районах вулканического пояса Срединного хребта.

## **ГЛАВА 5. ЭТАПЫ И ОБСТАНОВКИ КАЙНОЗОЙСКОГО Mg#-АНДЕЗИТОВОГО И NEB-АДАКИТОВОГО МАГМАТИЗМА КАМЧАТКИ**

В островодужной системе Камчатки развитие примитивного магнезиального андезитового и NEB магматизма впервые установлено на Корякском перешейке (Kerezhinskas et al., 1989; 1995; 1996), а Mg#-андезитового в Северном сегменте Центральной Камчатской депрессии и структуре Алеутско-

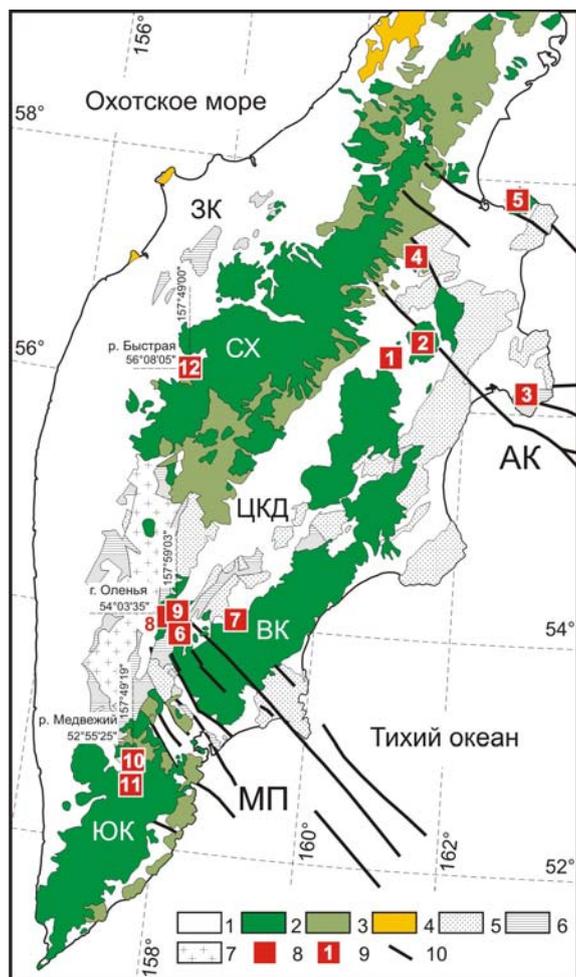


Рис. 15. Районы развития Mg#-андезит-NEB-адакитового магматизма Камчатки на схеме кайнозойских вулканических поясов.

Условные обозначения см. на рис. 1. Районы развития (9): по литературным данным – 1 – вулканы Заречный, Харчинский (Mg#-андезиты), 2 – вулкан Шивелуч (Mg#-андезиты), 3 – полуостров Камчатский Мыс (Mg#-андезиты, адакиты), 4 – Шишейский комплекс (Mg#-андезиты), 5 – вулкан Начикинский (NEB), 6 – вулкан Бакенинг (адакиты, NEB), 7 – Валагинский хребет (адакиты, NEB); по данным автора - 8 – междуречье рек Озерная Камчатка и Правая Камчатка (Mg#-андезиты, NEB, адакиты), 9 – г. Оленья (Mg#-андезиты, NEB, адакиты), 10 – руч. Медвежий (NEB), 11 – Саванская ареальная зона (NEB), 12 – район г. Тюрпора (Mg#-андезиты).

Камчатского сочленения (Волынец и др., 1997-2000; Yogodsinski et al., 2000, 2001; Portnyagin et al., 2007) (рис. 15).

В структуре раннеэоценового вулканогенно-осадочного фундамента и среди плиоцен-четвертичных комплексов Восточно-Камчатского вулканического пояса породы, близкие по составам к адакитам, установлены К. Ноерле с соавторами (Noernle et al., 2009), а также Г.П. Авдейко для района вулкана Бакенинг на основе анализа данных по составу дацитов и риодацитов (Dorendorf et al., 2000; Авдейко и др., 2011).

В ходе проведенных исследований на Западной и Южной Камчатке, а также в южном сегменте Центральной Камчатской депрессии обнаружены ранее неизвестные неоген-четвертичные ареалы развития Mg#-андезитового и NEB-адакитового вулканизма (рис. 15). К ним относятся ассоциация низкокремнистых адакитов, Mg#-андезитов и андезибазальтов, NEB, NEBA вулканического массива в междуречье рек Озерная и Правая Камчатка (Перепелов и др., 2009-2012), ассоциация Mg#-андезитов, высококремнистых адакитов, базальтов NEB и HNB типов вулканического массива горы Оленья и горы Большая Едома на южных флангах Центральной Камчатской Депрессии (Перепелов и др., 2013), четвертичные базальты NEB типа Южной Камчатки (вулканический конус ручья Медвежий и лавовый фундамент Саванской ареальной зоны), экструзии высококальциевых Mg#-андезитов района горы Тюрпора на Западной Камчатке.

Обнаружение новых ареалов магнезиального андезитового, адакитового и NEB вулканизма требует критического анализа или дополнений к ранее разработанным моделям геодинамического развития Камчатки в связи с особыми условиями формирования таких магм.

## Средне-позднеплиоценовый магнезиальный андезитовый и NEB-адакитовый вулканизм Малко-Петропавловской зоны поперечных разломных дислокаций.

Вулканический массив высоты 646 м. в междуречье рек Озерная Камчатка и Правая Камчатка (рис. 15) представляет собой эродированный щитовой вулкан размером ~ 4 на 6 км. Проведенное инструментальное  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  датирование обогащенных Nb базальтоидов и адакитов вулканической постройки показало их средне-позднеплиоценовый возраст в диапазоне ~3.4-2.0 млн. лет назад. Время лавовых извержений базальтоидов NEB типа определено в  $3.08 \pm 0.15$  млн. лет, Amph-содержащих адакитов ~3.13 млн. лет, Pl-Crx адакитов ~2.72, высококремнистых адакитов г. Оленьей – 3.4 млн. лет, а высоко Nb базальтов (HNB) ~2 млн. лет.

В строении вулканических массивов участвуют магнезиальные андезито-базальты (Mg# АВ) и андезиты (Mg# А), обогащенные Nb базальты и андезито-базальты (NEB, NEBA) и различные типы адакитов. Минеральные парагенезисы пород вулкана существенно различаются. Базальтоиды NEB типа содержат многочисленные вкрапленники Ol и редкие фенокристаллы Crx и Pl. Для Mg# андезибазальтов свойственно широкое развитие вкрапленников Ol и в меньшей степени фенокристаллов Crx, при этом вкрапленники Pl в них отсутствуют. Mg-А вулкана отличаются развитием среди вкрапленников исключительно Орх, которые в ядрах кристаллов имеют бронзовый состав, а в краевых зонах представлены гиперстенами ( $\text{En}_{66-64}$ ). Во вкрапленниках бронзитов обнаружены редкие включения кремнекислого стекла ( $\text{SiO}_2$  73.5-75.2 мас.%) с «трондьемитовым» и калиевым химизмом. Среди адакитов по минеральному составу выделяются две группы пород. Первые из них обладают специфическим Ol-Crx-Amph парагенезисом вкрапленников. Amph представлены резорбированными магнезиальными гастингситами (Mg# 75-70). Другая группа адакитов характеризуется широким развитием вкрапленников Pl и Crx. Высококремнистые адакиты (дациты и риодациты) характеризуются Amph-Pl-Crx-Орх парагенезисом вкрапленников. Все породы Mg#-андезит-NEB-адакитовой ассоциации отличаются высокой магнезиальностью (Mg# 70-58) и являются примитивными по химизму (Kelemen et al., 2003). Они имеют высоконатровый состав ( $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}=0.28-0.45$ ,  $\text{Na}_2\text{O}=3.8-4.7$  мас.%), обогащены Ni, Cr и в отличие от IAB Камчатки имеют, в целом, повышенные концентрации HFSE (Nb, Ta) и более низкие содержания HREE. Базальтоиды NEB типа ( $\text{SiO}_2 \leq 53$  мас.%) классифицированы согласно работе (Sajona et al., 1996). Относительно IAB они имеют высокие содержания  $\text{TiO}_2$  (1.45-1.34 мас.%), Nb (12-14 ppm) и низкие значения  $\text{La}_{\text{PM}}/\text{Nb}_{\text{PM}}=1.3-1.1$ . Классификация Mg#-андезибазальтов ( $54 < \text{SiO}_2 < 57$  мас.%, Mg# 70-67), Mg#-андезитов ( $58 < \text{SiO}_2 < 60$  мас.%, Mg# 70-69) и низкокремнистых адакитов ( $55 \leq \text{SiO}_2 < 59$  мас.%, Mg# 64-60) основана на положениях (Defant, Drummond, 1990; Kelemen et al., 2003). В отличие от Mg# пород среднего состава ( $\text{La}/\text{Yb}=8-12$ ,  $\text{Sr}/\text{Y}=32-52$ ,  $\text{Sr}=480-650$  ppm), адакиты выделяются в связи с их обогащенностью LREE и Sr ( $\text{La}/\text{Yb}=18-24$ ,  $\text{Sr}/\text{Y}=66-89$ ,  $\text{Sr}=890-1260$  ppm) (рис. 16). На диаграммах распределения магматофильных

элементов для пород исследуемой ассоциации (рис. 17) наблюдаются как признаки принадлежности их составов к IAB геохимическому типу, так и отличительные особенности. С IAB типами базальтоидов Камчатки их сближает наличие на графиках минимумов по Th, Nb, Ta, Zr, Hf и Y, а также небольших максимумов по Ba, K, Pb и Sr. При этом для исследуемых пород наблюдаются более высокие содержания HFSE (Nb, Ta), Th, U и LREE в сравнении с IAB. Основные по составу породы NEB типа и Mg андезибазальты и андезиты NEB-адакитовой ассоциации имеют низкие величины индикаторных отношений  $CaO/Al_2O_3$  (0.38-0,52) и  $Ni/MgO$  (23-30).

Результаты исследований магнезиальных андезитов Камчатки приводят ряд авторов к выводам, что в их происхождении могли принимать участие примитивные высококремнистые магмы дацитового состава (Portnyagin et al., 2007). Образование примитивных кислых расплавов рассматривается в рамках адакитового магмогенеза и связывается с плавлением в водных условиях эклогитизированных фрагментов субдуцируемой океанической плиты или пироксенитов. Петрологическое значение таких моделей трудно переоценить, так как позволяет предполагать возможность генерации первичных кислых магм в современных обстановках конвергенции литосферных плит. Предполагается, что взаимодействие примитивных дацитовых магм с перидотитами надсубдукционной мантии могло являться необходимым условием при формировании Mg#-андезитов.

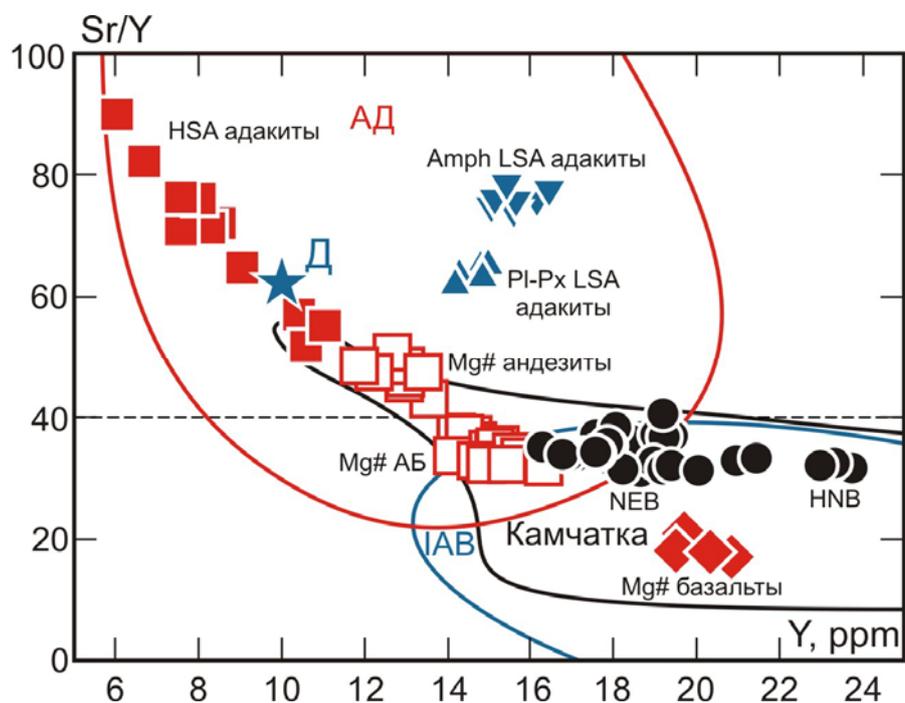


Рис. 16. Составы пород NEB-адакитовой и Mg# андезитовой ассоциаций южного фланга ЦКД на диаграмме Sr/Y-Y (г/г).

Поля составов пород по (Defant, Drummond, 1990): IAB – островодужные базальты и андезиты, АД – адакиты. Камчатка - поле составов базальтов и андезитов IAB геохимического типа плиоцен-четвертичных вулканических поясов островодужной системы Камчатки (n=1033). Д – «примитивный» дацитовый компонент по (Portnyagin et al., 2007). HNB – высоко Nb базальты, NEB – обогащенные Nb базальты, Mg# АБ – магнезиальные андезибазальты, LSA адакиты – низкокремнистые адакиты, HSA адакиты – высококремнистые адакиты г. Оленьей.

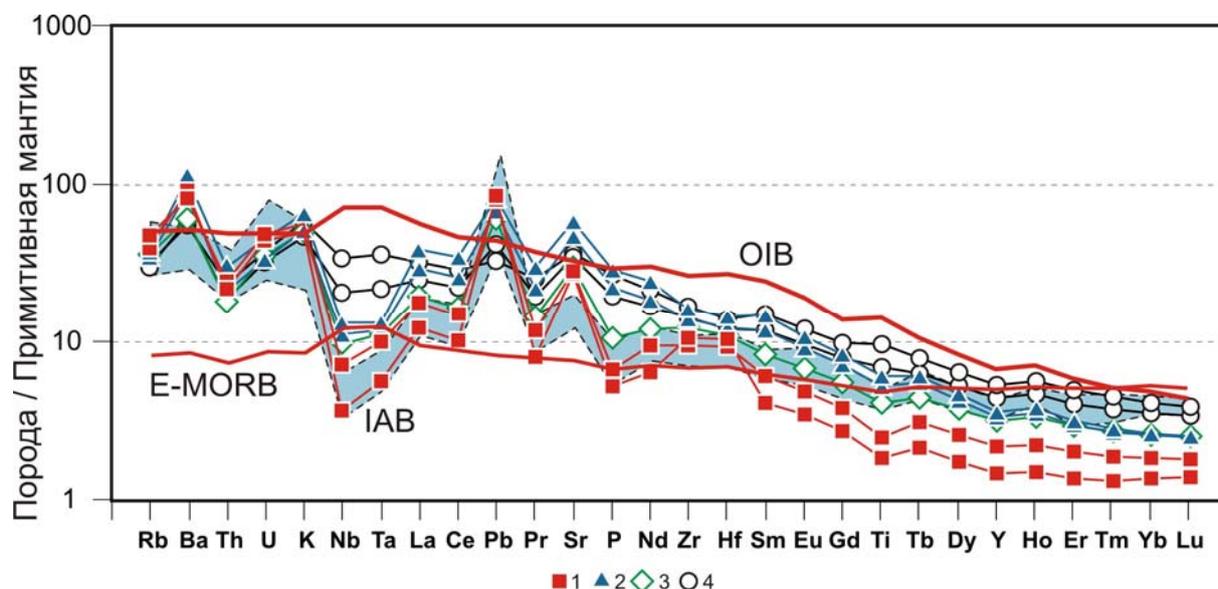


Рис. 17. Распределение магматофильных элементов для пород Mg# андезит-NEB-адакитовой ассоциации южного сегмента Центральной Камчатской депрессии.

Содержания элементов нормированы на средний состав MORB по (Sun, McDonough, 1989). Поля составов вулканических пород IAB геохимического типа Камчатки. Точки и графики составов пород: 1 высококремнистые адакиты (дациты, риодациты), 2 – низкокремнистые адакиты, 3 - Mg# андезиты, 4 - обогащенные Nb базальты (NEB, HNB).

Примитивные дациты и риодациты, или высококремнистые адакиты (HSA), установлены среди вулканических комплексов южного фланга Центральной Камчатской депрессии (ЦКД) в строении вулканических массивов гор Оленья, Большая Едома и западных отрогов Валагинского хребта. Породы такого состава слагают здесь крупные экструзии, дайки и реже лавовые покровы среднеплиоценового возраста в ассоциации с Mg# андезитами и базальтами NEB типа. Ареал их распространения протягивается в ЮЗ направлении вплоть до вулкана Бакенинг. Среди них выделяются Pl-Amph-Orх и Pl-Orх-Cрх разности пород, Амфиболы представлены магнезиальными роговыми обманками (Mg# 65-75), а Орх бронзитом и гиперстеном (En<sub>65-82</sub>). В виде включений в темноцветных минералах обнаруживается стекло трондьемитового состава, а в основной массе пород присутствуют выделения Qtz. Особенности распределения в породах петрогенных и редких элементов заключаются в их повышенной магнезиальности (Mg# 64-52), высокой натровой щелочности, обеднении REE, Y и повышенных концентрациях Sr (Sr/Y=50-90).

Условия развития NEB-адакитового вулканизма в южной части ЦКД могут быть рассмотрены с позиций существующих моделей формирования примитивных плиоцен-четвертичных магм на северном фланге ЦКД и зоне Алеутско-Камчатского сочленения (Portnyagin et al., 2007). Развитие Малко-Петропавловской поперечной зоны, связанное с нарушением сплошности субдуцируемой океанической литосферы, также могло послужить причиной взаимодействия астеносферного вещества с эклогитизированным слэбом и привести к формированию NEB и высокомагнезиальных андезитоидных магм на южном фланге ЦКД. Для принятия этой модели следует снять ряд ограничений.

Альтернативной моделью может служить предположение о вовлечении в процессы плавления вещества океанической плиты Кула, деструкция, а также погружение фрагментов которой после завершения субдукции способны объяснить характер локализации NEB и магнезиального андезитоидного магматизма.

Предложена «эклогитовая» модель формирования расплавов Mg# андезитовой и NEB-адакитовой вулканических ассоциаций южного фланга ЦКД. Погружение в позднем миоцене или раннем-среднем плиоцене деструктивных фрагментов океанической литосферной плиты в область астеносферной мантии в структуре Малко-Петропавловской зоны поперечных разломных дислокаций вызывает последовательные фазовые преобразования вещества плиты. В процессе погружения литосферного фрагмента происходит амфиболизация океанической коры, породы которой преобразуются в Amph габбро с возникновением кварц-содержащего прожилков, затем при погружении в область более высоких давлений происходит формирование Grt содержащих эклогитизированных габбро, в них формируется прожилкование с коэзитом, цоизитом и рутилом, и в завершение процесса образуются безводные эклогиты, что влечет за собой прекращение процессов расплавообразования. На первом этапе преобразований вблизи границы фазовых переходов в условиях последовательного снижения степени плавления формируются магмы Mg# андезибазальтов, Mg# андезитов и высококремнистых адакитов, на заключительных этапах фазовых трансформаций происходит образование NEB, HNB и низкокремнистых адакитов. Вовлечение в процессы магнообразования цоизита и рутила и формирование гранатового рестита определяют повышенные содержания в расплавах Ti, HFSE, Sr и других LILE компонентов в низкокремнистых адакитах. При этом какие-либо данные о существенном участии в формировании магнезиальных и адакитовых магм вещества астеносферной мантии или метасоматизированной мантии надсубдукционного клина не обнаружены. Положения данной модели базируются не только на оригинальных материалах по составам и минералогии пород, но и на многочисленных работах по эксгумированным эклогитам палеосубдукционных обстановок - Альпы (Dale et al., 2009).

## **ГЛАВА 6. ИСТОЧНИКИ МАГМ НА ЭТАПАХ СМЕНЫ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ОБСТАНОВОК**

### **Источники магм по изотопным данным.**

Для установления роли различных источников магматического вещества в формировании магм на этапах смены геодинамических режимов в истории развития Камчатки определены изотопные характеристики Sr, Nd и Pb главных типов пород исследованных кайнозойских щелочных и субщелочных базальтоидных и примитивных андезитоидных комплексов. Сравнение изотопных характеристик проводилось для инициальных значений с поправками на установленный изотопным датированием возраст пород (рис. 18).

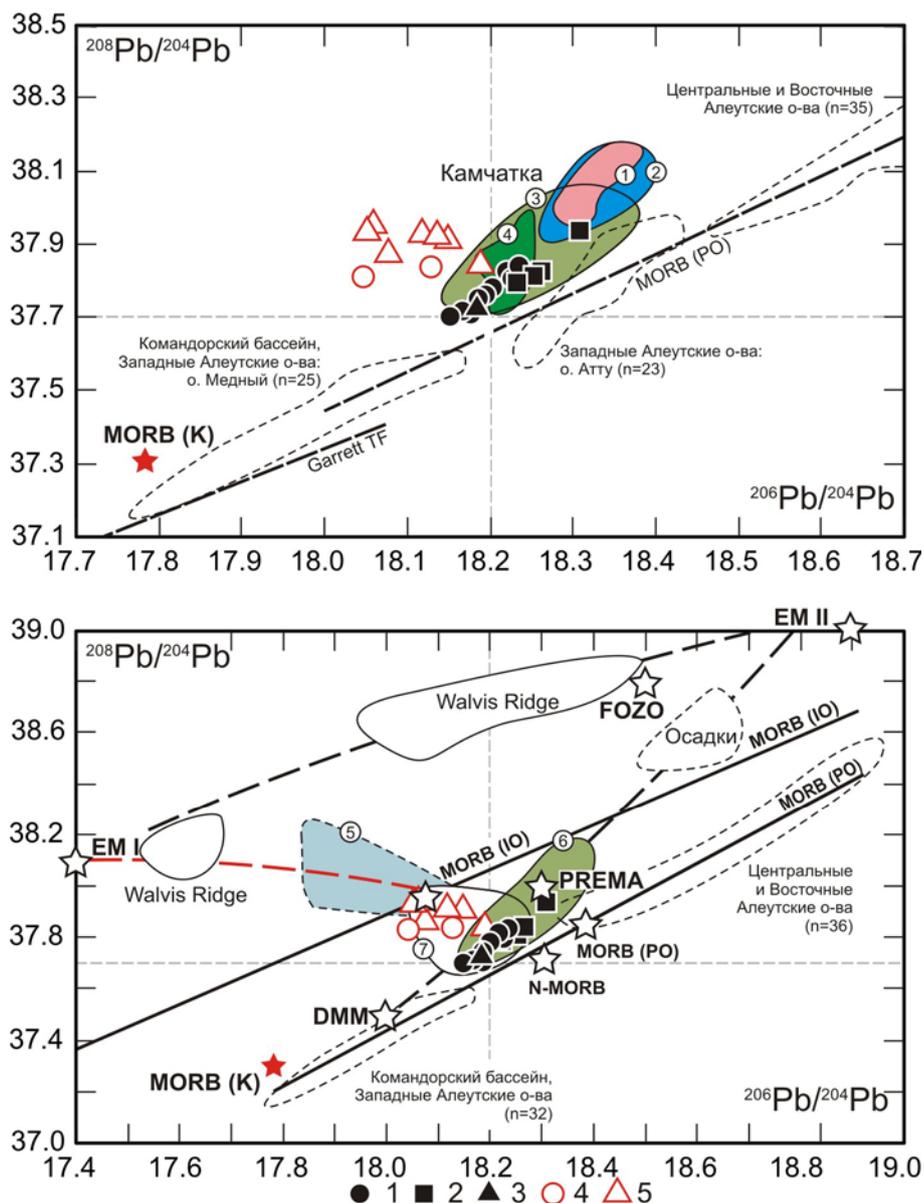


Рис. 18.  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  изотопные характеристики базальтоидов этапов смены геодинамических обстановок и надсубдукционных вулканических поясов Камчатки.

Точки состав пород: 1 - Mg#-андезит-NEB-адакитовой ассоциации, 2 – калиевых щелочных базальтоидов, абсарокитов и шошонитов Западной Камчатки, 3 – раннеплиоценовых базанитов Западной Камчатки, 4 – среднеэцен-раннеолигоценовых K-Na щелочных базальтоидов Западной Камчатки, 5 – K-Na щелочных базальтоидов Срединного хребта. MORB (K) – океанический базальт Командорского бассейна (Yogodzinski et al., 1995). Поля составов базальтов и андезитов: Командорского бассейна и Западных Алеутских островов (о. Медный) (Yogodzinski et al., 1994, 1995), Западных Алеутских островов (о. Атту) (Yogodzinski et al., 1993), Центральных и Восточных Алеутских островов (Kelemen et al., 2003; Jicha et al., 2004). Поля составов базальтов и андезитов IAB типа плиоцен-четвертичных вулканических поясов островодужной системы Камчатки по литературным данным (n=137): 1 – Южная Камчатка, 2 – Восточная Камчатка, 3 – Центральная Камчатская депрессия, 4 – Срединный хребет. 5 – поле составов K-Na щелочных базальтоидов Восточной Камчатки по (Волынец и др., 1997), 6 – островодужных базальтоидов Камчатки в целом, 7 - поле составов K-Na щелочных базальтоидов Срединного хребта по оригинальным данным и по (Churikova et al., 2001; Volynets et al., 2010). Метки изотопных резервуаров EM I, EM II, DMM, FOZO, PREMA, N-MORB, MORB (PO) - Тихий океан, MORB (IO) – Индийский океан, по литературным данным.

Анализ полученных данных показывает (рис. 18), что магмы Mg#-андезит-NEB-адакитовой ассоциации Камчатки, а также раннеплиоценовых базанитов Западной Камчатки отвечают модели взаимодействия источников DMM и PREMA или модели с участием умеренно деплетированного источника типа N-MORB. Магмы калиевых щелочных базальтоидов и абсарокит-шошонит-латитовой серии Западной Камчатки, также как и базальтоидные магмы островодужного геохимического типа активной окраины, по изотопным меткам соответствуют моделям взаимодействия DMM и вещества метасоматизированной литосферной мантии. Происхождение магм среднеэоцен-раннеолигоценых K-Na щелочно-базальтовых комплексов Западной Камчатки и позднеплиоцен-четвертичных K-Na базальтоидов связано с процессами взаимодействия мантийных источников DMM, PREMA и EMI ( $\Delta 8/4Pb=36-40$ ). Наиболее отчетливо участие источника EMI фиксируется для K-Na щелочных базальтоидов Восточной Камчатки ( $\Delta 8/4Pb=37-99$ ) (Волынец и др., 1997). Изотопные данные по магматизму этапов смены геодинамических обстановок не противоречат моделям участия в магмообразовании вещества рециклированной океанической литосферы, обогащенного астеносферного источника и метасоматизированной литосферной мантии. При этом из анализа изотопных меток базальтоидов надсубдукционного геохимического типа следует заключить, что состав литосферной мантии под вулканическим поясом Срединного хребта и частично под Центральной Камчатской депрессией имеет более деплетированный состав в сравнении с надсубдукционной мантий Восточной и Южной Камчатки.

### **Источники магм по данным о распределении элементов платиновой группы.**

Элементы группы платины (ЭПГ) в связи с особенностями их поведения в магматических процессах были использованы как индикаторные для установления источников надсубдукционных магм и расплавов, происхождение которых связывается с этапами прекращения субдукционных процессов и смены геодинамических обстановок. В связи с тем, что концентраторами ЭПГ в мантии являются интерстиционные сульфидные фазы и включения сульфидов в мантийных минералах, следует ожидать, что при участии гидратированного флюида надсубдукционная мантия будет относительно обогащаться Pt и Pd, а преобразование или эклогитизация литосферного вещества приведет к обеднению источника этими элементами в связи с разрушением сульфидного компонента в высокобарических условиях. В результате исследований следует заключить, что по данным распределения ЭПГ (рис. 19) источником неоген-четвертичных K-Na щелочно-базальтовых и NEB-адакитовых магм могла быть в различной степени преобразованная и эклогитизированная океаническая литосфера. Прежние представления об участии в процессах образования щелочно-базальтовых магм Камчатки источника типа OIB (Волынец и др., 1997; Churikova et al., 2001; Volynets et al., 2010) при этом не опровергаются. В связи с тем, что формирование источника OIB также может быть связано с вовлечением в процессы астеносферно-литосферного взаимодействия рециклированного вещества.

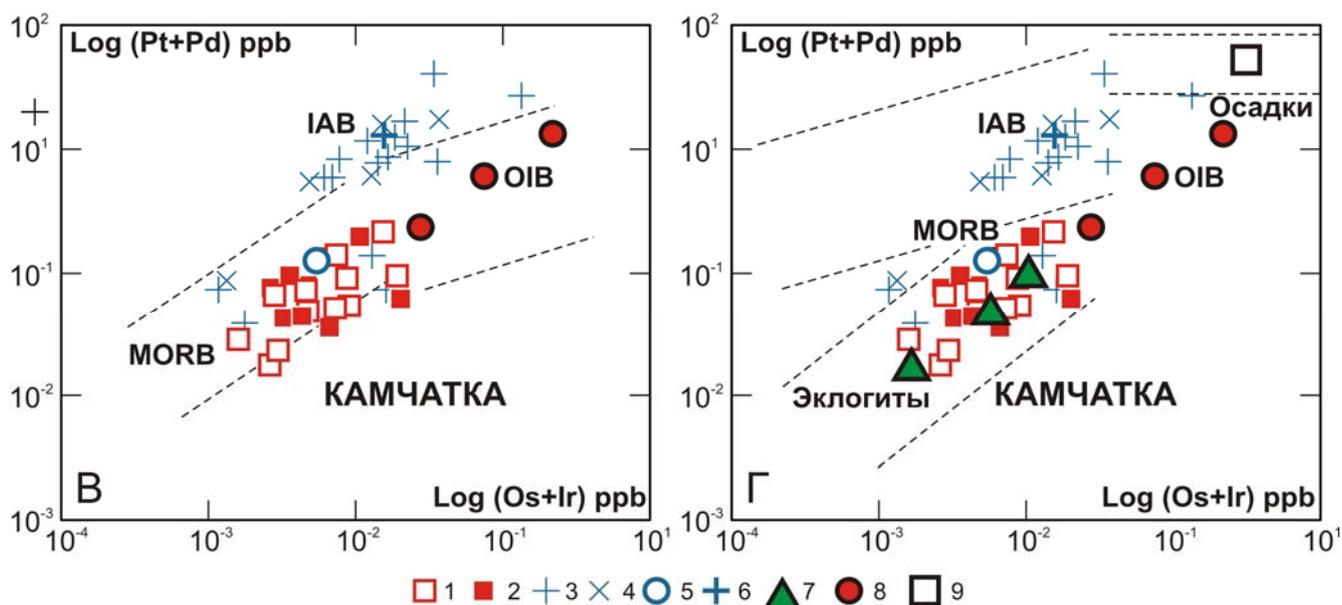


Рис. 19. Распределение элементов платиновой группы в породах К-На щелочно-базальтовых, Mg#-андезит-NEB-адакитовых и островодужных комплексов Камчатки.

Содержания ЭПГ даны в ppb. Точки составов пород: 1 – Mg#-андезит-NEB-адакитовых комплексов, 2 – К-На щелочно-базальтовых комплексов вулканического пояса Срединного хребта Камчатки, 3 – островодужных комплексов Восточной Камчатки и Срединного хребта, 4 – калиевых щелочных комплексов Западной Камчатки, 5 – средний состав MORB, 6 – средний состав IAB, 7 – средние составы эклогитов и эклогитизированных базальтоидов, 8 – средние составы OIB различной щелочности, 9 – средний состав океанических осадков.

По данным о распределении в базальтоидах ЭПГ образование калиевых щелочных и субщелочных магм Западной Камчатки, также как и магм островодужного геохимического типа надсубдукционных вулканических поясов, имеет геохимические признаки участия в процессах метасоматизированной надсубдукционной литосферной мантии и гидратированного флюида.

## ГЛАВА 7. МОДЕЛЬ ТЕКТОНИЧЕСКОГО И МАГМАТИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ КАМЧАТКИ В КАЙНОЗОЕ В УСЛОВИЯХ СМЕНЫ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ОБСТАНОВОК.

На основе полученных геохронологических и изотопно-геохимических данных о магматизме этапов смены геодинамических обстановок, данных о надсубдукционном магматизме, а также опубликованных сведений о тектоническом строении и состоянии подлитосферной мантии, разработана модель геодинамического и магматического развития активной континентальной окраины Камчатки в кайнозое. Модель предложена для Тихоокеанского сектора Камчатки, ограниченного с севера зоной Алеутско-Камчатского сочленения и Корякским перешейком.

Предполагается, что геодинамическое развитие Камчатки в раннем кайнозое было связано с движением Западно-Камчатской литосферной микроплиты на северо-запад и сопровождалось аккреционно-коллизийными процессами со стороны океанической плиты Кула и Тихоокеанской плиты. Начало магматического развития Камчатки в кайнозое маркируется

формированием надсубдукционного палеоценового Удова-Утхолокского вулканического пояса (Шанцер, Федоров, 2009; Богданов, Чехович, 2004; Федоров и др., 2008, 2011). Вслед за предшествующими исследователями предполагается, что процессы субдукции под Западно-Камчатскую микроплиту, ответственные за формирование этого пояса, были направлены к юго-востоку со стороны Охотоморской плиты. Завершение развития субдукции в палеоцене было связано с причленением Западно-Камчатской микроплиты к Охотоморской и соответственно к окраине Евразии. В раннем эоцене после завершения процессов аккреции в направлении на северо-запад произошло заложение новой зоны субдукции, ответственной за развитие ранне-среднеэоценового Западно-Камчатского вулканического пояса. Далее вслед за прекращением этого эпизода субдукционных процессов в среднеэоцен-раннеолигоценое время территория Западно-Камчатской микроплиты была ареной рассеянного рифтогенеза с проявлениями К-На щелочно-базальтового магматизма внутриплитного типа. Этот этап тектонической перестройки связан с изменениями вектора вращения океанических литосферных плит в среднем эоцене. Одновременно с К-На щелочно-базальтовым магматизмом и затем вплоть до ранне-позднемиоценового времени в результате процессов астеносферно-литосферного взаимодействия на территории Западной Камчатки проявлялся калиевый щелочной и субщелочной абсарокит-шошонит-латитовый магматизм. Этот этап связан с существованием и активизацией под Западно-Камчатской микроплитой астеносферного диапира (плюма), обусловившего формирование калиевых магм при плавлении метасоматизированной литосферной мантии. В дальнейшей геологической истории на протяжении почти 40 млн. лет происходил, вероятно, исключительно медленный, со скоростью не более 0.2-0.5 см в год дрейф Западно-Камчатской микроплиты, который маркируются омоложением внутриплитных магматических событий в направлении от охотоморского побережья к восток-юго-востоку. Новые субдукционные процессы, согласно наиболее ранним датировкам надсубдукционных магматических комплексов Срединного хребта, начались, вероятно, не ранее среднего миоцена. Островодужные магматические комплексы формируются в истории развития этой структуры вплоть до среднего плиоцена и завершаются в связи с прекращением субдукции и средне-позднемиоцен-раннеплиоценовой тектонической перестройкой. По мнению большинства исследователей завершение субдукционных процессов в это время было связано с аккрецией к структуре континентальной окраины Кроноцкой островной дуги. В этот период деструкция литосферных блоков обусловили проявления К-На щелочно-базальтового вулканизма на Восточной Камчатке. Их изотопно-геохимические характеристики свидетельствуют об астеносферном плюмовом источнике магм. С началом в позднем миоцене – раннем плиоцене современной субдукции Тихоокеанской плиты формируется Восточно-Камчатский надсубдукционный вулканический пояс. Одновременно с началом новой субдукции происходит деструкция литосферных блоков Центральной Камчатки и смещение сегмента континентальной окраины в северо-западном направлении. В среднем плиоцене, наряду с прекращением надсубдукционного развития вулканического пояса Срединного хребта, вблизи поперечных разломных зон в

условиях деструкции, погружения и высокобарического преобразования фрагментов океанической литосферы проявляются Mg#-андезит-NEB-адакитовые магмы. Начиная с позднего плиоцена на дискретных временных интервалах в вулканическом поясе Срединного хребта развивается K-Na щелочно-базальтовый магматизм, связанный в своем происхождении с апвеллингом вещества Западно-Камчатского астеносферного плюма в область метасоматизированной мантии. Условиями активизации плюмового магмогенеза было образование деструктивного окна «slab-window» в субдуцированной в позднеолигоцен?-миоцен-среднеплиоценовое время океанической литосферной плиты. Участие в магмообразовании на плиоцен-четвертичном этапе развития вулканического пояса Срединного хребта вещества плюма доказывается сходством изотопно-геохимических характеристик K-Na магм пояса со среднеэоцен-раннеолигоценовыми щелочными базальтоидами Западной Камчатки.

Отдельные элементы предложенной модели требуют дальнейшего уточнения с привлечением новых изотопно-геохимических и геотектонических данных.

### **Заключение.**

В результате проведенных исследований кайнозойского магматизма активной континентальной окраины Камчатки установлены ареалы и возраст проявлений K-Na щелочно-базальтового, калиевого щелочного и субщелочного абсарокит-шошонит-латитового, а также Mg#-андезит-NEB-адакитового магматизма на этапах прекращения субдукционных процессов и смены геодинамических обстановок. Были выявлены отдельные эпизоды магматических событий, которые фиксируют этапы геодинамического развития и смены условий магмообразования в кайнозойской истории развития активной континентальной окраины Камчатки.

Одним из основных выводов работы является, заключение о том, что магматические породы этапов прекращения субдукционных процессов и смены геодинамических обстановок обладают изотопно-геохимическими признаками участия в их формировании вещества рециклированной океанической литосферы, ее осадочной и базитовой составляющих, и метасоматизированной литосферной мантии. На основании данных о миграции магматизма по латерали и во времени и изотопно-геохимических характеристик магматических комплексов пород предложен вывод о существовании в течении длительного геологического времени (>40 млн. лет) под территорией Западно-Камчатской микроплиты астеносферного плюма, вещество которого, наряду с литосферной мантией, служило источником магм при формировании K-Na щелочно-базальтовых комплексов Западной Камчатки и вулканического пояса Срединного хребта.

В ходе исследований установлена индикаторная роль распределения в магматических породах высокосидерофильных элементов (Os, Ir, Pt, Pd), халькофильных элементов (Cu) и вариаций изотопных меток ( $^{87-86}\text{Sr}$ ,  $^{144-143}\text{Nd}$ ,  $^{206-207-208-204}\text{Pb}$ ,  $^{18}\text{O}$ ) в решении проблем идентификации источников вещества и их происхождения для этапов субдукции и ее прекращения в геодинамическом развитии зон перехода «океан-континент». Участие в процессах

магмообразования вещества надсубдукционной метасоматизированной мантии приводит к относительному обогащению расплавов элементами платиновой подгруппы ЭПГ и Cu, а участие в магмообразовании вещества рециклированной эклогитизированной литосферы, напротив, влечет за собой обеднение магм этими компонентами. Повышенная роль в магмообразовании рециклированного осадочного компонента субдуцируемой литосферы приводит к увеличению изотопных отношений  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  и  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ , тогда как незначительно участие или отсутствие роли рециклированного осадочного вещества, напротив, к снижению этих величин относительно обычных изотопных характеристик островодужных магм.

В итоге анализа данных по кайнозойскому магматизму Камчатки и критического анализа прежних моделей ее геодинамической эволюции, разработана уточненная оригинальная модель, которая включает в себя интерпретацию этапов прекращения субдукционных процессов и смены геодинамических обстановок и демонстрирует индикаторную роль для этих этапов щелочно-базальтового, субщелочного, магнезиального андезитового и адакитового магматизма.

Основные выводы данного диссертационного исследования отражены в защищаемых положениях.

### **Список публикаций по теме диссертации**

#### **Главы в коллективной монографии (2):**

Перепелов А.Б., Иванов А.В. Магматические образования обстановок трансформных континентальных окраин: Западно-Камчатский ареал калиевого щелочного магматизма (эоцен – олигоцен) / Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России. - Владивосток: Дальнаука. - 2006. - С. 369-382.

Перепелов А.Б., Чащин А.А., Мартынов Ю.А. Магматические образования обстановок трансформных континентальных окраин: Срединно-Камчатская зона (плиоцен – голоцен) / Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России. - Владивосток: Дальнаука. - 2006. - С. 382-398.

#### **Статьи в периодической печати (28):**

Балуев Э.Ю., Перепелов А.Б., Ананьев В.В., Тактаев В.И. Высококалиевые андезиты фронтальной части островной дуги (Камчатка) // Доклады АН СССР. - 1989. - Т. 279. - № 4. - С. 977-981.

Пампура В.Д., Антипин В.С., Петров Л.Л., Перепелов А.Б. Зубков В.С., Литасов Н.Е., Вадеевская А.А., Кожемяка Н.Н. Геохимическая аномалия бора в четвертичных эффузивах Гамченской вулканической структуры (Восточная Камчатка) // Доклады АН СССР. - 1985. - Т. 282. - № 4. - С. 962- 966.

Волинец О.Н., Антипин В.С., Перепелов А.Б., Аношин Г.Н., Пузанков Ю.М. Первые данные по геологии и минералогии позднекайнозойских калиевых базальтоидов Западной Камчатки // Доклады АН СССР. - 1985. - Т. 284. - № 1. - С. 205- 208.

Амирханов Х.И., Батырмурзаев А.Г., Антипин В.С., Перепелов А.Б. Калий-аргоновый возраст щелочных базальтоидов Западной Камчатки // Доклады АН СССР. - 1986. - Т. 287. - № 2. - С. 494-496.

Антипин В.С., Пампура В.Д., Перепелов А.Б., Пампура В.Д., Важеевская А.А., Литасов Н.Е., Кожемяка Н.Н., Чувашова Л.А., Смирнова Е.В. Закономерности распределения редкоземельных элементов в эволюционном ряду вулканических пород Гамченской структуры (Восточная Камчатка) // Доклады АН СССР. - 1987. - Т. 297. - № 4 - С. 951-955.

Волынец О.Н., Аношин Г.Н., Пузанков Ю.М., Перепелов А.Б., Антипин В.С. Калиевые базальтоиды Западной Камчатки - проявления пород лампроитовой серии в островодужной системе // Геология и геофизика. - 1987. - № 11. - С. 41-50.

Важеевская А.А., Литасов Н.Е., Кожемяка Н.Н., Пампура В.Д., Антипин В.С., Перепелов А.Б. Особенности эволюции вещественного состава Гамченской вулcano-тектонической структуры в четвертичное время (Восточная Камчатка) // Вулканология и сейсмология. - 1987. - № 2. - С. 56-71.

Важеевская А.А., Литасов Н.Е., Кожемяка Н.Н., Пампура В.Д., Антипин В.С., Перепелов А.Б. Эффузивные аналоги габбро-анортозитов Гамченской вулcano-тектонической структуры (Восточная Камчатка) // Доклады АН СССР. - 1987. - Т. 296. - № 2. - С. 411-414.

Кириянов В.Ю., Перепелов А.Б., Жаринов С.Е. О возможных геохимических отличиях маркирующих вулканических пеплов Восточной Камчатки // Вулканология и сейсмология. - 1987. - № 2. - С. 94-99.

Балуев Э.Ю., Перепелов А.Б. Минералого-геохимические особенности высококальциевых андезитов фронтальной части островной дуги (Камчатка) // Геохимия. - 1988. - № 6. - С. 813-823.

Пампура В.Д., Антипин В.С., Перепелов А.Б., Важеевская А.А., Литасов Н.Е., Кожемяка Н.Н., Пампура Т.В. Геохимия дифференцированных кислых экструзий Гамченской вулcano-тектонической структуры (Восточная Камчатка) // Доклады АН СССР. - 1988. - Т. 299. - № 6. - С. 1478-1482.

Важеевская А.А., Кожемяка Н.Н., Литасов Н.Е., Пампура В.Д., Антипин В.С., Перепелов А.Б. Лейкократовые базальты и андезито-базальты Кроноцко-Гамченской структуры (Восточная Камчатка) // Вулканология и сейсмология. - 1989. - № 6. - С. 19-29.

Волынец О.Н., Антипин В.С., Перепелов А.Б., Аношин Г.Н. Геохимия вулканических серий островодужной системы в приложении к геодинамике (Камчатка) // Геология и геофизика. - 1990. - № 5. - С. 3-13.

Мартынов Ю.А., Перепелов А.Б., Чащин А.А., Геохимическая типизация базальтоидов Мутновского вулканического поля (Южная Камчатка) // Тихоокеанская геология. - 1995. Т. 14. - № 5. - С. 72-83.

Митичкин М.А., Перепелов А.Б., Дриль С.И., Чувашова Л.А., Смирнова Е.В. Редкоземельные элементы и геохимическая типизация интрузивного магматизма Малко-Петропавловской поперечной разломной зоны (Камчатка) // Доклады РАН. - 1998. - Т. 362. - № 1. - С. 98-101.

Гриб Е.Н., Перепелов А.Б., Леонов В.Л. Геохимия вулканических пород Узон-Гейзерного кальдерного комплекса (Камчатка) // Вулканология и сейсмология. - 2003. - № 4. - С. 11-28.

Перепелов А.Б. Неоген-четвертичный шошонит-латитовый магматизм Срединного хребта Камчатки: вулкан Теклетунуп (геологическая эволюция, петрография, минералогия) // Вулканология и сейсмология. - 2004. - № 3. - С. 12-30.

Перепелов А.Б. Неоген-четвертичный шошонит-латитовый магматизм Срединного хребта Камчатки: вулкан Теклетунуп (геохимия, петрология, геодинамическая позиция) // Вулканология и сейсмология. - 2005. - № 1. - С. 22-36.

Перепелов А.Б., Пузанков М.Ю., Иванов А.В., Философова Т.М. Базаниты горы Хухч – первые минералого-геохимические данные по внутриплитному щелочному магматизму Западной Камчатки // Доклады РАН.- 2006. - Т. 408. - № 6. - С. 795–799.

Перепелов А.Б., Пузанков М.Ю., Иванов А.В., Философова Т.М., Демонтерова Е.И., Смирнова Е.В., Чувашова Л.А., Ясныгина Т.А. Неогеновые базаниты Западной Камчатки: минералого-геохимические особенности и геодинамическая позиция // Петрология. - 2007. - Т. 15. - № 5. - С. 524-546.

Иванов А.В., Перепелов А.Б., Палесский С.В., Николаева И.В. Первые данные по распределению элементов платиновой группы (Ir, Os, Ru, Pt, Pd) и Re в островодужных базальтах Камчатки // Доклады РАН. - 2008. - Т. 420. - № 1. - С. 92-96.

Гриб Е.Н., Перепелов А.Б. Оливин-содержащие базальты Карымского вулканического центра: минералогия, петрогенезис, источники магм // Вулканология и сейсмология. - 2008. - № 4. - С. 14-35.

Гриб Е.Н., Леонов В.Л., Перепелов А.Б. Геохимия вулканических пород Карымского вулканического центра // Вулканология и сейсмология. - 2009. - № 6. - С. 1-23.

Bindeman I.N., Leonov V.L., Izbekov P.E., Ponomareva V.V., Watts K.E., Shipley N.K., Perepelov A.B., Bazanova L.I., Jicha B.R., Singer B.S., Schmitt A.K., Portnyagin M.V., Chen C.H. Large-volume silicic volcanism in Kamchatka: Ar–Ar and U–Pb ages, isotopic, and geochemical characteristics of major pre-Holocene caldera-forming eruptions // Journal of Volcanology and Geothermal Research. - 2010. - V. 189. - P. 57–80.

Чашин А.А., Мартынов Ю.А., Перепелов А.Б., Екимова Н.И., Владимирова Т.П. Физико-химические условия формирования и эволюции позднеплейстоцен-голоценовых магм вулканов Горелый и Мутновский (Южная Камчатка) // Тихоокеанская геология. - 2011. - Т. 30. - № 4. - С. 87–108.

Колосков А.В., Флеров Г.Б., Перепелов А.Б., Мелекесцев И.В., Пузанков М.Ю., Философова Т.М. Этапы эволюции и петрология Кекукнайского вулканического массива как отражение магматизма тыловой зоны Курило-Камчатской островодужной системы. Ч. I. Геологическое положение и геохимический состав вулканических пород // Вулканология и сейсмология. - 2011. - № 5. - С. 17-41.

Гриб Е.Н., Леонов В.Л., Перепелов А.Б. Поперечная геохимическая зональность на примере Карымского вулканического центра // Вулканология и сейсмология. - 2012. - № 5. - С. 25-40.

Колосков А.В., Флеров Г.Б., Перепелов А.Б., Мелекесцев И.В., Пузанков М.Ю., Философова Т.М. Этапы эволюции и петрология Кекукнайского вулканического массива как отражение магматизма тыловой зоны Курило-Камчатской островодужной системы. Часть. 2. Петролого-минералогические особенности, обобщающая модель // Вулканология и сейсмология. - 2013. - № 2. - С. 63–89.

**Статьи в научных сборниках (8):**

Волынец О.Н., Антипин В.С., Перепелов А.Б., Чувашова Е.А., Смирнова Е.В. Редкие земли в позднекайнозойских высококалийевых вулканических породах Камчатки // Геохимия вулканитов различных геодинамических обстановок. - Новосибирск: Наука. - 1986. - С.149-165.

Перепелов А.Б., Базанова Л.И., Флоренский И.В., Балувев Э.И. Геохимическая эволюция позднекайнозойского магматизма юго-восточного Фланга Малкинско-Петропавловской зоны поперечных разломных дислокаций // Геохимия вулканитов различных геодинамических обстановок. - Новосибирск: Наука. - 1986. - С.165-179.

Волынец О.Н., Антипин В.С., Перепелов А.Б. Геохимические типы вулканических серий островодужной системы Камчатки // Геохимическая типизация магматических пород и их геодинамика. Иркутск. -1987. - С. 34-55.

Антипин В.С., Волынец О.Н., Перепелов А.Б., Патока М.Г., Успенский В.Н. Геологические соотношения и геохимическая эволюция плиоцен-четвертичного известково-щелочного и субщелочного вулканизма кальдеры Уксичан (Камчатка) // Геохимия магматических пород современных и древних активных зон. - Новосибирск: Наука. - 1987. - С. 72-81.

Пампура В.Д., Антипин В.С., Петров Л.Л., Перепелов А.Б., Важеевская А.А., Литасов Н.Е., Кожемяка Н.Н. Геохимия бора в позднекайнозойских ассоциациях долгоживущих вулканических центров Камчатки // Геохимия магматических пород современных и древних активных зон. - Новосибирск: Наука. - 1987. - С. 55-72.

Перепелов А.Б., Волынец О.Н., Аношин Г.Н., Пузанков Ю.М., Антипин В.С., Каблуков А.В. Калиевый щелочной базальтоидный вулканизм Западной Камчатки: геолого-геохимический обзор // Щелочной магматизм и проблемы мантийных источников. Иркутск. - 2001. - С. 58-77.

Перепелов А.Б. Неогеновый субщелочной магматизм Срединного хребта Камчатки: этап инверсии островодужного и рифтогенного геодинамических режимов (вулкан Теклетунуп) // Плюмы и проблема глубинных источников щелочного магматизма. Иркутск. - 2003. - С. 242-278.

Perpelov A.B., Antipin V.S. Kablukov A.V. Filosofova T.M. Ultrapotassic rhyolites of Southern Kamchatka: geochemical and petrological evidence // Plumes and problems of deep sources of alkaline magmatism. Irkutsk. - 2003. - С. 171-183.

**Тезисы докладов автора на научных совещаниях по теме исследования (24) приведены в библиографическом списке диссертационной работы.**