

На правах рукописи

КЕПЕЖИНСКАС Павел Казимерасович

УДК 550.42 (571.66)

ПОЗДНЕКАИНОЗОЙСКИЕ ВУЛКАНИЧЕСКИЕ СЕРИИ
ОБРАМЛЕНИЯ КОМАНДОРСКОЙ КОТЛОВИНЫ

Специальность 04.00.08 — Петрография и вулканология

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Работа выполнена в Институте литосферы (ИЛСАН)

Научный руководитель: доктор геолого-минералогических наук

Н.А.Богданов

Официальные оппоненты: доктор геолого-минералогических наук

профессор Т.И.Фролова

доктор геолого-минералогических наук

А.М.Борсук

Ведущая организация: Институт геохимии и аналитической

химии им. В.И.Вернадского АН СССР

(ГЕОХИ)

Защита состоится "15" мая 1987 г. "15⁰⁰" час.

на заседании специализированного совета при Институте литосферы по адресу: 109180, Москва, Ж-180, Старомонетный пер., 22.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОГТТН АН СССР.

Автореферат разослан "7" апреля 1987 г.

Ученый секретарь специализированного

совета

Власова

Н.К.Власова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Вопросы происхождения андезитов относятся к числу фундаментальных проблем, связанных с ростом континентов и эволюцией литосферы в зонах перехода от океана к континенту. Наиболее важными в этой проблеме представляются следующие аспекты: 1) идентификация магматических и коровых источников типа литосферы, участвующей в петрогенезисе; 2) определение физико-химических условий генерации самостоятельных андезитовых магм и 3) установление петрогенетических процессов, приводящих к образованию вулканических пород среднего состава. Благоприятным объектом для детальных исследований по данной проблеме являются неоген-четвертичные вулканы обрамления Командорской котловины Берингова моря. Они перекрывают гетерогенные литосферные блоки и характеризуются разнообразным вещественным составом. Среди эффузивов резко преобладают андезиты, с которыми связаны рудопроявления сульфидов меди и ванадиеносных титаномагнетитов. Все это определило выбор объекта исследований.

Цель и задачи работы. Установление характера эволюции вулканизма в западной части Берингоморского региона в позднекайнозойское время на основе изучения геологического строения и вещественного состава вулканических образований, определение физико-химических условий генерации исходных расплавов и геохимических характеристик глубинных магматических источников, а также реконструкции палеотектонической обстановки формирования вулканических серий.

Фактическая основа работы. Работа выполнена в рамках темы № 4.3.32 Института литосферы АН СССР и проблемы №3 Госкомитета по науке и технике СССР: "Граница океан-континент". Фактический материал собран автором в ходе полевых работ на юге Корьянского нагорья и Камчатском перешейке в 1982-1986 годах. Он отражен на схематических геологических и структурно-петрологических картах масштаба 1:100 000, минералогических и петрогеохимических диаграммах и в таблицах.

В процессе исследований было изучено около 360 шлифов, обработаны результаты 208 оригинальных силикатных анализов, сопровождавшиеся определениями редких элементов. В 54 пробах были опре-

делены редкоземельные элементы. Петрологические построения основаны на 170 рентгено-спектральных анализах минералов и стекол в вулканических породах, а также результатах экспериментального изучения наиболее представительных андезитов. Учтены литературные и фондовые материалы по позднекайнозойскому вулканизму обрамления Командорской котловины, собранные сотрудниками Камчатского производственно-геологического объединения Министерства геологии РСФСР и других организаций. Для сравнительного анализа привлекались обширные литературные данные по зонам перехода океан-континент, включая материалы глубоководного бурения.

Методы исследования. С целью выяснения особенностей строения вулканического пояса было проведено детальное полевое изучение Пахачинского хребта, где существует наиболее полный разрез позднекайнозойских вулканитов. Кроме того были исследованы опорные разрезы в пределах Камчатского перешейка (низовья р.Тымлат и бассейн р.Белая) и в бассейне р.Вывенка (горы Хетапхаен). Изучение включало описание последовательности горных пород и картирование в масштабе 1:100 000. В работе использованы также данные по кайнотипной ассоциации вулканических пород подводного хребта Ширшова (29-й рейс нис "Дмитрий Менделеев"). Методы исследования в камеральный период включали микроскопическое изучение вулканитов и определение состава минералов и стекол на рентгеноспектральном микроанализаторе. При петрогеохимическом анализе, помимо традиционных методик, использовались методы многомерной статистики, в частности оригинальные нелинейные дискриминаторы, разработанные при участии автора. Определения редких элементов выполнены рентгено-флюоресцентным, атомно-абсорбционным и рентгеноспектральным методами. Содержания редких земель в породах устанавливались методами нейтроно-активационного анализа и спектрометрии плазмы. Экспериментальные работы включали термобарогеохимические исследования магматических включений в близиквидусных минеральных фазах вулканических пород.

Научная новизна работы. I. Впервые дано детальное описание строения и вещественного состава позднекайнозойских вулканических образований обрамления Командорской котловины, обосновано

их расчленение на структурно-вещественные комплексы, и выделены магматические серии. 2. На основе петролого-геохимического изучения вулканитов и прямого исследования минералообразующих сред установлены физико-химические условия образования и эволюции самостоятельных андезитовых расплавов, определены геохимические характеристики глубинных источников последних, выявлены геохимические индикаторы различных типов литосферы, участвующих в островодужном петрогенезисе. 3. Реконструированы палеотектонические обстановки формирования вулканитов и предложена модель эволюции литосферы в зоне перехода океан-континент.

Защищаемые положения:

1. В составе позднекайнозойского вулканического пояса обрамления Командорской котловины выделяются два структурно-вещественных комплекса: дислоцированный вулканогенно-обломочный (верхний миоцен-плиоцен) и перекрывающий его недислоцированный вулканогенный (плиоцен-плейстоцен). Вулканиты первого комплекса относятся к известково-щелочным и толеитовым островодужным сериям. Лавы второго комплекса принадлежат к нормально- и высококальциевым известково-щелочным, а также шшонитовым сериям.

2. Позднекайнозойские вулканиты обрамления Командорской котловины обнаруживают латеральную гетерогенность. Эффузивы северной части региона (Пахачинский хребет) представляют собой производные маловодных андезитовых расплавов, образовавшихся при плавлении кварцевых эклогитов, геохимически соответствующих источнику гавайского типа. Лавы южной части (бассейн р.Вывенка, Камчатский перешеек) связаны с дифференциацией водонасыщенных высокоглиноземистых базальтовых и андезито-базальтовых расплавов, выплавившихся из гранатсодержащих перидотитов субконтинентальной мантии.

3. Вулканиты северной части образовались в процессе рифтогенеза окраины континента, имеющей субокеаническую литосферу, связанного с компенсацией спрединга в Командорской котловине. Эффузивы южной части генерировались в пределах зрелой островной дуги Камчатки с литосферой субконтинентального типа.

Практическое значение. Результаты исследований, изложенные в настоящей работе могут быть использованы при проведении крупномасштабной геологической съемки на севере Камчатской области

Лавы вулканогенно-обломочного комплекса могут быть перспективными на поиски меди (порфировая формация), связанных с участками интенсивной опалитизации лавово-пирокластических образований. Намечены возможные рудолокализирующие структуры. С реконструированными вулканическими аппаратами связаны проявления пейзажных желтых и черных опалов. Полученный материал свидетельствует о повышенных концентрациях титана в титаномагнетитах изученных пород, что позволяет уточнить местоположение специальных исследований с целью обнаружения рудоносных россыпей.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались на конференциях молодых ученых Института литосферы АН СССР (в 1984, 1985, 1986 и 1987 гг.), X, XI и XII Всесоюзных семинарах по геохимии магматических пород (Москва, 1984, 1985 и 1986 гг.), IV Восточно-Сибирском региональном петрографическом совещании (Иркутск, 1985), заседании секции петрографии Московского общества испытателей природы (1985 г.), VI Всесоюзном вулканологическом совещании (Петропавловск-Камчатский, 1985г.), II Всесоюзных чтениях памяти академика В.С.Соболева (Новосибирск, 1986), Международном симпозиуме молодых геологов в ЧССР (Смоленице, 1986).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 20 работ.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, шести глав и заключения, изложенных на 167 страницах машинописного текста, содержит 61 рисунка, 41 таблиц. Библиография включает 209 наименований.

В первой главе рассмотрена история изучения и развитие представлений о кайнозойском вулканизме западной части Берингово-морского региона.

Вторая глава содержит геологическое описание позднекайнозойских структурно-вещественных комплексов обрамления Командорской котловины.

В третьей главе дается детальная петрографо-минералогическая характеристика вулкаников, определены тренды эволюции составов породообразующих минералов, установлены латеральные различия в минералогии эффузивов.

Четвертая глава содержит петрогеохимическую характеристику вулканических серий, на основе чего установлена геохимическая

зональность вулканического пояса.

В пятой главе рассмотрены физико-химические условия генерации и эволюции исходных расплавов, определены возможные источники, участвующие в петрогенезисе.

В шестой главе на основе комплекса данных реконструированы палеотектонические обстановки формирования вулкаников и намечены основные этапы эволюции литосферы в западной части Берингово-морского региона в позднем кайнозое.

В заключении изложены основные выводы проведенного исследования и даны их практические следствия.

Диссертация выполнена в лаборатории литосферы океанов Института литосферы АН СССР под руководством доктора геолого-минералогических наук Н.А.Богданова, которому автор выражает свою искреннюю благодарность. В процессе подготовки диссертации автор пользовался поддержкой и консультациями А.В.Федорчука, В.Д.Чеховича, С.М.Тильмана, А.Ю.Гладенкова, С.Ф.Соболева, И.Р.Кравченко-Бережного и П.А.Гладких. Отдельные положения работы обсуждались с А.В.Колосковым (ИВ ДВНЦ АН СССР), И.Т.Бакуменко (ИГиГ СО АН СССР), Н.В.Бердниковым (ИГиГ ДВНЦ АН СССР), П.И.Федоровым (ГИН АН СССР). Автор пользуется случаем выразить им свою благодарность. Автор благодарен также специалистам, содействовавшим аналитической обработке материалов: сотрудникам аналитического центра ИЛСАН Н.И.Гулько, Л.Б.Ефремовой, Т.Е.Милуковой, А.Т.Савичеву; В.С.Пархоменко (ИГиГ СО АН СССР). Большую помощь в редактировании и оформлении работы оказали Л.Б.Макарова, И.В.Беберина и О.В.Андреева, которым автор выражает свою глубокую признательность.

ОБОСНОВАНИЕ ЗАЩИЩАЕМЫХ ПОЛОЖЕНИЙ

Первое положение. В составе позднекайнозойского вулканического пояса обрамления Командорской котловины выделяются два структурно-вещественных комплекса: дислоцированный вулканогенно-обломочный (верхний миоцен-плиоцен) и перекрывающий его недислоцированный вулканогенный (плиоцен-плейстоцен). Вулканики первого комплекса относятся к известково-щелочным и толеитовым островодужным сериям. Лавы второго комплекса принадлежат к нормально- и высококальциевым известково-щелочным, а также шошунитовым сериям.

Среди позднекайнозойских вулканогенных образований обрамления Командорской котловины Берингова моря выявлены два комплекса пород: дислоцированный вулканогенно-обломочный и перекрывающий его недислоцированный вулканогенный. Для обоих комплексов характерна определенная латеральная изменчивость, выраженная в различиях в составе вулканитов и ассоциирующих с ними пирокластических и туфогенно-осадочных пород.

На севере региона (северная часть Пахачинского и Апукского хребтов) разрез вулканогенно-обломочного комплекса имеет туфогенно-осадочный характер и сложен незакономерно переслаиваемыми песчано-глинистыми сланцами, туфопесчаниками, туфоконгломератами, полимиктовыми песчаниками и туфами с редкими потоками двупироксеновых базальтов и андезитов (мощность 1000 м). Он перекрыт мощными (до 200 м) покровами плагиофировых андезитов недислоцированного комплекса.

В центральной части региона (южная часть Пахачинского и Апукского хребтов, мыс Крещенный Огнем, низовья р. Вывенка) в разрезе вулканогенно-обломочного комплекса выделяются две толщи: лавово-пирокластическая и вулканогенно-осадочная. Нижняя толща сложена двупироксеновыми андезитами и дацитами с подчиненным количеством плагиофировых базальтов и пирокластических пород. Вулканогенно-осадочные образования распадаются на две пачки - вулканогенную, представленную оливин-пироксеновыми и плагиофировыми андезитами с родственной пирокластикой и туфогенно-осадочную, сложенную разнообразными обломочными породами. В бассейне р. Вывенка и на мысу Крещенный Огнем вулканогенно-обломочной толще соответствует опалитовая толща, в составе которой присутствует опалитизированная пирокластика, переслаиваемая с плагиоклаз-пироксеновыми андезитами. Суммарная мощность дислоцированного комплекса до 2000 м. Он перекрыт лавами недислоцированного комплекса, достигающими максимальной мощности (500 м) в бассейне р. Вывенка.

На юге региона (Камчатский перешеек) в верхах вулканогенно-обломочного комплекса появляется толща амфиболовых андезитов, принципиально отличающих южный разрез от северных. Низы разреза сложены плагиофировыми базальтами, плагиоклаз-пироксеновыми андезитами, дацитами и родственной пирокластикой. Мощность - до 1800 м. Вулканогенный комплекс представлен лавами плагио-

фировых и плагиоклаз-пироксеновых андезитов, реже трахибазальтов и банакитов, имея мощность до 500 м.

Позднекайнозойские вулканогенные образования несогласно перекрывает мел-палеогеновые вулканогенные и вулканогенно-осадочные и неогенные терригенные образования. Фаунистическая характеристика подстилающих терригенных отложений по А.Ю.Гладенкову, результаты K-Ar датирования вулканитов (данные А.И.Поздеева и автора), а также результаты палеомагнитного изучения эффузивных образований С.И.Андреева позволяют относить дислоцированный комплекс к верхнему миоцену-плиоцену, а недислоцированный - к плиоцену-плейстоцену.

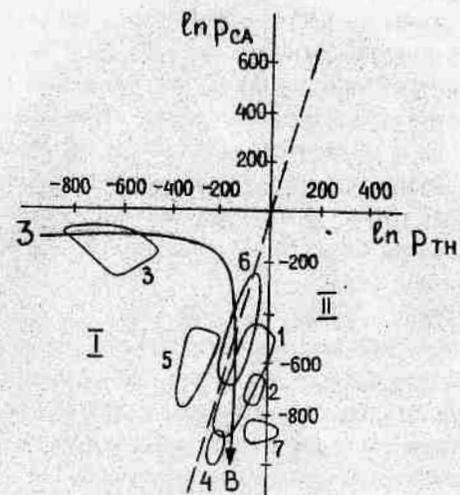
В пределах юга Корякского нагорья эффузивы вулканогенно-обломочного комплекса относятся к известково-щелочной (тип Ia) и толеитовой (тип II) сериям. Лавы базальт-андезит-дацитовой серии (Ia) представлены порфировыми разностями с плагиоклаз-двупироксеновым парагенезисом вкрапленников. Петрогеохимические характеристики (табл. I) позволяют относить ее к нормальнокалиевым известково-щелочным островодужным сериям, что подтверждается применением нелинейного дискриминатора, предложенного для классификации орогенных андезитов (рис. I). Лавам Ia типа свойственны умеренно обогащенные цериевой группой спектры PЗЭ, характерные для оливин-пироксеновых андезитов внутриокеанических островных дуг. Основной чертой геохимии этой серии являются повышенные концентрации как крупноионных литофилов (КИЛ), так и высокочargedных литофилов (ВЗЛ), обеспечивающие высокие отношения КИЛ/PЗЭ и умеренные - КИЛ/ВЗЛ, свойственные островодужным вулканитам, генерированным при участии внутриплитного источника.

Андезиты толеитовой серии (тип II) характеризуются оливин-клинопироксен-плагиоклазовыми парагенезисами при полном отсутствии ортопироксена. На петрохимических диаграммах эффузивы II типа располагаются в поле толеитовых пород, формируя четкий толеитовый тренд дифференциации (рис. I). Геохимия данных пород типична для существенно андезитовых толеитовых серий интраокеанических островных дуг. Умеренно обогащенные цериевыми землями спектры PЗЭ в толеитах юга Корякии аналогичны таковым в известково-щелочных вулканитах, что говорит о едином магмагенерирующем источнике двух серий.

Таблица I
Представительные составы позднекайнозойских
эффузивов юга Корякского нагорья

| Компонент! | I | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| SiO ₂ | 54,57 | 60,18 | 63,42 | 66,72 | 55,91 | 60,83 | 55,70 | 59,11 |
| TiO ₂ | 1,29 | 0,92 | 0,63 | 0,66 | 1,20 | 0,72 | 1,73 | 1,30 |
| Al ₂ O ₃ | 16,99 | 17,99 | 16,90 | 15,73 | 18,35 | 15,86 | 17,83 | 17,08 |
| Fe ₂ O ₃ | 2,37 | 2,56 | 1,24 | 2,28 | 3,70 | 1,72 | 4,76 | 4,03 |
| FeO | 5,41 | 3,88 | 3,96 | 1,99 | 4,16 | 4,98 | 4,53 | 4,01 |
| MnO | 0,13 | 0,10 | 0,09 | 0,08 | 0,11 | 0,10 | 0,14 | 0,12 |
| MgO | 5,94 | 2,52 | 2,96 | 1,89 | 4,03 | 5,12 | 2,86 | 2,95 |
| CaO | 8,13 | 6,38 | 5,63 | 3,95 | 7,45 | 6,33 | 6,54 | 5,40 |
| Na ₂ O | 3,89 | 3,79 | 3,42 | 4,44 | 3,90 | 3,15 | 4,54 | 4,68 |
| K ₂ O | 1,00 | 1,48 | 1,56 | 2,11 | 0,95 | 1,05 | 1,09 | 1,03 |
| P ₂ O ₅ | 0,28 | 0,19 | 0,19 | 0,15 | 0,24 | 0,14 | 0,28 | 0,28 |
| Cr | 162 | 61 | 68 | 34 | 28 | 258 | 25 | 21 |
| Ni | 90 | 50 | 37 | 16 | 56 | 176 | 50 | 32 |
| Ba | 343 | 390 | 430 | 510 | 267 | 340 | 290 | 280 |
| Sr | 785 | 540 | 410 | 282 | 556 | 440 | 550 | 475 |
| Rb | 10 | 24 | 26 | 43 | 7 | 21 | 13 | 14 |
| Zr | 140 | 130 | 130 | 196 | 140 | 110 | 170 | 170 |
| Y | 20 | 17 | 16 | 16 | 22 | 20 | 25 | 26 |
| La | 9,7 | 9,9 | 13,4 | 13,3 | 10,6 | 8,9 | 11 | 11,9 |
| Ce | 24 | 22 | 26 | 27 | 24 | 19 | 25 | 29 |
| Nd | 14,1 | 12,8 | 13,0 | 12,7 | 14,5 | 11,3 | 16,6 | 16,7 |
| Sm | 3,73 | 3,39 | 3,17 | 3,32 | 4,01 | 3,15 | 4,61 | 4,79 |
| Eu | 1,25 | 1,05 | 0,93 | 0,85 | 1,28 | 0,96 | 1,58 | 1,52 |
| Gd | 4,0 | 3,6 | 3,4 | 3,7 | 4,2 | 3,6 | 5,1 | 5,4 |
| Tb | 0,65 | 0,61 | 0,55 | 0,58 | 0,71 | 0,60 | 0,90 | 0,94 |
| Yb | 1,95 | 1,84 | 1,72 | 2,07 | 2,09 | 1,91 | 2,44 | 2,72 |
| Lu | 0,280 | 0,249 | 0,260 | 0,317 | 0,303 | 0,279 | 0,345 | 0,390 |
| Hf | 3,4 | 3,1 | 3,6 | 4,7 | 3,1 | 2,9 | 3,7 | 4,3 |
| Ta | 0,262 | 0,262 | 0,232 | 0,423 | 0,260 | 0,217 | 0,413 | 0,373 |

I-4 и 7-8 - вулканогенно-обломочный комплекс: I-4 - тип Ia,
7-8 - тип II, 5-6 - вулканогенный комплекс - тип Ib.



Р и с. I. Диаграмма нелинейного дискриминатора для позднекайнозойских лав обрамления Командорской котловины.

Поля составов: I-3 - юг Корякского нагорья:

I - тип Ia, 2 - тип Ib, 3 - тип II; 4 - известково-щелочная серия бассейна р.Вывенки; 5-7 - Камчатский перешеек: 5 - толеитовая серия, 6 - известково-щелочная серия вулканогенно-обломочного комплекса, 7 - известково-щелочная серия вулканогенного комплекса. I - поле толеитовых и II - поле известково-щелочных островодужных вулканических серий.

P_{CA} , P_{TH} - плотность вероятности для выборок анализов известково-щелочных и толеитовых вулканитов соответственно.

В составе вулканогенного комплекса юга Корякского нагорья развита слабо дифференцированная андезитовая серия (тип Iб). Основной чертой минералогии данных эффузивов является близквидусная ассоциация кальциевого плагиоклаза, бронзита и оливина. Комплекс петрогеохимических характеристик (табл. 1) позволяют классифицировать лавы Iб типа как нормальнокалиевую известково-щелочную серию. Довольно низкие абсолютные концентрации и слабо обогащенные легкими лантаноидами спектры РЗЭ сближают их с дифференцированной серией Ia типа и свидетельствуют о геохимической общности глубинных магматических источников обеих серий. Это подтверждается сходным поведением целого ряда редких элементов и совпадением значений индикаторных отношений КИЛ (Ba/Sr, Rb/Sr), ВЗЛ (Ti/Zr, Zr/Y), КИЛ/ВЗЛ (Ba/Zr, Rb/Zr, Ba/Nb), КИЛ/РЗЭ (Ba/La).

В составе вулканогенно-обломочного комплекса Камчатского перешейка преобладают вулканы дифференцированной базальт-андезит-дацит-риолитовой серии, характеризующиеся оливин-плагиоклаз-пироксеновыми и амфибол-плагиоклазовыми парагенезисами вкрапленников. Химизм лав этой серии (табл. 2) типичен для нормальнокалиевых известково-щелочных ассоциаций зрелых островных дуг и активных континентальных окраин. В кремнекислых лавах этой серии отмечены резко повышенные концентрации высокозарядных литофилов, свойственные производным метасоматически преобразованной мантии. В меньших размерах встречены эффузивы "переходной" серии, по петролого-геохимическим характеристикам промежуточные между типичными известково-щелочными и толеитовыми островодужными сериями.

В составе вулканогенного комплекса Камчатского перешейка встречены вулканы нормальнокалиевой и высококалиевой известково-щелочных серий, а также калиевые андезиты шошонитовой серии (табл. 2), слагающие обособленные лавовые покровы. Всем эффузивам свойственны обогащенные спектры РЗЭ при устойчивом росте отношений $(La/Sm)_N$ и $(La/Yb)_N$, достигающих максимальных отношений в банакитах. Последним свойственны и высокие абсолютные концентрации РЗЭ (табл. 2), типичные для островодужных шошонитов.

Таблица 2

Представительные составы позднекайнозойских эффузивов Камчатского перешейка

| Компонент | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| SiO ₂ | 49,70 | 53,43 | 56,51 | 60,68 | 66,93 | 62,06 | 58,41 | 59,20 |
| TiO ₂ | 1,35 | 1,24 | 1,17 | 1,04 | 0,78 | 0,65 | 0,76 | 1,12 |
| Al ₂ O ₃ | 17,68 | 17,51 | 16,17 | 16,54 | 15,20 | 17,17 | 17,60 | 17,14 |
| Fe ₂ O ₃ | 6,01 | 3,35 | 2,54 | 5,12 | 4,97 | 1,85 | 3,29 | 4,03 |
| FeO | 3,56 | 5,13 | 4,77 | 2,11 | 0,96 | 3,40 | 3,65 | 3,45 |
| MnO | 0,13 | 0,14 | 0,12 | 0,07 | 0,10 | 0,13 | 0,14 | 0,19 |
| MgO | 8,11 | 6,16 | 6,04 | 2,30 | 1,35 | 3,14 | 2,84 | 1,78 |
| CaO | 8,93 | 8,56 | 7,14 | 6,11 | 3,54 | 4,96 | 6,63 | 4,51 |
| Na ₂ O | 3,32 | 3,24 | 3,85 | 3,71 | 3,67 | 4,83 | 3,66 | 3,70 |
| K ₂ O | 0,87 | 0,99 | 1,38 | 2,02 | 2,45 | 1,60 | 2,75 | 4,38 |
| P ₂ O ₅ | 0,34 | 0,25 | 0,31 | 0,30 | 0,23 | 0,21 | 0,27 | 0,50 |
| Rb | 7 | 14 | 19 | 42 | 66 | - | - | - |
| Sr | 486 | 390 | 368 | 283 | 193 | - | - | - |
| Zr | 151 | 135 | 200 | 324 | 555 | - | - | - |
| Y | 32 | 30 | 36 | 58 | 69 | - | - | - |
| Ni | 173 | 58 | 137 | 17 | 21 | - | - | - |
| La | 12 | 15 | 16 | 18 | 30 | 18 | 32 | 39 |
| Ce | 29 | 34 | 36 | 47 | 73 | 36 | 55 | 84 |
| Nd | 17 | 17 | 19 | 24 | 41 | 20 | 33 | 58 |
| Sm | 4,0 | 7,0 | 5,4 | 7,6 | 7,8 | 6,8 | 7,8 | 16 |
| Eu | 1,7 | 1,5 | 1,5 | 1,7 | 1,8 | 1,3 | 1,6 | 2,2 |
| Gd | 4,2 | 4,8 | 4,4 | 6,0 | 9,2 | 4,2 | 5,0 | 9,4 |
| Er | 2,8 | 0,86 | 2,4 | 3,6 | 4,2 | 4,2 | 4,4 | 4,6 |
| Yb | 1,7 | 1,7 | 1,9 | 3,2 | 3,4 | 1,6 | 2,8 | 4,2 |

I-5 - вулканогенно-обломочный комплекс: I-3 - известково-щелочная, 4-5 - толеитовая серии; 6-8 - вулканогенный комплекс: 6 - нормально-К известково-щелочная, 7 - высоко-К известково-щелочная, 8 - шошонитовая серии.

Второе положение. Позднекайнозойские вулканы обрамления Командорской котловины обнаруживают латеральную гетерогенность. Эффузивы северной части региона (Пахачинский хребет) представляют собой производные маловодных андезитовых расплавов, образовавшихся при плавлении кварцевых эклогитов, геохимически соответствующих источнику гавайского типа. Лавы южной части (бассейн р. Вывенка, Камчатский перешеек) связаны с дифференциацией водонасыщенных высокоглиноземистых базальтовых и андезито-базальтовых расплавов, выплавленных из гранатосодержащих перидотитов субконтинентальной мантии.

Позднекайнозойским вулканикам обрамления Командорской котловины свойственна вещественная латеральная неоднородность, выраженная в различии вещественного состава эффузивов северной (Олюторская зона) и южной (Камчатский перешеек) частей вулканического пояса. Основные минералогические различия: 1) присутствие в лавах Камчатского перешейка водосодержащих фаз (амфиболов, реже биотитов); 2) повышенная железистость ортопироксена и пониженные концентрации TiO_2 в рудном минерале (вплоть до отсутствия практически чистого магнетита) в эффузивах южной части; 3) преобладание в основной массе и внешних зонах фенокристаллов северокамчатских вулкаников андезин-олигоклазового полевого шпата. Минералогические данные свидетельствуют о существенных различиях в составе, характере и условиях образования исходных магм южной и северной частей вулканического пояса.

Минералогические различия подчеркиваются геохимической неоднородностью вулкаников. При переходе от северной части к южной несколько увеличивается содержание K_2O в эффузивах, достигая максимума в породах шшонитовой серии Камчатского перешейка. Нарастание калиевости сопровождается накоплением высокозарядных литофилов (ВЗЛ), однако содержания крупноионных литофилов (КИЛ) практически не изменяются. По концентрациям ВЗЛ эффузивы Камчатского перешейка близки калиевым орогенным вулканикам Центральной Италии, связанной с плавлением метасоматически преобразованной мантии. Оливин-пироксеновые андезиты обрамления Командорской котловины по предложенной автором редкоземельной классификации примитивных андезитов относятся к алеутскому типу (П), но лавы Камчатского перешейка характе-

ризуются систематически повышенными абсолютными концентрациями La, Sm и Yb.

Для определения физико-химических условий образования вулкаников было проведено детальное изучение минералов и включений минералообразующих сред в известково-щелочных андезитах юга Корякского нагорья. Определены следующие температурные интервалы кристаллизации минералов-хозяев: $1230-1385^{\circ}C$ (лабрадор-битовнит), $1210-1295^{\circ}C$ (лабрадор), $> 1300^{\circ}C$ (бронзит). По проанализированным плагиоклазам были рассчитаны плагиоклазовые термометры, показавшие хорошую сходимость расчетных и экспериментальных данных. Приведенные данные согласуются с полученными ранее результатами термометрии магматических включений в известково-щелочных двупироксеновых андезитах.

Анализ химизма закалочных стекол во включениях выявил две основные тенденции: 1) обособление единичных высокотитанистых (1,85 вес.%) магнезиальных (14,2 вес.%) стекол, видимо, связанное с ликвацией и 2) обособление ультракислых низкощелочных стекол (71-80 вес.% SiO_2). Среди кристаллических фаз во включениях встречаются плагиоклазы (An_{45-48}), титаномagnetит ($TiO_2=7,60$ вес.%) и ульвошинель ($TiO_2=32,4$ вес.%). Формирование ультракислых стекол отражает глубокую близиквидусную дифференциацию исходного расплава, происходившую в глубинном магматическом очаге. В целом подобный процесс характерен для орогенных магм, однако стекла в эффузивах юга Корякского нагорья менее щелочные по сравнению с таковыми из вулкаников зрелых островных дуг и активных континентальных окраин. Дальнейшая дифференциация уже в близповерхностных условиях выразилась в кристаллизации микрофенокристов пироксена, плагиоклаза и оливина, и затем, при излиянии, произошло быстрое охлаждение и закалка, фиксируемая дендритовидными выделениями пироксена в основной массе.

Крайне важным при рассмотрении петрогенезиса вулкаников является вопрос об участии и составе флюида в магматическом процессе. Традиционно появление андезитовых расплавов связывается с водонасыщенными условиями магмогенерации. Однако, термодинамический анализ соответствующих физико-химических систем, эксперименты по прямому изучению флюидных включений выявили незначительное участие воды в генезисе андезитовых

магм. В описываемом случае высокие температуры кристаллизации близиквидусных фаз, отсутствие амфибола как среди вкрапленников, так и среди минералов-узников исключают существенное участие воды при генерации исходных магм. Оценка давления водного флюида при насыщении по методу Харриса-Андерсона показала, что плавление происходило при $P_{H_2O} < 1$ кбар, что соответствует концентрации воды в расплаве менее 1,5 масс. %.

Выплавление маловодных кремнекислых магм из перидотитового субстрата маловероятно, т.к. плавление перидотита в сухих условиях при определенных P, T-параметрах преимущественно ведет к генерации пикритовых расплавов. Более аргументированным представляется частичное плавление кварцевых эглогитов в маловодных условиях, снимающее проблему ортопироксенового барьера и обеспечивающее высокую активность K_2O и свободного кремнезема. Анализ P, T-диаграммы показывает, что в интервале полученных субликвидусных температур (1200-1400°C) эглогит плавится на 35-40% в широком диапазоне давлений - 10-30 кбар. Состав жидкости при этом соответствует известково-щелочному андезиту. Сравнение экспериментальных кривых PЗЭ, полученных М.Аптедом при плавлении эглогитов с данными для вулканитов юга Корякского нагорья показало, что только модель плавления кварцевых эглогитов на 30-40% с отсадкой 10% граната в рестит удовлетворительно объясняет наблюдаемые геохимические характеристики. Повышение доли граната в рестите ведет к увеличению отношений $(La/Yb)_N$ (т.е. к обогащению расплавов легкими PЗЭ). Такая картина наблюдается в случае лав Камчатского перешейка. Более того, фракционирование спектра PЗЭ сопровождается и ростом абсолютных концентраций последних, что свидетельствует об уменьшении степени частичного плавления. Имеющиеся петролого-геохимические данные указывают на базальтовый (андезито-базальтовый) расплав, исходный для эффузивов Камчатского перешейка. Генетическая связь основных, средних и кислых пород подчеркивается последовательным увеличением содержания H_2O в остаточном расплаве, что вызывает кристаллизацию амфибола и биотита в кремнекислых лавах. Вся сумма данных указывает на генезис северокамчатских лав в результате плавления гранатовых перидотитов, сопоставимых по геохимическим особенностям с гранатовыми перидотитами субконтинентальной мантии центрально-итальянского типа.

Третье положение. Вулканиты северной части образовались в процессе рифтогенеза окраины континента, имеющей субокеаническую литосферу, связанного с компенсацией спрединга в Командорской котловине. Эффузивы южной части генерировались в пределах зрелой островной дуги Камчатки с литосферой субконтинентального типа.

Весь комплекс петролого-геохимических данных устанавливает принадлежность вулканитов юга Корякского нагорья к существенно андезитовым известково-щелочным и толеитовым сериям, характерным для тектонических режимов переходных зон от континента к океану и свидетельствует об определенной двойственности их геохимических характеристик. С одной стороны они аналогичны умеренно-калиевым андезитовым сериям островных дуг, с другой - близки производным магм мантийных плюмажей, что предполагает участие в петрогенезисе по крайней мере двух источников - деплетированного, сопоставимого с истощенной океанической мантией и обогащенного, аналогичного довольно древней химически гетерогенной мантии гавайского типа. Смешение осуществляется путем взаимодействия высокотемпературного флюида, обогащенного некогерентными элементами с веществом субдущированной метаморфизованной океанической коры.

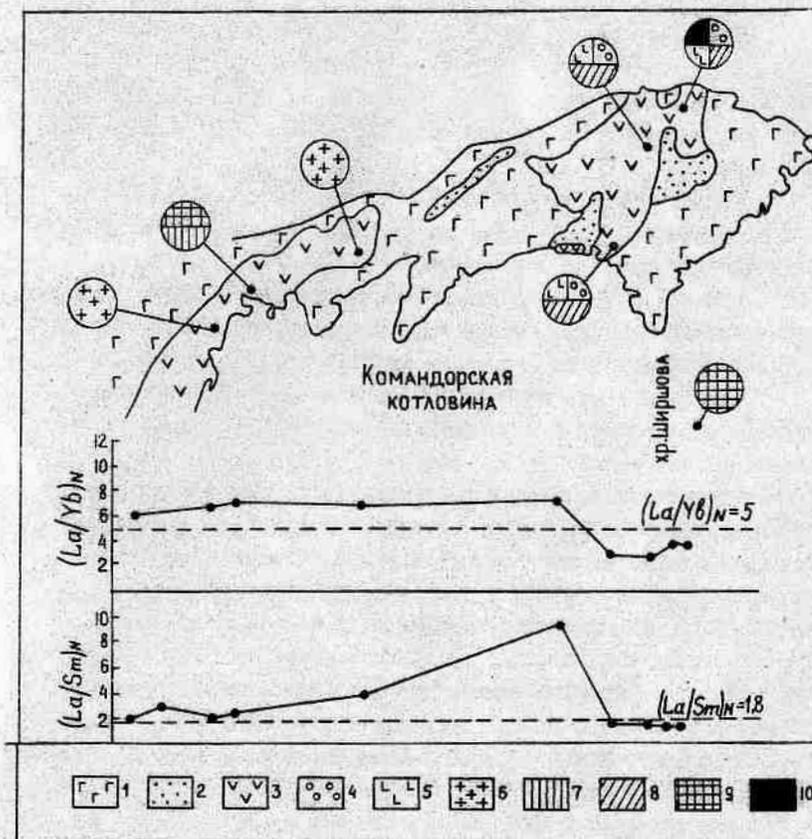
Геологические данные указывают на существование в междуречье Пахача-Апука грабенообразной структуры с субмеридиональным направлением простираения молодых разломов, свидетельствующих об активной новейшей тектонике. Серии сближенных даек известково-щелочных базальтоидов фиксируют растяжение, происходившее в поздненеогеновое время. Структура дайковых полей и состав даек аналогичны таковым некоторых офиолитов островных дуг и дайковых серий Алеутской, Марианской и Кермадекской островных дуг, для которых А.Крауфорд и др. считают их показателем интрадугового рифтогенеза.

Лавы Камчатского перешейка сопоставимы по комплексу петролого-геохимических данных с известково-щелочными сериями зрелых островных дуг, образованных при плавлении источника центральноитальянского типа, т.е. субконтинентальной литосферы. Локальная обводненность магм Камчатского перешейка, наличие в них интрателлурических магнезиальных оливинов, удовлетворяющих критерию Сато-Банно показывает, что магнезиальные члены

вулканической серии Камчатского перешейка могли находиться в равновесии с мантийным перидотитом при P,T-условиях верхней мантии. Мантийное происхождение этих вулканитов доказывается также находением в них ксенолитов перидотитов и пироксенитов. Вся сумма данных указывает на генерацию расплавов исходных для эффузивов Камчатского перешейка в мантийном клине над зоной субдукции при участии флюида, обогащенного крупноионными литофилами с последующим низкобарическим фракционированием расплавов в близповерхностных магматических очагах.

Таким образом, установлена гетерогенность литосферы в южной и северной частях изученного вулканического пояса. Наиболее четкими индикаторами этой неоднородности являются редкоземельные элементы (РЗЭ). Оливин-пироксеновые андезиты Апухско-Пахачинской зоны растяжения характеризуются умеренно обогащенными легкими РЗЭ спектрами, что наряду с низкими отношениями КИЛ/РЗЭ свидетельствует о незрелости литосферы юга Корякского нагорья и сопоставимости ее с литосферой под южными в эволюционном плане островными дугами Тихого океана - Алеутской (западный и центральный секторы), Марианской и Кермадекской.

Оливин-пироксеновые андезито-базальты и андезиты Камчатского перешейка (южный сектор) характеризуются повышенными, по сравнению с северной ассоциацией, концентрациями РЗЭ и более обогащенными цериевой группой спектрами. Эффузивы Камчатского перешейка связаны с поздним этапом вулканической эволюции зрелой островной дуги, когда уже существует кора субконтинентального типа и магмогенерирующие литосферные источники также продвинуты в эволюционном плане. Таким образом, наблюдаются четкие различия в составе РЗЭ в вулканитах, перекрывающих литосферные блоки различной природы. В случае обрамления Командорской котловины наиболее эффективным геохимическим репером является отношение $(La/Yb)_N=5$ (рис. 2), разделяющее вулканиты, которые перекрывают субконтинентальную литосферу ($(La/Yb)_N > 5$) и вулканиты, расположенные в пределах блока субокеанической литосферы ($(La/Yb)_N < 5$). Отношение $(La/Sm)_N$ менее информативно, однако, видно, что вулканиты с $(La/Sm)_N < 1,8$ скорее всего относятся к производным субокеанического субстрата (рис. 2).



Р и с. 2. Латеральная вещественная неоднородность позднетайнозойских вулканитов обрамления Командорской котловины.

1 - мел-палеогеновые вулканогенно-осадочные образования; 2 - неогеновые терригенные отложения; 3 - неоген-четвертичные вулканиты. Ксенолиты: 4 - метабазитов, диабазов, кремней; 5 - троктолитов, габброидов; 6 - гранулитов, гранитоидов; 7 - пироксенитов; 8 - серпентинитов, гардбургитов; 9 - шпинельных лерцлитов; 10 - эглогитоподобных пород. Пояснения к рисунку см. в тексте.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование позволяет сделать следующие выводы:

1. В составе позднекайнозойских вулканических образований обрамления Командорской котловины выделяются два структурно-вещественных комплекса, сопоставимых по петролого-геохимическим данным с островодужными известково-щелочными и толеитовыми сериями.

2. Вулканогенные комплексы формировались в обстановке активной континентальной окраины, осложненной процессами окраино-континентального рифтогенеза.

3. Вулканикам свойственна латеральная вещественная гетерогенность, связанная с гетерогенностью подстилающей литосферы - субконтинентальной на юге и субокеанической на севере.

4. Гетерогенность литосферы предопределила особенности вулканизма обрамления Командорской котловины в позднем кайнозое.

5. Эволюция литосферы в западной части Берингоморского региона тесно связана с компенсацией спрединга в Командорской котловине и подъемом теплового диапира, представляющего неистощенное вещество глубоких горизонтов мантии.

Сделанные выводы имеют практическое значение для геологической съемки и поисков полезных ископаемых на севере Камчатской области. При региональных работах необходимо учитывать особенности состава неоген-четвертичных вулкаников, которым посвящена настоящая работа. Различия в генезисе эффузивов определяют их латеральную гетерогенность и должны учитываться при тектоно-магматическом районировании.

Андезиты обрамления Командорской котловины перспективны на ряд полезных ископаемых. Наиболее важны в этом аспекте вулканики дислоцированного комплекса, в пределах которого выделяются две группы благоприятных для локализации оруделения объектов. Первая группа представляет собой реконструированные вулканические центры, с жерловыми фациями, дайками и штоками кальдерообразных депрессий которых связаны проявления минералов меди, серебра, флюорита, пейзажных черных и желтых опалов. Вторая группа включает в себя поля опалитизированной пирокла-

стики, вмещающие лавы "рудных" андезитов, с обильной вкрапленностью сульфидов меди.

В титаномагнетитах андезитов обрамления Командорской котловины обнаружены повышенные концентрации титана, что наряду с присутствием в этих лавах ильменита позволяет говорить о вулканиках, как о потенциальном источнике прибрежных россыпей ванадиеносных титаномагнетитов.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ АВТОРА ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:

1. Дискриминантный анализ пироксенов из вулкаников зоны перехода океан-континент. - В кн.: Методы кибернетики в химии и химической технологии. Тезисы докладов. Грозный, 1984.

2. Петрохимия кайнозойских вулканических пород Пахачинского хребта (Корякское нагорье). - Геология и геофизика, 1985, № 4.

3. Состав и палеотектоническая обстановка формирования кайнозойских эффузивов Пахачинского хребта (Корякское нагорье). - В кн.: Петрология, рудоносность и корреляция магматических и метаморфических образований. Тезисы докладов. Иркутск, 1985.

4. Кайнозойские вулканические серии обрамления Командорской глубоководной котловины. - В кн.: Вулканизм и связанные с ним процессы. Выпуск 2. Тезисы докладов. Петропавловск-Камчатский, 1985.

5. Кайнотипная ассоциация вулканических пород подводного хребта Ширшова (Берингово море). - В сб.: Тезисы докладов II Тихоокеанской школы по морской геологии и геофизике. Южно-Сахалинск, 1985.

6. Физико-химические условия кристаллизации маловодных андезитовых расплавов (по данным термобарогеохимии). - В сб.: Проблемы геологии литосферы. М., Наука, 1985.

7. Кайнозойские андезиты островных дуг и активных континентальных окраин: статистический подход. - В сб.: Количественные методы в геологии. Иркутск, 1985 (совместно с В.Н. Богдановым, В.В. Золоторевым).

8. Геохимия вулкаников начальных стадий эпигорогенного рифтогенеза (на примере юга Корякского нагорья). В сб.: Тезисы

докладов XII Всесоюзного семинара "Геохимия магматических пород". Москва, 1986.

9. Кристаллизация маловодных андезитовых расплавов по данным изучения магматических включений в минералах. - Доклады АН СССР, 1986, т.286, № 6 (совместно с И.Т.Вакуменко, Л.В.Усовой).

10. Кайнозойские вулканогенные ассоциации юга Корякии - аналоги островодужных андезитовых формаций. - Доклады АН СССР, 1986, т.290, № 2.

11. Состав и структурное положение позднекайнозойских вулканитов Камчатского перешейка и Олюторской зоны Корякского нагорья. - Изв. ВУЗов, геология и разведка, 1986, № 8, (совместно с П.И.Федоровым).

12. Эволюция океанического и островодужного вулканизма западной части Берингоморского региона. - В кн.: Происхождение и эволюция магматических формаций в истории Земли, вып. I. Новосибирск, 1986 (совместно с Н.А.Богдановым, И.Р.Кравченко-Бережным).

13. Геохимия позднекайнозойских вулканитов обрамления Командорской котловины как индикатор тектонической обстановки их формирования и металлогенической специализации. - В кн.: Геохимия в локальном металлогеническом анализе, тезисы докладов. Новосибирск, 1986 (совместно с Н.И.Гулько, Л.Б.Ефремовой).

14. Статистический анализ химизма андезитов островных дуг и активных континентальных окраин. - Геология и геофизика, 1987, № 5 (совместно с В.Н.Богдановым, В.В.Золоторевым).

15. Origin of Cenozoic volcanic series of Komandor basin framing according to geochemical and experimental data: - Geol. Zb.- Geol. Carpathica, 1987, v.38, N 1.

16. Кайнотипные вулканиты подводного хребта Ширшова (Берингово море).- Известия АН СССР, сер.геол., 1987, № 3 (совместно с Н.А.Богдановым, В.В.Кекежинским).

17. Редкоземельные элементы в оливин-бронзитовых андезитах обрамления Командорской котловины. - Доклады АН СССР, 1987, в печати (совместно с В.С.Пархоменко).

18. Редкоземельные элементы в позднекайнозойских вулканитах запада Берингоморского региона - показатели типа литосферы. - Доклады АН СССР, 1987, в печати (совместно с Н.А.Богдановым).

19. Геохимия позднекайнозойских вулканитов юга Корякского нагорья. - Тихоокеанская геология, 1987, в печати (совместно с Н.И.Гулько, Л.Б.Ефремовой).

20. Geochemical types of mantle-derived andesites in Circumpacific regions. - In: Abstracts of XVI Pacific Congress, Seoul, 1987.

Л. Кекежин

Подл. к печ. 12.03.87. Т 07059 Зак. 472 Тпр. 100

ВИЭМС ОИДП