

Авт
Г 408

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
ИНСТИТУТ ВУЛКАНОЛОГИИ

На правах рукописи

Г.С. Горшков

**КУРИЛЬСКАЯ ОСТРОВНАЯ ДУГА
И ВОПРОСЫ СВЯЗИ ВУЛКАНИЗМА С ВЕРХНЕЙ
МАНТИЕЙ ЗЕМЛИ**

Автореферат

диссертации, представленной на соискание ученой степени
доктора геолого-минералогических наук

МОСКВА 1966

ИЗДАТЕЛЬСТВО
ИНСТИТУТ ВУЛКАНОЛОГИИ
АКЦИОНЕРНО-ОБЩЕСТВЕННОЕ

Подписано к печати 5.XI.1966 г.

Т 14081

Зак. 165

Типография ИГГПЗ АМН СССР

Тир. 250 экз.

Проблема происхождения и развития островных дуг в последние десятилетия привлекает к себе пристальное внимание ученых самых различных специальностей. Именно к этим областям приурочены самые мощные современные геологические процессы, именно здесь происходит переработка одного типа земной коры в другой. Только поняв до конца идущие здесь современные процессы, можно увереннее судить о процессах прошлого.

Инициатором работ по проблеме островных дуг в нашей стране (на примере Курило-Камчатской дуги) был акад. А.Н. Заварицкий, который начиная с 1946 г. неоднократно поднимал этот вопрос на страницах научной печати.

Большую роль в островных дугах играют процессы вулканизма, поэтому одной из первых задач акад. А.Н. Заварицкий считал изучение вулканов и вулканических явлений на Курильских островах. Выполнение этой миссии в значительной мере легло на долю автора этих строк, который, начиная с 1946 г., правда с большими перерывами, проводил здесь вулканологические работы.

Вначале задачи были довольно ограниченными - предполагалось просто описать вулканы (в первую очередь действующие) и породы их составляющие, но, по мере развития исследований, естественно встали задачи более общего характера, которые потребовали сравнения с другими вулканическими областями и т.д.

В соответствии с этим, работа фактически состоит из двух частей, первая (глава I-VI) является описанием непосредственно Курильских островов и, конечно, их вулканов, а вторая (заключительные главы VII и VIII) посвящена другим вулканическим районам и некоторым теоретическим вопросам вулканологии.

В первой главе приводятся общие данные о строении Курильской дуги. Цепь Курильских островов протягивается от южной оконечности

Камчатки до о. Хоккайдо, как бы соединяя эти две области, и в то же время отделяя от Тихого океана внутреннее Охотское море. Подобно другим островным дугам, Курильские острова отделены от ложа океана глубоководным желобом, а от континента — впадиной внутреннего моря.

Курильская дуга является двойной. Внешняя, невулканическая дуга выходит над уровнем моря только в крайней юго-западной части в гряде Малых Курильских островов. Далее к северо-востоку внешняя дуга протягивается в виде подводного хребта "Витязя", а в средней части гряды внешняя дуга морфологически вообще не выражена.

Внутренняя — вулканическая дуга образует цепь островов Большой Курильской гряды и протягивается на 1150 км от о. Парамушир на северо-востоке до о. Кунашир на юго-западе. По типу строения земной коры и по особенностям подводного рельефа Большая гряда может быть разделена на три звена: северное, центральное и южное. Границами этих звеньев являются наиболее глубокие проливы — Крузенштерна и Буссоля. Детали строения подводного рельефа и особенно петрохимические отличия лав позволяют выделить "главную вулканическую зону" и "западную зону Большой Курильской гряды", к последней зоне относятся острова: Алаид, Ширинки, Макануши, Авось, Экарма, Чиринкотан и Броутона.

С запада Курильская гряда ограничена глубоководной Курильской котловиной Охотского моря, дно которой представляет ровную поверхность глубиной 3350 м. Границей Курильской котловины на западе является уступ континентального склона Сахалино-Хоккайдийской горной системы.

К юго-востоку от Курильской гряды протягивается Курило-Камчатский глубоководный желоб; он тянется на 2200 км от района Камчатского мыса на северо-востоке до южной оконечности о. Хоккайдо на юго-западе. Расстояние между осью желоба и осью вулканической дуги колеблется в узких пределах 180–220 км. Максимальная глубина желоба (в районе пролива Фриза) составляет 10542 м. Превышение вулканов в этой части дуги над дном желоба составляет около 12000 м.

В целом переходная зона от материка Азии к Тихому океану имеет весьма сложное строение. По-видимому эту зону можно рассматри-

вать, как аналог древних геосинклинальных систем: острова Курильской гряды образуют двойную антиклиналь, разделенную промежуточным синклинальным прогибом. От погруженной континентальной платформы Охотского моря эта сложная антиклиналь отделена глубокой синклиналью Курильской впадины, а от океанической платформы — синклиналью Курило-Камчатского желоба.

Во второй главе приводится подробная история изучения вулканов. Первые сведения о существовании цепи Курильских островов доставил в Москву в 1701 г. первооткрыватель Камчатки — В. Атласов. Первым об извержении вулкана на Курилах упомянул в 1713 г. казачий атаман И. Козыревский, а подробные сведения о 26 вулканах в том числе о 12 действующих привел сотник И. Черный в 1769 г. Эти, а также некоторые другие, данные были опубликованы в 1783 и 1785 гг. в сводке М. Татаринова.

Большой вклад в дело изучения вулканов был внесен первой русской кругосветной экспедицией И.Ф. Крузенштерна (1805 г.) и плаваниями В.М. Головнина к южным Курилам (1811 г.). С 1830 по 1869 гг. Курильские острова принадлежали Российско-Американской компании, суда которой ежегодно посещали острова и поселки. Служащий этой компании П. Дорошин в 1870 г. опубликовал специальную статью о вулканах и их извержениях на Курильских островах.

В 1875 г. Курильские острова были переданы Японии. К этому времени в русской литературе было отмечено 25 действующих вулканов.

В 1878 г. английский сейсмолог на японской службе проф. Д. Мильн объехал все острова гряды и по наблюдениям с борта корабля дал описание вулканов. В 1886 г. он опубликовал большую сводку о вулканах Курильских островов, в которую включил также данные, собранные английским капитаном Сноу. В этой сводке отмечено 23 потухших и 16 действующих вулканов. В дальнейшем до 1946 г. вулканических исследований, охватывавших всю гряду, не проводилось и все последующие вулканические сводки базировались преимущественно на работе Мильна.

В 1945 г. гряда Курильских островов была возвращена в состав Советского Союза. Имевшиеся на 1945 г. сведения о вулканах Курильских островов были сведены акад. А.Н. Заварицким; им отмечено 23 действующих вулкана, т.е. примерно столько же, сколько и в старой русской литературе.

Первые советские вулканологические наблюдения на Курильских островах были проведены автором в 1946 г. исследования охватили все острова гряды и они значительно расширили существовавшие представления о Курильских вулканах: число всех вулканов было оценено цифрой порядка 80, а 36-37 из них были отнесены к категории действующих. Дальнейшие более детальные работы автор проводил в 1951-1954 гг. В результате этих исследований был опубликован "Каталог действующих вулканов Курильских островов" и ряд других работ.

С 1958 по 1964 гг. автор проводил большие вулканологические исследования на Курильских островах, преимущественно на Централь-ных. Результаты этих работ почти не публиковались; они сведены в V и VI главах диссертации. Здесь можно лишь отметить, что по нашим последним данным число только голоценовых вулканов составляет 104.

Помимо автора специально вулканологические исследования на Курилах проводили Е.К. Мархинин в 1954-1955 гг. (о. Кунашир) и в 1962 г. (Центральные Курилы), а также сотрудники Лаборатории вулканологии СахКНИИ во главе с В.Н. Шиловым с 1960 по 1963 гг. (преимущественно в северной части о. Парамушир).

В третьей главе приводятся основные данные о строении земной коры и геофизических полях района Курильских островов.

Южная часть Курильских островов, вместе с Японией, была одной из первых областей, где было установлено существование глубоко-фокусных землетрясений.

Первым из русских ученых, кто обратил внимание на проблему глубокофокусных землетрясений, в частности на Курильских островах, был акад. А.Н. Заварицкий (1946 г.). Он отметил существование фокальной зоны очагов землетрясений, падающей под углом около 40° от впадины Тускарора (теперь Курило-Камчатский желоб) в сторону континента на глубину до 700 км, а также тот важный факт, что действующие вулканы расположены там, где фокальная зона подходит к земной поверхности на расстояние 100-150 км. Акад. А.Н. Заварицкий, сравнивая масштаб геологических процессов в земной коре с масштабами процессов в оболочке Земли, первым пришел к выводу о том, что "глубокие движения литосферы могут быть причинами (первичными), а складчатость, разрывы и альпий-

ская тектоника в земной коре - следствиями (вторичными)". Таким образом А.Н. Заварицкий предвосхитил те идеи, которые позже были положены в основу "Проекта верхней мантии".

Выводы А.Н. Заварицкого о существовании фокальной зоны очагов землетрясений в последующие годы с развитием региональной сейсмо-сети были подтверждены и уточнены. Особенно интересными и важными были результаты детальных наблюдений на Ю. Курилах, проведенные в 1958-1962 гг. С.А. Федотовым.

Напряжения в очагах землетрясений действуют преимущественно в горизонтальном направлении перпендикулярно простиранию дуги. Обнажившиеся разрывы имеют простирание параллельное дуге с различными углами падения ($45-75^\circ$) в сторону континента. Движения имеют характер взброса, при котором континентальная часть надвигается на океаническую; область глубоководного желоба испытывает опускание.

В 1957-1958 гг. по программе МГГ в прикурильской части переходной зоны было проведено 15 профилей глубинного сейсмического зондирования (ГСЗ). В итоге была получена довольно полная картина строения земной коры в этом районе. По данным ГСЗ было установлено, что земная кора имеет здесь мозаичное строение. Вся область к востоку от оси Курило-Камчатского желоба подстилается типично океанической корой. В северной части гряды океанический тип коры по оси желоба резко сменяется континентальным типом; этот тип коры протягивается от района пролива Крузенштерна к Южному Сахалину и вся северная часть Курильской гряды вместе со значительной частью Охотского моря подстилается континентальной корой.

Центральные и Южные Курильские острова, а также Курильская впадина Охотского моря подстилаются переходной корой между океаническим и континентальными типами. В переходном типе И.П. Косминская выделила "субокеанический" и "субконтинентальный" типы. Субокеанический тип Центральных Курил и Курильской впадины Охотского моря довольно существенно отличаются друг от друга. В первом случае этот тип представлен фактически океанической корой, нагруженной толщей вулканогенных пород. В этой части гряды типично океаническая кора глубоким "заливом" вдаётся в сторону гряды, почти доходя до островов Симушир и Кетой. В Курильской впадине

Охотского моря "субокеанический" тип коры представлен тонкой однослойной океанической корой, нагруженной мощным слоем рыхлых осадков.

Ключная часть Большой Курильской гряды подстилается корой, которая была отнесена к "субконтинентальному" типу. Общая мощность коры составляет здесь 16-18 км, ниже слоя рыхлых осадков следует единый мощный слой с "промежуточной" сейсмической скоростью - 6,3 км/сек. Земная кора в области Малой Курильской гряды отнесена к континентальной, однако с типично континентальной она сходна только по общей мощности - до 36 км. Земная кора состоит здесь из мощного (до 26 км) "базальтового" слоя, нагруженного значительной толщей (до 7 км) вулканических пород. Таким образом по простиранию вулканической дуги можно выделить по крайней мере три различных типа коры - от типично континентального в северной части до почти океанического в центральной.

Строение подкоровых частей мантии, судя по сейсмологическим данным (С.А. Федотов), довольно своеобразное. Скорость продольных сейсмических волн на границе Мохоровичича (граница М) меньше, чем обычно и равна 7,7 км/сек (вместо "нормальных 8,1 км/сек"). Такое значение скорости сохраняется до глубины 80 км, а затем незначительно увеличивается. Лишь на глубине 125 км скорость достигает значения 8,1 км/сек. Волновод в верхней мантии, или зона Гутенберга, здесь, на Курилах, отсутствует или выражен очень нечетко. На глубинах 60-110 км и особенно на 80-90 км сильно возрастает поглощение поперечных сейсмических волн. Зона такого аномального строения верхней мантии четко совпадает с зоной современного вулканизма. По обе стороны от полосы современных вулканов - в Охотском море и в Тихом океане - мантия имеет обычное, нормальное строение и свойства.

В 1951-1954 гг. и в период МГГ в прикурильской части переходной зоны были проведены гравиметрические исследования (А.Г. Гайнанов). По характеру аномалий Буге можно выделить четыре зоны: 1) Северная часть Охотского моря - близкие к нулю аномалии, характерные для континентальных платформ. 2) В Курильской котловине Охотского моря - интенсивные положительные аномалии, типичные для океанических областей. 3) Курильские острова и Курильский глубоководный желоб характеризуется двойным минимумом ано-

малий, разделенным небольшим вторичным максимумом, при этом самый глубокий минимум приходится на западный склон Курильского желоба, а к оси желоба приурочен максимальный градиент аномалий. 4) За осью желоба - в Тихом океане - вновь наблюдаются интенсивные положительные аномалии. Сопоставление гравитационных аномалий со строением земной коры позволило установить, что вещество верхней мантии под островами до глубины в 50-60 км разуплотнено на величину $0,1 \text{ г/см}^3$, а при переходе к океану уплотнено на ту же величину до глубины в 30-40 км.

В годы МГГ на Курилах проводилась также аэромагнитная съемка (О.Н. Соловьев). Непосредственная связь между характером магнитного поля и структурой земной коры или рельефом дна моря обнаружена не была. Резкие положительные и отрицательные полосовые аномалии Большой Курильской гряды видимо связаны с излияниями основных лав.

В пятой главе приведены основные данные о геологии фундамента четвертичных вулканов. Основными исследователями геологии Курильской гряды являются Г.М. Власов, Ю.С. Желубовский, А.Ф. Прялухина и К.Ф. Сергеев, по данным которых приводится стратиграфическое расчленение фундамента островов. Наиболее древними породами на Курильских островах являются отложения верхнего мела, развитые в пределах Малой Курильской гряды. На эти отложения с резким угловым несогласием налегает сильно дислоцированная толща эффузивно-пирокластических пород, условно относимая к палеогену. В пределах Малой Курильской гряды известны также раббромдные интрузии.

Фундамент Большой Курильской гряды сложен третичными породами. Детальное стратиграфическое расчленение их затруднено малым содержанием органических остатков и преимущественно вулканогенным характером толщ. По решению Охинского стратиграфического совещания 1959 г. третичные образования Большой Курильской гряды расчленены на три серии: 1) средние - парамуширскую (верхний олигоцен (?)) - нижний миоцен), 2) итурупскую (средний миоцен) и 3) утесную (верхний миоцен - плиоцен). Общая мощность третичных отложений на юге гряды оценивается в 3000 м и до 7000 м на севере. На многих островах Большой Курильской гряды известны выходы гранитоидных интрузий. Геологи относят эти интрузии к миоцену; данные

абсолютного возраста (Л.В. Фирсов) расходятся с полевыми определениями, они дают нижний - средний плиоцен

По вопросу о тектоническом положении Курильской дуги среди исследователей нет единого мнения. Так, например, И.А. Петрушевский отрицает геосинклинальный характер дуги, А.Е. Горячев принимает существование здесь геосинклинального режима, но делает это с большими оговорками. В.В. Белоусов и Е.М. Рудич относят Курильскую дугу к "дугам второго типа", которые развиваются на месте старой геосинклинальной системы. Но пожалуй, большинство геологов считает Курильскую дугу современной геосинклинальной системой; к числу этих геологов относится и автор.

Что касается отдельных островов, то они рассматриваются (А.В. Горячев) как крупные, осложненные разломами симметричные антиклинали, разделенные синклиналями проливов. Оси антиклиналей (островов) несколько отклоняются от общего простирания дуги к северу, образуя систему эшелонов или кулис.

К северу структуры Курильских островов переходят на Камчатку, а на юге кулисы вулканических цепей через полуостров Сирегото переходят на о. Хоккайдо, где резко изгибается к западу и у западного побережья острова пересекается с вулканической зоной Насу.

С точки зрения вулканологии исключительный интерес представляет стратиграфия четвертичных отложений. К сожалению, этот вопрос для островов Курильской гряды практически почти совершенно не разработан. Автор детально разбирает два вопроса четвертичной стратиграфии: соотношения морских террас и историю оледенений.

Согласно результатам наших исследований, включая массовую обработку аэроснимков, на Курильских островах, с севера и до самого юга, имеются следы двух оледенений, которые выражены как моренами, так и экзарационными формами рельефа. Первое оледенение было более мощным и на о. Парамушир, а возможно и на о. Снеготан, было подупокровным. Все основные речные долины являются троговыми. Вся центральная часть о. Парамушир - хр. Левинсон-Лессинга - была почти полностью покрыта льдом. Здесь ледники покрывали плоские водораздельные пространства и по трогам спускались не только до современной береговой линии, но во многих местах выходили далеко за ее пределы. В частности ледники север-

ной части хр. Вернадского полностью перекрывали современный о. Шумгу. Южнее площадь ледников сокращалась и они приобретали горно-долинный характер. Но даже на о. Уруп они покрывали большие площади у подножия хребтов, а на о. Итуруп, например, полностью заполняли обширную кальдеру Медвежья. Ледниковые формы рельефа встречены вплоть до северной части о. Кунашир. Морены первого оледенения перебиты и переотложены вместе с материалом 20-30 м надводной террасы.

Второе оледенение было более слабым. На севере гряды оно было горно-долинным. Ледники второго оледенения в большинстве случаев использовали трог первого оледенения, но на водораздельных пространствах отсутствовали. Ледники спускались до современного берега моря и, вероятно, местами выходили дальше. Морены второго оледенения, в отличие от первого, вложены в 20-30 м террасу и не затронуты трансгрессией. На центральных островах второе оледенение почти не оставило следов, а начиная с о. Уруп оно оставило небольшие морены на высоте 1000-1200 м. Такие небольшие морены второго оледенения встречены и на о. Итуруп, но на Кунашире уже обнаружены не были.

Таким образом, наши исследования показали, что первое оледенение охватывало все острова гряды и было на севере подупокровным, а на юге - горно-долинным и частью "типа маляспин". Второе оледенение также охватывало почти все острова и на севере было горно-долинным, а на юге приближалось к каровому.

Возраст второго оледенения несомненно вюрмский (висконсинский). Первое оледенение условно отнесено к рисскому времени (иллинойс). По отношению к ледниковым формам рельефа вулканам и вулканические образования могут быть отнесены к 1) послеледниковым - голоценовым; это лучше всего устанавливаемая группа, возраст которой не более 10-11 тыс. лет; 2) межледниковые, отвечающие сангамонскому времени - 80-170 тыс. лет и 3) доледниковые - старше 220 тыс. лет. В некоторых случаях могут быть выделены более дробные подразделения, в других - определяются только две возрастные группы: голоцен и доледниковые, обнимающие в этом случае все постройки старше 11 тыс. лет. Возрастные соотношения приводятся по возможности для каждой вулканической постройки.

Дополнительные указания о возрасте отдельных вулканов могут

дать соотношения тех или иных вулканов с подводной I30 м террасой. Эта терраса присутствует у большинства островов Курильской гряды; по аналогии с такой же террасой у берегов Америки возраст ее оценивается в 17-25 тыс. лет (данные радиоуглеродной датировки), что соответствует позднему вюрму (позднему висконсину). Отсутствие следов этой террасы вокруг отдельных островов или вулканов определяет их возраст, как голоценовый; подробности приведены при описании отдельных вулканов.

Форма I30 м подводной террасы прямо указывает на поздне-вюрмскую палеогеографию, а изменение ее уровня - на голоценовые тектонические движения. В позднем вюрме о-ва Парамушир и Шумшу составляли единое целое с Камчаткой, а Кунашир и Малая Курильская гряда - с Хоккайдо и Сахалином. От о. Онекотан до о. Шиашкотан протягивался единый крупный остров; объединены были также острова Расшуа и Ушишир, а также Черные Братья и Уруп. Другие острова имели совершенно иные очертания, а такой крупный остров, как Алаид еще не существовал. Более детальные наблюдения, в том числе специальные эхолотные промеры на э/с "Геолог" показали, что на охотской стороне островов I30 м терраса во многих случаях обрезана сбросами большой амплитуды. В частности большой сброс, или система сбросов, идет по западной окраине Центральных Курильских островов от Матуа до Симушира.

Самая обширная пятая глава (202 стр. текста и 74 иллюстрации) посвящена детальному описанию четвертичных вулканов Большой Курильской гряды. Всего в работе описано около 160 четвертичных наземных вулканов и вулканических групп, т.е. в два раза больше, чем в наших же предшествующих сводках. Из этого числа 104 вулкана действовали в голоценовое время. В сводке 1958 г. автор оценивал это число в 51-52, т.е. результаты наших последних исследований позволили увеличить и это число в два раза. Общее число наземных и подводных вулканов в районе Курильских островов составляет по меньшей мере 250.

Наземные вулканы Большой Курильской гряды, а вместе с ними и острова, можно разделить на две зоны: первая из них - "главная вулканическая зона" приурочена к осевой части внутреннего вулканического хребта. Эта зона, включающая в себя все крупные острова и значительную часть более мелких, протягивается непре-

рывной цепью от о-вов Шумшу и Парамушир на севере до о. Кунашир на юге и включает 16 островов со 150 вулканами. К западу от северной половины главной зоны более или менее бессистемно рассеяно еще 7 островов с 10 вулканами. Эти острова расположены на западном склоне внутреннего хребта и на склоне Курильской котловины Охотского моря, а о. Чиринкотан и скалы Авось поднимаются прямо со дна этой котловины. Вторая группа островов отличается от первой не только географическим положением, но также петрографическими и химическими особенностями лав. Все это позволило нам выделить "западную вулканическую зону"; к ней относятся и большинство подводных вулканов.

Описание всех вулканов составлено заново, с учетом самых последних результатов экспедиционных работ и обработки аэроснимков. Для всех вулканов и вулканических групп составлены схемы строения.

Как уже говорилось в западную зону входит 7 островов с 10 вулканами, из них 5 вулканов - голоценовых (4 - действующих). Все острова западной зоны - сравнительно небольшие; самый крупный из них - Алаид - занимает по площади девятое место в ряду других Курильских островов. На этих островах нигде не обнаружены выходы третичного фундамента. Более того, два острова (Алаид и Чиринкотан) образовались уже в голоценовое время, в это же время образовался и вулкан Экарма. Из всех островов западной зоны в голоцене не проявляли активности вулканы Макаруши, Авось и Броутона. Отличительной особенностью лав является частое присутствие роговой обманки.

Вулканы главной вулканической зоны разбиты на три участка: северный, центральный и южный. В северную группу входит шесть островов: Шумшу, Парамушир, Онекотан, Харимкотан, Шиашкотан и скалы Ловушки. Из них о. Шумшу - единственный среди всех островов Большой Курильской гряды, где нет вулканов ни действующих, ни потухших. На всех остальных островах имеются четвертичные вулканы или их остатки. Всего в этой группе можно насчитать до 60 вулканов, из них более половины (34) - голоценового возраста, а 9 являются действующими в настоящее время. Среди вулканов северного звена наблюдается большое разнообразие форм и типов извержений. Особо следует отметить остров Парамушир, где почти все

вулканы принадлежат к особому типу, названному нами "линейно-гнездовым". В этом типе отдельные эруптивные центры довольно тесно сгруппированы в "гнезда", расположенные на некотором расстоянии один от другого по простиранию дуги. В отличие от соседней западной зоны роговая обманка обычно не встречается даже в кислых экструзиях и пемзах.

В центральную группу входит 6 островов: Райкоке, Матуа, Расшуа, Ушишир, Кетой и Симушир; кроме того между островами Расшуа и Ушишир находится группа скал Среднего — остаток подводного вулкана, а между островами Райкоке и Матуа было зарегистрировано два подводных извержения. Всего в эту группу входит 12 наземных вулканов, из них только два не действовали в голоценовое время, а 8 относятся к действующим в настоящее время. Строение вулканов достаточно разнообразно — от простых одиночных конусов до сложных кальдерных построек с многофазными центральными конусами.

В южную группу островов входят два небольших острова (Черные Братья) и три крупных — Уруп, Итуруп и Кунашир. Здесь сосредоточено примерно половина всех вулканов Курильской гряды, в том числе 55 голоценовых, а 16 из них относятся к категории действующих.

Как уже говорилось, на Курильских островах в настоящее время насчитывается 102-104 голоценовых вулкана.

Из этого числа 56 конусов, т.е. несколько более половины (54-55%) относится к линейно-гнездовому типу, а 46 — являются постройками центрального типа (что составляет 44-45%). Если рассматривать Главную и Западную зоны порознь, то окажется, что в западной зоне все современные постройки относятся к центральному типу, а доля конусов линейно-гнездового типа в Главной зоне несколько увеличивается.

Однако представление о доминирующей роли линейно-гнездовых извержений в голоцене было бы ошибочным. Для сопоставления истинных масштабов вулканической деятельности следует исходить не из числа конусов, размеры которых могут быть самыми различными, а из объема вулканических продуктов. В качестве первого приближения можно использовать площади, занятые продуктами вулканической деятельности. Эти площади были подсчитаны нами для всех островов, раздельно для плейстоцена и голоцена.

Общая площадь голоценовых лав в Главной вулканической зоне составляет 1255 км², из них на долю линейно-гнездовых излияний приходится 350 км² или 28%. Таким образом, действительное соотношение вулканизма центрального и линейно-гнездового типа является существенно иным, чем это могло казаться при подсчете числа конусов, и на долю последнего типа приходится всего около 1/4. Если обратиться к плейстоцену, то из общей площади четвертичных лав в Главной зоне в 5345 км² на долю линейно-гнездовых излияний приходится до 3150 км², что составляет почти 60%. Отсюда следует, что доля линейно-гнездовых извержений в голоцене значительно сократилась. Особенно заметно это на о. Уруп, где плейстоценовые лавы этого типа занимает площадь более 750 км², а голоценовые — едва достигают 20 км².

Из общего числа 33 действующих вулканов Главной зоны 29 относятся к постройкам центрального типа и только 4 входят в линейно-гнездовую группу (все на о. Парамушир). Заканчивая рассмотрение вулканов линейно-гнездового типа, можно отметить, что в этом типе довольно редко образуются экструзивные куполы, они известны всего на пяти конусах (т.е. составляют менее 10%), а образование кальдер в массивах этого типа неизвестно вообще.

Голоценовые постройки центрального типа, число которых в Главной зоне равно 41, довольно разнообразны. Преобладают вулканы, построенные по типу Somma-Везувий (24 постройки, или почти 60%). Здесь имеются все переходы от полуразрушенных, иногда почти незаметных остатков Somma до таких прекрасно выраженных форм, как Пик Креницына на о. Онекотан или вулкан Тятя на о. Кунашир. Центральные постройки в этом типе обычно голоценовые, а время образования кальдер самое различное, от доледникового — до голоценового.

Центральная постройка иногда является простым одиночным конусом, но в некоторых случаях это — сложный комплекс различных конусов и куполов. В кальдере Медвежьей (о. Итуруп) насчитывается, например, до десятка конусов и куполов.

Из общего числа 33 действующих вулканов Главной зоны 21 (или 2/3 от общего числа) принадлежат к типу Somma-Везувий.

Число одиночных конусов в Главной зоне составляет 15 (или 37% общего числа), все они — голоценовые и только один из них (вулкан Барановского), возможно, поздне-плейстоценовый.

Следует отметить довольно частое развитие куполов на центральных постройках. Они известны в 17 случаях, причем в 16 – на вулканах типа "Сомма-Везувий" (что составляет более 40% для всех вулканов и около 70% для типа Сомма-Везувий) и только в одном случае на одиночном конусе.

В западной зоне все вулканы, за исключением, быть может плейстоценовой постройки о. Маканруши, являются одиночными конусами. Из пяти голоценовых конусов на вершине трех имеются купола.

Характер извержений на Курилах самый различный. В последнее время, пожалуй, преобладают умеренные взрывы типа Волкано и Стромболи. Известны также мощные плинианские извержения и направленные взрывы типа Безымянной. Часты выжимания куполов – на 14 действующих вулканах извержения заканчивались формированием куполов. Излиния лавовых потоков и образование побочных конусов в историческое время происходили реже. Совершенно неизвестны извержения гавайского типа.

В заключение несколько замечаний об интенсивности вулканизма на различных участках дуги. Имеющееся на этот счет мнение о максимальной интенсивности вулканизма в центральной части дуги (А.В. Горячев) часто цитируемое в различных статьях, основано на подсчете числа извержений. Однако эта характеристика не может служить объективной мерой интенсивности. Прежде всего извержения фиксировались на Курилах только в течение 250 лет; очень много извержений осталось незарегистрированными, а известные извержения имеют столь различную силу, что оценка только по числу извержений практически ничего не дает. Оценка интенсивности вулканизма следует проводить по суммарному объему вулканических продуктов. В качестве первого приближения можно использовать подсчитанные нами площади вулканических пород.

Если подсчитать площадь вулканических пород, приходящихся на 1 км длины данного отрезка дуги, то эта величина достаточно объективно может характеризовать интенсивность вулканизма. Отношение площади голоценовых лав к площади плейстоценовых может характеризовать относительную интенсивность современного вулканизма.

Соответствующие величины сведены в нижеследующую таблицу.

	Главная зона в целом	Северная часть	Центр. часть	Южная часть	Зап. зона
Общая площадь плейстоценовых лав (км ²)	5345	1350	495	3500	95
Общая площадь голоценовых лав (км ²)	1255	395	165	695	250
Площадь плейстоценовых лав на 1 км длины дуги (км ² /км)	4,6	4,5	2,5	6,5	0,4
Площадь голоценовых лав на 1 км длины дуги (км ² /км)	1,1	1,3	0,8	1,3	0,9
Процент голоценовых лав	23%	30%	33%	20%	260%

Из этой таблицы следует, что в плейстоцене вулканизм наиболее интенсивно развивался на юге гряды, а слабее всего в центральной части. В послеледниковое время интенсивность вулканизма на юге значительно уменьшилась и сравнялась с таковой на севере гряды, а в центральной части продолжала оставаться несколько более слабой. Таким образом, объективные данные не подтверждают сложившееся мнение о большой интенсивности вулканизма в центральной части гряды, действительное соотношение скорее является обратным.

Данные по западной зоне являются менее представительными, т.к. здесь значительная часть построек скрыта под водами Охотского моря. Имеющиеся данные указывают на значительное увеличение интенсивности вулканизма в этой зоне в голоцене. Новые данные подтверждают сложившееся у нас ранее мнение о "продвижении" вулканизма к западу.

Если рассматривать характер и интенсивность вулканизма применительно к различным типам земной коры, то выявляются следующие особенности: линейно-гнездовой тип вулканизма не известен

в центральной части дуги — на коре субокеанического типа. В этой же части дуги интенсивность вулканизма в четвертичное время отставала (и продолжает отставать) по сравнению с севером и югом. На континентальном (северном) участке дуги интенсивность вулканизма в течение четвертичного времени оставалась приблизительно одинаковой. На субконтинентальной коре юга дуги интенсивность вулканизма в голоцене снизилась, главным образом за счет почти полного прекращения излияний линейно-гнездового типа.

Можно было бы прямо связать те или иные особенности вулканической деятельности с типом строения земной коры. Однако, по нашему мнению, само формирование земной коры в островных дугах в значительной мере происходит в итоге явлений вулканизма (Горшков, 1963, стр. 10). С этой точки зрения субокеаническая кора центральной части Курильской дуги является "недоразвитой", что обусловлено общей "вялостью" подкорковых процессов в этой области.

В шестой главе приведены данные о петрографии и петрохимии вулканических пород. В петрографическом отношении лавы вулканов Курильских островов довольно разнообразны; здесь можно встретить все разновидности от основных базальтов до кислых диоритов. В то же время в петрохимическом отношении все лавы принадлежат к известково-щелочному семейству, причем к наиболее известковым типам его.

Шире всего среди курильских лав распространены пироксеновые андезиты. Значительным распространением пользуются также базальты и андезито-базальты. Дацинты и близкие к дацитам кислые андезиты среди массивных лав встречаются реже, но ими часто сложены обширные отложения лав. Диориты очень редки и встречены только среди пемзовых отложений.

Лавы главной и западной зон в петрографическом отношении довольно близки, заметным отличием является почти постоянное присутствие на вулканах западной зоны роговой обманки, которая обычно даже в массивных лавовых потоках (за исключением о. Алаид) не говоря уже о куполах и более кислой пемзовой пирокластике. В главной зоне роговая обманка в лавах встречается, как исключение, даже в кислой пирокластике этот минерал является сравнительно редким.

Базальты: во вкрапленниках преобладает основной плагиоклаз от

лабрадора и лабрадор-битовнита до анортита, постоянной составной частью является диопсидовый авгит, часто встречается оливин и иногда он преобладает над пироксеном. Основная масса базальтов имеет обычно интерсерпальную структуру, обычны также микродолеритовая и гиалиновая структуры; встречаются и афировые базальты с гиалопилитовой структурой основной массы. Микролиты представлены плагиоклазом состава от лабрадора до битовнита, а также авгитом, изредка встречаются микролиты оливина. Базальты были довольно широко распространены среди древних центральных излияний и часто обнаруживаются в лавах сомм сложных вулканов и на кальдера-вулканах. Среди современных или недавних излияний базальты встречены на вулканах Алаид, Райкоке, Брат Чирпоев, конусе Меньшой Брат в кальдере Медвежей, вулкане Стокап, Атсунпури и Тятя.

Андезито-базальты — очень распространенная группа пород. Часть датированных или недавних излияний, а также шлаков стромболианских извержений имеют состав андезито-базальтов (вулканы Алаид, Эбеко, Карпинского, Немо, Матуа, конус Кудрявый в кальдере Медвежей, вулкан Тебенькова). Во вкрапленниках всегда присутствуют плагиоклаз состава от андезин-лабрадора до лабрадор-битовнита и авгит, часто встречаются также вкрапленники оливина и реже — гиперстена. Основная масса гиалопилитовой, пилотакситовой и гиалиновой структуры с микролитами плагиоклаза (от андезина до лабрадора) и авгита.

Андезиты — наиболее распространенная и разнообразная по составу группа пород; преобладают более основные члены андезитового ряда, от которых имеется постепенный переход к андезито-базальтам. Шире всего распространены двупироксеновые андезиты, содержащие во вкрапленниках одновременно моноклинный и ромбический пироксены. Они встречаются как в лавовых потоках, так и в куполах, а также в пирокластических потоках. В этих породах плагиоклаз вкрапленников часто зональный, состав его колеблется от лабрадора до андезин-лабрадора. Основная масса имеет обычно гиалопилитовую или андезитовую структуру, часто также пилотакситовую и гиалиновую. Микролиты плагиоклаза имеют состав от андезин-лабрадора до андезина, микролиты пироксена чаще принадлежат к авгиту, иногда — к гиперстене, нередко в микролитах присутст-

вуют оба пироксена. Роговая обманка в андезитах главной зоны встречается редко и известна только на вулканах Ушишир и Трезубец. В андезитах западной зоны роговая обманка является обычным минералом вкрапленников, это — бурая, базальтическая роговая обманка с малым углом угасания.

Дациты встречаются только в главной зоне. Это — преимущественно отложения пемз вокруг крупных кальдер на островах Итуруп и Кунашир. Дацитами сложены также купола на вулканах Ушишир и Менделеева. Преимущественное распространение имеют пироксеновые дациты, гораздо реже встречаются дациты, содержащие вкрапленники роговой обманки. Обычно даже пемзовая пирокластическая принадлежит к пироксеновым дацитам. В них содержатся вкрапленники кварца (обычно в небольшом количестве), андезина, диопсидового авгита и гиперстена. Структура дацитов в куполах гиалопильтовая, гиалиновая; в пемзах структура гиалиновая, иногда с перлитовой отдельностью. Пироксен-роговообманковые дациты отличаются только присутствием роговой обманки. Такими породами представлены некоторые пемзы; роговая обманка в них обманная, зеленая. Массивные лавы состава пироксен-роговообманкового дацита встречены в куполах вулкана Ушишир. Здесь встречена как обычная зеленая роговая обманка, так и бурая базальтическая с очень малым углом угасания.

Каких-либо заметных различий в петрографии вулканических продуктов по простиранию дуги не отмечено. Вместе с тем на двух южных островах — Итурупе и особенно на Кунашире очень заметно возрастает роль кислых пород. На всех островах к северу от Итурупа площадь, занятая дацитами, совершенно ничтожна. На Итурупе из общей площади четвертичных вулканических пород в 2060 км² на долю дацитовых пемз приходится 135 км² или 6,5 %. На Кунашире из общей площади четвертичных вулканических пород в 666 км² на долю дацитовых пемз приходится 250 км², что составляет 37%.

Рассмотрение петрохимии лав Курильских вулканов выполнено на основании 209 силикатных анализов. 127 анализов сделаны из образцов автора, при этом все опубликованные нами ранее анализы были заново проконтролированы с определением щелочей на пламенном фотометре. Были использованы также 19 опубликованных и частью неопубликованных анализов из коллекции Е.И. Мархина, а

остальные 63 анализа взяты из литературных источников. Все анализы, точность выполнения которых внушала какое-то сомнение, были отброшены. Рассмотрение петрохимических особенностей проводилось отдельно для каждой зоны и каждого отрезка дуги; для вулканов западной зоны использовано 22 анализа, для Северных Курил — 92 анализа, для Центральных — 43 и для южных островов — 52 анализа.

Петрохимические пересчеты были произведены по системе А.Н. Заварицкого. Было выяснено, что петрохимические особенности лав несколько изменяются, как по простиранию дуги, так и вкрест простирания ее. Характер этих изменений удобнее всего рассмотреть сравнивая вариационные кривые, построенные по средним значениям анализов.

Попытка выявить какие-либо различия в разновозрастных лавах о. Парамушир не увенчалась успехом; разброс значений отдельных анализов лежит в обычных пределах, а кривые средних значений практически совпадают. Иначе говоря, за четвертичное время заметного изменения в петрохимии лав хр. Вернадского на о. Парамушир не произошло.

Из сопоставления вариационных кривых явствует, что породы Северных и Центральных Курильских островов практически принадлежат к одному и тому же типу, несмотря на резкое различие в строении земной коры — континентальное в первом случае и субокеаническое (практически океаническое) — во втором. Вариационные кривые пород этих частей дуги проходят между линиями Пеле и Лассен-Пик. Вариационная кривая для лав Южных Курильских островов идет несколько левее и примерно совпадает с кривой типа Пеле. Вулканы западной зоны имеют более щелочной характер и большинство их примыкает к типу Лассен-Пик, а лавы вулканов Ширинки и Пик Фусса имеют еще более щелочной характер и близки к типу Меллоустон. Все вариационные кривые лав Курильских вулканов наклонены несколько круче, чем вариационные кривые типов лав по Заварицкому.

Обычно появление известково-щелочных, "орогенных" лав рассматривается, как результат контаминации щелочных оливиновых базальтов силикатным материалом. С этой точки зрения на Курильских островах следовало бы ожидать проявления четкой продольной зональности, совпадающей с зональностью строения земной коры. Однако,

выявленная петрохимическим анализом продольная зональность является очень слабой и она никоим образом не совпадает с изменениями в строении земной коры. Более того, вулканы на "полярно противоположных" типах земной коры - континентальном на Северных Курилах и субокеаническом (фактически - океаническом) на Центральных Курилах - принадлежат к одному и тому же петрохимическому типу, а вулканы главной и западной зон, отстоящие друг от друга на 10-20 км и лежащие на одном и том же типе земной коры (континентальном в северной части дуги) изливают лавы, достаточно четко различающиеся в петрохимическом отношении. Одни эти факты, основанные на бесспорных геофизических и петрохимических данных, заставляют сомневаться в сколь-нибудь значительной роли контаминации и ассимиляции пород земной коры в вулканическом процессе и заставляют искать источник вулканизма ниже земной коры - в верхних частях мантии.

Следующая глава посвящена проверке этого основного положения на материале других вулканических районов.

В седьмой главе рассматриваются петрохимические особенности лав других островных дуг, внутриконтинентальных и океанических вулканов, а также основные черты строения земной коры и верхней мантии в этих районах.

Подавляющее большинство современных и четвертичных наземных вулканов приурочено к островным и вулканическим дугам. Система островных дуг охватывает с востока весь материк Азии и продолжается далее к юго-востоку до Новой Зеландии. Курило-Камчатская дуга смыкается на о. Хоккайдо с японской дугой Северного Хонсю. В центральной части о. Хонсю единая до этого цепь дуг раздвигается, одна система дуг продолжает следовать вдоль юго-восточной окраины материка (дуги Рюкю и Филиппинская), а другая - уходит прямо на юг в океан (дуги: Идзу-Бонинская, Марианская, Яп и Палау). В районе западной оконечности Новой Гвинеи обе системы дуг смыкаются внавь. Дуги островов, расположенных к северу и северо-востоку от Австралии, имеют крайне интересную особенность: глубоководные желоба Ново-Британский, Бугенвильский (Соломоновы острова) и Ново-Гебридский расположены не с океанической стороны соответствующих островных дуг, а с континентальной; при этом фокальные зоны глубоководных землетрясений имеют падение не в

сторону континента, а в сторону океана. Крайняя северная островная дуга - Алеутская - соединяет вулканы Азиатского континента с материком Северной Америки. Вдоль тихоокеанского побережья обеих Америк островных дуг в буквальном смысле этого слова нет, но их аналогами являются цепи вулканов - вулканические дуги, окаймляющие все восточное побережье Тихого океана. Через дугу Южных Сандвичевых островов и вулканы Антарктики тихоокеанский вулканический пояс смыкается в полное кольцо, образуя знаменитое "Тихоокеанское огненное кольцо". Вторая зона островных и вулканических дуг протягивается в субширотном направлении от Индонезии через Бирму, Иран и Кавказ к Средиземному морю.

В этой главе рассмотрена петрохимия вулканов Камчатки, Японии (дуги: Северного Хонсю, Фудзи и Рюкю), Марианских островов, островов Новая Гвинея, Новая Британия, Новые Гебриды, Тонга, Новой Зеландии, Алеутских островов, Северной и Центральной Америки (для Южной Америки современные анализы отсутствуют), а также Индонезии. Всего для островных и вулканических дуг использовано более 1300 современных анализов.

Островные и вулканические дуги лежат на земной коре самого различного типа от чисто континентального (Камчатка, С. Америка) до чисто океанического или субокеанического (Марианские острова, острова Тонга и др.). Общей чертой всех дуг является своеобразное строение верхней мантии, отмеченное уже для Курильских о-вов: пониженные значения сейсмических скоростей в подкоровых частях мантии и отсутствие волновода или слоя Гутенберга в мантии. Везде наблюдается своеобразное распределение гравитационных аномалий и (за исключением С. Америки) островные и вулканические дуги сопровождаются глубоководными желобами и зонами глубоководных землетрясений; тепловой поток в этих областях, как правило, повышен и составляет двойную величину по сравнению со средним для Земли в целом.

Петрохимические особенности лав островных и вулканических дуг довольно сходны и не зависят от строения земной коры. Все породы принадлежат к известково-щелочному семейству; щелочность пород постепенно возрастает от внешнего края дуги внутрь ее. Вместе с тем здесь при переходе дуги с океанического участка на континентальный (напр. дуга Фудзи) петрохимический тип пород

остается тем же самым. Направление вариационных кривых для лав вулканов восточно-азиатских вулканов несколько отличается от направления кривых для американских вулканов; по этому признаку можно выделить две группы известково-щелочных пород: восточно-азиатскую и американскую. Разница в направлении не зависит от строения и мощности земной коры, т.к. "американский" тип наблюдается как на континентальной коре С. Америки, так и на океанической коре островов Тонга.

Внутриконтинентальные вулканы, как правило, изливают сильно щелочные лавы типа Этны или Марос-Хайвуд. В качестве примеров разобраны лавы вулканов Северо-восточной Азии, Манчжурии, континентальной части Северной Америки и некоторые другие. Направление вариационных кривых для лав внутриконтинентальных вулканов совпадает с направлением кривых для известково-щелочных лав островных и вулканических дуг; между теми и другими может быть прослежен постепенный переход. По мере движения от края островной или вулканической дуги внутрь континента мы встречаемся со все более щелочными представителями пород. Наиболее полный переход такого рода можно наблюдать в С. Америке (от типа Лассек-шик до типа Марос-Хайвуд). Изменение от известково-щелочных к щелочным породам наблюдается также в ходе геологического времени при переходе от геосинклинального к платформенному режиму.

Строение земной коры на континентах более или менее однородно, это - мощная (до 35 км и более) двухслойная кора с нормальным распределением сейсмических скоростей. В подкорковых частях мантии сейсмическая скорость составляет 8,0-8,2 км/сек, а на глубинах от 120 до 200 км наблюдается слой пониженных сейсмических скоростей (волновод или зона Гутенберга).

Обширные области дна океанов покрыты довольно однообразными океаническими толеитовыми базальтами, отличительной особенностью которых является низкое содержание K_2O (не более 0,25%). На внутриокеанических островах может быть прослежен переход от океанических толеитовых базальтов к щелочным базальтам, которые, в свою очередь, дают ряд дифференциации мугерит-трахит. В работе на основании 325 анализов рассматриваются петрохимические особенности лав вулканов с островов: Гавайи, Таити, Маркизские, Ревилья-Хихедо, Вост. Каролинские и Кука. Лавы этих островов

довольно значительно отличаются по щелочности, но направление их вариационных кривых более или менее параллельно друг-другу. Однако направление вариационных кривых для внутриокеанических лав весьма заметно отличается от направления кривых известково-щелочных или континентальных лав, хотя разница в наклоне и не столь велика, как это было показано на диаграммах у А.Н. Заварицкого.

Океаническая земная кора - тонкая (5 км без учета мощности воды), однослойная. Сейсмическая скорость в подкорковых частях мантии составляет 8,0-8,2 км/сек. Слой пониженных скоростей в мантии под океанами гораздо мощнее, чем под континентами и занимает область от 60 до 200 км в глубину.

Область срединно-океанических хребтов и в частности область Восточно-Тихоокеанского хребта имеет специфическое строение коры и мантии, несколько напоминающее строение района островных дуг. Земная кора здесь тонкая - всего 4 км (без слоя воды), скорость в подкорковых частях мантии имеет низкое значение (7,3-7,5 км/сек), а зона Гутенберга по-видимому отсутствует. В отличие от островных дуг здесь отсутствуют глубокофокусные землетрясения, характер гравитационных аномалий существенно иной, а тепловой поток в 6-7 раз превышает нормальное значение.

В петрохимическом отношении лавы вулканов срединно-океанических хребтов близки к известково-щелочным лавам островных дуг или к континентальным щелочным, но не к океаническим.

Интерпретации изложенного фактического материала и общим выводам посвящена заключительная глава.

Последняя, восьмая глава посвящена вопросам эволюции вулканизма, как отображению эволюции земной коры и верхней мантии. Прежде всего, из рассмотрения диаграмм внутриокеанических и внутриконтинентальных вулканов, а также вулканов островных и вулканических дуг совершенно отчетливо видно, что все вариационные кривые могут быть объединены в две группы, отличающиеся наклоном к координатным осям. Вариационные кривые известково-щелочных пород островных и вулканических дуг расположены приблизительно параллельно вариационным кривым щелочных пород внутриконтинентальных вулканов. Между теми и другими могут быть прослежены постепенные переходы в пространстве и во времени. Сходное направление

вариационных кривых свидетельствует о том, что процессы дифференциации лав вулканов островных дуг и внутриконтинентальных вулканов носят сходный характер. Из имеющихся петрохимических и геологических данных следует, что известково-щелочные лавы островных дуг и щелочные лавы континентальных вулканов образуют единый класс родственных пород. Первоначальной магмой этого класса является известково-щелочная; в ходе геологического времени, по мере развития и завершения процессов складчатости, щелочность увеличивается. Этот класс горных пород можно назвать континентальным.

Вариационные кривые лав большинства внутриокеанических островов также более или менее параллельны друг другу, но их направление заметно отличается от направления вариационных кривых континентального класса пород, особенно в верхней части диаграммы. Характер наклона вариационных кривых океанического класса пород указывает на более быстрый темп увеличения щелочности в ходе дифференциации по сравнению с породами континентального класса.

Характер изменения щелочности в ходе дифференциации можно упрощенно рассмотреть на диаграмме отношения суммарной щелочности к кислотности (в молекулярных количествах). Вариационные линии $\text{Ca}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} / \text{SiO}_2$ на значительной части представляют отрезки прямых, параллельные в пределах одного класса и различающиеся по наклону для континентальных и океанических пород. Положение и наклон любого прямолинейного отрезка можно выразить в аналитической форме: $y = a + \xi x$, где y - общая щелочность (в молекулярных количествах), x - молекулярное количество кремнекислоты, a - величина, характеризующая начальную щелочность, ξ - коэффициент, характеризующий темп увеличения щелочности (равный тангенсу угла наклона). У континентальных пород величина ξ колеблется в интервале 0,06-0,20, а у океанических - 0,30-0,40. Для удобства графического изображения и расчетов, начало координат по оси абсцисс перенесено в точку с молекулярным количеством $\text{SiO}_2 = 700$, что соответствует примерно 42% SiO_2 . При этом условно известково-щелочные породы имеют коэффициент a в пределах 10-60, а при $a > 60$, породы относятся к чисто щелочным.

Следует отметить, что сходные по химическому составу началь-

ные магмы континентального и океанического классов дают совершенно различные ряды дифференциации. Таким образом щелочные породы внутриконтинентальных и внутриокеанических вулканов, имеющие часто близкий минералогический и химический состав, являются продуктами различных рядов дифференциации и не должны рассматриваться, как породы единого класса.

Вулканы, расположенные на оси срединно-океанических хребтов изливают не океанические лавы, а щелочные континентальные (о. Пасхи) или даже известково-щелочные лавы (Исландия). На склонах хребта, на расстоянии 100-200 км от его оси, встречаются породы в какой-то мере промежуточные, а еще далее от оси хребта - уже чисто океанические.

Ныне хорошо известно различие в строении и мощности земной коры на океанах и на континентах. Геофизические исследования последних лет (в том числе наблюдения за движением искусственных спутников Земли) выявили, что эти две структуры различаются также и строением верхней мантии; различие простирается на глубину не менее 400 км. Одним из наиболее существенных отличий является положение и мощность слоя пониженных скоростей - астеносферного слоя. Верхняя граница этого слоя под океанами лежит на глубине 60 км, а под континентами на глубине 120 км, т.е. существенно ниже. Нижняя граница в обоих случаях расположена на глубине около 200 км.

Строение верхней мантии в районе островных и вулканических дуг существенно иное; выше уже отмечалось, что слой Гутенберга здесь отсутствует, но сейсмические скорости в подкоровых частях ниже, чем обычно. Здесь астеносферный слой как бы всплывает кверху. Специфическое строение верхней мантии четко совпадает с зоной современного вулканизма и совершенно не зависит от характера земной коры, который в различных дугах и даже по простиранию одной и той же дуги может меняться от океанического до континентального.

Строение верхней мантии под срединно-океаническими хребтами до некоторой степени сходно с таковым под островными или вулканическими дугами - там и здесь скорости в подкоровых частях мантии понижены, а волновод в верхней мантии отсутствует. Обе структуры имеют и другие сходные черты: повышенный тепловой поток,

повышенную сейсмическую активность, заметные гравитационные аномалии. Вместе с тем детали геофизических полей в островных дугах и на срединно-океанических хребтах существенно иные. По-видимому, в верхней мантии под островными дугами и под срединно-океаническими хребтами имеет место в какой-то мере сходные, но далеко не идентичные процессы.

Существует мнение (Кук), что пониженные скорости в подкоровых частях мантии вызваны своеобразным "смешиванием" вещества земной коры и мантии. Однако выражение: "смесь коры и мантии" кажется нам неудачным. Нам представляется, что пониженные скорости отображают особое "напряженное" физико-химическое состояние, отличающееся от "инертной" мантии других районов.

Обычно в вулканологии и петрографии все разнообразие типов лав объясняется процессами контаминации и ассимиляции; в частности, возникновение серии известково-щелочных лав объясняется процессом ассимиляции кислого силикатического материала континентальной коры. Уже в главе VI при петрохимическом анализе лав Курильских островов было отмечено, что известково-щелочные лавы возникают на коре разного типа, в том числе и на субокеанической, где процессы ассимиляции практически не могут играть никакой роли. В VII главе этот вывод был подтвержден на обширном материале всех тихоокеанских дуг. Единственной общей чертой всех островных и вулканических дуг оказалось своеобразное строение верхней мантии. Таким образом, как источник питания вулканов, так и источник их разнообразия лежит ниже земной коры — т.е. в верхней мантии. Еще более десяти лет тому назад по особенностям прохождения сейсмических волн в районе Ключевой группы вулканов, автор установил, что магматический очаг этой группы находится на глубине 60–80 км; позже сходные глубины были установлены С.А. Федотовым и А.И. Фарберовым для Авачинской группы вулканов на Камчатке, очаги питания вулканов на Гавайских островах по сейсмическим определениям Итона и Макдональда расположены на глубине 40–60 км, т.е. опять-таки в верхней мантии.

Как прямые геофизические данные, так и петрохимический анализ показывают, что всюду, за очень редкими исключениями, вулканизм выступает как "экзокоровой" процесс. Всяду очаги питания вулканов лежат за пределами земной коры — в верхних частях мантии.

Состав вулканических лав практически не зависит от состава пород земной коры; иначе говоря, роль ассимиляции и контаминации на пути магмы вверх оказывается весьма скромной. Таким образом, вулканические породы могут рассматриваться как некоторая производная от вещества верхней мантии. Иначе говоря, вулканизм является своего рода индикатором состава и состояния подкоровых частей мантии.

В настоящее время быть может еще преждевременно делать какие-либо конкретные выводы о составе и процессах в мантии, исходя из явлений вулканизма. Выявленные связи носят слишком общий характер, а дальнейшие исследования могут в значительной мере изменить некоторые довольно существенные детали.

В самом общем виде можно сказать следующее: в настоящее время первичным можно рассматривать океанический вулканизм, имеющий источник в астеносфере на глубине порядка 60 км. Относительно неглубокое залегание слоя астеносферы обуславливает широкое развитие подводного вулканизма на океанических платформах.

В некоторых случаях (причина возникновения которых пока неясна) начинается процесс глубинной дифференциации вещества мантии типа зонной плавки. Этот процесс имеет две ветви: в одних случаях, когда процесс захватывает самые верхние части мантии, существенной перестройки земной коры не происходит и возникают образования типа океанических хребтов. Астеносферный слой в верхах мантии, по-видимому, нарушается и вверх прямо к поверхности Мохоровичича как бы "всплывает" слой вещества с пониженной плотностью и с пониженными сейсмическими скоростями. Одновременно сильно возрастает тепловой поток.

В случае, если процесс дифференциации захватывает большие глубины, возникают образования типа островных дуг с последующей перестройкой строения земной коры от океанического к континентальному типу. Внутримантийный астеносферный слой (или слой Гутенберга) разрушается и вверх — к поверхности Мохоровичича также "всплывает" слой вещества с пониженными сейсмическими скоростями. Однако, в этом случае вещество "всплывает" с больших глубин.

Происходит резкая смена характера вулканизма от океанического к континентальному известково-щелочному. Причем это изменение значительно опережает во времени процесс перестройки коры и новая

островная дуга может закладываться прямо на океанической коре. Известково-щелочные лавы продолжают генерироваться в течение всего времени глубинной дифференциации. Как правило, в это же время происходит полная перестройка типа земной коры. Процесс дифференциации, постепенно затухая, по-видимому, может продолжаться и после окончания перестройки коры; во всяком случае, известково-щелочной характер лав нередко сохраняется и в сформированных молодых горных системах. С окончанием фазы известково-щелочного вулканизма слой "активизированной" подкоровой мантии исчезает, а верхняя граница астеносферы "опускается" в платформенных континентальных условиях на глубину порядка 120 км. Восточный континентальный вулканизм лежит гораздо глубже, чем в океане и поэтому проявления континентального вулканизма, в общем, слабее.

Судя по постепенной смене в пространстве известково-щелочных лав щелочными континентальными, подкоровый астеносферный слой островных дуг может постепенно переходить во внутримантийную континентальную атмосферу. Со стороны океана граница различного типа астеносферы идет по резкой границе вдоль фокальной поверхности.

В научной литературе часто дискутируется вопрос: что является первичным - вулканизм или тектоника? По нашему мнению вулканизм, тектоника и тип строения земной коры являются парагенетически связанными и все они обусловлены единой причиной - дифференциацией вещества в верхней мантии. С этой точки зрения, например, такое явление как появление игнибригов и кислых пород вообще обусловлено не ассимиляцией мощного гранитного слоя, а самовозникновение мощного гранитного слоя и кислых вулканических пород парагенетически обусловлены специфической стадией развития верхней мантии.

Вряд ли можно сомневаться, что состав подкоровых частей мантии в области океанов, континентов, островных дуг и срединно-океанических хребтов будет различным.

Тезис о связи вулканизма непосредственно с мантией и о его "сквозькоровом" характере представляется нам весьма перспективными. Изучение вулканизма может послужить одним из самых мощных средств для познания недостижимых глубин нашей планеты.

Основные опубликованные работы автора по теме диссертации

1. Названия вулканов на Курильских островах. Изв. Геогр. Общ., т. 80, в. 2, 1948.
2. Вулкан Пик Сарычева. Бюлл. Вулк. ст. на Камчатке, № 15, 1948.
3. Пик Креницына. Бюлл. Вулк. ст., № 20, 1954.
4. Вулканы острова Парамушир и их состояние летом 1953 г. Бюлл. Вулк. ст., № 22, 1954.
5. Хронология извержений вулканов Курильской гряды (1713-1952). Тр. Лабор. вулк., в. 8, 1954.
6. О глубине магматического очага Ключевского вулкана. Докл. АН, т. 106, № 4, 1956.
7. Каталог действующих вулканов Курильских островов. Бюлл. Вулк. ст., № 25, 1957.
8. Действующие вулканы Курильской островной дуги. Тр. Лабор. вулк., в. 13, 1958.
9. Некоторые вопросы теории вулканологии. Изв. АН, сер. геол., 1958, № II.
10. On some theoretical problems of volcanology. Bull. Volc., ser. 2, t. 19, Napoli, 1958
11. Catalogue of the active volcanoes of the World. Pt. 7, Kurile Islands. Napoli, 1958.
12. Четвертичный вулканизм и петрохимия современных лав Курильских островов. Сб. "Петрографические провинции, изверженные и метаморфические горные породы", 1959.
13. Кальдера Заварицкого. Бюлл. Вулк. ст., № 30, 1960.
14. Спекшийся туф кальдеры Заварицкого (о. Симушир, Курильские острова). Тр. Лабор. вулк. в. 20, 1961.
15. On the petrochemistry of volcanic rocks in connection with the formation of island arcs. Publ. du Bureau Central Seismologique International, ser. A, f. 22. Strasbourg, 1961.
16. Petrochemistry of volcanic rocks in relation to the formation of island arcs. Annali di Geofisica, v. 14, No 2, Roma, 1961.

17. Volcanic zone of the Kurile Islands. Proc. 9th Pacific Science Congress, v.12, Bangkok, 1961.
18. К петрографии современных вулканических пород Курильской островной дуги (Северные Курильские острова). (Совм. с Г.Е. Богоявленской). Тр. Лабор. вулк., в. 21, 1962.
19. Современный вулканизм Камчатско-Курильской дуги. (Совм. с С.И. Набоко). Сб. "Вопросы вулканизма", 1962.
20. Petrochemical features of volcanism in relation to the types of the Earth's crust. Coll. "Crust of the Pacific Basin", Amer. Geophys. Un., Geophysical Monograph No 6, Washington, 1962.
21. Глобальные особенности петрохимии вулканических пород и основные структуры Земли. Сб. "Петрохимические особенности молодого вулканизма", 1963.
22. Вулканическая дуга Курильских островов. (Совм. с А.Н. Заварицким). Акад. А.Н. Заварицкий "Избранные труды", т. 4, 1963.
23. К петрохимии вулканических пород в связи с образованием островных дуг. Сб. "Геология и металлогения Советского сектора Тихоокеанского рудного пояса", 1963.
24. Явления вулканизма и верхняя мантия. Сб. "Химия земной коры", т. 2, 1964.
25. Описание вулканов Курильских островов (совм. с Е.К. Мархининым, Р.И. Родченковой, В.И. Федорченко и В.Н. Шиловым). Геология СССР, т. 31, 1964.
26. Петрографический и химический состав лав Курильских вулканов. Геология СССР, т. 31, 1964.
27. On the relation of volcanism and the upper mantle. Bull. Volc., t.28, Napoli, 1965.
28. Действующие вулканы центральных Курильских островов (совм. с Г.Е. Богоявленской). Сб. "Современный вулканизм", 1966.
29. Welded tuffs from Zavaritzky Caldera. Coll. "Tufflavas and Ignimbrites". NY, 1966.