

Е. К. МАРХИНИН

ВУЛКАНИЗМ КУРИЛЬСКИХ ОСТРОВОВ

1. Внешняя и внутренняя зоны Курильской островной дуги

Статья посвящена общей характеристике истории развития и современного состояния вулканизма Курильских островов.

Отмечено, что современная интенсивная сольфатарная деятельность, образование серных месторождений и зон алунитизации связаны с образованием в последний посткальдерный период деятельности вулканов кольцевых — кальдерных и радиальных разломов и формированием кислых экструзивных куполов и небольших приповерхностных интрузий.

Курильские острова, цепь которых протягивается в северо-восточном направлении вдоль границы материка Евразии и Тихого океана на расстоянии свыше 1000 км, представляют двойную островную дугу, состоящую из внешней и внутренней зон. Внешняя зона Курильской геоструктурной дуги охватывает северо-восточную оконечность острова Хоккайдо приблизительно от Кусирских угольных месторождений до полуострова Немуро (5), Малую Курильскую гряду — острова Танфильева, Зеленый, Полонского, Сикотан и другие — и может быть прослежена в подводном рельефе, хотя и с перерывами, вплоть до своего продолжения на Камчатке.

Внутренняя Курильская дуга начинается почти в центральной части острова Хоккайдо, где она примыкает к поперечной геологической структуре — дуге Йезо, протягивается в северо-восточном направлении, охватывая вулканические районы Дайсетсу и Акан и полуостров Сиротоко на острове Хоккайдо, гряду Больших Курильских островов от Кунашира на юго-западе до Парамушира и Шумшу на северо-востоке и далее продолжается на Камчатке.

Внешняя и внутренняя зоны Курильской дуги отличаются друг от друга прежде всего чисто внешне, морфологически. Основной морфологической особенностью внешней зоны является то, что она сравнительно низка и ровна. Горные гряды, сложенные главным образом меловыми и палеогеновыми породами, сильно сглажены, редко превышают по высоте 400 м и расположены параллельно одна другой и общему курильскому направлению. В противоположность Малой Курильской гряде, для островов Большой Курильской гряды характерно наличие островершинных хребтов, сложенных в основании неогеновыми вулканическими породами и достигающих в высоту иногда 1500 м, и высоких выровненных поверхностей, представляющих нередко мезы четвертичных излияний и имеющих часто отметки 600—700 м и, наконец, сохранившихся в рельефе построек четвертичных потухших и ныне активных вулканов высотой часто более 1500 м.

Обе зоны Курильских островов отличаются друг от друга также тем, что во внешней зоне вулканические процессы в настоящее время не проявляются, а внутренняя зона представляет область активного современного вулканизма. Наконец, внешняя зона характеризуется

относительно высокими значениями аномалий силы тяжести, а внутренняя—относительно низкими. На это явление недавно обратили внимание японские исследователи Ч. Тсубои, М. Минато, К. Яги и М. Хунанаши (5). Крупные геофизические работы, проводившиеся в связи с Международным Геофизическим Годом Тихоокеанской экспедицией Института физики Земли АН СССР, подтвердили различия гравитационных аномалий над внешней и внутренней зонами. Граница между внешней и внутренней зонами Курильской геоструктурной дуги может быть прослежена, таким образом, по скачкообразному изменению гравитационных аномалий.

Рассмотренные внешние проявления различия между внешней и внутренней зонами имеют несомненно глубокие причины. При внимательном изучении геологического строения и геологической истории Курильской дуги обращает на себя внимание то, что геологическая история внешней и внутренней зон дуги была не только не одинакова, но существенно противоположна. Внешняя зона Курильской дуги сложена главным образом фаунистически охарактеризованными меловыми и палеогеновыми отложениями. Во внутренней Курильской дуге, наоборот, меловые и палеогеновые отложения до сих пор еще не встречены и, по-видимому, там они повсеместно или почти повсеместно полностью отсутствуют. Вероятно, неогеновые отложения на Больших Курильских островах ложатся непосредственно на комплекс палеозойских и древне-мезозойских образований, аналогичный серии Хидака на острове Хоккайдо. Эта вероятность особенно подкрепляется проведением аналогии между Большой Курильской грядой и внутренней зоной дуги Северного Хонсю. По-видимому, для Большой Курильской гряды мел и палеоген были временем денудации. С другой стороны, на Больших Курильских островах значительных мощностей достигают неогеновые образования, которые на Малой Курильской гряде до сих пор неизвестны совершению. Есть основание предполагать, что неоген был временем денудации для внешней зоны Курильской дуги. Таким образом, совершенно естествен вывод, к которому ранее пришли японские исследователи М. Минато, К. Яги и М. Хунанаши, на материале главным образом изучения геоструктурной дуги Северного Хонсю, о том, что в определенных отрезки геологической истории тектонические движения во внутренней и внешней зонах геоструктурных дуг Северного Хонсю и Курильской имели противоположный знак. По-видимому, между внешней и внутренней зонами Курильской дуги в земной коре проходит глубокий разлом. Отмеченное выше скачкообразное изменение гравитационных аномалий и фиксирует этот разлом, представляющий границу между зонами. Вдоль плоскости этого разлома происходили и происходят относительные перемещения зон.

2. История развития вулканизма на Курильских островах

В геологической истории Курильских островов вулканизм играл исключительно большую роль. Используя данные советских и японских геологов, историю вулканизма Курильских островов можно схематично отразить следующей таблицей (табл. 1).

В развитии вулканизма на Малой Курильской гряде могут быть выделены три цикла — меловой, третичный (палеогеновый?) и четвертичный.

К образованиям мелового цикла мы относим комплекс пород, выделенный в 1936 г. Саса под названием Матакотанской формации и лежащий в основании разреза Малой Курильской гряды, а также габбро-

¹ Предварительные сведения о характере некоторых геофизических аномалий в районе Курильских островов автором получены у Е. И. Гальперина.

Схема последовательности магматогенных образований во внутренней и внешней зонах Курильской островной дуги

Геологический возраст	Большая Курильская гряда (внутренняя зона)			Малая Курильская гряда (внешняя зона)		
	формации	вулканические циклы	преобладающее направление тектонических движений и основные фазы складчатости	формации	вулканические циклы	преобладающее направление тектонических движений и основные фазы складчатости
Четвертичный период	Базальты, андезиты-базальты, андезиты, андезиты-дациты и дациты, слагающие современные вулканические постройки. Рыхлые вулканические продукты андезитового и дацитового состава, переотложенные морем. Потoki, покровы и некки андезитов и андезито-базальтов	четвертичный	↑ ↓	Вулканические процессы отсутствуют. Потoki дупироксенового андезита и оливинового базальта, формирующие еще сохранившиеся в рельефе вулканические постройки	четвертичный	↓ ↑
Третичный период	плиоцен	Экструзии риодацитов. Туфоконгломераты и туфопесчаники основного состава	плиоценовый	↑ ↓	Денудация. Образования этого возраста неизвестны	(?) ↑
	неоген	Жильная серия пород: А. Жилы и дайки пропилитизированных риодацитов. Б. Жилы и дайки пропилитизированных пород из группы андезита и базальта. В. Кварцево-сульфидные жилы. Интрузии кварцевых диоритов. Пропилитизированные вулканогенные образования, пестрые по составу (от андезитов до риодацитов), детально не расчлененные	миоценовый	↑ ↓		
	палеоген	Денудация. Образования этого возраста неизвестны	(?)	↑		

		Малая Курильская гряда (внешняя зона)		Большая Курильская гряда (внутренняя зона)	
Геологический возраст		формации		формации	
		преобладающее направление тектонических движений и основные фазы складчатости		преобладающее направление тектонических движений и основные фазы складчатости	
Меловый период	Сенон	Меловая	Габброидные и диоритовые интрузии с широким диапазоном темноцветных минералов. Лавовые потоки, лавобрекчии, туфоконгломераты андезитового состава	(?)	Денудация. Образование этого возраста неизвестны

идные интрузии, секущие меловые, но не затрагивающие третичные отложения.

Матакотанская формация представляет переслаивание вулканических конгломератов и песчаников с потоками авгитового андезито-базальта. В матакотанских вулканических конгломератах обломки пород большей частью окатаны и представлены главным образом авгитовым андезито-базальтом. Отдельные валуны достигают иногда 0,5 м в поперечнике. Мощность матакотанской толщи, согласно Ю. С. Желубовскому, не менее 400 м. Толща простирается в северо-восточном направлении, падает на юго-восток под углом в 25° и перекрывается с небольшим угловым несогласием типично осадочными породами, содержащими, особенно в нижней части, примесь вулканогенного материала, — песчаниками, глинистыми сланцами, кремнистыми породами, мергелями, содержащими бедную сенонскую фауну.

Впервые эта осадочная толща описана Саса под названием формации Сикотан, а позднее Ю. С. Желубовским под названием малокурильской свиты, мощность которой около 200 м. Образование ее характеризует собой спад и перерыв процессов поверхностного вулканизма на Малой Курильской гряде. Габброидные интрузии, являющиеся в нашем представлении отголосками мощных вулканических процессов в матакотанское время, прорывают и метаморфизуют сенонские отложения. Размеры интрузий достигают 1—3 км в поперечнике. Породы по составу соответствуют в основном габбро и основному диориту и состоят преимущественно из основного плагиоклаза и различных вариаций темноцветных минералов — оливина, ввгита, гиперстена и биотита.

После некоторого перерыва процессы поверхностного вулканизма проявились с новой силой на Малой Курильской гряде в третичное (палеогеновое?) время. Образования третичного цикла на Малой Курильской гряде представлены потоками и лавобрекчиями андезитов и андезито-базальтов, туфоконгломератами и многочисленными дайками. В туфоконгломератах, наряду с обломками андезитов и андезито-базальтов, встречается галька габбро из верхнемеловых интрузий. Породы простираются в северо-восточном направлении и имеют углы падения иногда до 20°. Мощность третичной вулканогенной толщи, по Ю. С. Желубовскому, 500 м.

После фазы тектонических движений, смявших в складки меловые и палеогено-

ные породы, после значительного перерыва в осадконакоплении, денудации и размыва (соответствующего неогеновому времени?), по-видимому в раннечетвертичное время на Малых Курильских островах вновь происходили значительные вспышки вулканизма, которые заставляют нас выделить их в отдельный вулканический цикл. Образования этого цикла ложатся с резким угловым несогласием на меловые и палеогеновые породы. Они представлены двупироксеновыми андезито-базальтами и оливиновыми базальтами, формирующими ряд разрушенных вулканических построек на острове Сикотан. В ряде случаев для них заметно переклиналное (от центра вулканических построек) залегание пород.

В развитии вулканизма на Большой Курильской гряде мы выделяем миоценовый, плиоценовый и четвертичный циклы извержений (3, 4). Породы миоценового цикла очень сильно изменены гидротермально и пневматолитически, смяты в крутые складки и разбиты многочисленными разрывными нарушениями. Породы плиоценового цикла ложатся на них с резким угловым несогласием, изменены слабо и обычно имеют пологое падение в 10—15°. Четвертичные образования залегают либо горизонтально, либо слабо переклинално от центров молодых вулканических массивов.

Миоценовый цикл извержений представлен вулканогенными образованиями, пестрыми по составу (от андезитов до риодацитов), интрузиями кварцевых диоритов и жильной серией пород.

Вулканогенные, пестрые по составу, детально нерасчлененные образования широко распространены на островах Кунашир, Уруп и Итуруп. Они представлены андезитами, дацитами, риодацитами и их туфами, нередко пропилитизированными. Эффузивные породы и их туфы часто очень сильно дислоцированы и изменены. Толща прорывается интрузиями кварцевых диоритов и многочисленными дайками палеотипных андезитов и андезито-базальтов. Она заслуживает большого внимания, как вмещающая сульфидное оруденение, генетически, вероятно, связанное с гранитоидными интрузиями. Мощность толщи не менее нескольких сот метров. Возраст ее принимается за миоценовый условно, по аналогии с формацией «зеленых туфов», широко распространенной в Северной Японии.

Интрузии кварцевых диоритов, известные на островах Парамушир, Уруп, Кунашир, занимают небольшие площади. Кварцевые диориты имеют несвежий вид: полевые шпаты пелитизированы, темноцветные минералы замещены хлоритом. Частое развитие таких структур, как гранито-порфировая и микроаплитовая, говорит в пользу гипабиссального происхождения этих тел. Возраст кварцевых диоритов принимается условно за верхнемиоценовый (3).

Миоценовая жильная серия пород на Больших Курильских островах представлена дайками кислых и основных пород и кварцево-сульфидными жилами. Дайки пропилитизированного риодацита и дацита можно наблюдать на северо-западном побережье острова Кунашир в районе мыса Прасолова. Они приурочены к массиву кварцевых диоритов.

Мощность этих даек различна: от 0,5 до 12 м. Они пересекают массив кварцевых диоритов, и следовательно, моложе его, но в некоторых случаях они предшествовали образованию жильной серии андезитов и андезито-базальтов. Дайки основных пород распространены очень широко, их мощность очень разнообразна — от нескольких сантиметров до многих метров. Сульфидно-кварцевые жилы в миоценовой гидротермальной и пневматолитически измененной толще (в частности, месторождения Докучаева, Валентиненское и Золотой Ключ на острове Кунашир) генетически связаны, по-видимому, с гранитоидными интрузиями. Они несут медно-свинцово-цинковую и золото-серебрянную минерализацию. Среди рудных минералов И. П. Аверьяновым отмечены пирит, сфалерит, галенит, халькопирит, молибденит, аргентит, теллуриды золота, самородное

золото, борнит, халькозин; среди жильных, помимо кварца, — барит, каолинит, сидерит. Околожильные изменения выражаются в пиритизации, каолинизации, окремнении. Мощность жил обычно не превышает 40 см.

Простираение миоценовых жил и даек различно, но чаще северо-западное. Углы падения крутые.

Образования плиоценового цикла представлены главным образом туфопесчаниками, включающими гальку кварцевых диоритов, и туфопесчаниками основного состава. Они известны на ряде островов Большой Курильской гряды, иногда содержат неогеновую фауну и нередко включают прослой основных эффузивов. Мощность их в отдельных разрезах достигает многих сотен метров. Туфопесчаники предположительно плиоценового возраста в районе пос. Горячий Пляж на о. Кунашир прорваны небольшой риодацитовой экструзией. Выходы риодацитов пород отмечены нами также у мыса Рифы и по течению ручья Тюрина (остров Кунашир). Выходящие у мыса Рифы риодациты имеют перлитовую структуру и, возможно, представляют интерес как перлитовое сырье. Согласно определению Г. А. Поспеловой по нескольким образцам, взятым нами из экструзии Горячего Пляжа, они имеют обратную остаточную намагниченность, что характерно для верхов плиоцена и низов четвертичного периода. Вероятно, рассматриваемые риодацитовые экструзии характеризуют — самый конец плиоценового цикла вулканизма.

В истории четвертичного вулканизма на Большой Курильской гряде могут быть выделены три основных периода: первый — формирование лавовых толщ андезитов и андезито-базальтов, слагающих ныне основания многих вулканов и обнажающихся в ряде случаев из-под высоких морских террас (100 м и более); второй — образование рыхлых вулканогенно-осадочных толщ андезитового и дацитового состава, слагающих высокие морские террасы; третий — формирование современных выраженных в рельефе вулканических построек, сложенных известковистыми эффузивными породами различной основности — от базальтов до дацитов.

Лавы первого периода, которые образуют часто ровные горизонтальные плато, по предварительным данным характеризуются, по крайней мере в некоторых случаях, обратной намагниченностью, например, по определению Г. А. Поспеловой, три образца, взятые нами из лав, слагающих Южно-Курильский мыс. Это, по-видимому, говорит о том, что возраст этих лав близок к границе плиоцена и четвертичного времени. Второму периоду свойствен преимущественно подводный вулканизм. Образование песчано-пемзовых толщ, слагающих высокие морские террасы, происходило в водной среде. Вулканы, поставляющие материал для этих отложений, в частности вулкан Головнипа и вулканы в районах озер Песчаного на острове Кунашир, Красивого на острове Итуруп и другие, очевидно, не имели в этот период устойчивых построек, и их конусы, возникавшие при извержениях, быстро разрушались морем. Только тогда, когда после значительного поднятия вулканы вышли из-под уровня моря, образовались их современные, выраженные в рельефе постройки.

Из изложенного видно, что извержения вулканов на Курильских островах приурочивались к периодам как тектонических поднятий, так и тектонических опусканий. В меловое и палеогеновое время внешняя зона Курильской дуги испытывала опускание, и вулканическая деятельность проходила на фоне этого опускания. Внутренняя зона испытывала в это время поднятие. В начале неогена произошла инверсия. Знак тектонических движений в обеих зонах сменился на обратный, и в течение неогена преимущественное опускание испытывала уже внутренняя зона и именно во внутренней зоне, главным образом на фоне опускания,

происходили извержения вулканов. В четвертичное время поднятия и опускания происходили, по-видимому, неоднократно в обеих зонах. При этом на Малой Курильской гряде, испытывавшей в новейшее время опускание, происходили лишь отдельные вспышки вулканизма в начале четвертичного периода. Наоборот, на Большой Курильской гряде имела место интенсивная вулканическая деятельность, причем современные вулканы действовали на фоне поднятия всей Большой Курильской гряды

3. Современный вулканизм Курильских островов

Под современным вулканизмом подразумеваются вулканические явления, приведшие к образованию сохранившихся в рельефе построек четвертичных потухших и действующих вулканов и продолжающиеся до настоящего времени. Из вулканов Курильских островов с хорошо выраженной постройкой к действующим в настоящее время относят тридцать девять, в том числе один подводный (2). Вулканические извержения имеют преимущественно взрывной характер. При извержениях поэтому выбрасывается много пирокластического материала, и масса его ежегодно выносится в море. Излияния лавы, как правило, глыбовой, имеют подчиненное значение. Какой-либо определенной общей закономерности в изменении состава лав во времени у Курильских вулканов выявить невозможно. Отмечается, что даже соседние вулканы в один и тот же период извергали разные лавы (например, вулкан Менделеева — дациты, Тятя — базальты). Однако чаще, по-видимому, наблюдаются случаи, когда более основные лавы сменялись во времени более кислыми.

В формировании многих современных вулканических построек важнейшим эпизодом явилось образование кальдер. Оно знаменовало собой уменьшение активности вулканов. Из числа действующих вулканов более половины характеризуются наличием сохранившихся или полуразрушенных кальдер. Их еще больше, и они более крупные, у вулканов потухших. Нет фактов, которые не позволили бы применить к крупным курильским кальдерам гипотезу провального происхождения.

В согласии с представлениями Г. Вильямса, Р. Беммелена и большинства вулканологов, мы считаем, что крупные курильские кальдеры образовались следующим образом. Удаление части содержимого из магматической камеры под вулканом во время сильных извержений происходило быстрее, чем образующееся при этом пространство успевало заполняться магмой, поступающей из глубинного источника. Вулканическая постройка при этом под действием собственного веса обрушивалась по кольцевому разлому в возникавшую полость, а на поверхности Земли образовывалась кальдера. Наиболее крупные курильские кальдеры имеют в поперечнике около 10 км (Львиная Пасть, кальдера вулкана Кудрявого), а в глубину — до 80 м (Львиная Пасть). Таким образом, объем полостей, возникавших в верхних слоях земной коры перед образованием кальдер (расчеты показывают, что образование кальдер путем провала возможно лишь в том случае, если магматическая камера расположена на небольшой, не более нескольких километров, глубине от поверхности Земли), достигал многих десятков кубических километров. Эти полости могут быть результатом только ассимиляции магмой вмещающих пород и выноса их на поверхность Земли при извержениях. Для посткальдерного периода деятельности курильских вулканов очень характерно образование экстрезивных куполов. Они сложены обычно кислыми андезитами или андезито-дацитами, содержащими 58—65% SiO_2 . Изучение внутреннего строения куполов показало, что рисунок строения купола в разрезе часто не соответствует рисунку ни луковичной, ни веерообразной структур, а является более сложным.

Состав конденсатов сольфатарных паров и воды горячих источников

Компоненты, г/л	Конденсаты сольфатарных паров			Воды горячих источников		
	вулкан Эбеко $t \approx 115^\circ$	вулкан Менделеева $t=100^\circ$	вулкан Головинна $t=100^\circ$	вулкан Эбеко $t \approx 60^\circ$	вулкан Берутарубе $t=30^\circ$	вулкан Головинна $t=98,5$
H	0,0742	0,0027	0,0061	0,0008	0,0035	0,0350
NH ₄	0,005	0,0002	0,0004	0,0006	0,0010	0,0015
K	0,2358	0,0637	0,1033	1,3961	0,0098	—
Na	—	—		—	0,2070	—
Ca	0,1535	0,1648	0,2101	0,1040	0,3643	0,1045
Mg	0,0139	0,0165	0,537	0,0497	0,0693	0,0305
Al	0,009	0,0260	0,0300	0,080	0,1810	0,1173
Fe	—			—	—	0,3910
Fe	0,002	—	—	0,045	0,0710	0,2070
Mn	—	—	—	—	—	0,0002
Cu	—	—	—	—	—	—
Ti ⁺⁴	—	—	—	—	—	—
Сумма катионов	0,4844	0,2739	0,4036	1,6762	1,2670	0,4970
Cl'	3,141	Следы	0,0801	1,8922	0,3671	0,0133
SO ₄ '	0,269	0,0767	0,0927	1,2963	3,0752	1,5321
HSO ₄	—	0,0106	0,0225	0,0815	0,6822	2,9876
F'	0,007	—	—	0,0024	0,0010	—
Br'	—	—	—	—	—	—
NO ₃	—	—	—	0,0018	—	—
Сумма анионов	3,4170	0,0873	0,1953	3,2742	4,1255	4,5330
CO ₂	—	—	—	—	—	—
H ₂ SiO ₃	0,0851	0,0207	1,1088	0,3000	0,260	0,4150
H ₂ S	—	0,0190	0,0663	—	—	—
H ₃ PO ₄	—	—	—	—	—	—
HBO ₂	—	—	—	—	—	—
S	2,740	—	—	—	—	—
H ₃ ASO ₃	0,0026	—	—	—	—	—
Общая минерал.	3,7290	0,4009	0,7740	5,2504	5,65	5,4450
pH	1,02	2,56	2,21	3,0	2,45	1,31

Аналитики Е. П. Рябичкина и Е. П. Подольская.

Некоторые характерные данные по составу сольфатар и измененных пород (из сборов Г. С. Горшкова, С. И. Набоко и автор) см. табл. 2.

С образованием в последний период деятельности вулканов кольцевых— кальдерных и радиальных разломов, с формированием кислых экструзивных куполов и небольших приповерхностных интрузий (по-видимому, одна из таких интрузий проявляется внутри кальдеры Головинна сводовым поднятием озерных отложений) часто бывает связана современная интенсивная сольфатарная деятельность и образование серных месторождений и зон алунитизации.

Сольфатарную деятельность в настоящее время на Курильских островах проявляют почти три четверти числа действующих вулканов. Она

выражается в форме паро-газовых струй, горячих источников и небольших грязевых вулканов. Температура сольфатар обычно близка к 100°, но иногда достигает 200—300°. Химический состав сольфатар на сольфатарных полях разных вулканов часто близкий, несколько варьируя в зависимости от условий выхода вулканических газов. В сольфатарных струях, выходящих в субаэральных условиях, обычно преобладают пары воды и углекислый газ и характерно наличие сероводорода, сернистых газов и хлористого водорода. Последние компоненты, проходя через воду, растворяются. Этим обуславливается анионный состав вод горячих источников и теплых кратерных озер.

Среди спонтанных газов горячих источников и кратерных озер преобладает углекислый газ, присутствуют азот, метан и водород. Образовавшиеся, благодаря растворению в метеорных водах ряда компонентов вулканических газов, сильно кислые (рН—0,5—3) воды горячих источников и кратерных озер интенсивно действуют на соприкасающиеся с ними породы и выносят из них металлы. Это суще-

Продолжение табл. 2

Содержание сероводорода и сернистых газов в сольфаторах на склоне экструзивного купола (вулкан Гол овнина)

Газы	в г/л	% от суммы
H ₂ S	0,012	5,5
SO ₂	0,113	43,5
SO ₃	0,133	51,0

Аналитик Е. П. Рябичкина.

Продолжение табл. 2

Состав спонтанных газов (вулкан Головинна)						
Место взятия	Компоненты					
	CO ₂	H ₂	CH ₄	N ₂	He+Ne N ₂ +i	Ar N ₂ +i
Теплое озеро	93,42	0,70	0,95	4,33	0,01233	1,802
Большое кальдерное озеро	93,84	1,20	1,74	3,22	0,02418	1,728

Аналитик К. П. Флоренский.

Продолжение табл. 2

Состав измененных пород

Компоненты	Место взятия проб			
	вулкан Менделеева		вулкан Головинна	
	относительно мало измененный андезит	внутренняя часть глыбы измененного андезита	внешняя часть глыбы измененного андезита	разложившийся андезит
SiO ₂	57,88	79,22	90,92	45,64
TiO ₂	0,80	0,98	1,08	0,38
Al ₂ O ₃	15,56	2,50	2,87	0,17
Fe ₂ O ₃	—	0,01	6,26	0,25
FeO	0,74	—	—	—
MgO	—	0,14	0,34	—
CaO	2,73	0,20	0,06	—
Na ₂ O	0,67	0,65	—	—
K ₂ O	0,19	0,38	—	—
SO ₃	14,79	—	—	2,30
S	—	1,67	0,09	—
(+H ₂ O)+(-H ₂ O)	6,05	8,06	4,48	51,85
Сумма	99,41	100,35	100,06	100,09

Аналитик В. Г. Сильниченко.

ственно определяет катионный состав вод (табл. 2). В процессе изменения пород и «выпаривания» растворов образуются минералы выцветов (галлотрихит, пиккерингит, алуноген, сульфаты, квасцы). Вероятно, не только присутствие анионов, но и части катионов таких элементов, как бор, в составе термальных вод можно объяснить приносом вулканическими газами. Сера образуется в результате окисления сероводорода на поверхности или близ поверхности Земли, на всех сольфатарных полях. Этот процесс привел, в частности, к накоплению сероносных илов на дне некоторых теплых кратерных озер. Следует отметить,

Таблица 3

Извержения вулканов на Курильских островах

Название вулкана	Дата	Характер извержения
Вулкан Берга Кальдера Карпинского	Зима 1951/1952 г. 5 ноября 1952 г.	Выбросы пепла Выбросы темного клуба газов, насыщенных пеплом
Пик Креницына	12—19 ноября 1952 г.	Боковое, существенно эксплозивное извержение, закончившееся выжиманием купола
Пик Сарычева	9—19 ноября 1956 г. Август—октябрь 1954 г.	Образование горячих лавин Слабые выбросы пепла, образование лавовой пробки
Кальдера Заварицкого	Ноябрь—декабрь 1957 г.	Выбросы пепла и бомб из высоты 7—8 км. Выжимание экструзивного купола

что на сольфатарных полях эрозией иногда оказываются вскрытыми породы, обогащенные сульфидами железа (вулкан Менделеева). С. И. Набоко считает, что осаждение сульфида железа происходит при встрече нисходящих растворов с сульфатным железом и восходящих растворов с сульфидным ионом. Громадное количество выщелоченных из горных пород металлов ежегодно выносятся в море. При впадении кислых ручьев в море значительная часть растворенных веществ выпадает в осадок и. выходит в качестве будущего цемента в вулканогенно-осадочный материал.

Вулканическая энергия, которая постоянно расходуется на сольфатарную деятельность, относительно редко расходуется пароксизмами при вулканических извержениях. Сильные извержения на Курильских островах происходили в историческое время раз в десятки лет, слабые — каждые несколько лет. Начиная с 1945 г., на Курильских островах произошло шесть сравнительно небольших извержений (табл. 3).

4. Краткая общая характеристика вулканических пород Курильских островов

Среди кайнотипных вулканических пород Курильских островов наблюдаются очень разнообразные породы щелочноземельного ряда — от базальтов до риодацитов, однако преобладают андезиты с частными отклонениями в сторону андезито-базальтов или андезито-дацитов.

Всей этой гамме генетически связанных пород свойственны некоторые вполне определенные характерные черты:

1. Во всех породах, от самых основных до самых кислых, основным минералом вкрапленников и микролитов является плагиоклаз. Вкрапленники плагиоклаза, как правило, имеют основной состав, достигающий даже в кислых породах типа андезито-дацита и риодацита до Лабрадора.

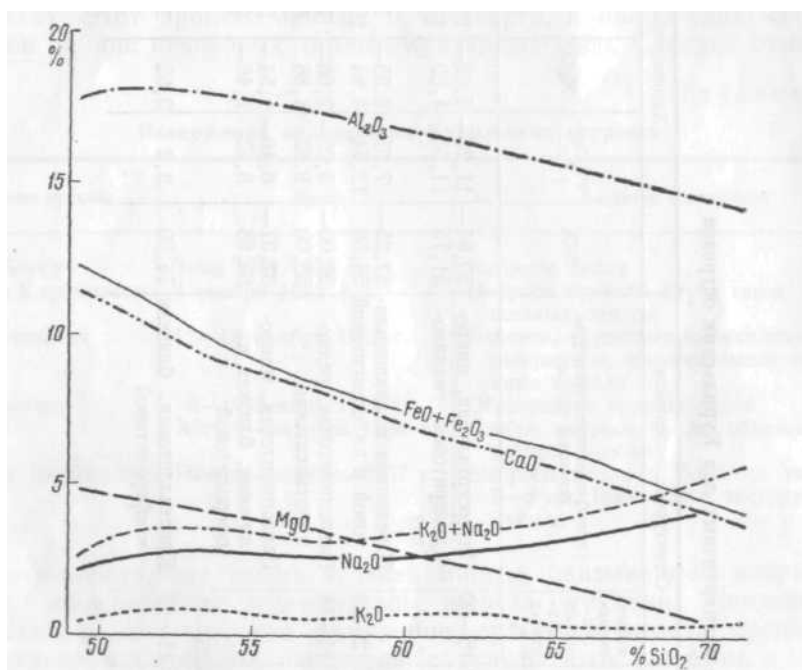
² При разделении отдельных семейств пород в основу положены критерии, предложенные Ф. Ю. Левинсоном-Лессингом.

Характеристика основных типов четвертичных лав Курильских островов

Породы	Состав вкрапленников				Состав основной массы			Структурные особенности		Химический состав					
	P1 (%An)	Pr	Ol (%Fa)	Q	P1 (%An)	Pr	л стекла	колич. вкрапленников в объёмных %	преобладающие структуры основной массы	SiO ₂	Fe ₂ O ₃ + FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O
Базальты	70—90	Авгит	20—30	—	55—82	Авгит	1,543—1,551	18—50	Интерсертальная, микро- долеритовая, гнапино- вая	50,84— 51,75	11,26— 11,53	4,02— 4,89	10,21— 10,32	2,12— 2,48	0,96— 1,07
Андезито- базальты	60—80	Авгит гиперст.	20—30	—	48—55	»	1,528—1,539	2—28	Переходная к гналопили- товой и пилотакситовой	52,25— 56,56	7,07— 12,74	3,55— 4,94	7,84— 10,32	2,10— 3,51	0,40— 1,24
Андезиты	54—70	»	—	—	45—52	»	1,510—1,523	14—44	Гналопилитовая, редко пилотакситовая	56,00— 58,00	8,03— 9,82	2,06— 3,86	7,97— 8,66	1,97— 3,86	0,48— 0,67
Андезито-да- циты и да- циты	40—68	»	—	Q	28—45	Редко авгит, Редко гиперстен	1,505—1,510	25—41	Гналопилитовая, микро- литовая, близкая к сферолитовой	32,37— 64,68	6,46— 8,62	1,54— 2,46	5,02— 6,12	2,26— 3,46	0,49— 0,95
Риодациты	37—50 Редко	Редко гиперст.	—	Q	27—32 редко	—	1,488—1,505	11—19	Кристаллитовая, близкая к сферолитовой	74,00	3,2	3,62	2,60	2,79	0,86

2. Среди темноцветных минералов во всех петрографических типах пород, включая самые кислые, преобладает пироксен. Исключение составляют только некоторые базальты, в которых основным темноцветным минералом является оливин.

3. Моноклинные и ромбические пироксены находятся обычно совместно, причем наряду с ними в основных породах (а в виде исключения и в кислых) присутствует оливин.



Фиг. 1. Вариационная диаграмма составов молодых вулканических пород Курильских островов

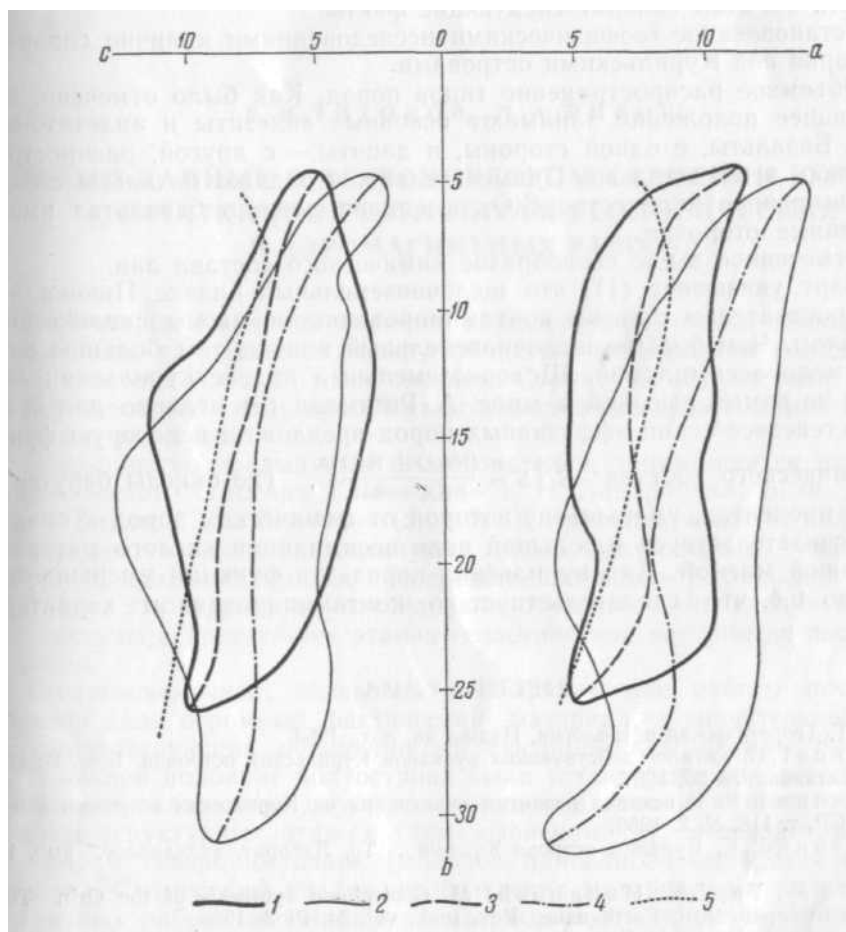
4. Обычно высокое содержание вкрапленников (исключения характерны для самых кислых и самых основных пород).

5. Относительно кислый состав вулканических стекол, что обуславливает наличие кварца в виртуальных составах.

Характеристика основных типов курильских лав дана в табл. 4. Наиболее распространены на Курильских островах андезито-базальты и андезиты.

Плаггиоклаз во всех изученных лавах имеет «высокотемпературный характер». Основность лав существенно сказывается на составе микролитов плаггиоклаза (№ 27 в наиболее кислых, № 82 — в наиболее основных из изученных образцов) и вулканических стекол ($n = 1,488$ в наиболее кислых из изученных лав, $n = 1,551$ в наиболее основных). В более основных лавах повышается также основность и у фенокристаллов плаггиоклаза (№ 37 в наиболее кислых, № 90 в наиболее основных). Каких-либо закономерных изменений свойств темноцветных минералов при переходе от более основных к более кислым лавам не обнаружено. Для оливина характерны реакционные каймы. Угол оптических осей в нем колеблется от -82 до -88° . Этим значениям соответствует содержание файалитовой молекулы от 20 до 30%. Среднее значение $2V$ для вкрапленников моноклинного пироксена $+54^\circ$, для микролитов $+51^\circ$. Согласно диаграмме М. М. Веселовской, этим значениям соответствуют следующие составы: 44 En, 18 Fs, 38 Wo и 47 En, 22 Fs, 31 Wo. Угол оптических осей в ромбических пироксеках изученных лав колеблется от -58° до -70° . По диаграмме А. Винчелла этим углам соответствует со-

держание феросилитовой молекулы от 32 до 44%. Различие в химическом составе лав обуславливается различными соотношениями кристаллов и стекла, а также кристаллов разных минералов и различным составом микролитов и вкрапленников плагиоклаза. Содержание SiO_2 в лавах меняется от 50% (базальты) до 74% (риодациты). Зависимость уменьшения содержания суммы окислов железа с увеличением SiO_2 на диаграмме Р. Харкера почти прямолинейна. То же относится к окиси



Фиг. 2. Сопоставление химических составов ассоциаций вулканических пород Курильских островов, Камчатки и Японии по диаграмме А. Н. Заварицкого

1 — контур поля основных числовых характеристик А. Н. Заварицкого для вулканических пород Курильских островов; 2 — то же для Камчатки; 3 — средняя линия ряда основных числовых характеристик А. Н. Заварицкого для вулканических пород Курильских островов; 4 — то же для Камчатки; 5 — то же для Японии

кальция. Уменьшение MgO происходит менее круто (фиг. 1). Незначительное содержание щелочей во всех лавах приводит к тому, что кривые CaO и $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ на диаграмме Р. Харкера пересекаются лишь при 68 SiO_2 . Эта величина, носящая название щелочноземельного индекса, выше чем у лав Японии (65%), считающихся наиболее известковистыми. По своему химизму молодые вулканические породы Курильских островов ближе всего стоят к молодым лавам Японии, отличаясь от последних еще меньшим содержанием щелочей в породах среднего состава (фиг. 2). Основными чертами химизма курильских лав являются:

1. Ярко выраженный щелочноземельный характер всех лав от базальтов до риодацитов.

2. Обусловленное малым содержанием щелочей наличие в виртуальном составе даже основных лав свободной кремнекислоты.

3. Резкое преобладание Na над K.

Лавы Курильских островов являются производными базальтовой магмы, ассимилировавшей на своем пути к поверхности сиалический материал. Об этом говорят следующие факты:

1. Установленное геофизическими исследованиями наличие сиалического корня под Курильскими островами.

2. Объемное распространение типов пород. Как было отмечено, доминирующее положение занимают основные андезиты и андезито-базальты. Базальты, с одной стороны, и дациты, — с другой, распространены очень незначительно. Примечательно, что даже базальты содержат повышенное количество SiO_2 , а оливин даже в базальтах имеет реакционные оторочки.

3. Отмеченное выше своеобразие химического состава лав.

Т. Барт указывает (1), что щелочноземельный индекс Пикока является показателем степени контаминированности магмы сиалическим материалом. Чем больше щелочноземельный индекс, тем большее значение имела ассимиляция. Щелочноземельный индекс курильских лав едва ли не самый высокий в мире. А. Риттманн (6) недавно для суждения о генезисе серий эффузивных пород предложил некоторую функцию химического состава

$$S \left[S = \frac{(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})^2}{\text{SiO}_2 - 43} \right]^2$$
, где окислы берутся в весовых процентах, уменьшение которой от фемических пород к сиалическим свидетельствует о большой роли ассимиляции кислого материала основной магмой. Для курильских пород эта функция уменьшается от 2,3 до 0,4, что свидетельствует о контаминированном характере магмы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Барт Т. Теоретическая петрология. Изд-во ин. лит., 1956.
2. Горшков Г. С. Каталог действующих вулканов Курильских островов. Бюл. Вулканолог. станции, № 25, 1957.
3. Мархинин Е.К. К истории развития вулканизма на Курильских островах. Докл. АН СССР, т. 118, № 2, 1958.
4. Мархинин Е.К. Вулканы острова Кунашир. Тр. Лаборат. вулканолог. вып. 17, 1959.
5. Minato M., Yagi K., Hunanashi M. Geotectonic synthesis of the Grin Tuff Regions in Japan. Bull. Earthquake Rev. Inst., vol. 34, Pt 3, 1956.
6. Rittmann A. Determination of a serial index of volcanic rocks. Bull. Volcanolog, Napoli, 1958.

Вулканологическая станция АН СССР,
Камчатка Ключи

Статья поступила в Редакцию
16 ноября 1959 г.