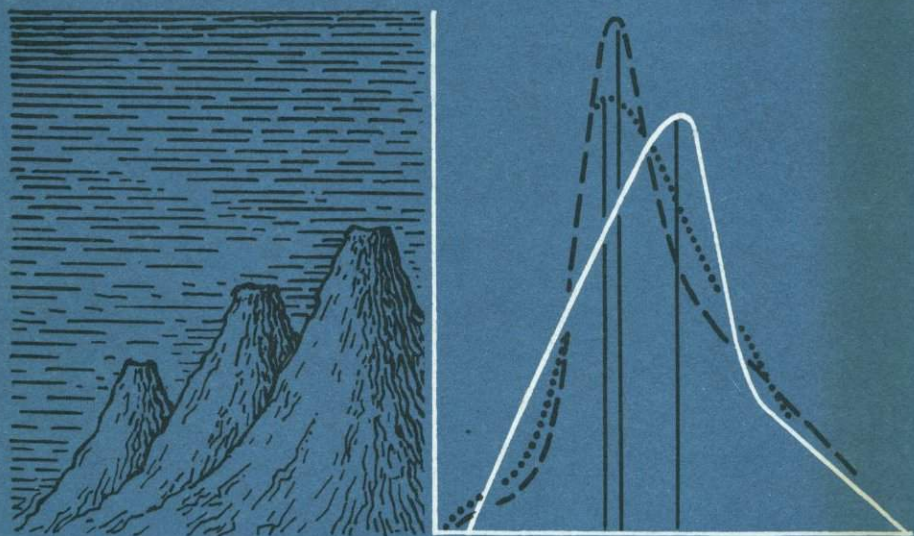


Ю.С. ШЕВЧЕНКО



ПОДВОДНЫЕ ВУЛКАНИТЫ
КУРИЛЬСКОЙ
ОСТРОВНОЙ
ДУГИ



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
ЧИТИНСКИЙ ИНСТИТУТ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ

Ю.С. ШЕВЧЕНКО

ПОДВОДНЫЕ ВУЛКАНИТЫ
КУРИЛЬСКОЙ
ОСТРОВНОЙ
ДУГИ
петро- и геохимические аспекты

Ответственный редактор
доктор геолого-минералогических наук
В.В. Кепежинская

5020



НОВОСИБИРСК
«НАУКА»
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
1988



УДК 551.214+551.217.1(571.645)

Подводные вулканы Курильской островной дуги (петро- и геохимические аспекты) / Шевченко Ю.С. - Новосибирск: Наука. Сиб. от-ние. 1988. - 127 с.

ISBN 5-02-029466-7.

Обобщены известные данные по петро- и геохимическому составу подводных эффузивов Курильской островной дуги. Исследованы вулканы, поднятые драгированием вдоль всей дуги, особенности их вещественного и минералогического состава. Проведено сопоставление продуктов наземного и подводного вулканизма. Рассмотрены вопросы петро- и геохимической зональности и вариаций состава, особенности кристаллизации и металлогении вулканитов.

Для петрографов и геологов, занимающихся проблемами палео- и современного вулканизма и геодинамики активных зон Земли.

Табл. 24. Ил. 36. Библиогр.: 124 назв.

Рецензенты

доктор геолого-минералогических наук Л.Ф. Наркелюн
доктор технических наук Д.П. Сенук

Утверждено к печати Читинским институтом
природных ресурсов СО АН СССР

Ш 1904020000-760 194-87-IV © Издательство "Наука", 1988
042(02)-88
ISBN 5-02-029466-7

ПРЕДИСЛОВИЕ

Один только просмотр оглавлений работ, посвященных проблемам петрогенезиса и особенностей состава пород Курило-Камчатской островной дуги, показывает, как велик и разнообразен круг вопросов, поднимаемых в них: физико-химические условия кристаллизации расплавов, эволюция химизма пород и вулканизма во времени, формационный разрез верхов мантии и земной коры, происхождение пород высокоглиноземистой серии островных дуг, роль земной коры в формировании расплавов, палеовулканологические и тектонические реконструкции, состав материнского глубинного субстрата, характеристика глубинных тектонических и физико-химических процессов. Ясно, что для получения достаточно представительной картины желательно иметь разрезы вулканогенных пород из всех основных участков исследований - Курильской островной дуги, включая и находящиеся в ее пределах акватории Охотского моря и Тихого океана.

Накоплен огромный фактический материал, основанный на данных исследования продуктов наземного вулканизма Курило-Камчатской островной дуги. (Здесь и в дальнейшем для более общей характеристики будет говориться в целом о Курило-Камчатской островной дуге, подразумевая Курильские острова как основную существенную часть дуги). И почти не освещен "подводный" вулканизма региона. А поскольку на его долю приходится более 80% площади Курильской дуги, то нужно констатировать, что наши представления об общей петрогенетической характеристике региона ограничены, неполны. Объясняется это тем, что мы не знаем роли подводных эффузивов; у нас пока нет никаких гарантий того, что подводный вулканизм аналогичен наземному хотя бы в плане петро- и геохимии. Следовательно, нет уверенности в том, что введение подводных эффузивов параллельно с наземными в сферу рассмотрения вулканизма региона не изменит концепций, сложившихся в литературе. Данными обстоятельствами и предопределена тематика предлагаемой читателю монографии.

В основном она посвящена вопросам петро- и геохимии подводных эффузивов как наиболее важной стороне в проблеме вулканизма и петрогенезиса таких структур переходной зоны океан - континент, как островные дуги. Естественно, что при этом обращалось внимание на текстурно-структурные особенности и минералогию исследованных пород. Основные результаты исследования особенностей подводных вулканитов Курильской островной дуги сопоставлены с литературными данными по наземному вулканизму.

Хочется надеяться, что работа позволит читателям достаточно полно познакомиться с наименее освещенной в литературе стороной вулканизма Курило-Камчатской островной дуги — подводной, а имеющиеся в монографии данные будут использованы для последующих петрогенетических построений.

В качестве фактической основы использовались две коллекции пород: 1) наземных — с вулканов островов Курильской дуги (различные вулканы и базитовые ксенолиты). Одна часть этой коллекции была предоставлена в наше распоряжение сотрудниками СахКНИИ ДВНЦ АН СССР и ИГиГ СО АН СССР Г.С. Гнибиденко, В.Ф. Остапенко, В.Н. Шараповым, другая собрана автором на островных вулканах Южных Курил; 2) коллекция более 2000 образцов подводных пород, драгированных со дна акватории Курильской дуги. Данная коллекция передана в распоряжение автора сотрудниками СахКНИИ ДВНЦ АН СССР Г.С. Гнибиденко и В.Ф. Остапенко. Эти драгирования были проведены на научно-исследовательских судах (НИС) "Пегас", "Морской геофизик", "Орлик" в 1964-1978 гг. В.Ф. Остапенко, О.С. Корневым, В.Л. Ломтевым, В.И. Куделькиным (СахКНИИ ДВНЦ АН СССР). Часть образцов была собрана автором и В.И. Куделькиным во время XI рейса НИС "Морской геофизик" в 1979 г. Всем выше упомянутым товарищам автор выражает свою глубокую признательность за предоставленный материал и сотрудничество во время экспедиционных работ.

Во многом появлению этой работы способствовали советы, помощь и поддержка В.Н. Шарапова, В.Н. Кутюлина, А.П. Кривенко. Выражаю им большую благодарность.

КРАТКИЙ ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ОЧЕРК КУРИЛЬСКОЙ ОСТРОВНОЙ ДУГИ

Геолого-тектоническое положение Курильской островной дуги и ее краткая характеристика

Курильская дуга – составная часть единой Курило-Камчатской островной дуги, которая является элементом мезозойско-кайнозойского Восточно-Азиатского пояса, располагающегося в зоне перехода континентального и океанического типов коры, и входит в систему островных дуг северо-западной окраины Тихого океана.

Несмотря на ряд общих структур, п-ов Камчатка и Курильские острова различаются и строением, и геоморфологией. В отличие от довольно сложной по структуре Камчатки Курилы являют собой типичную двойную дугу, состоящую из двух дугообразных гряд: внешней (или Малой) и внутренней (Большой). Гряды между собой разделены продольной структурой Курильского прогиба и сопряжены с Курильским (или Курило-Камчатским) глубоководным желобом и тыловой глубоководной Южно-Охотской впадиной.

Малая Курильская гряда – это, по существу, разорванный в центральной части подводный хр. Витязь и, как южное его продолжение, группа немногочисленных островов. Гряда, судя по результатам изучения пород островов, сложена верхнемеловыми – палеогеновыми вулканогенно-осадочными отложениями. Комплекс этих отложений состоит из трех частей: в нижней доминируют грубообломочные вулканические брекчии; средняя представляет собой толщу флишеподобных вулканомиктовых терригенных пород с sillами базальтоидов щелочного состава, а верхняя сложена эффузивно-пирокластическими образованиями. Общим для частей разреза комплекса является то, что состав вулканических пород, встречающихся здесь, отвечает базальтам и андезитобазальтам.

Концы Большой Курильской гряды несколько приподняты относительно центральной части. На островах гряды интенсивно проявляются и по настоящее время тектонические движения и вулканизм. В пределах дуги выделяются северная, центральная и южная части, отличающиеся мощностью и типом земной коры /Косминская и др., 1963; Мезо-кайнозойская история ..., 1967/. Гряда сложена новейшими (неоген-четвертичными) образованиями, в основном вулканическими. По данным Б.Н. Пискунова и др. /1976/, в разрезе пород неогена выделяются зеленотуфовый (породы от базальтов до липаритов), вулканогенно-флишеидный (терригенные породы и кислые туфы), пемзоидный (кислые эффузивы) и, наиболее молодой, базальтоидный (породы андезитобазальтового состава) комплексы. Характерно, что породы второго и третьего комплексов отсутствуют на Центральных Курилах.

Таблица 1. Генетические типы четвертичных вулканов Курильской дуги (по данным В.И. Федорченко, Р.И. Родионовой /1975/)

Геолого-петрографические особенности	Стратовулканы	
	простые	
Геологическое строение	Правильные полигенные стратовулканы, иногда с моногенными паразитическими конусами	
Состав лав	Однообразный основной, реже средний	
Родоначальная магма	Подкорковая основная	
Дифференциация	Очень слабая	
Современная активность	3/4 извергались в историческое время	

Окончание табл. 1

Геолого-петрографические особенности	Кальдерные пемзово-пирокластические вулканы
Геологическое строение	Пологие пемзово-пирокластические конусы с единичными лавовыми потоками и экструзиями
Состав лав	Резко преобладают кислые породы в виде пемзовой пирокластики
Родоначальная магма	Коровая кислая
Дифференциация	Практически отсутствует
Современная активность	Сольфатарная деятельность или потухшие

Хотя в вулканических породах Большой Курильской гряды можно встретить разности от базальтов до липаритов, в целом продукты вулканизма имеют основной базальт-андезитовый состав и их можно объединить в одноименную формацию.

На основании многих данных о строении и морфологии вулканов в составе их продуктов и т.д. вулканы Курильской островной дуги (Большая Курильская гряда) разделены на пять генетических типов (табл. 1): простые стратовулканы, "кустовые" или многовыходные стратовулканы, кальдерные стратовулканы, кальдерные пемзово-пирокластические вулканы и вулканы - экструзии /Федорченко, 1969; Федорченко, Родионова, 1975/. В распределении данных типов вулканов наблюдается пространственная зональность (рис. 1).

островной дуги и их геолого-петрографические особенности (по дан-

Стратовулканы	
"кустовые" (многовыходные)	кальдерные
Сложные многоактивные лаво-пироксеново-пирокластические постройки, нередко осложненные вершинными экструзиями	Существенно лавовые слоистые докальдерные вулканы с внутрикальдерными экструзиями и стратовулканами
Разнообразный, преобладают андезиты, экструзии - дациты, андезитодациты	Разнообразный, преобладают андезиты, часты дациты, риолиты, пемзы, игнимбриты
Подкорковая основная	Подкорковая основная
Сильная, определенной направленности нет	Сильная, с раскислением лав к моменту кальдерообразования
2/3 действуют (большинство сольфатарные)	1/2 действуют (сольфатарная стадия)

Вулканы - экструзии	
центрального типа	регионального типа
Одно- или многофазовые экструзии сложной внутренней структуры	Простые моногенные экструзии обычно "верной" структуры
Однообразные	Кислые андезиты, дациты, риолиты
	Коровая кислая
	Практически отсутствует
	Потухшие

Так, если для восточной зоны Большой Курильской гряды характерны в основном первый и третий типы стратовулканов, (соответственно андезитовые и андезитодацитовые), то для западной - бескальдерные сооружения с продуктами основного состава /Эрлих, 1973/. Здесь прослеживается продольная и поперечная зональность как в распределении вулканов, так и в составе их продуктов, что было установлено ранее на примере щелочности продуктов вулканизма Г.С. Горшковым /1967/. Э.Н. Эрлих /1973/ отметил также бимодальность распределения кремнекислотности эффузивных пород на ряде островов Курильской дуги, причем максимальные содержания SiO_2 приходится на породы андезитобазальтового и дацитового составов (Северные, Центральные и Южные Ку-

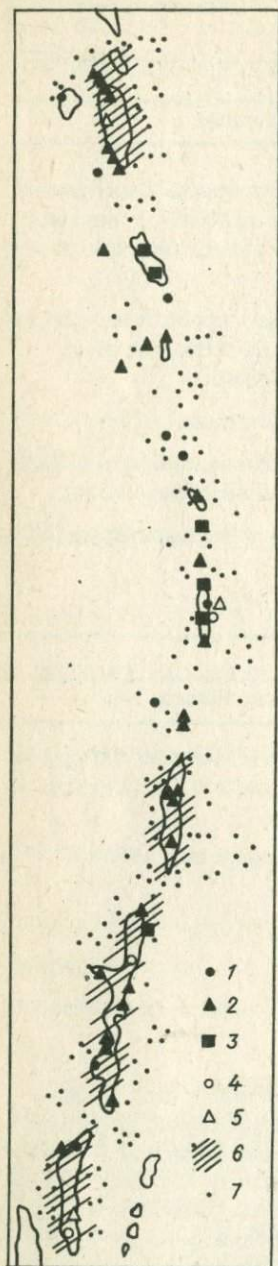


Рис 1. Распределение вулканов Курильской дуги по типам - составу продуктов /по данным В.И. Федорченко и Р.И. Родионовой, 1975/.

1 - 1-й тип (андезитобазальты и базальты); 2 - 2-й тип (преобладают андезиты, встречаются андезитодациты); 3 - 3-й тип (преобладают андезиты, встречаются дациты, риолиты, игнимбриты); 4 - 4-й тип (кислые породы и пирокластический материал); 5 - 5-й тип (кислые андезиты, дациты, риолиты); 6 - площадь распространения кальдерных построек; 7 - станции драгирования (схема фактического материала).

рилы - острова Онекотан, Симушир и Кунашир соответственно).

Несмотря на схожесть петрохимических особенностей курильских и камчатских эффузивов, на Курилах состав пород смещен в сторону собственно андезитового максимума /Горшков, 1967; Розинов, Колесников, 1975/.

Установлено, что проявления базальтоидных лав приурочены к зонам растяжения в разрезе земной коры и верхней мантии Земли /Лучицкий, 1971; Макдональд, 1975/. Это же показано еще А.Е. Святловским /1968/ - интенсивный вулканизм зоны Большой Курильской гряды проявлен как раз благодаря наличию и преобладанию здесь напряжений растяжения. Возможно, что такие напряжения вызваны разуплотнением составляющих пород вследствие большого значения вертикального градиента температур /Марков, 1969/. Последнее обстоятельство подтверждает, что выплавление базальтовой жидкости в зоне Большой Курильской гряды должно происходить на глубинах 35-40 км, т.е. меньших, чем, например, под Малой Курильской грядой.

Согласно сейсмологическим и геофизическим данным /Соловьев, 1961; Федотов, 1966; Аверьянова, 1968; и др./, вдоль Курильской дуги существует зональность в распределении участков различной сейсмичности: так, в районе восточнее южной оконечности о. Парамушир и

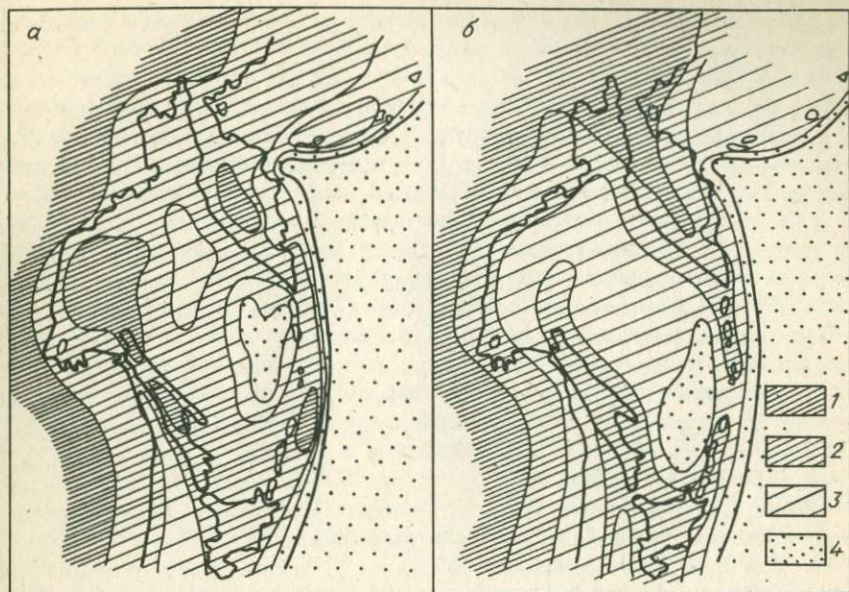


Рис. 2. Схемы мощностей "базальтового" слоя (а) и земной коры (б) Курило-Камчатского и Охотоморского регионов.

1 - 75-100% (100% = 48 км); 2 - 50-75%; 3 - 25-50%; 4 - 0-25%.

остров Расшуа, Уруп, Итуруп сейсмичность максимальна, а на Центральных Курилах - минимальна. На Центральных Курилах отмечена и минимальная мощность земной коры (≈ 10 км) /Косминская и др., 1963; Мезо-кайнозойская история ..., 1967/. Вполне возможно, что эти и другие особенности и предопределяют отличие Центральных Курил от других зон дуги и по физическим свойствам пород /Шевченк 1984/, и по петрохимическому составу последних (об этом подробнее будет сказано ниже).

Общие особенности строения земной коры и мантии

Данными ГСЗ и гравиметрии /Косминская и др., 1963; Мезокайнозойская история ..., 1967/ на Курилах установлен переходный континентально-океанический тип земной коры, на Камчатке - континентальный. Общий план зон повышенной мощности коры (рис.2) совпадает со структурами суши как для материковой части, так и для островных дуг (Алеутской и Курильской), "окруженных" областями со значительно меньшей мощностью коры. На участке Центральных Курильских островов наблюдается минимальная мощность (около 10 км) земной коры, что сопоставляется с данными для акватории Тихого океана и Охотоморской впадины.

В целом разрез земной коры региона представлен кристаллической (или консолидированной) частью (мощностью до 25 км) и осадочной. "Гранитный" слой, скорее всего, развит не везде, поэтому и его влияние на земную кору оказывается не столь великим, как это характерно для "базальтового" слоя, отвечающего первой из указанных частей разреза коры. Это в первую очередь подтверждается тождественностью "рельефов" земной коры и "базальтового" слоя. Подобное сравнение особенно легко проводить по схемам мощностей, построенным по процентным изопактам. При этом для каждого разреза максимальная мощность (на данном участке) принималась за 100% и в дальнейшем брались 100, 75, 50, 25% от мощностей. Такие схемы оказались более рациональными и логичными особенно при сравнении "рельефов" разделов и при определении степени влияния последних на строение и развитие земной коры (предлагаемые схемы (см. рис. 2, а, б) построены по материалам В.И. Тихонова, Л.А. Ривоша /1961/, Г.С. Штейнберга и др. /1964/, С.А. Федотова /1966/, Н.А. Беляевского и др. /1967/, И.П. Косминской /1968/, С.А. Федотова, Л.Б. Славинной /1968/, Э.Э. Фотиади, И.К. Туезова /1972/, С.Т. Балесты и др. /1972/, Г.Т. Болабко и др. /1974/, И.К. Туезова /1975/).

На схеме мощности "базальтового" слоя (см. рис. 2, а) в пределах Курильской островной дуги выделяются два контрастных по мощности "пятна", смещенные относительно осевой линии дуги в сторону Охотского моря (минимальная мощность) и Тихого океана (максимальная мощность), что отличает "рельеф" этого слоя от общего "рельефа" земной коры региона (см. рис. 2, б). Здесь зона повышенной мощности совпадает с осевой линией дуги и только в районе Центральных Курил наблюдается утонение коры: 25–50% от 48 км.

Есть данные /Федотов, 1965/ о повышенной разогретости области ниже подошвы земной коры, т.е. верхней мантии, в интервале сейсмофокальная зона (выделенная для района Курильской островной дуги еще А.Н. Заварицким /1946/) и цепь островов, что, видимо, обусловлено интенсивными процессами магмообразования /Федотов, 1965, 1966/. Однако, согласно результатам исследований М.С. Маркова /1969/, эти процессы (по крайней мере, в районе Большой Курильской гряды) могут протекать и на меньших глубинах (около 35–40 км).

В целом всеми исследователями подчеркивается блоковое строение земной коры в регионе. Южные, Центральные и Северные Курилы представляют собой три наиболее крупных блока, которые разделены на более мелкие части /Зверев, Тулина, 1966/. Блоки и их части отделены друг от друга мощными разломами, оперенными дизъюнктивными нарушениями меньшего порядка, к пересечениям которых приурочены наиболее мощные вулканические сооружения. Скорее всего, блочность строения земной коры (или литосферы в целом) Курильской островной дуги трассирует систему глубинных разломов и разрывов, составляющих, по данным И.Г. Симбиревой и др. /1977/, сейсмофокальную зону.

Еще Г.С. Горшков /1967/, а затем и другие исследователи выделили на Большой Курильской гряде еще две параллельные вулканические зоны (Главную и Западную), которые отличаются составом вулканитов. Главная зона представляет собой структурный комплекс островов, протянувшийся вдоль оси Большой Курильской гряды. В эту зону, по существу, включены почти все наземные вулканические постройки. Западная зона преимущественно подводная, так как объединяет в основном подводные вулканы и небольшую часть наземных вулканов на западном склоне гряды и на дне Охотского моря. Для разных участков Большой Курильской гряды линейная и площадная плотность вулканов, как подводных, так и наземных, постоянна, что свидетельствует о практически равномерном проявлении процессов вулканизма в данном регионе /Пискунов и др., 1976/. С этим можно согласиться, если брать во внимание площадь региона или его частей в целом, поскольку при меньших масштабах распределение большинства вулканических аппаратов подчинено тектоническому "шагу", обусловленному зонами нарушений. Поэтому исследователи и выделяют порой эшелоны вулканов, цепочки, группы.

Первые исследования подводных вулканов были проведены в конце 50-х – начале 60-х годов Г.Б. Удинцевым /1955/, П.Л. Безруковым и др. /1958/, В.Ф. Канаевым и Н.И. Лариной /1959/, Л.К. Затонским /1961/. Последним автором, в частности, отмечалось, что более трети из известных вулканов Курильской дуги скрыто под водой. Позднее открыты более широко распространенные подводные вулканические сооружения в пределах акватории Курильской островной дуги /Осталенко, 1976; Туезов, 1977; Кичина и др., 1980/. Кроме того, обнаруживаются подводные горы вулканического типа и в пределах Южно-Охотской впадины /Савостин и др., 1978/. В 1979 г. во время XI рейса НИС "Морской геофизик", в котором автор принимал участие, были обнаружены еще три подводные горы во впадине, по геоморфологическим признакам – вулканы.

Химизму подводных вулканитов будут посвящены следующие разделы работы, поэтому здесь остановимся лишь на геоморфологических особенностях подводных сооружений и вопросах их происхождения. На рис. 3 показано распределение подводных вулканических построек вдоль Курильской островной дуги, а на рис. 4 – рельеф некоторых из них.

Среди всего множества подводных вулканов можно выделить следующие типы: по форме – плоско-, сглаженно- и островершинные; по расположению – цокольные и обособленные; по количеству вершин – одно- и многовершинные (чаще всего двухвершинные) (табл. 2). Для плосковершинных характерна срезанная плоская вершина. Это свидетельствует о том, что в прошлом постройка занимала более высокое положение, соответствующее проявлениям процессов абразионного аккумулятивного выравнивания в зоне сильных прибрежных течений или волнового воздействия. Нижний уровень этого воздействия видимо, не превышал глубин 50 м, так как, судя по данным В.П. Зен-

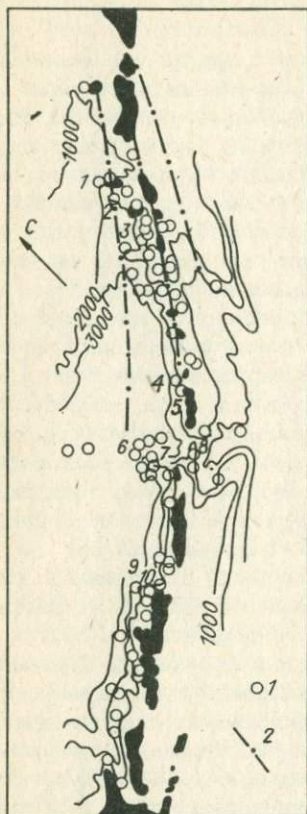


Рис. 3. Известные и новые вулканические постройки в акватории Курильской островной дуги.

1 — подводные вулканы-горы /по Безрукову и др., 1958/; 2 — осевые линии Курильских гряд. 1-10 — вулканы, геоморфологические формы которых представлены на рис. 4.

кевича /1962/, абразия на берегу открытого океана вряд ли происходит ниже этой отметки. Находки обломков идентичных коренных пород и галька на вершинах таких построек /Остапенко, 1978/, скорее всего, свидетельствуют о более высоком первоначальном положении их. Это подтверждается и тем, что вулканы в шельфовой зоне моря, как правило, имеют плоские вершины, на склонах, например, Южно-Охотской впадины — сглаженные, а на ее дне — острые /Остапенко, 1976/.

Островершинные конусные вулканы чаще сложены свежими новейшими эффузивами и для них не характерны находки абразионных и других отложений.

Сглаженновершинные вулканы выступают как промежуточные между указанными выше типами подводных вулканов. Форма таких вулканов указывает на то, что они находились на глубинах 50 м и более, поэтому не претерпели такого сильного абразионного выравнивания, как плосковершинные вулканы.

Для цокольного типа вулканов характерно расположение построек на приподнятом относительно дна океана (или Охотского моря) цоколе. Как правило, вулканы данного типа групповые, располагаются вблизи островов и совместно с наземными вулканами составляют своеобразные массивы или хребты. Так, подводные вулканы Средний, Случайный, Лисянского, Пегас образуют единый вулканический хребет, наземным флангом которого является влк. Уратман на о. Симушир /Кичина и др., 1980/.

Обособленные вулканы располагаются в основном на дне Южно-Охотской впадины и на северо-западном склоне гребня внутреннего хребта, который обращен в сторону Охотского моря (Большая Курильская гряда). Чаще всего это конусообразные (островершинные) вулканы, стоящие совершенно отдельно, без видимой связи с другими подводными вулканами.

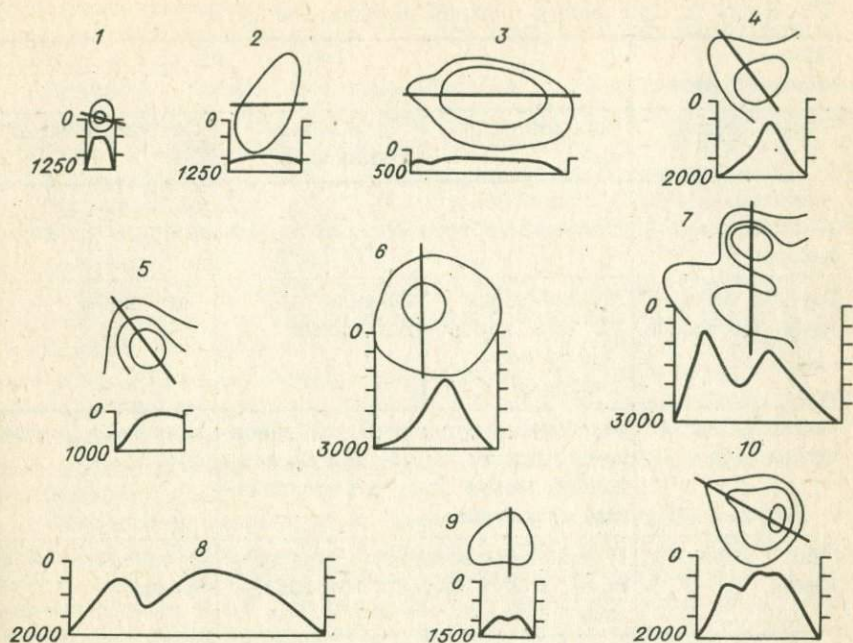


Рис. 4. Геоморфология некоторых из подводных вулканов Курильской островной дуги (глубина от уровня моря, м).

Кроме названных типов вулканов, по характеру проявления можно выделить погребенные и открытые вулканы /Тузезов, 1977/.

В целом /Городницкий, Ушаков, 1977; Авдейко, 1980/ подводные вулканы Курильского региона отличаются от подводных вулканов срединно-океанических хребтов, глубоководных котловин внутренних районов океана, внутриплитовых "горячих точек" и поясов, что позволяет выделить их в особый тип вулканов островных дуг и окраинных морей. Так, по составу вулканитов подводные вулканы островных дуг близки к наземным вулканам, а для глубоководных впадин окраинных морей характерны трещинные излияния базальтов, отличных по составу от других типов подводных базальтов /Авдейко, 1980/. В основном подводным вулканам свойственны лавовые излияния. Эксплозивные же извержения преобладают только у мелководных подводных вулканов, вершины которых периодически появляются над уровнем моря.

Исследователями отмечается слабая изученность подводного вулканизма не только в плане петро- и геохимии, но и в структурно-тектоническом и даже геоморфологическом отношении. Однако уже есть работы, посвященные определению критериев выявления и изучения вулканических структур подводных, отличия их от структур невулканического происхождения и т.п. /Селиверстов, 1980/. То есть дан-

Таблица 2. Подводные вулканы Курильской дуги

Общая характеристика	Тип		
	Плосковершинный	Сглаженно-вершинный	Острровершинный
Количество вершин	Одно- и многовершинный (в основном двухвершинные)		
Глубина заложения постройки	Мелководный (в зоне абразионного воздействия)	Средне-глубинный	Глубинный
Состав вулканитов	Массивные вулканиты, абразионные и другие отложения на вершинах, могут быть и эксплозивные отложения		Новейшие свежие эффузивы
Место заложения	В основном цокольные (групповые), могут быть и обособленные		В основном обособленные
Характер проявления	Погребенный и открытый		

Примечание. Табл. 2 построена по нашим данным и с использованием геоморфологических описаний П.Л. Безрукова и др. /1958/, В.Ф. Остапенко /1976/, И.К. Туезова /1977/, В.Ф. Остапенко /1978/, Л.А. Савостина и др. /1978/, Е.Н. Кичиной и др. /1980/.

ная проблема находится пока в стадии интенсивного накопления фактического материала, его классифицирования, обработки. Поэтому каждый новый, даже незначительный, факт является весьма ценным, требующим внимания исследователей. Это и предопределило более подробное описание трех подводных гор, обнаруженных в 1979 г.

На навигационных картах эти горы в прикурильской части Охотского моря были обозначены пунктиром, т.е. их существование оставалось до 1979 г. под сомнением. Они были обнаружены эхолотным профилированием: первая - к северо-западу от о. Шиашкотан, вторая - к запад-юго-западу от о. Чиринкотан и третья - к западу от о. Райкоке (см. рис. 3). Координаты вершин гор: 1 - 49° с.ш. и $153,5^{\circ}$ в.д.; 2 - 49° с.ш. и 153° в.д.; 3 - 48° с.ш. и 152° в.д. Первая и вторая горы располагаются вблизи осевой части Южно-Охотской впадины на ее северо-восточном склоне, третья же возвышается над плоским седиментационным дном котловины. Они находятся значительно дальше по траверзу от островов Большой Курильской гряды, чем известные подводные вулканы (горы), и это

расстояние увеличивается в юго-западном направлении. В этом же направлении уменьшаются высоты гор: первая - 1900 м, вторая - 1023 и третья 460 м.

Наиболее сложно геоморфологически сложена первая гора. Она как бы состоит из трех вершинных пиков, протянувшихся цепочкой в северо-восточном направлении. Противоположный юго-западный склон осложнен двумя - большим и маленьким - пиками, находящимися ниже вершинных на 250 и 370 м соответственно. Средняя крутизна склонов 12-15°, при вершинной части она увеличивается до 18-20°, а у подножия падает до 8-10°.

Первая гора относится к числу наиболее высоких подводных гор Курильской системы. Вполне возможно совпадение ее с горой № 13 (координаты 49°10' с.ш. и 153°30' в.д.), описанной П.Л. Безруковым и др. /1958/. Правда, в морфометрических параметрах гор есть расхождения: вершина горы № 13 находится на глубине 660 м, а ее высота равна 1600 м. Или это разные горы? На навигационных картах в данном месте обозначены пунктиром две подводные возвышенности.

Две вершины второй горы, разделенные расстоянием около 700 м, находятся на глубине 2077 и 2085 м соответственно и имеют скошенную форму. Крутизна склонов юго-западной экспозиции 15°, северо-восточной - 18°. Выполаживания у подножия почти нет, у вершинной части значения крутизны склонов возрастают до 20-21°. На северо-северо-западном склоне горы располагается паразитический вулкан в виде конуса высотой 200-280 м, имеющий кратерообразное углубление диаметром 200-300 м. Западный и восточный склоны вогнуты и представляют собой широкие желоба, тянущиеся от вершинной части к подножию гор.

Вершина третьей горы (глубина 4320 м) скошенная, ступенеобразной формы с небольшим углублением у юго-восточного края. Юго-восточный склон горы слегка вогнут: угол наклона равен 12°. Верхняя половина северо-западного склона имеет крутизну до 15°, нижняя половина более пологая (8-10°) и осложнена холмообразным выступом.

Все три горы, судя по расположению, морфологии склонов и самих построек, являются обособленными конусными или островершинными вулканами.

Если обнаруженные горы являются действительно подводными вулканами, что точно выяснится после драгировочных работ, то вполне возможно, что они представляют собой выступы акустического фундамента на дне котловины (подобные предположения для других подводных гор уже высказывались /Тузев, 1977/). Отсюда, принимая во внимание резкость перехода склонов гор - особенно второй и третьей - в седиментационную равнину, следует, что горы "протыкают" прилегающий осадочный чехол.

Поскольку морфологические параметры данных гор примерно одинаковы (угол при вершине, характер склонов и т.п.), то можно считать, что и абсолютные высоты гор (от акустического основания)

равны. Значит, постройки покрыты мощным слоем осадков: до 200, 1000 и 1600 м для первой, второй и третьей гор соответственно (расчет идет от первой горы, так как обрамляющие ее структуры имеют очень сложный характер, т.е. осадочный слой, перекрывающий их, явно не превышает 200 м). В центральной же части котловины мощность осадочного слоя еще больше – в среднем 3 км /Снеговской, 1974/. Если (по аналогии с вулканами Большой и Малой Курильских гряд) горы образовывались одновременно в небольшом интервале, то они претерпевали погружения с различной скоростью. Скорости седиментации для них тоже оказываются неравными. Так, если принять, что средняя скорость седиментации в Курильской впадине 5–25 см/1000 лет (усредненные значения по данным Ю.В. Чемякова /1957/, Л.А. Савостина и др. /1978/, М.С. Маркова /Мезо-кайнозойская история ..., 1967/), то возраст первой горы приближается к 2,5 млн лет (5 см/1000 лет), второй – 5,0–7,0 млн лет (15–20 см/1000 лет) и третьей – 6,5 млн лет (25 см/1000 лет). Получается, что горы на самом деле резко разновозрастные. Если это не так, то либо мощность осадков и высоты гор (второй и третьей) меньше принятых, либо скорость седиментации для них была больше – до 50–80 см/1000 лет. Но в любом случае, учитывая и особенности описываемых гор, и их расположение в котловине, возраст последней оказывается отнюдь не докембрийским или раннепалеозойским, как это считалось некоторыми авторами /Васильковский, 1962; Кропоткин, 1954; и др./.

Уже отмечалось /Безруков и др., 1958/, что вулканические сооружения Курильской системы образуют несколько продольных и поперечных рядов. Причем главный продольный ряд приурочен к сводовой части внутреннего хребта, а второстепенный – к его северо-западному склону. Поперечные же ряды связаны с системой поперечных разломов. Но обнаруженные НИС "Морской геофизик" в 1979 г. подводные горы не имеют связи ни с одним из указанных рядов и, скорее всего, составляют совершенно обособленную цепь подводных вулканов на дне Курильской котловины (или Южно-Охотской впадины), трассируя третью гряду в охотоморской стороне, дугообразно отходящую от Большой Курильской гряды в направлении с северо-востока на юго-запад. Новые вулканы, видимо, входят в один ряд с такими вулканами, как Алаид, Григорьева, Анциферова, Маканруши, Чиринкотан. Отметим, что хр. Витязь также дугообразно отходит от Большой Курильской гряды в направлении с северо-востока на юго-юго-запад в сторону Тихого океана (см. рис. 3).

Наблюдается определенная зависимость высоты (h) вулканических сооружений от глубины (H) моря, на которой они находятся (рис. 5). Соотношение их таково:

H	h	H	h	H	h	H	h
3000	2300	2000	1400	500	400	1500	500
1250	700	3000	1750	2000	1550	1000	850
3200	1600	500	380	500	350	1075	900

H	h	H	h	H	h	H	h
1250	720	2000	1400	3000	2400	2010	1100
6000	4400	2610	1900	2100	1023	2260	1600
112	70	1020	500	3000	750	3200	1500

H	h	H	h
1250	350	2000	1400
2000	1500	3200	1000
2050	1600	2310	1800
1800	850	3227	2000
450	350	1061	700

Здесь приводятся собственные данные и литературные сведения /Сергеев, Удинцев, 1957; Савостин и др., 1978; Безруков и др., 1958; Остапенко, 1976/. Грубо данную зависимость можно выразить формулой

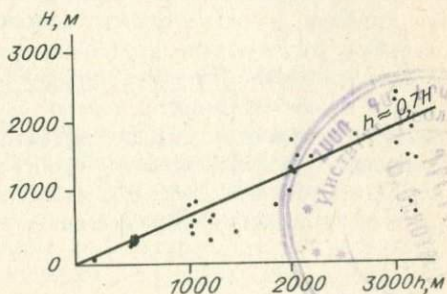
$$h \approx 0,7 H,$$

где h - высота вулкана (подводного), м; H - глубина моря, м.

При построении графика (см. рис. 5) использованы так называемые реперные точки, т.е. точки, для которых данная функциональная зависимость $h = f(H)$ одинакова. Так, для $H=2000$ м в пяти случаях значения $h=1400+1550$ м, для $H=500$ м в трех случаях $h=350-400$ м.

Наблюдается уменьшение размеров подводных вулканов и островов северной половины Курильской дуги от флангов к центральной части. Эта тенденция должна иметь место и в обнаруженных подводных горах. Отсюда следуют два вывода: во-первых, это повлияет на вид данной выше формулы, во-вторых, возраст 6,5-5,0-7,0 млн лет окажется преувеличенным, и на самом деле должен быть около 2,5-3,0 млн лет. Если отмеченная тенденция на горы не распространяется, то нужно ожидать, что процессы прогибания, свойственные для зарождения Южно-Охотской впадины, охватывали значительно большую территорию - вплоть до Курило-Камчатского глубоководного желоба. На это, скорее всего, указывает тот факт, что наиболее глу-

Рис. 5. Зависимость высоты (h) подводных вулканов от глубины (H) моря-океана, на которой они находятся (построено по данным табл. 3).



бинная часть желоба находится как раз напротив Курильской котловины. Здесь же наблюдается и утонение земной коры (см. рис. 2, б). И уже на фоне этого прогибания (или позже) началось поднятие Курильской гряды.

Следует прибавить, что в ближайшие годы необходимо (а сейчас для этого есть все возможности) провести специальные работы по поиску и комплексному исследованию подводных гор в описываемом регионе. Это значительно уточнит и дополнит наши знания о структурно-геологических особенностях прикурильской части Тихого океана и Охотского моря и позволит быстрее ответить на вопросы, связанные с проблемами происхождения и возраста Курильской (или Южно-Охотской) котловины, истории Охотского моря, островной дуги.

ГЛАВА 2

ПЕТРОХИМИЯ ПОДВОДНЫХ ВУЛКАНИТОВ КУРИЛЬСКОЙ ОСТРОВНОЙ ДУГИ

Петрохимии новейших эффузивов Курильской островной дуги посвящено много работ, основанных на разном по объему и методике обработки фактического материала. Главным образом исследованию подверглись продукты наземного вулканизма. Результаты данных исследований нами будут учитываться, поскольку наши материалы нужно сопоставить с литературными данными и, кроме того, подводные эффузивы нельзя рассматривать в полном отрыве от наземных.

Обзор материала, посвященного петрохимии новейших эффузивов региона, показывает, что неясными остаются некоторые вопросы систематики эффузивов, их пространственного распределения в пределах дуги в целом и отдельных групп островов или вулканов, а также соотношения между сейсмичностью и вулканизмом дуги. Особенно это относится к Курильской островной дуге. Статистически обоснованные результаты имеются в ограниченном ряде источников. Большая же часть генетических построений сделана на основе рассмотрения различных вариационных диаграмм, нередко для весьма малого числа анализов. Предлагаемые классификации эффузивных пород неоднородны, поэтому довольно сложно сопоставить материалы, обработанные авторами различными способами, при отсутствии исходных данных, дискриминаторов для обозначения полей. Сложности сопоставления личных и опубликованных данных становятся иногда просто непреодолимыми: имеются средние величины, но не указаны дисперсии, приведены границы варьирования, но нет данных о средних или модалных величинах и объеме выборки и т.д. Поэтому некоторые из опубликованных петрохимических и геохимических сведений не уда-

лось вовлечь в статистический анализ. Не случайно, что и выводы некоторых авторов о существенных моментах петро- и геохимии новейших эффузивов дуги не согласуются между собой.

Учитывая вышеуказанное, автор был вынужден использовать все виды представления собственных наблюдений: вариационные диаграммы, расчет статистик для выборок больше 5-6 анализов, построение гистограмм и трендов высоких порядков для уточнения некоторых неясных моментов и сопоставления их с литературными данными.

Выводы, полученные только на основе рассмотрения вариационных диаграмм и нестатистическом сравнении средних, учитывались как возможный, но требующий дополнительных расчетов материал. Естественно, что и некоторые статистические выкладки со временем потребуют уточнения.

Остановимся на методике отбора образцов для исследований.

Поскольку значительную часть образцов составили поднятые со дна драгированием, существует большая вероятность "загрязнения" местных эффузивов чуждым материалом, принесенным льдами в зимнее время и отложенным при их последующей разгрузке, а также материалом с островов при различных эрозионных и оползневых процессах и со склонов прибрежных вулканов. Это подтверждается разнородностью материала, поднимаемого зачастую при одноактном драгировании. Для изучения особенностей петро- и геохимии новейших эффузивов региона отбирались образцы только со свежими поверхностями скола или отрыва, а также образцы неизмененных вторичными процессами пород и идентичные по составу породы.

Кроме того, был проведен анализ работ, посвященных ледовому режиму и переносу каменного материала льдами в данной части Тихого океана и Охотского моря /Лисицын, 1961; Атлас ..., 1967/. По А.П. Лисицину, акватория Курильской гряды находится в зоне, где концентрация принесенного льдами каменного грубообломочного материала минимальна (менее 5 кг/м^3), так как в основном он скапливается в местах захвата льдами, т.е. у северо-восточных берегов Охотского моря, о. Сахалин и частью вдоль береговой линии п-ова Камчатка. По мере удаления в сторону моря происходит интенсивная разгрузка льдов. Следовательно, остается только вероятность загрязнения образцов породами с пляжей самих Курильских островов. Но отбраковка чуждых образцов по условиям, изложенным выше, позволяет с большой уверенностью говорить о местном происхождении пород, подвергнутых в дальнейшем исследованию.

Литературные сведения о петрохимии новейших эффузивов

Петрохимия вулканитов дуги в целом. О петрохимических особенностях пород уже упоминалось при характеристике дуги. Но нужно сразу отметить одно обстоятельство: если говорить, что в настоящее время наземный вулканизм Курильской дуги изучен без учета подводного, то, видимо, можно констатировать, что полностью вулканизм не изучен, поскольку вулканы отдельных островов вряд ли

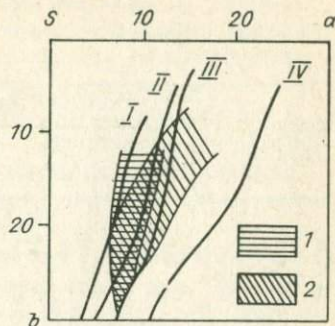
могут характеризовать вулканизм дуги в целом, а подводные вулканы, в сравнении с наземными, имеют более отрывочное и существенно менее полное освещение в петро- и геохимическом плане. Поскольку подводные вулканы нельзя рассматривать в отрыве от наземных, то необходимо остановиться на известных сведениях о петрохимии новейших эффузивов дуги, тем более, что, по-видимому, исследователям удалось установить главные особенности вулканизма и его продуктов в пределах региона. Так, в начале 60-х годов Г.С. Горшковым /1960/ была выделена однотипность вулканизма в пределах дуги. Но было отмечено, что вулканы Большой гряды более щелочные по сравнению с вулканами Малой. Аналогичный вывод был сделан позже петрографами /Мархинин, 1961; Остапенко и др., 1969; Стратула, 1969; Федорченко и др., 1971; Dickinson, 1975; Пискунов, 1975а, б/. Позднее Г.С. Горшков /1967/ показал независимость проявления кислых и средних пород от типа земной коры. Он отметил, что дациты имеются на всех участках дуги: Южные Курилы - вулканы Головнина и Менделеева; Центральные Курилы - кальдера Заварицкого, влк. Ушишир; Северные Курилы - кальдера Немо.

Наиболее последовательно статистически петрохимия неоген-четвертичных эффузивов Курил совместно с Камчаткой рассмотрена в сводке под редакцией Э.Н. Эрлиха /Петрохимия ..., 1966/. С этой работы и начался новый этап изучения петрохимии пород региона с использованием количественных методов обработки наблюдений /Кеппежинская, 1970; Кутолин, 1969, 1972; и др./ Э.Н. Эрлих в отмеченной выше сводке показал, что в зоне Курильских островов присутствуют породы, которые можно отнести к двум типам: Пеле и Лассен-Пик (рис. 6). При этом к первому типу относятся андезиты и более кислые эффузивы, ко второму - породы базальт-андезитового ряда. Наиболее распространены в пределах Большой Курильской гряды андезиты и андезитобазальты и незначительно базальты и кислые вулканы. Так, для вулканов Северной и Южной групп островов характерно преобладание андезитов, а андезитобазальтовый и андезитовый вулканизм в основном отмечен в пределах Центральной группы островов. В результате Э.Н. Эрлих делает вывод, что характер дифференциации подчинен типу вулканов, который преобладает в пределах той или иной зоны. Например, на Центральных Курилах чаще встречаются андезитовые, андезитобазальтовые лавовые вулканы, близкие к щитовому типу, что отражается в резком отклонении вариационных линий данной зоны в сторону повышения щелочности. Изменение кислотности в вулканических породах Курильских островов наблюдается от Центральной группы к однотипным структурам Камчатки и Японии. В то же время щелочно-известковый индекс, степень железистости и кремнеземистость пород изменяются непрерывно и только в одном направлении: вдоль фронта вулканизма от Корякского нагорья до Японии, т.е. щелочно-известковый индекс увеличивается, а основность и общая щелочность пород уменьшаются. Эти параметры не зависят от особенностей тектонического строения различных зон Курил и в целом Курило-Камчатской островной

Рис. 6. Типы дифференциации вулканов мантийного питания Курило-Камчатской вулканической провинции (по Э.Н. Эрлиху /Петрохимия..., 1966/).

1 - стратовулканы; 2 - щитовые и близкие к этому типу вулканы.

I-IV - вариационные линии различных серий пород по А.Н. Заварицкому: I - тип Пеле, II - Лассен-Пик; III - Йеллоустонский парк, IV - Таити.



дуги. Кроме того, сопоставление данных О.Н. Волынца /1969/ о продольной зональности позднемезо-кайнозойских интрузивных образований Курильской островной дуги (увеличение отношения K_2O/Na_2O и уменьшение железистости пород с юга на север) с выводами Э.Н. Эрлиха показывает, что данная тенденция сохраняется и для продуктов четвертичного вулканизма.

Д.С. Стратула /1969/, рассматривая продольные эшелоны и поперечные ряды вулканов, отметил уменьшение среднего содержания кремнекислоты в эффузивах от основания к вершине рядов вулканов, подтвердив этим отмеченную тенденцию Е.К. Мархининым /1967/. Такое изменение кремнеземистости пород он объяснил подкислением среднего состава последних вверх по разрезу и омоложением вулканизма к вершинам рядов. В вулканах всех поперечных рядов и трех продольных (Вернадского - Эбеко, Ловушка - Харимкотан, Головнина - Тятя) наблюдается изменение химизма пород от основания к вершинам рядов вдоль (с юго-запада на северо-восток) и поперек (с юго-востока на северо-запад) дуги, причем в породах с равным содержанием SiO_2 количество окислов калия и магния увеличивается, а суммарного железа уменьшается. Таким образом, Д.С. Стратула показал, что определенные закономерности изменения некоторых черт вулканизма выявляются при изучении не только больших групп островов, но и малочисленных систем, расположенных, например, эшелонами или цепями, отклоняющимися от общего направления дуги. (Под основанием и вершиной ряда Д.С. Стратула подразумевает наиболее близкую и наиболее удаленную от продольной оси дуги части эшелонов.)

Г.П. Вергуновым и А.Ф. Прямухиной /1967/ было показано, что содержание щелочности, кремнезема, железистости, магниезильности, а также TiO_2 и CaO в эффузивах изменяется не только в пространстве, но и во времени. В 1970 г. Э.Н. Казакова отмечала, что к вопросу о петрохимической зональности Курильской дуги надо относиться осторожно, так как Большая и Малая Курильские гряды имеют разные тектонические позиции и истории развития. В целом

Таблица 3. Средний химический состав вулканических пород Курильских островов (по данным В.И. Федорченко, Р.И. Родионова /1975/)

Компонент	Большая гряда					Малая гряда	
	1 (71)	2 (108)	3 (134)	4 (49)	5 (12)	1 (1)	2 (1)
SiO ₂	49,74	54,72	54,46	65,11	73,12	50,73	53,44
TiO ₂	0,83	0,81	0,74	0,70	0,39	0,83	0,99
Al ₂ O ₃	18,62	18,24	17,51	15,56	13,42	17,53	14,64
Fe ₂ O ₃	4,45	3,77	3,38	3,76	1,24	4,70	6,34
FeO	5,59	4,78	3,69	2,51	1,37	5,20	3,96
MnO	0,15	0,15	0,13	0,11	0,08	0,16	0,20
MgO	5,05	3,90	3,00	1,69	1,34	6,59	5,83
CaO	9,87	8,52	6,88	4,66	2,16	9,17	8,61
Na ₂ O	2,40	2,75	2,91	3,42	3,15	3,37	3,37
K ₂ O	0,85	1,10	1,52	1,22	1,37	0,60	0,86
P ₂ O ₅	0,18	0,15	0,11	0,15	0,10	0,10	0,17
K ₂ O/Na ₂ O	0,35	0,40	0,52	0,36	0,43	0,18	0,25

Примечание. 1 - базальты, 2 - андезитобазальты, 3 - андезиты, 4 - андезитодациты, 5 - дациты. В скобках здесь и далее в таблицах - количество образцов.

Э.Н. Казакова подтвердила выводы Э.Н. Эрлиха относительно зональности химизма четвертичных пород Курильской области, фиксируемой по повышенной щелочности пород северной группы островов, и отметила закономерное изменение отношения K_2O/Na_2O . Так, в породах Центральных, Южных и Северных Курил это отношение равно 0,1-0,2; 0,2-0,3 и 0,3-0,4 соответственно.

В 70-х годах В.И. Федорченко с соавторами отметил отличие пород Малой и Большой гряд Курильских островов. Так, оказалось, что эффузивы Большой гряды характеризуются меньшей щелочностью, большей глиноземистостью, а в продуктах Малой гряды существует тенденция к обогащению железом при незначительном изменении содержания SiO_2 /Федорченко, 1972; Федорченко, Родионова, 1975/ (табл. 3). В.И. Федорченко и др. подтвердили выводы Г.С. Горшкова и Э.Н. Эрлиха и отметили, что Курильская дуга представляет собой типичную область проявления андезитового вулканизма.

Впоследствии Б.Н. Пискунов /1975а, б/ разделил вулканы Курильских островов на известковый, известково-щелочной и субщелочной ряды, отчетливая поперечная зональность в распределении которых, коррелируемая с глубиной до сейсмофокальной зоны, была подтверждена А.И. Абдурахмановым /1980/. По минеральному и химическому составу вулканические продукты Большой Курильской гряды, по Б.Н. Пискунову, разделяются на два типа ассоциаций: породы Главной зоны (ряд базальт – риолит) объединяются в андезитовую формацию, а Западной (щелочно-оливиновые базальты и трахиандезиты) – в трахиандезитовую. Несмотря на данное отличие, породы этих зон обладают большей глиноземистостью, что “позволяет рассматривать всю совокупность пород Большой гряды как ассоциацию пород высокоглиноземистой серии” /Пискунов, 1975б, с. 178/. Б.Н. Пискунов сравнил составы четвертичных пород Большой Курильской гряды (табл. 4) и выяснил, что содержания окислов в породах островов зон Курильской дуги различаются.

В конце 70-х годов опубликованы работы В.А. Попеко и др. /1978а, б, 1979/, в которых построены петрохимические тренды для Курило-Камчатской островной дуги в целом и отдельных ее частей (рис. 7). При построении трендов ими использовались данные по петрохимии наземных и подводных эффузивов. Некоторые выводы этих авторов относительно петрохимической зональности продуктов вулканизма региона также согласуются с качественными построениями петрологов по пространственным неоднородностям в составе четвертичных эффузивов.

Значительный вклад в познание петрохимии четвертичных вулканических пород Курильской островной дуги был сделан А.И. Абдурахмановым /1980/, который основное внимание уделил вопросам зональности вулканических пород региона. Так, он отметил, что, несмотря на образование продуктами четвертичного вулканизма широкого ряда (от базальтов до риолитов), общим их свойством являются большая глиноземистость и пониженная титанистость. Основные представители эффузивов – породы субщелочного ряда (согласно индексу классификации I Б.Н. Пискунова), для которых характерно отсутствие дифференциатов кислого и ультракислого составов. Для этого ряда отмечены пониженные содержания закисного железа, причем в базальтах содержится большое количество MgO , в то время как в андезитобазальтах оно резко падает (табл. 5).

В целом, по данным Л.Л. Леоновой /1979а, б/, курильские вулканы в сравнении с камчатскими (имеются в виду вулканы равной кремнекислотности) характеризуются меньшими содержаниями K , Na , Al и Ca и большими – Fe и Mg .

Сведения о петрохимии подводных вулканических пород. Первые сведения о подводных вулканических породах были чисто геоморфологического описательного характера. В связи с началом драгирования начался новый этап изучения подводного вулканизма Курильской островной дуги. В результате появились сведения о составе эффузивов, особенностях их проявления, минералогии и т.д. Одними из самых первых в этом плане были работы Г.С. Горшкова /1967/ и В.Ф. Ерохова и др.

Таблица 4. Основные породообразующие окислы в четвертичных лавах Курильских островов (по данным Б.Н. Пискунова /1975а, б/)

Компонент	Кунашир (35)	Итуруп (38)	Уруп (31)	Симушир (37)	Центральные Курилы (63)
SiO_2	60,38/5,86	59,41/5,46	59,01/4,68	59,20/5,26	57,09/4,85
Al_2O_3	16,33/1,90	16,38/1,79	17,59/2,05	16,88/1,91	17,07/1,67
$\Sigma \text{Fe, Mn}$	7,76/2,40	7,66/2,77	7,20/1,85	7,64/1,89	8,36/1,74
MgO	2,65/1,29	3,16/1,29	2,96/1,54	3,01/1,22	3,66/1,12
CaO	6,87/2,17	6,97/2,62	7,42/1,98	7,00/2,07	7,67/1,67
Na_2O	2,86/0,62	2,80/0,69	3,14/0,40	3,32/0,64	3,36/0,56
K_2O	0,76/0,36	0,85/0,42	0,89/0,31	0,96/0,36	1,01/0,40
$\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$	27,07/12,10	33,83/14,30	28,02/9,39	29,74/11,78	31,40/10,75

Примечание. $\Sigma \text{Fe, Mn} = \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MnO}$. В числителе приведены средние содержания, в знаменателе - стандартные отклонения.

Таблица 5. Петро-геохимические составы четвертичных вулканитов Курильской островной дуги (по данным А.И. Абдураманова /1980/)

Компонент	I			II			III			IV	
	1(312)	2(313)	3(178)	1(306)	2(308)	3(305)	1(306)	2(277)	3(277)	1	2
SiO ₂	50,69	51,33	49,34	54,79	54,88	55,17	60,11	59,34	58,84	64,36	64,72
TiO ₂	0,56	0,92	0,75	0,54	0,80	0,62	0,55	0,69	0,52	0,40	0,46
Al ₂ O ₃	18,22	18,49	19,07	18,34	17,90	17,85	17,00	16,36	17,05	15,85	15,66
Fe ₂ O ₃	4,00	3,71	3,70	3,65	3,29	3,61	3,07	3,11	2,82	2,98	1,84
FeO	7,23	6,86	5,99	5,59	6,18	4,43	5,24	5,23	4,27	4,05	4,11
MgO	4,82	4,31	5,37	4,04	3,77	4,16	3,06	3,22	3,05	2,12	1,67
CaO	10,79	10,05	9,68	8,96	8,12	8,01	6,50	6,77	6,51	5,09	5,34
Na ₂ O	2,28	2,78	3,12	2,70	3,24	3,28	3,32	3,50	3,63	3,81	4,34
K ₂ O	0,40	0,67	1,83	0,50	0,96	2,00	0,56	1,22	2,34	0,82	1,27
Li ₂ O	9,40	13,20	14,20	12,10	15,20	17,50	17,60	19,50	21,90	19,50	20,80
Rb ₂ O	5,40	8,90	35,70	5,70	13,10	43,20	6,80	20,80	47,00	9,50	15,70
Sr	256,4	265,5	407,7	193,3	256,3	353,1	156,2	215,0	430,0	125,0	208,0
V	297,2	319,1	394,4	275,3	264,3	232,5	192,2	201,4	179,2	188,6	78,8
Cr	34,9	26,5	43,9	21,7	18,8	41,0	13,1	21,2	35,4	4,7	10,5
Co	21,1	25,9	32,7	18,7	16,4	12,9	13,0	16,1	7,4	9,7	7,6
Ni	20,4	18,8	33,6	21,2	13,0	23,3	11,2	13,1	19,1	7,2	6,6
Sc	42,1	35,8	42,2	32,5	29,2	21,8	35,5	22,9	13,9	39,8	15,8
Cu	78,0	147,9	149,5	47?	120,8	88,4	45?	79,1	74,9	48,5	39,8

Примечание. I - базальты (SiO₂ до 53%); II - андезитобазальты (53-57%); III - андезиты (57-63%); IV - дациты (> 63%). 1-3 ряда: 1 - известковый (I - индекс по Б.Н. Пискунову /1975а/ > 10); 2 - известково-щелочной (I = от +10 до -10); 3 - субщелочной (I < -10). Содержания породообразующих компонентов - вес.%, рассеянных - г/т.

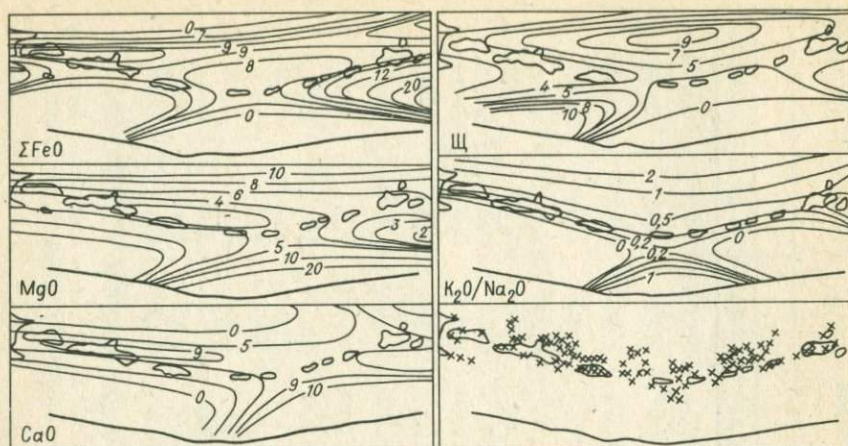


Рис. 7. Карты трендов 4-го порядка петрохимических характеристик четвертичных базальтов Курильской островной дуги (по данным В.А. Попеко и др. /1979/).

Щ = $K_2O + Na_2O$. Крестиками обозначены места отбора образцов.

/1975/, которые приводят петрографические описания и химические анализы пород подводных вулканов Крылатка, Лисянского, Пегас, Вавилова. Затем эти сведения были дополнены результатами исследования пород еще семи подводных вулканов дуги: 162 м, Берга, Архангельского, Белянкина, 960 м, Смирнова, Обручева /Остапенко, 1976, 1978/. В.Ф. Остапенко на основании минералогических, петрографических и химических данных пришел к выводу о принадлежности вулканических пород подводных вулканов к андезитовой формации. Он приводит результаты химического анализа, которые показывают, что среди вулканитов встречаются все разности от базальтов до риолитов. К сожалению, В.Ф. Остапенко не приводит никаких статистических параметров, а оценки встречаемости пород не связывает с их петрохимическими особенностями.

Наиболее полные сведения о петрохимии вулканитов тех же вулканов даны в работе В.Ф. Остапенко и Е.Н. Кичиной /1977/, посвященной вещественному составу лав подводных вулканов Курильской дуги. В ней также отмечено, что среди лав встречаются все разновидности пород андезитовой формации, из них на долю андезитобазальтов, андезитов, базальтов и пород кислого состава приходится 40, 27, 21 и 11% соответственно. Точки составов изученных лав тяготеют к области вариационной линии Лассен-Пик (в отличие от эффузивов наземных вулканов, для которых характерна крайне высокая известковистость – тип Пеле). И только точки составов лав влк. Белянкина смещены правее вариационной линии Йеллоустонского парка (рис. 8). Основная масса исследованных эффузивов принадле-

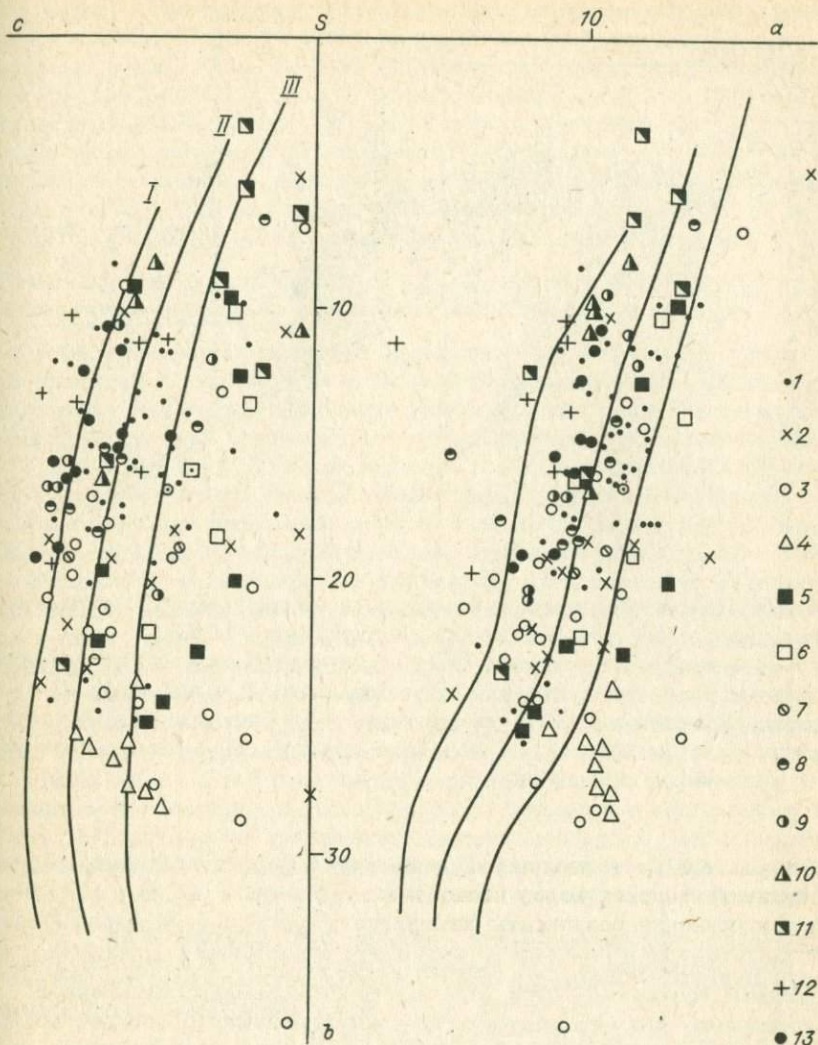


Рис. 8. Диаграмма химических составов лав подводных вулканов Курильской островной дуги (по данным В.Ф. Остапенко, Е.Н. Кичиной /1977/, Е.Н. Кичиной и др. /1980/).

Породы подводных вулканов: 1 - 162 м, 2 - Архангельского, 3 - Берга, 4 - Белянкина, 5 - 960 м, 6 - Обручева, 7 - Смирнова, 8 - Крылатка, 9 - Лисянского, 10 - Пегас, 11 - Вавилова, 12 - Средний, 13 - Случайный. Вариационные кривые: I - тип Пелле, II - Лассен-Пик, III - Йеллоустонский парк.

жит к известково-щелочной серии Тихоокеанского ряда. Характерно, что в породах кислого состава в ходе дифференциации магмы наблюдаются увеличение щелочности и уменьшение роли окиси кальция в

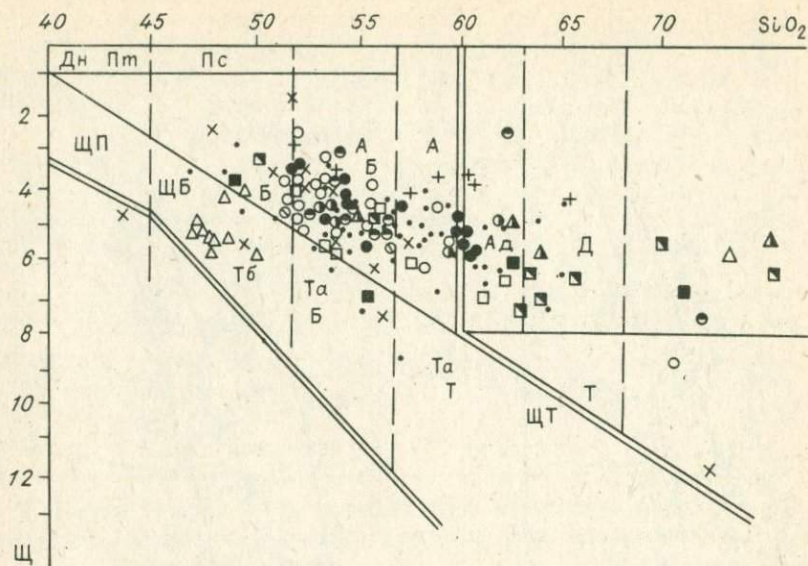


Рис. 9. Положение подводных эффузивов на диаграмме систематически изверженных пород, по А.А. Маракушеву /1973/.

ЩП - щелочные пикриты, ЩБ - щелочные базальты, Тб - трахибазальты, Та - трахиандезиты, Б - базальты, А - андезиты, Д - дациты, Дн - дуниты, Пт - перидотиты, Пс - пироксениты, Л - липариты, Т - трахиты, ЩТ - щелочные трахиты, Ад - андезитодациты. Ост. усл. обозн. см. на рис. 8.

лейкократовой составляющей. Причем окись натрия преобладает среди щелочей (кроме лав влк. Вавилова, в которых $K_2O / Na_2O = 1,0-1,1$), что подтверждает выводы В.Ф. Ерохова и др. /1975/.

В.Ф. Остапенко и Е.Н. Кичина отметили, что в целом подводные вулканы Курильской дуги отличаются от наземных повышенной щелочностью, что отражается и на минералогическом составе подводных пород (в них присутствуют роговая обманка и плагиоклазы более кислого состава). Эффузивы влк. Белянкина относятся к щелочным породам, в результате чего на диаграмме А.Н. Заварицкого и А.А. Маракушева они занимают особое место (см. рис. 8 и 9). На основании результатов исследователи пришли к выводу о наличии определенной петрохимической зональности на профиле Курильские острова - материк, а именно: увеличение щелочности пород в этом направлении. Последнее обстоятельство авторы, исходя из данных Г.С. Йодера и К.Э. Тилли /1965/, объясняют увеличением глубины магмообразования.

В начале 80-х годов сведения о петрохимии пород вулканов Лисянского, Пегас были дополнены исследованиями Е.Н. Кичиной и

др. /1980/, которые привели результаты изучения еще двух подводных вулканов: Среднего и Случайного. Как уже говорилось, эти вулканы и влк. Уратман на о. Симушир составляют единый вулканический хребет длиной около 50 км и шириной до 8 км. По петрографическому и химическому составам породы вулканов сходны с типичными представителями известково-щелочной серии: точки их составов располагаются между вариационными линиями Лассен-Пик и Пеле (см. рис. 8). Для них характерны высокие содержания CaO и Al_2O_3 , $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} > 1,0$, пониженные значения фемической группы.

Отмечено, что в направлении от влк. Уратман к влк. Случайному наблюдается повышение содержания щелочей (за счет K_2O) (правда,

из этой зональности выпадают лавы влк. Среднего, характеризующиеся пониженной щелочностью). Это обстоятельство Е.Н. Кичина и др. связывают также с углублением магматических очагов в западном направлении, хотя отмечают, что не исключена и роль контаминации.

Учитывая большую разнородность в методах обработки материала и другие причины (о чем сказано выше), можно считать бесспорными следующие положения относительно петрохимических особенностей эффузивных пород Курильской островной дуги в целом: 1) в пределах дуги вулканизм однотипен, 2) дуга является областью проявления андезитового вулканизма, а породы ее в целом относятся к двум типам: Лассен-Пик и Пеле, 3) имеется ясная поперечная зональность в составе вулкаников по отношению к простиранию дуги, а именно: увеличение содержания щелочей в них при удалении от глубоководного желоба к континенту, 4) в пределах Курильской дуги имеются продольные неоднородности в составе эффузивов: так, с севера на юг вдоль нее увеличивается железистость пород и уменьшается отношение $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$, 5) вулканики Центральных Курил отличаются от вулкаников Северных и Южных рядом петрохимических черт, 6) состав эффузивов со временем меняется: так, от более древних к молодым в них увеличивается содержание щелочей, кальция и уменьшается количество магния, 7) подводные лавы по сравнению с наземными отличаются повышенной щелочностью и большим тяготением к типу Лассен-Пик, наземные — высокой известковистостью (тип Пеле).

Петрографическое описание подводных пород

Новейшие эффузивы Курильской островной дуги, как подводные, так и наземные, представлены широким спектром пород по составу: от базальтов до липаритов. Для исследований выбирались свежие по облику породы, хотя под микроскопом в шлифах почти во всех образцах, имеющих в нашей коллекции, видны признаки изменения. Эти признаки выражаются в железнении, серицитизации, хлоритизации, опациитизации и т.п. как основной массы, так и минералов-фенокристаллов или порфирировых выделений.

Если за степень раскристаллизованности пород (C_p) принять количество фенокристаллов, то от основных к кислым породам значения C_p увеличиваются почти в два раза: базальты - 15-24%, андезиты - 20-30, дациты - 37-45%. Количество образцов соответственно равно 15, 30, 7 (C_p определялось подсчетом на фотографиях; в каждом образце по 4 замера).

Основные породообразующие минералы пород - плагиоклазы и пироксены. Реже встречаются оливины, роговая обманка, амфиболы, биотит, кварц. Кварц и плагиоклазы составляют салическую часть пород. Плагиоклаз представлен и в порфировых выделениях и в виде микролитов в основной массе. Преобладает андезин, нередко зональный. В породах основного ряда плагиоклаз представлен лабрадором-битовнитом, т.е. имеет основной состав, а в микролитах этих пород андезином - лабрадором. Наблюдается уменьшение содержания плагиоклаза в породах с большей кремнекислотностью. В таких породах плагиоклаз во вкрапленниках представлен более кислыми разностями: андезином, лабрадором.

Кварц встречается только в кислых породах типа дацит, липарит, где его количество достигает иногда более 20% от всего количества минералов.

Наиболее часто встречаются темноцветные минералы - пироксены (авгит, диопсид, гиперстен). Если в породах ряда базальты - андезиты находятся авгит и диопсид, то в кислых пироксены представлены авгитом и гиперстеном. То есть авгит - сквозной минерал, встречающийся во всех по кремнекислотности породах.

Базальты, андезитобазальты, андезиты - это порфировые породы с пористой текстурой. В порфировых выделениях наиболее часто встречаются плагиоклаз, моноклинный пироксен, реже оливин, роговая обманка. В зависимости от состава фенокристаллов различаются двупироксеновые, роговообманковые, оливиновые лавы. В целом моноклинные пироксены преобладают над ромбическими, хотя иногда встречаются и обратные соотношения. Можно отметить, что породы, содержащие оливин и ромбические пироксены, встречаются очень редко. В целом количество фенокристаллов колеблется от 5-10 до 40% при модальном значении 20%.

В основной массе данных пород чаще наблюдаются микролиты пироксена, вулканическое стекло, титаномagnetиты, нередко с сульфидами или в ассоциации с "рудной пылью". Преобладает плагиоклаз, как уже говорилось, более кислого состава. Структура основной массы гиалопелитовая, реже интерсертальная, микролитовая, микрофельзитовая, иногда микродолеритовая.

Более кислые разности лав - кислые андезиты, андезитодациты, дациты, менее разнообразные - липариты. В порфировых выделениях отмечаются плагиоклазы, роговая обманка, биотит, пироксен, иногда кварц. По присутствию последних выделяются двупироксеновые, роговообманковые разности. Здесь четче, чем в основных породах, видно, что в содержаниях роговой обманки и пироксенов преобладают обратные соотношения.

Основная масса кислых пород витрофировая, фельзитовая или микрофельзитовая, интерсертальная, иногда сферолитовая. Представлена она примерно теми же минералами, что и в породах базальт-андезитового состава, причем стекло встречается часто в больших количествах (как и кварц).

В целом можно отметить, что подводные вулканиты Курильской дуги по сравнению с наземными содержат больше роговой обманки, отличающейся повышенной железистостью. Возможно, что последнее обстоятельство связано с тем, что железо предпочтительнее входило в состав роговой обманки во время кристаллизации пород /Larsen e.a., 1963/. Такое обстоятельство объясняет и меньшую железистость пироксенов подводных лав по сравнению с наземными /Остапенко, Кичина, 1977/. Кроме того, необходимо выделить еще одну особенность подводных лав Курильской вулканической дуги, также отмеченную В.Ф. Остапенко, Е.Н. Кичиной. В ортопироксенах содержится больше железа, чем в равновесном с ними оливине (в отличие от выводов Н.Л. Боуэна и Л.Ф. Шейпера /Bowen, Schairer, 1935/, сделанных на основании исследования системы $MgO-FeO-SiO_2$). Такая тенденция, возможно, обусловлена более ранней кристаллизацией оливина в ассоциации оливин - пироксен, т.е. неравновесностью кристаллизации подводных лав в целом. О последнем свидетельствуют и наши данные по изучению рудных минералов и физических свойств указанных вулканитов /Шевченко, 1983/.

Петрохимия продуктов подводного вулканизма

Ввиду объективных причин материалы по изучению петрохимии (и геохимии) подводных вулканитов Курильской островной дуги представлены в виде статистических таблиц, гистограмм, трендов, вариационных диаграмм и т.п. Данный подход к материалу позволил более точно сопоставить выводы, полученные в этой работе, с известными в литературе.

Породы по содержанию кремнезема при исследовании зональности и особенностей их свойств были распределены по группам: $< 55\%$; 55-60, 60-70 и $> 70\%$, т.е. основные, средние, кислые и ультракислые соответственно. Рассматривались только массивные породы, без учета пирокластики, хотя анализы последних фигурируют в результатах петро- и геохимических исследований пород.

Состав подводных вулканитов варьирует в широких пределах, однако доминируют лавы, близкие к типам Пеле и Лассен-Пик, что в целом сопоставляется с химизмом наземных пород Курильской островной дуги (рис. 10; для построения диаграммы А.Н. Заварицкого использовались усредненные анализы образцов как по станциям, так и по районам драгирования). Поля фигуративных точек пород перекрывают поля главных типов магм, что в первую очередь свидетельствует о значительных колебаниях состава пород Курильской дуги, связанных, возможно, со значительной вариативностью минералогии-

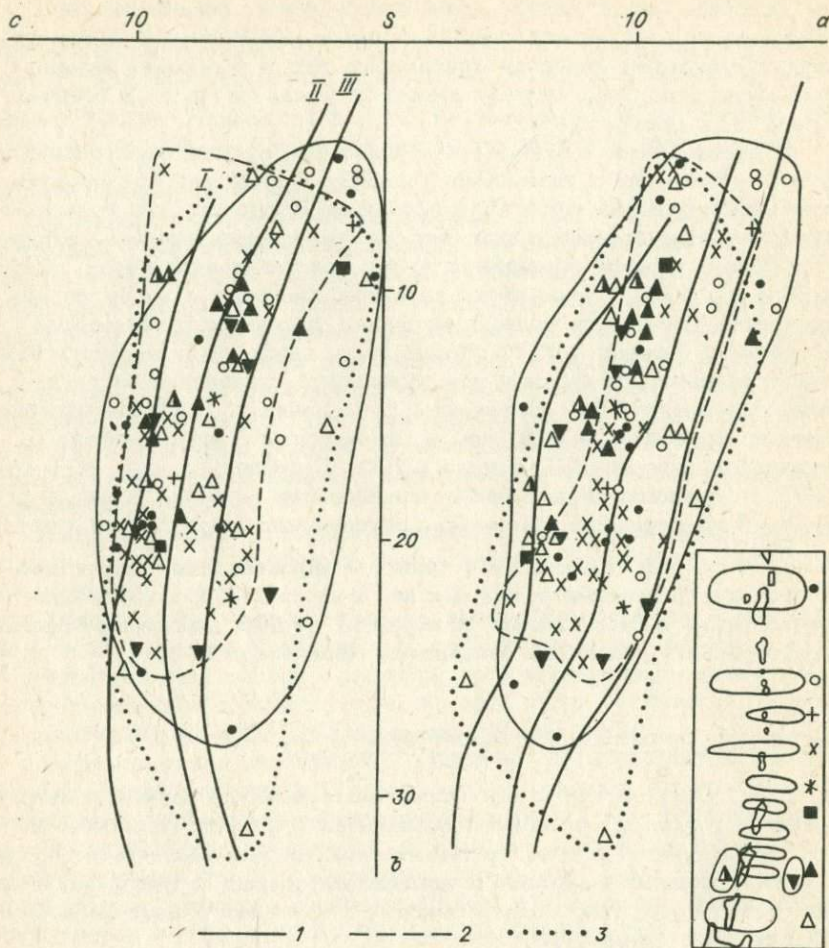


Рис. 10. Диаграммы химических составов (усредненных по участкам драгирования) подводных лав Курильской островной дуги.

Поля фигуративных точек лав: 1 - Северных, 2 - Центральных, 3 - Южных Курил. На врезке - схема участков драгирования, по которым проводилось усреднение химических составов лав и условные знаки, соответствующие участкам. Типы вариационных кривых - см. рис. 6 и 8.

ческого состава. В 70-е годы эти обстоятельства в отношении пород Японской и Курило-Камчатской островных дуг отметили японские исследователи /Aoki, 1968; Kurasawa, 1968; Aoki, Ito, 1969/. В то же время более внимательный анализ данной петрохимической диаграммы показывает, что наблюдается переход составов пород от линии Пеле (более щелочные и менее железистые лавы) к линии Лас-

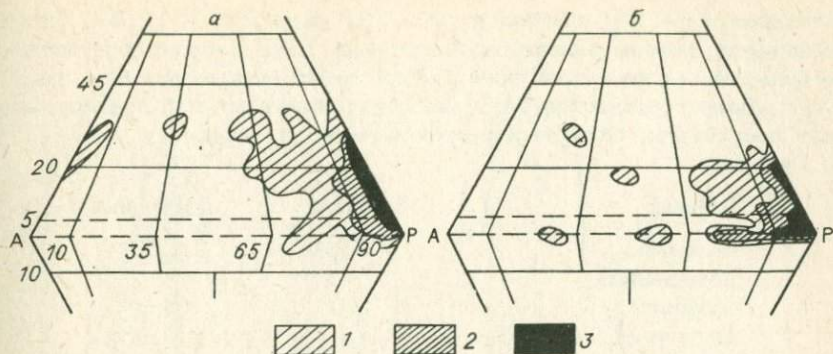


Рис. 11. Поля распространения новейших вулканогенных пород Камчатки и Курильских островов (а – по А. Ритману /1975/, 170 анализов, б – по нашим данным, 500 анализов) на диаграмме Штрекейзена.

Плотность точек: 1-10-20, 2-20-60, 3-60-100%.

сен-Пик (менее щелочные и более железистые лавы) в правой части диаграммы и от линии Лассен-Пик к линии Пеле (от пород с меньшим содержанием глинозема и железа к породам с большим) в левой. Поэтому среди подводных вулканитов можно выделить два типа: с толеитовой и оливин-щелочной тенденциями, что на основании изучения наземных пород отмечалось Б.Н. Пискуновым /1975а, б/. Однако это разделение неоднородно в пространстве. Так, породы Центральных и Северных Курил тяготеют к типу Лассен-Пик, а большая часть "южных" вулканитов укладывается на линию Пеле, т.е. для них характерны меньшая глиноземистость и железистость. Это, принимая во внимание и особенности земной коры в зонах Курильской дуги, позволяет считать состав материнского глубинного субстрата в пределах, по крайней мере, региона оливин-базальтовым, что для Камчатки было предположено В.В. Бабичем /1973/.

Учитывая, что для пород Курильских островов в целом пересчеты по системе А.Н. Заварицкого выполнялись разными авторами, а также недостатки этого метода /Четвериков, 1956; Штейнберг, 1964/, приведем петрохимические пересчеты по методу А. Ритмана /1975/ с использованием диаграммы Штрекейзена (рис. 11,а). Данный метод тоже не лишен недостатков. Например, он исключает возможность совместного нахождения в породах таких минералов, как оливин и кварц.

Сначала нужно отметить, как соотносятся результаты А. Ритмана и наши данные. Так, по А. Ритману, основная часть эффузивных пород Курило-Камчатской островной дуги в целом попадает в крайнюю правую часть диаграммы Штрекейзена, т.е. в поле андезитов, кварцевых андезитов и плаггиоандезитов. Андезиты и кварцевые андезиты составляют примерно 61% от всех пород, латиандезиты и кварцевые

латиандезиты - 13, плагиодациты - 12, риодациты - 12,5%, т.е. доминируют породы андезитового состава. Наши данные по существенно большей выборке дают практически те же результаты (см. рис. 11,б). Петрографическое изучение пород, поднятых при драгировании, дает результаты, близкие к петрохимическому пересчету по А. Ритману:

Порода	В целом	Подводные
Базальты	30,4	13,4
Измененные базальты	3,0	3,3
Андезиты	41,3	63,3
Измененные андезиты	4,3	6,7
Андезитодациты	8,7	-
Дациты	6,5	6,7
Вспененные эффузивы	2,2	-
Базитовые ксенолиты	3,6	-
Диориты	3,3	3,3
Граниты	3,3	3,3

Базитовые ксенолиты взяты из эффузивов вулканов Головнина, Менделеева (о. Кунашир) и соммы влк. Медвежьего (о. Итуруп).

Кремнезем пород Курильской дуги распределен более равномерно по сравнению с вулканитами Камчатки, где содержание его достигает 60-65% (рис. 12). В целом курильские вулканиты оказываются более кислыми, чем камчатские: в Курильской системе преобладают эффузивы с $\text{SiO}_2 = 55-60\%$, а на Камчатке - с $\text{SiO}_2 = 50-55\%$

(не считая "скачка" в кислой области). В пределах самой Курильской островной дуги распределение SiO_2 наземных пород почти сим-

метрично относительно модального значения 55-60%, что наиболее выражено для Центральной группы островов, а породы северной части дуги характеризуются уклонением в "основную", а породы Южных Курил - в "кислую" стороны.

Подводные вулканиты дуги отличаются от наземных тем, что имеют резко асимметричное распределение SiO_2 с уклонением в "кислую" сторону, а модальные значения $\text{SiO}_2 = 50-55\%$. Здесь выделяются вулканиты Северных Курил, похожие на продукты наземного вулканизма данной зоны и по распределению SiO_2 , и по модальным значениям этого параметра. Таким образом, в группе подводных пород отчетливо выделяются вулканиты, с одной стороны, Северных Курил, а с другой - Южных и Центральных.

В целом подводные базальтоиды Курильской дуги похожи по распределению на базальтоиды андезитовой формации по В.А. Кутюлину /1972/, но по сравнению с последними ($\text{SiO}_2_{\text{макс}} = 50-52\%$)

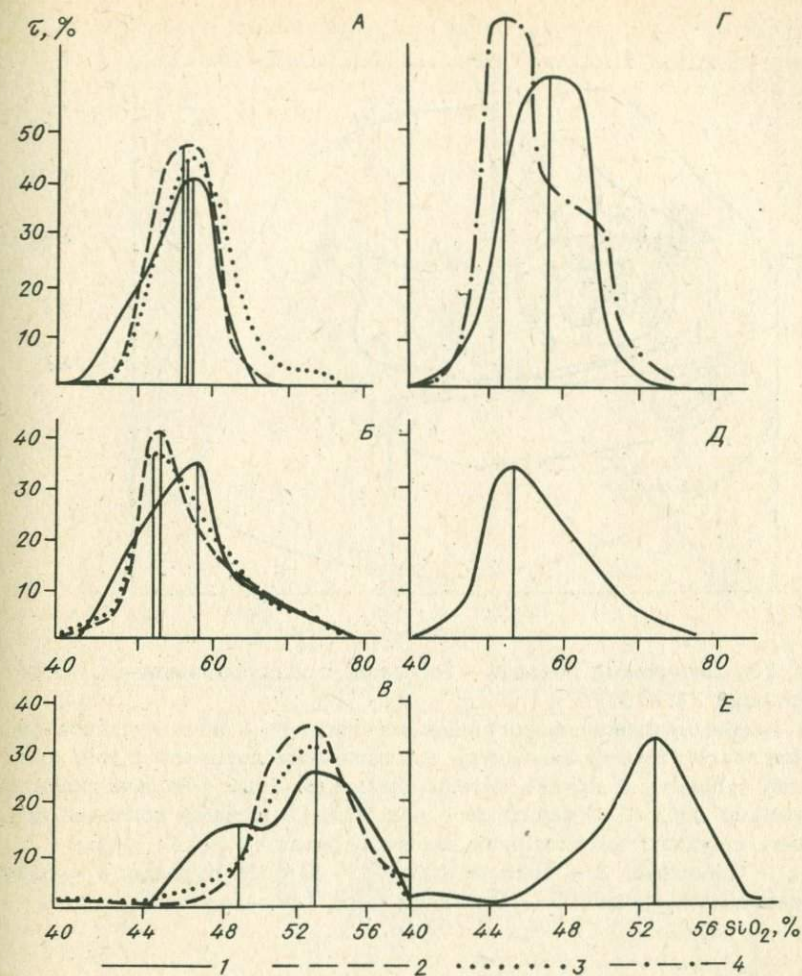


Рис. 12. Гистограммы распределения SiO_2 в новейших эффузивах Курильской островной дуги.

А - наземные, Б - подводные эффузивы, В - базальты различных зон дуги, Г - эффузивы Камчатки и Курил в целом, Д - эффузивы Курильской дуги в целом, Е - базальты Камчатки в целом. Эффузивы: 1 - Северных, 2 - Центральных, 3 - Южных Курил, 4 - Камчатки.

максимум SiO_2 подводных вулканитов приходится на интервал 52-54%, т.е. смещен в более кислую сторону (см. рис. 12), что подтверждает вывод, сделанный выше на основе пересчетов по методу А. Ритмана.

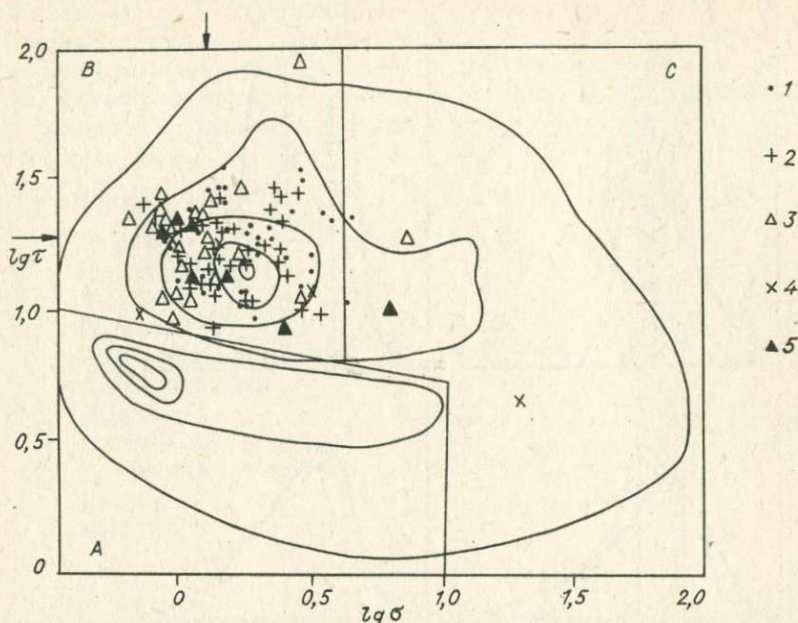


Рис. 13. Диаграмма Готтини - Ритмана (с использованием данных А. Ритмана /1965/).

А - лавы вулканов неорогенных регионов; В - лавы вулканов орогенных поясов и островных дуг; С - щелочные дериваты тех и других лав (трахиты и другие породы, натровые типы которых связаны с породами поля А, а калиевые - поля В). Стрелками показано положение среднего высокоглиноземистого базальта по Х. Куно.

1 - Северные, 2 - Центральные, 3 - Южные Курилы; 4 - район глубоководного желоба; 5 - Охотское море (юго-западная часть).

Исследователями показано четкое различие вулканитов неодинаковых по тектоническому положению зон: орогенных и неорогенных /Ритман, 1975/. Мы воспользовались общепринятой диаграммой Готтини - Ритмана, составленной по значениям τ и σ (рис. 13), где

$$\tau = (\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Na}_2\text{O}) / \text{TiO}_2 \quad (\text{вес.}\%),$$

$$\sigma = (\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})^2 / (\text{SiO}_2 - 43) \quad (\text{вес.}\%).$$

Все подводные породы Курильской островной дуги попадают в поле В, т.е. в поле вулканов орогенных поясов и островных дуг, причем максимум точек $\tau - \sigma$ этих пород совпадает с положением среднего высокоглиноземистого базальта по Куно. Таким образом, учитывая последнее обстоятельство, а также количественное соотношение пород в нашей коллекции и данные, полученные при расчете

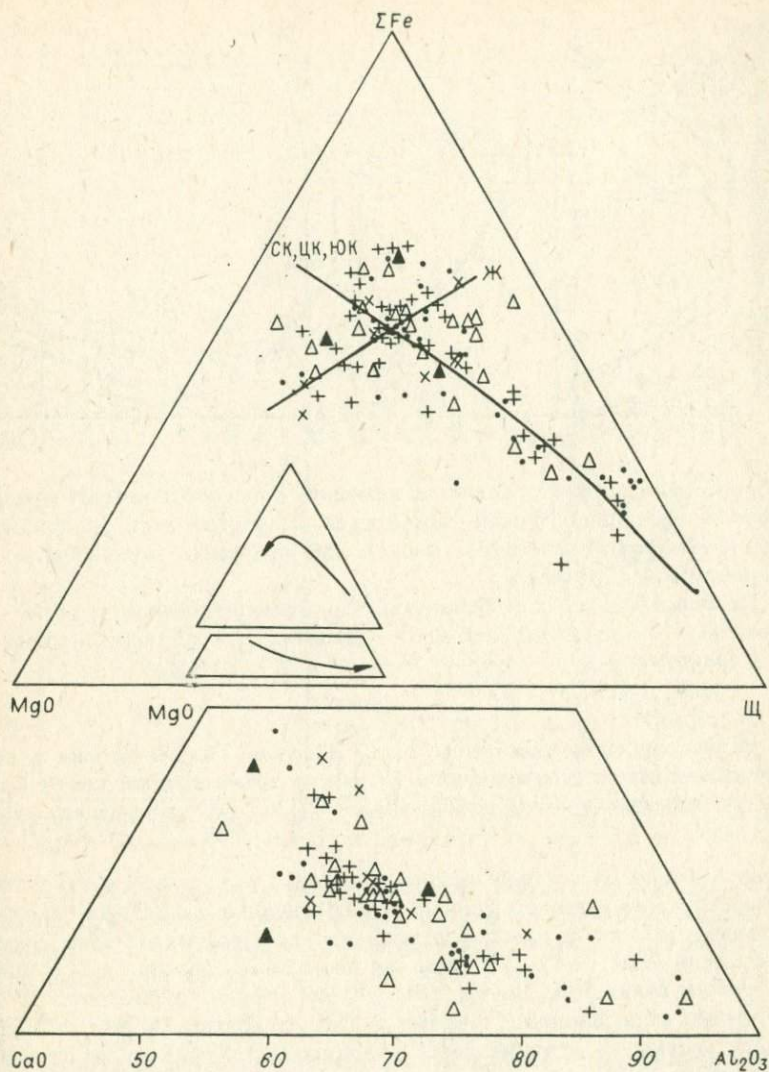


Рис. 14. Дифференциация подводных вулканитов Курильской дуги в системах $MgO-\Sigma Fe-\text{Щ}$ (вверху) и $CaO-MgO-Al_2O_3$ (внизу).

СК, ЦК, ЮК, Ж - вариационные линии пород, драгированных в районе Северных, Центральных, Южных Курил и глубоководного желоба соответственно. Усл. обозн. см. на рис. 13. На врезке показаны средние изменения основности пород от кислых к основным.

τ и δ , нужно признать правильным вывод А. Ритмана /1975/ о том, что "многие из так называемых высокоглиноземистых базальтов ... являются андезитами" (с. 23).

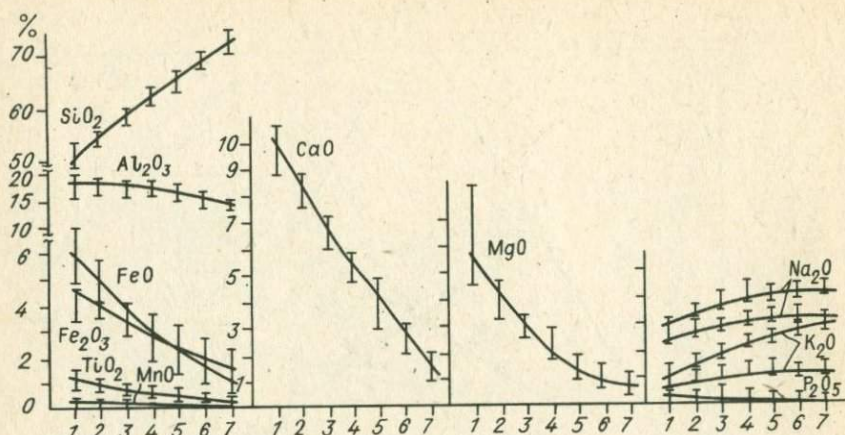


Рис. 15. Изменение средних содержаний породообразующих окислов в разных эффузивах Курило-Камчатской островной дуги (с добавлением разновозрастных серий: неогеновой - Курилы, алнейской и анавайской - Камчатка).

По оси абсцисс: 1 - базальты, 2 - андезитобазальты, 3 - андезиты, 4 - андезитодациты, 5 - дациты, 6 - липаритодациты, 7 - липариты.

Дифференциация вулканитов дуги, а также Тихого океана в районе Курильского глубоководного желоба и юго-западной части Охотского моря характеризуется накоплением Fe и Al в тройных системах $MgO - (Fe_2O_3 + FeO) - (Na_2O + K_2O)$ и $CaO - MgO - Al_2O_3$ соответственно. Поскольку основную часть пород в пределах дуги составляют андезиты, то данная дифференциация характерна преимущественно для них и для пород всех частей Курильской дуги в равной степени (рис. 14). То есть мы не можем сказать, что в данном случае вулканиты Центральных Курил чем-то отличаются от вулканогенных образований Северных и Южных Курил. Вернее, в одних случаях мы видим отличие пород Центральных Курил от фланговых пород, в других - ни о каком отличии не может быть и речи. Это обстоятельство заставляет считать, что своеобразие вулканизма Центральных Курил обеспечивается, грубо говоря, только мощностью земной коры и связанными с этим физико-химическими параметрами глубинных условий.

Использование известных и собственных данных позволило определить различные вариации средних содержаний породообразующих окислов в различных вулканогенных породах Курильской островной дуги (рис. 15, 16). Оказалось, что если средние содержания окислов в ряду базальт - ... - липарит изменяются одновариантно, то для изменения содержания щелочей в данном ряду наблюдается бивариантность, т.е. породы разделяются на две группы - с явным и неявным увеличением щелочности.

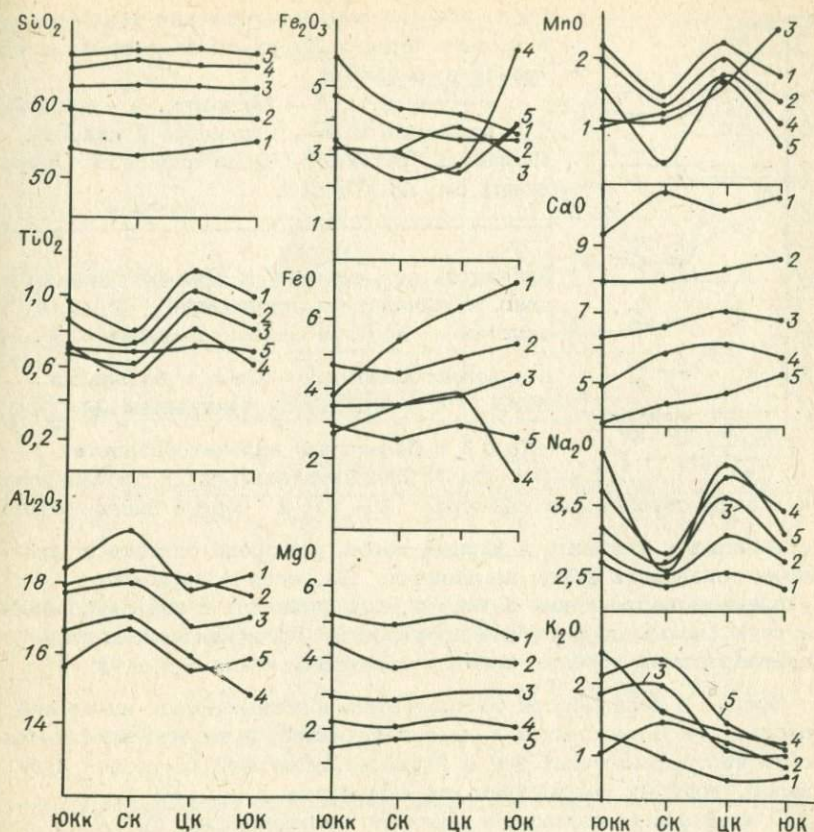


Рис. 16. Изменение средних содержаний окислов вдоль фронта вулканизма Курильской островной дуги от Южной Камчатки (ЮКК) через Северные (СК), Центральные (ЦК) к Южным (ЮК) Курилам.
1 - 5 - см. на рис. 15.

Менее отчетливо выражены пространственные изменения средних содержаний окислов в различных по составу и возрасту породах. Явно увеличивается от Северных к Южным Курилам содержание CaO , менее - Al_2O_3 и уменьшается количество щелочей и MgO . Молодые эффузивы отличаются от древних большим количеством Mn , щелочей и отчасти TiO_2 и MgO и меньшим - Al_2O_3 . Содержание других окислов остается примерно на одном уровне, что подтверждает правдоподобность вывода о синхронности составов верхне-неогеновых и четвертичных лав /Огородов и др., 1972; Пискунов, 1975а, б/.

Что касается вариаций окислов в различных по основности породах, то можно отметить следующее: в базальтах, андезитобазальтах,

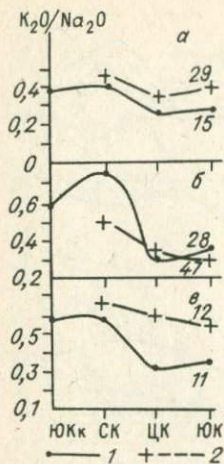


Рис. 17. Изменение отношения K_2O/Na_2O в разных породах Курильской системы вдоль фронта вулканизма.

а — базальты, б — андезиты, в — дациты. 1 — наземные и 2 — подводные вулканиты. Цифры на графиках — число анализов. Сокращения см. на рис. 16.

андезитах от Северных к Южным Курилам явно увеличивается содержание FeO , в дацитах — MgO , в андезитодацитах — Fe_2O_3 , в андезитобазальтах — CaO , в базальтах — SiO_2 и уменьшается количество Fe_2O_3 , MgO в базальтах, андезитобазальтах, Al_2O_3 — в андезитобазальтах и андезитодацитах. Таким образом, на примере Fe_2O_3 и MgO видна четкая специализация основных и кислых пород, т.е. роль окислов с изменением основности пород изменяется: так, если содержание в указанном направлении падает в ряду базальты и андезитобазальты, то в кислых породах оно повышается. Подобная тенденция в разновозрастных породах явно прослеживается для MgO и TiO_2 .

Вопрос о зональности состава вулканогенных пород интересен, поскольку он имеет выход и на генетические, и на металлогенетические черты различных зон и Курило-Камчатской островной дуги в целом, поэтому рассмотрим его подробнее.

С этой целью исследуем вариации отношений K_2O/Na_2O вдоль дуги с севера на юг (рис. 17) и изменение содержаний щелочей поперек и вдоль дуги в целом и в шести профилях (рис. 18).

Значения отношений K_2O/Na_2O изменяются в данном направлении, причем наиболее калиевыми оказываются вулканиты Северных Курил. Это характерно и для наземных, и для подводных пород, причем такая тенденция в породах базальтового ряда, по сравнению с андезитами и дацитами, выражена значительно слабее.

В целом содержание щелочей вдоль фронта вулканизма с севера на юг уменьшается. Это не выполняется только для ультракислых пород с содержанием SiO_2 более 75%. Латеральные вариации щелочности лав поперек дуги здесь оказываются более сложными. Так, если с востока на запад в пределах всей дуги обнаруживается (и подтверждается) увеличение в лавах содержания щелочей, то при исследовании вариаций на локальных участках (шести профилях) выяснилось, что явно увеличивается в данном направлении количество щелочей в первом и пятом профилях (см. рис. 18). Для лав второго профиля в том же направлении намечается уменьшение щелочности. Причем на одном профиле (например, третий профиль) могут быть

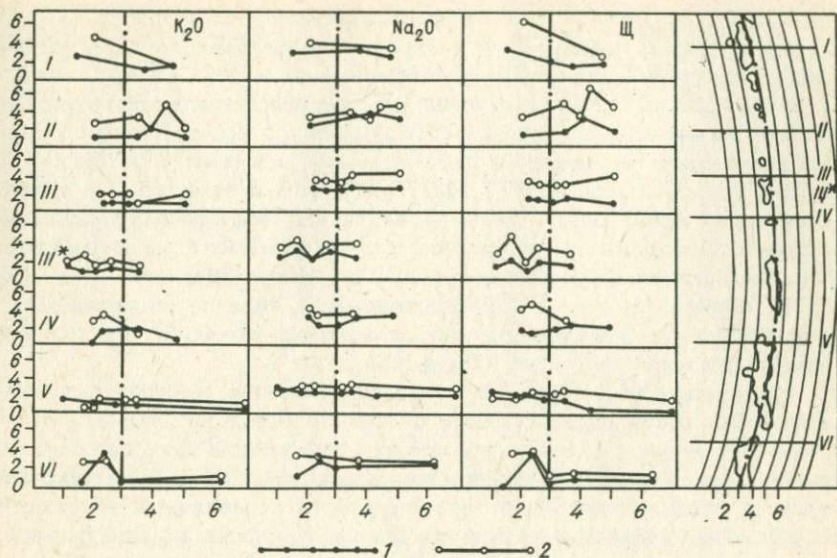


Рис. 18. Вариации содержания щелочей в лавах Курильской островной дуги (с использованием данных В.Ф. Остапенко и Е.Н. Кичиной /1977/; Кичиной и др./1980/). Породы: 1 - $\text{SiO}_2 < 57\%$, 2 - $\text{SiO}_2 > 57\%$. Щ - $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$. I-IV - профили. Справа - схема расположения профилей.

различные вариации содержания щелочей в лавах подводных и наземных (см. рис. 18).

В результате мы не можем говорить, что на Курилах подтверждается общее увеличение щелочности пород на профиле островная дуга - континент. Твердо говорить о полученных вариациях, видимо, еще рано, поскольку в какой-то степени материал неоднороден и мала выборка. Однако имеющиеся данные подтверждают сложность явлений петрохимической зональности, например, такие данные полученные нами на востоке Камчатки, а также при изучении вариаций состава базальтоидов в зоне сочленения Курильской островной дуги и Центральной Камчатки /Шарапов, Шевченко, 1979/. О сложности явлений петрохимической зональности свидетельствуют и противоречивые взгляды исследователей на вопрос об изменении щелочности пород рассматриваемых структур. Так, для Курило-Камчатской островной дуги предполагается закономерное изменение состава эффузивных пород вкрест ее простирания (увеличение содержания щелочей с удалением от глубоководного желоба в направлении к матерiku). Этот факт признается всеми, но одни представляют щелочность пород как постепенно меняющуюся от оси сейсмофокальной зоны, другие отрицают наличие такой зональности при прямой корреляционной связи между составом пород в отдельных участках вулканических поясов и расстоянием до оси желоба или сейсмофокальной зоны. Так, в Курильской островной дуге Д. Диккинсон

/Dickinson, 1975/, а также Н. Нильсон и Н. Стойбер /Nilson, Stoiber, 1973/ обнаружили слабую корреляцию между содержанием щелочей в породах и расстоянием до желоба. В.А. Попекко и др. /1978а, б, 1979/ не нашли связи между трендами петрогенных компонентов и глубиной сейсмофокальной зоны. Противоположные результаты мы видим в работах Б.Н. Пискунова /1975а, б, 1976/. Л.Л. Леонова /1977, 1979а, б/ также сомневается в наличии ясной зональности среди четвертичных эффузивов Курильских островов. Осторожно о конкретном виде зональности высказываются Э.И. Пополитов и О.Н. Волынец /1981/. Нами /Шарапов, Шевченко, 1979; Шарапов и др., 1981/ подтверждено наличие поперечной петрохимической зональности (по содержанию щелочей), по крайней мере, в центральной части Курильской дуги.

Нет одинаковых взглядов и на распределение различных петрохимических типов вулканогенных неоген-четвертичных пород на Камчатке. Здесь также при увеличении содержания щелочей с удалением от оси желоба к континенту можно наблюдать неодинаковый характер этой качественной закономерности в различных участках полуострова. Поскольку структуры Южной Камчатки во многом сопоставляются со структурами Курильской системы, для нас интересны данные и по этой зоне. Так, Н.В. Огородов и др. /1972/ в пределах Южной Камчатки установили постепенный характер изменения содержания щелочей в лавах с удалением от глубоководного желоба. Нами же обнаружено, что здесь в районе Мутновского блока (а точнее на профиле влк. Мутновский - влк. Горелый - влк. Ипелька) состав пород изменяется скачкообразно.

Указанная аномалия коррелируется с особенностями структурного контроля вулканизма в пределах сейсмофокальной зоны этого фрагмента островной дуги. О возможных причинах "аномалии" будет сказано в гл. 5.

Иная, по сравнению с Южной Камчаткой, картина обнаруживается на широте Кроноцкого полуострова и Кроноцкого залива /Попекко и др., 1978а; Пополитов, Волынец, 1981/. Здесь как будто вообще отсутствует какая-либо зональность, хотя в пределах Западного вулканического пояса установлены эффузивы с максимальной концентрацией щелочей /Гузиев, 1973/.

Зональность в составе вулканических пород наиболее четко может быть выявлена в однотипных группах пород, проявленных во всех структурных зонах вулканической дуги. Такими породами являются базальты и андезитобазальты. Статистические данные для них получены В.В. Кепежинским /1970/ по всей территории Курило-Камчатской островной дуги и ее отдельных звеньев, а для Южной Камчатки были дополнены новыми результатами /Огородов и др., 1972; Магматизм ..., 1979; Шарапов, Шевченко, 1979/. На их основе для локального участка Южной Камчатки были построены тренды K_2O и Na_2O (рис. 19). Это удалось осуществить и благодаря любезности О.Н. Волынца, предоставившего нам неопубликованные анализы базальтов Толмачевского дола. На рис. 19 показано

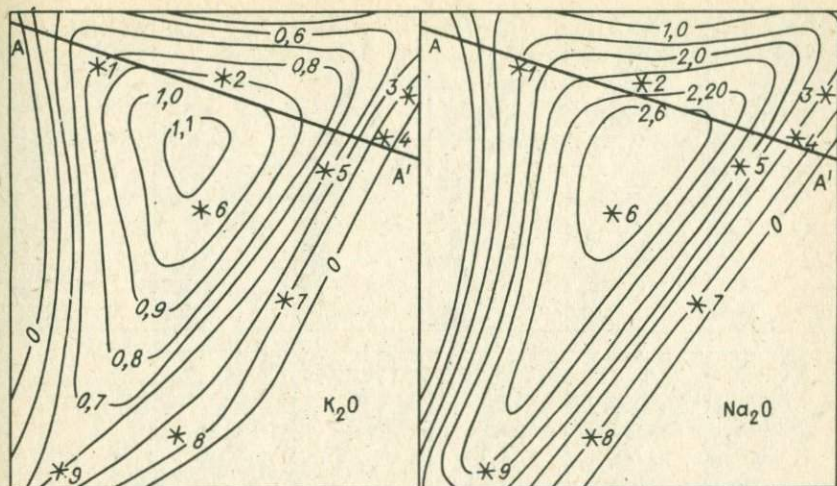


Рис. 19. Тренды K_2O и Na_2O для основных пород Южной Камчатки (здесь и далее - тренды 4-го порядка). 1-9 - вулканы: 1 - Бол. Ипелька, 2 - Опала, 3 - Вилейчик, 4 - Мутновский, 5 - Асача, 6 - Саван, 7 - Ходутка, 8 - Желтовский, 9 - Камбальный.

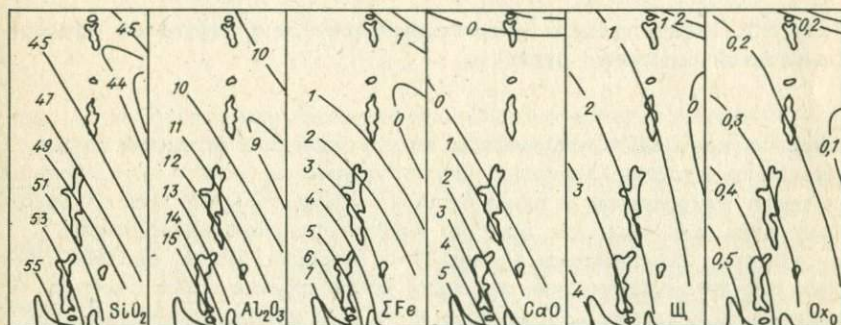


Рис. 20. Карты трендов петрогенных компонентов в эффузивах Южных Курил.

Здесь и дальше на рис. Щ = $K_2O + Na_2O$, Ox_0 - окисленность пород ($FeO/FeO + Fe_2O_3$).

положение гипоцентров разрывов, на которых получен "скачок" щелочности пород.

О характере распределения петрогенных компонентов в эффузивах Курильской островной дуги можно судить и по трендам. Для построения последних использованы анализы подводных и наземных пород. Чтобы выделить наиболее вероятную область распространения

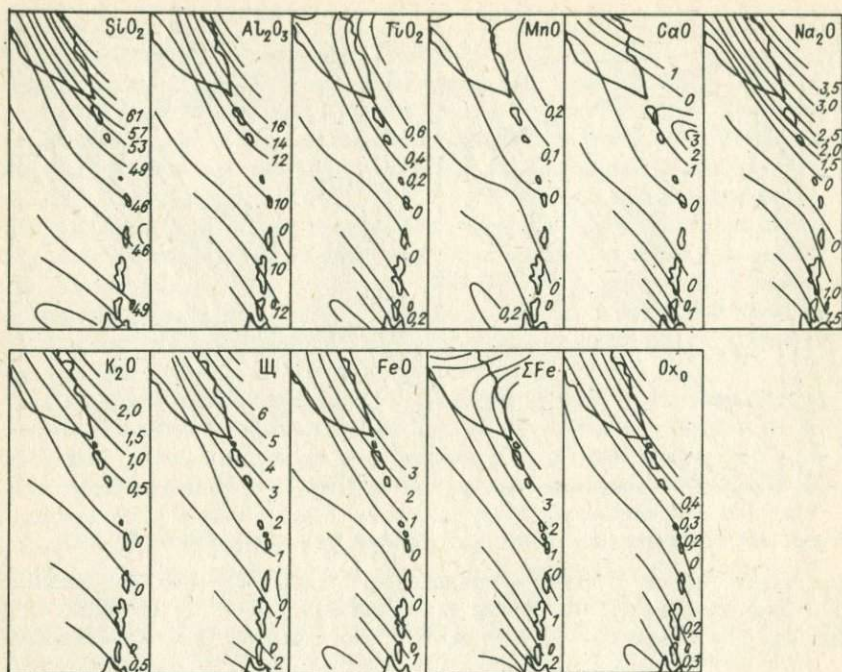


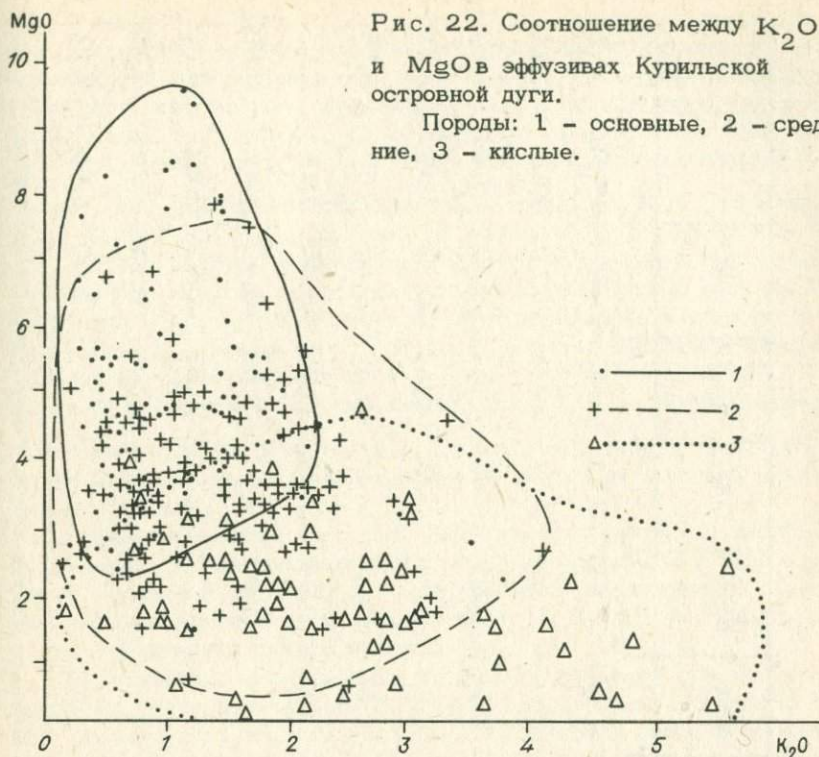
Рис. 21. Карты трендов петрогенных окислов в эффузивах Курило-Камчатской островной дуги.

новейших подводных эффузивов дуги, по границам исходной сетки задавались нулевые значения. Это позволило избежать максимальных значений компонентов в вулканитах на тренд-поверхностях за пределами дуги, т.е. там, где вряд ли находятся новейшие эффузивы.

На рис. 20 показаны тренды 4-го порядка. Из их анализа следует, что петрохимические изолинии почти симметричны севернее и южнее о. Симушир. Характерно и то, что изолинии трендов всех компонентов "секут" основные морфоструктуры островной дуги и приблизительно совпадают с направлением "поперечных" северо-западных нарушений, по которым сформировались подводные гряды вулканов.

Появление подобных тенденций в трендах петрогенных компонентов может быть связано с наличием известной поперечной и продольной зональности новейшего магматизма в данном регионе. Интересно, что минимальные значения изолиний трендов SiO_2 , Al_2O_3 , ΣFe , CaO , $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$, $\text{Fe}_2\text{O}_3 / \Sigma\text{Fe}$ приходится на Центральные Курилы.

Сказанное выше для участка от Центральных до Южных Курил подтверждается и при анализе карт трендов петрогенных окислов в эффузивах Курило-Камчатской островной дуги в целом (рис. 20).



Так, если направление изолиний трендов совпадает с ориентировкой структур Камчатского полуострова (кроме трендов $\Sigma Fe, TiO_2, MnO$, изолинии которых резко изгибаются почти под прямым углом в сторону океана), то структуры Курильской дуги эти изолинии секут под определенным углом. Минимальные значения окислов приходится также на область Центральных Курил. Отмечается максимум содержания восточнее северной группы Курильских островов. Характерно, что между указанными выше окислами $\Sigma Fe, TiO_2, MnO$ имеется и положительная корреляция: $r_{TiO_2-Fe_2O_3, FeO, MnO} = 0,36; 0,55; 0,36$, $r_{MnO-Fe_2O_3, FeO} = 0,28; 0,24$ (табл. 6).

В целом исследование статистик для новейших эффузивов Курильских островов показывает следующие соотношения (см. табл. 6). Здесь, кроме очевидных типа $r_{SiO_2-MgO} = -0,81$; $r_{SiO_2-Fe_2O_3, FeO} = -0,59; -0,61$, интересны следующие соотношения: $r_{MgO-K_2O, Na_2O} = -0,42; -0,59$; $r_{K_2O-Fe_2O_3, FeO} = -0,33; -0,34$; $r_{Na_2O-Fe_2O_3, FeO} = -0,34; -0,37$.

Отрицательная корреляция щелочей с окислами магния и железа

Таблица 6. Статистика петрохимических данных для подводных пород Курильской дуги

Компонент	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	\bar{X}	D
SiO ₂	1,00	-0,58	-0,43	-0,59	-0,61	-0,50	-0,81	-0,82	0,58	0,48	57,09	42,50
TiO ₂		1,00	0,08	0,36	0,55	0,36	0,40	0,47	-0,14	-0,29	0,85	0,11
Al ₂ O ₃			1,00	0,03	0,31	0,28	0,08	0,41	-0,24	-0,19	17,44	3,25
Fe ₂ O ₃				1,00	-0,03	0,24	0,54	0,42	-0,34	-0,33	3,47	2,43
FeO					1,00	0,52	0,40	0,58	-0,37	-0,47	4,60	6,18
MnO						1,00	0,34	0,43	-0,24	-0,40	0,18	0,01
MgO							1,00	0,64	-0,59	-0,42	3,27	3,36
CaO								1,00	-0,57	-0,59	6,22	6,33
Na ₂ O									1,00	0,24	3,20	0,50
CaO										1,00	1,50	1,28

Примечание. \bar{X} - здесь и далее в таблицах - среднее арифметическое значение, D - дисперсия.

петрогенетически примечательна для пород Курильской островной дуги, поскольку в данном случае требует дополнительного обоснования известный в литературе тезис о связи глубины выплавки базальтов с их петрохимическими характеристиками. Если бы существовала такая связь, то следовало бы ожидать, по крайней мере, положительную корреляцию между K_2O и MgO . Указанное отчетливо видно и на рис. 22. Некоторые исследователи (например, В.Ф. Остапенко, Е.Н. Кичина /1977/), ссылаясь на данные Г.С. Йодера и К.Э. Тилли /1965/, объясняют увеличение щелочности пород в направлении Курильские острова – материк большей глубиной магмообразования под структурами материков. Этот вывод не согласуется с нашими данными. Кроме того, последние находки высококальциевых базальтов на восточном фланге Камчатки /Балуев и др., 1984/ и вулканитов с повышенным содержанием щелочей (K_2O), драгированных восточнее дуги на станциях 120, 116, 1090 ($K_2O = 5,57; 4,56; 3,76$ соответственно), также свидетельствуют не в пользу вышеуказанного вывода.

Перекрытие полей (см. рис. 22) связано, видимо, с наличием в коллекции промежуточных пород: андезитобазальтов и андезитодацитов. Наземные вулканиты, по сравнению с подводными, содержат меньше щелочей и, по данным табл. 3, 5, для них характерна менее выраженная глиноземистость (см. рис. 18).

Естественно, что для пород отдельных вулканов статистические выкладки будут отличаться (см. Приложение, табл. 1). Однако общие особенности, отмеченные выше, сохраняются, хотя среднее содержание SiO_2 в породах этих вулканов может колебаться в широких пределах: от 53 (влк. Архангельского) до 64% (влк. Вавилова). Так, везде наблюдается положительная корреляция SiO_2 со щелочами. Закономерности между вариациями содержания SiO_2 в породах и величиной коэффициентов корреляции SiO_2 с K_2O и Na_2O не обнаруживается. Сохраняется и отрицательная коррелятивная связь SiO_2 с MgO . Наименее высока она в породах влк. Архангельского, где одновременно встречаются и низкие зависимости между MgO и щелочами: $r_{MgO-K_2O, Na_2O} = 0,10; -0,22$.

Породы с низким содержанием SiO_2 , видимо, стоят обособленно от более кислых, как это видно на примере базальтов влк. Белянкина, где $r_{SiO_2-MgO} = -0,03$ и $r_{MgO-K_2O, Na_2O} = -0,19; -0,44$, а между SiO_2 и Al_2O_3 наблюдается положительная корреляция ($r = 0,19$).

К уже отмеченным в предыдущем параграфе положениям относительно петрохимических особенностей новейших эффузивов Курильской островной дуги можно прибавить следующие:

1) курильские вулканиты более основные и характеризуются более нормальным распределением SiO_2 , чем Камчатские;

2) среди подводных вулканитов существуют две группы или разновидности пород: с толеитовой и оливин-щелочной тенденциями. Породы Центральных и Северных Курил тяготеют к типу Лассен-Пик (менее щелочные и более железистые), а Южных – ближе к типу Пеле (более щелочные и менее железистые);

3) дифференциация вулканитов дуги характеризуется накоплением Fe и Al в системах MgO-ΣFe-щелочи и CaO-MgO-Al₂O₃ соответственно;

4) существует петрохимическая зональность в пределах всей Курильской островной дуги, включая и ее подводную часть. В целом средние содержания щелочей падают с севера на юг. Но существуют определенные отклонения от канонической формулировки закономерности изменения щелочности базальтоидов вкрест простирания Курило-Камчатской островной дуги, при этом щелочность базальтоидов может меняться скачком;

5) вдоль фронта вулканизма с севера на юг во всех эффузивах (от базальтов до липаритов) увеличивается содержание CaO, менее заметно – Al₂O₃ и падает – щелочей;

6) в молодых вулканитах повышена роль MnO, щелочей, отчасти TiO₂ и MgO и понижена – Al₂O₃;

7) роль окислов с изменением основности пород меняется;

8) нет прямой зависимости между содержаниями в породах Mg и Fe.

ГЛАВА 3

ГЕОХИМИЯ НОВЕЙШИХ ПОДВОДНЫХ ЛАВ КУРИЛЬСКОЙ ДУГИ

Литературные сведения о геохимии новейших эффузивов Курильской островной дуги

Геохимических исследований для пород Курильской островной дуги пока проведено мало, почти нет сведений о геохимии подводных вулканических пород региона.

Статистические данные по определению микрокомпонентов в новейших эффузивах Курильской островной дуги таковы:

Порода	Cu	Zn	Ni	Co	Cr	Mn
Базальты	$\frac{47}{202}$	$\frac{47}{202}$	$\frac{47}{202}$	$\frac{47}{202}$	$\frac{47}{202}$	$\frac{*}{202}$
Андезиты	$\frac{61}{308}$	$\frac{61}{308}$	$\frac{61}{308}$	$\frac{61}{308}$	$\frac{61}{308}$	$\frac{*}{308}$

Порода	Cu	Zn	Ni	Co	Cr	Mn
Дашиты	$\frac{27}{94}$	$\frac{27}{94}$	$\frac{27}{94}$	$\frac{27}{94}$	$\frac{27}{94}$	$\frac{*}{94}$
Липариты, риолиты	$\frac{27}{31}$	$\frac{27}{31}$	$\frac{5}{31}$	$\frac{4}{31}$	$\frac{4}{31}$	$\frac{*}{31}$

В числителе приводятся литературные данные, в знаменателе — новые определения, полученные автором атомно-абсорбционным методом. Звездочкой отмечен общий силикатный анализ.

Как видно, в основном рассматривалась геохимия Cu, Zn и элементов группы железа. Поэтому и в дальнейшем автор будет отдавать предпочтение этим элементам.

В отличие от петрохимии геохимия элементов еще не получила последовательного статистического обоснования. Поэтому заключения, известные в литературе на этот счет, требуют количественного обоснования. Особенно это видно на примере ранних исследований.

В начале 60-х Е.К. Мархинин и А.М. Сапожников /1962/, исследуя геохимию вулканических пород Камчатки и Курильских островов, показали, что концентрации Cu, Ni, Co, Cr, V связаны в железистых и магнезиальных минералах, тяготеющих к основным лавам. О прямой зависимости содержаний Ni и Cr от магнезиальных пород и от количества в породах темноцветных минералов отмечалось С.Р. Ноккольдсом и Р. Алленом в 1956 г. и П.У. Гастом в 1969 г. (дано по А.И. Абдурахманову и др. /1978/). Впоследствии такой вывод относительно Ni и Cr был подтвержден А.И. Абдурахмановым и др. /1978/, а для Cu — Б.И. Злобиным и др. /1973/ на примере лав хр. Вернадского на о. Парамушир, отметившими, что Cu является характерным элементом основных магм (что для эффузивов Камчатки было показано ранее С.И. Набоко /1959/). По их данным, концентрации Cu в породах Курило-Камчатской провинции в целом убывают в ряду базальты — андезиты — дашиты — липариты и кроме пространственных имеются временные вариации распределения микроэлементов в вулканических породах Курильской дуги. Так, независимо от характера изменения щелочности и величины отношения K_2O/Na_2O поздние дифференциаты базальтовых серий оказываются обогащенными Cu. По данным Б.И. Злобина и др. /1973/, среди вулканов хр. Вернадского влк. Эбеко характеризуется практически одинаковым содержанием Cu в базальтах; при этом имеется хорошая связь между Cu и K_2O . Ранее Р.И. Родионовой и др. /1966/ для лав этого же хребта были показаны связи между другими микроэлементами (Y и Cr) и SiO_2 , а именно: изменение содержаний этих микроэлементов обратно содержаниям в породах кремнезема.

Наиболее полно геохимия Cu, Zn и элементов группы железа и других микроэлементов для вулканитов Курильской островной ду-

ги исследована Л.Л. Леоновой /1977, 1979а, б/, А.И. Абдурахмановым /1980/, а опубликованные геохимические данные обобщены Э.И. Пополитовым и О.Н. Волынцом /1981/. Поэтому нет необходимости подробно останавливаться на известных геохимических особенностях новейших эффузивов Курильской островной дуги и рассмотреть только наиболее существенные моменты данной проблемы.

Выводы упомянутых выше исследователей подтвердили наличие пространственной и временной зональности эффузивов дуги в плане геохимии.

Л.Л. Леонова показала, что в базальтах повышенной магнезиальности проявляются ясные связи между SiO_2 , MgO и Ni , Cr , тогда как между MgO и K_2O линейная корреляция отсутствует, т.е. вывод о первых связях если не противоречит, то и не подтверждает данные Р.И. Родионовой и др. /1966/, полученные на основании изучения лав хр. Вернадского на о. Парамушир.

А.И. Абдурахманов же показал, что для всех пород субщелочного ряда характерны пониженные содержания закисного железа, а для его базальтов – большие содержания MgO , а с ним и Y , и Co , концентрации которых резко падают к андезитобазальтам, в то время как концентрации Ni и Cr повышены во всех группах пород этого ряда.

Э.И. Пополитов и О.Н. Волынец /1981/ указывали на малочисленность данных по распределению редких элементов (в том числе Cu , Zn и элементов группы железа) в породах Курильской островной дуги по сравнению с Камчаткой. Поэтому судить о какой-либо зональности геохимического состава эффузивов дуги трудно. Но, по имеющимся геохимическим данным, три главных типа базальтов выделяются отчетливо: низкокальциевые толеитовые и известково-щелочные с нормальным содержанием K_2O , а также субщелочные с повышенным содержанием K_2O /Леонова, 1977/. Минимальные концентрации Ni и Cr на фоне максимальной железистости наблюдаются в темноцветных минералах (оливинах и клинопироксенах) субщелочных базальтов (для темноцветных минералов магнезиальных базальтов эти соотношения противоположны). Данные типы базальтов отличаются между собой и по геохимическим признакам: так, низкокальциевые базальты – низкими отношениями Ni/Co , Ba/Sr , La/Yb и высокими – K/Rb (табл. 7). Э.И. Пополитов и О.Н. Волынец /1981/ отметили, что в целом курильские базальты отличаются от камчатских меньшими содержаниями Ni и Co , подтвердив этим более ранние выводы Л.Л. Леоновой /1977/.

Резюмируя литературные сведения о геохимии новейших эффузивов Курило-Камчатской островной дуги, отметим следующие моменты:

- 1) содержания Cu , Zn и элементов группы железа уменьшаются от основных к кислым породам;
- 2) существует положительная коррелятивная связь Ni , Cr , Cu с окисью железа и магнезия и отрицательная – с SiO_2 ;

Таблица 7. Содержание редких элементов в различных типах базальтов Курильских островов (по данным Э.И. Пополитова и О.Н. Волынец /1981/)

Компонент	Базальты		
	низкокалийевые	известково-щелочные	субщелочные
Na	1,82(11)	2,29(8)	2,22(11)
K	0,25(11)	0,62(8)	1,42(11)
Rb	2,60(11)	10,80(8)	31,00(11)
Li	4,90(11)	8,60(8)	7,40(11)
Ba	155,00(5)	480,00(4)	512,00(5)
Sr	340,00(5)	345,00(4)	634,00(5)
F	360,00(11)	380,00(8)	545,00(84)
Ni	28,00(5)	35,00(4)	10,00(11)
Be	0,40(11)	0,48(8)	0,85(72)
Co	30,00(5)	32,00(4)	30,70(11)
V	330,00(5)	342,00(4)	363,00(11)
Nb	0,80(3)	1,50(4)	4,3(3)
Ta	0,50(3)	0,50(4)	0,50(4)
La	<10,50(5)	<10,50(4)	18,00(5)
Ce	<30,00(5)	<30,00(4)	<30,00(5)
Nd	7,90(5)	15,40(4)	20,80(5)
Y	17,40(5)	21,30(4)	18,50(5)
Yb	2,90(5)	3,00(4)	3,40(5)
Na/K	7,28	3,69	1,56
K/Rb	960,00	574,00	458,00
Ba/Sr	0,45	1,40	0,81
Ni/Co	0,90	1,10	0,52
La/Yb	4,00	3,50	5,30

Примечание. Na и K - вес.%, остальные элементы - г/т.

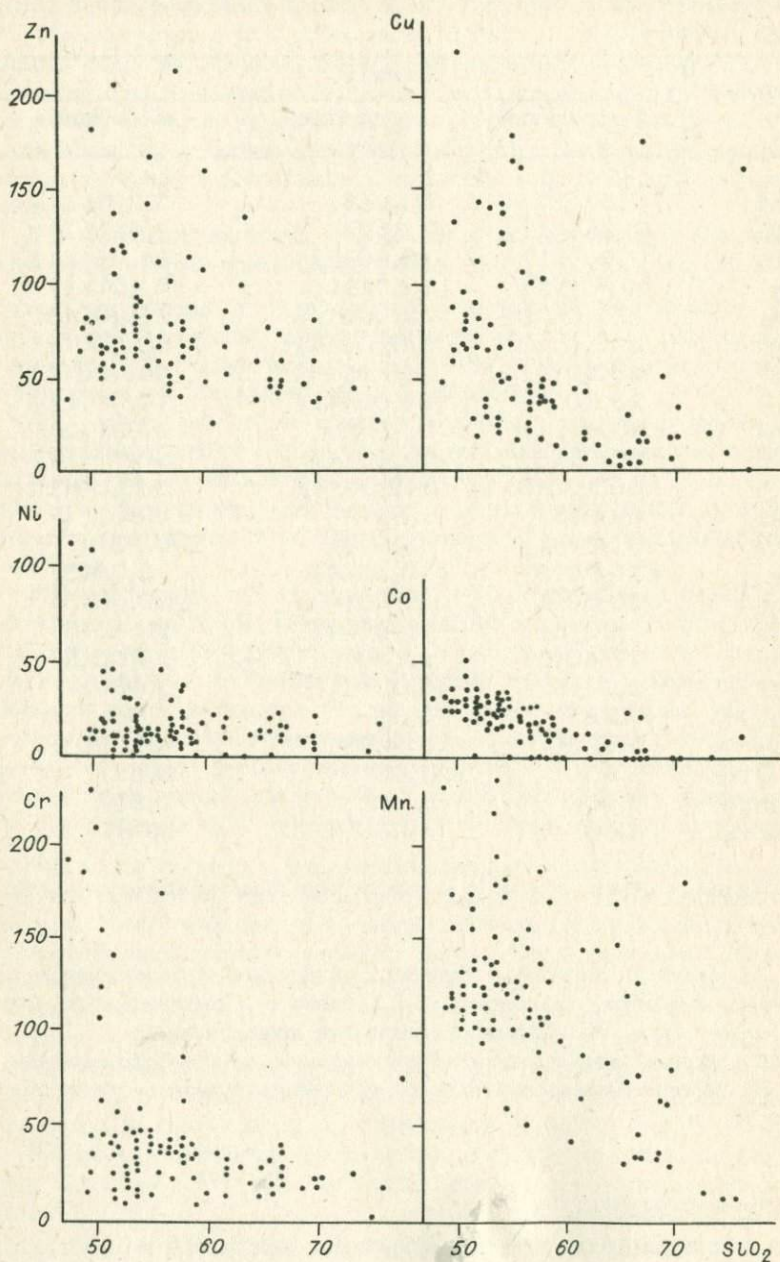
3) имеются локальные участки с повышенным содержанием отдельных элементов (например, Cu в лавах о. Симушир, хотя здесь это может быть обусловлено вторичными процессами);

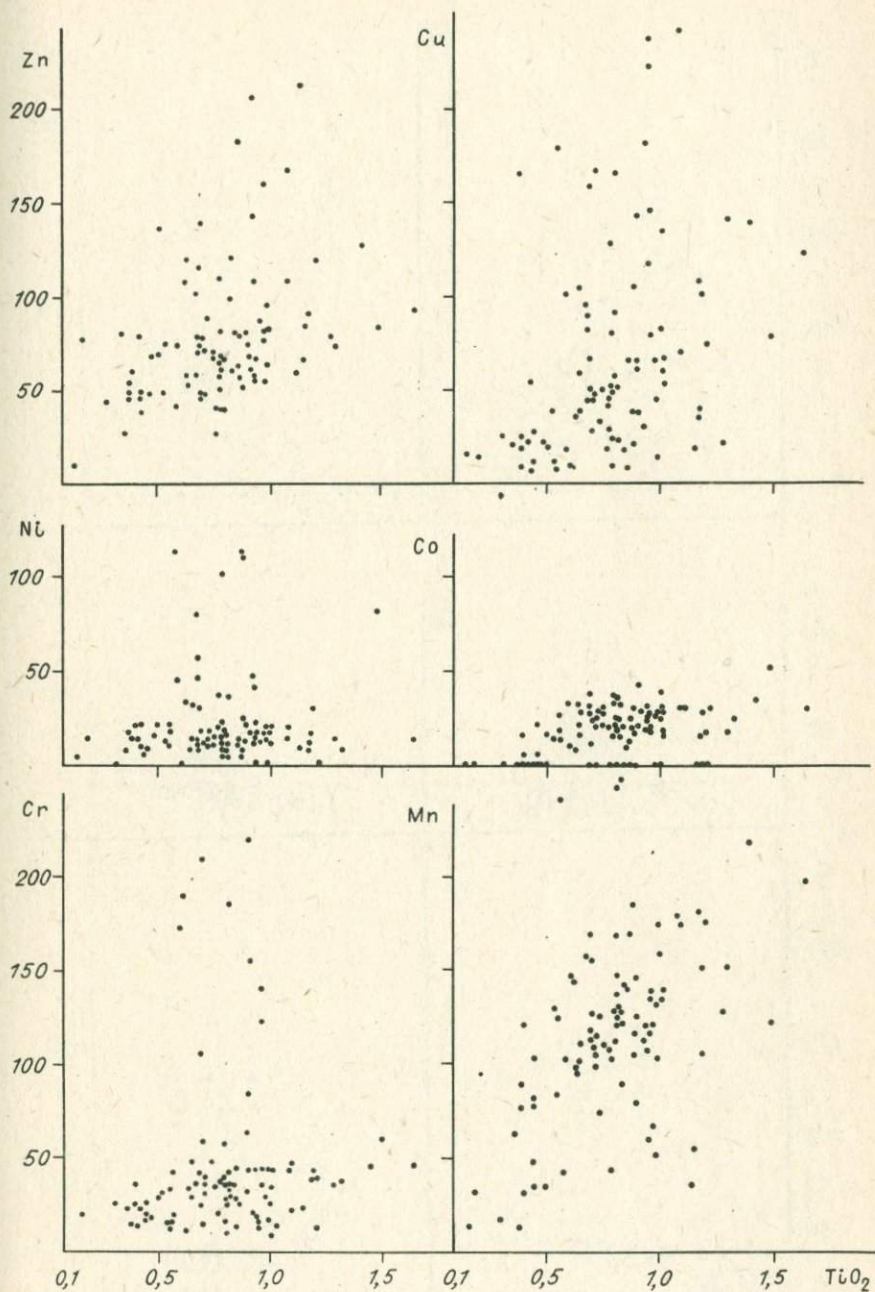
4) поздние дифференциаты базальтоидов содержат больше Cu (?)

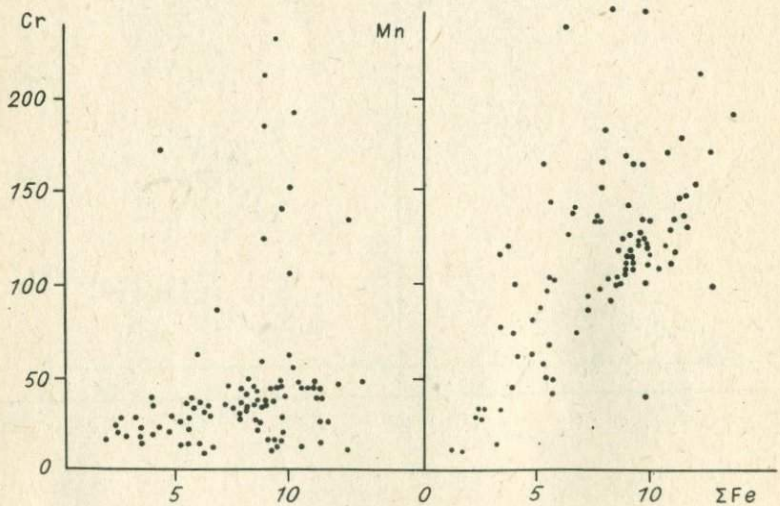
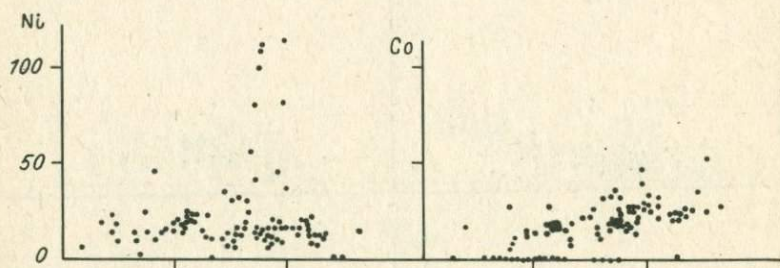
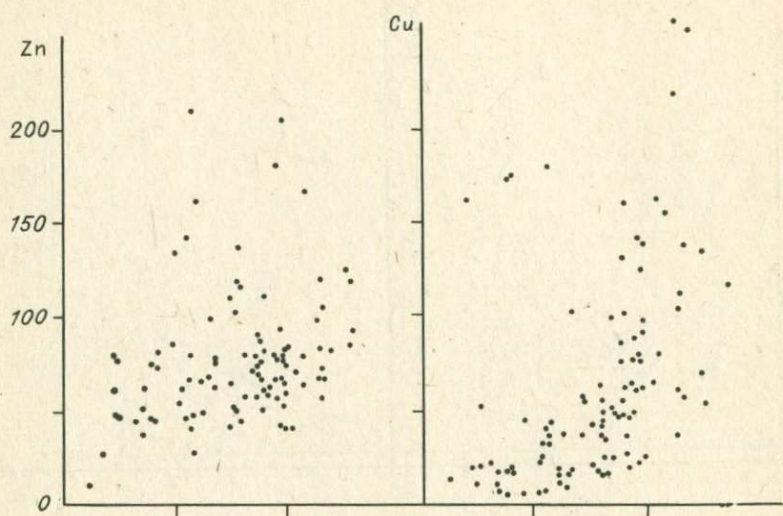
5) породы Курильской дуги по сравнению с камчатскими обеднены Ni и Cr.

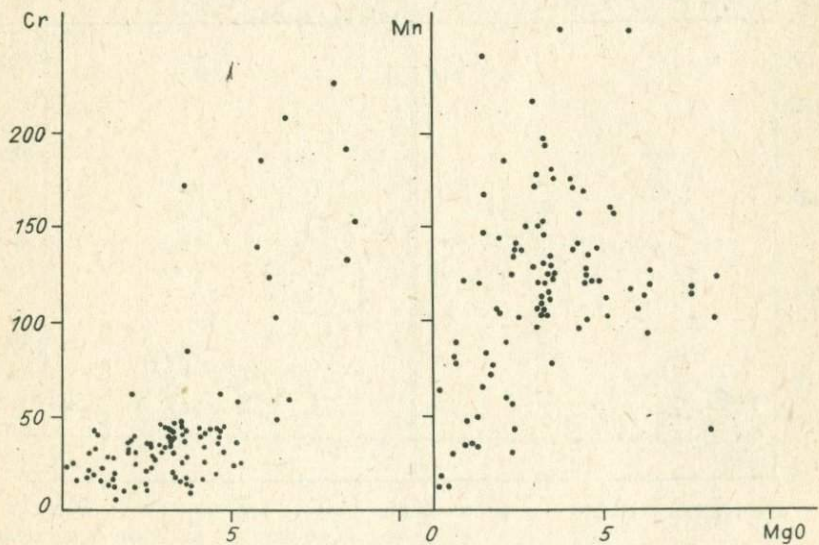
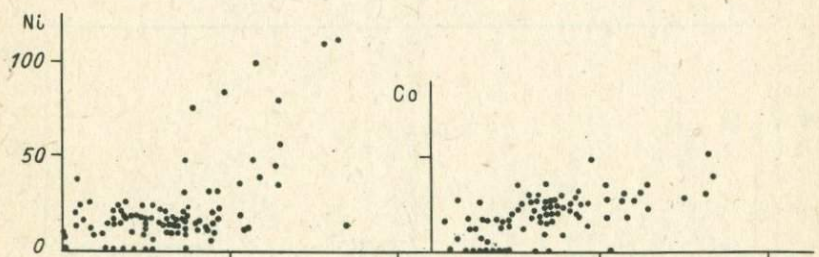
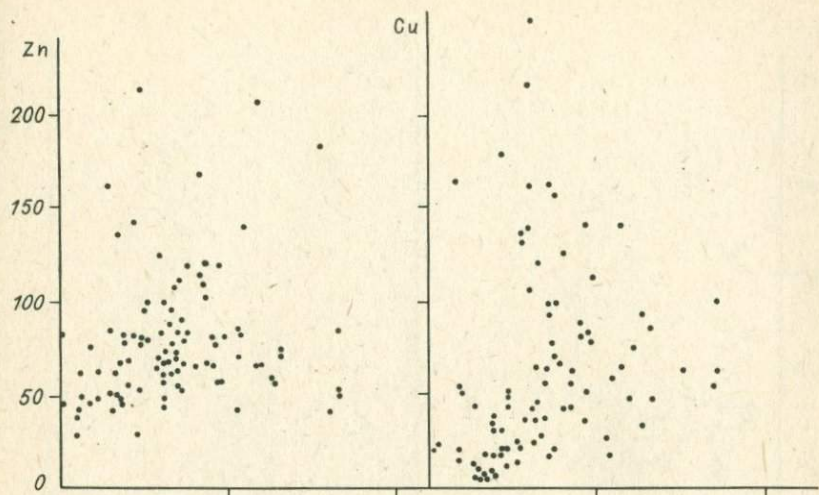
Геохимия подводных лав

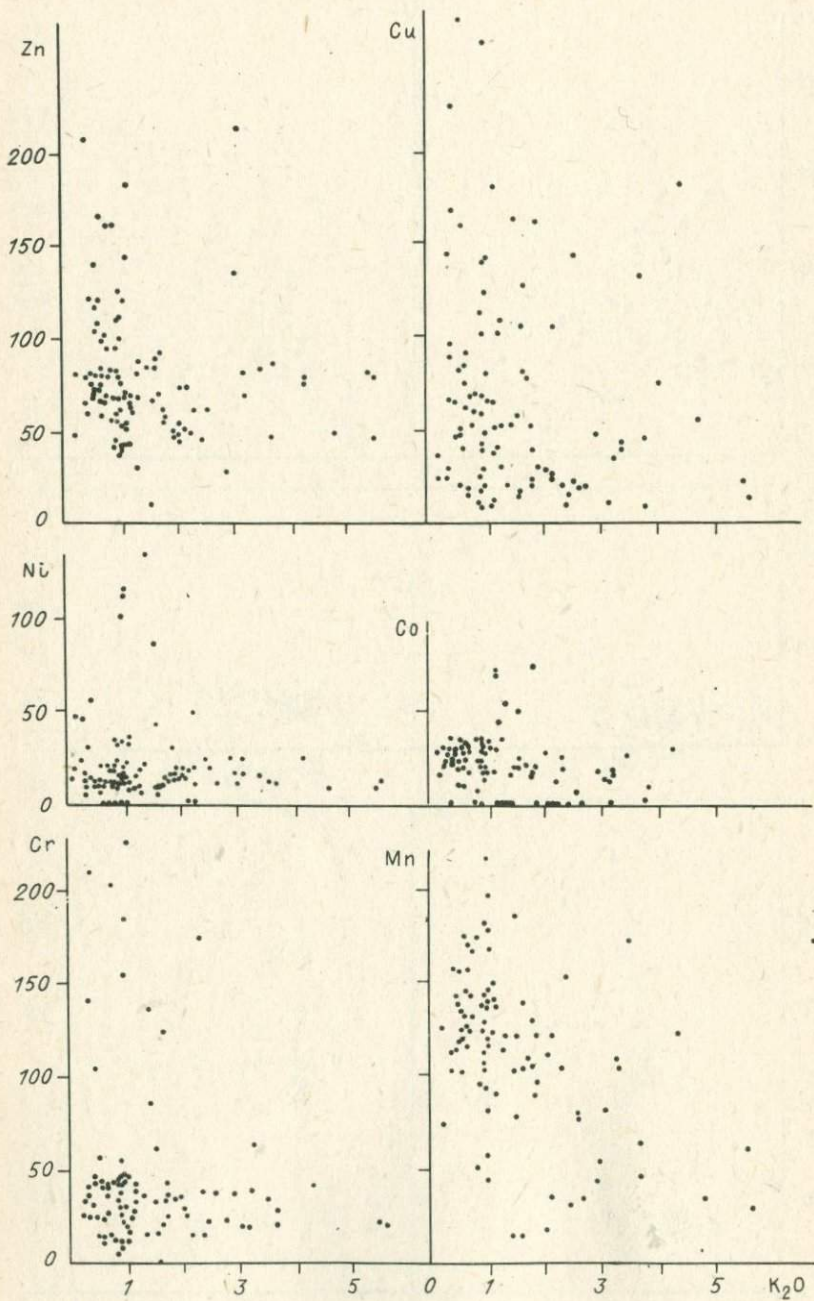
Приведем результаты изучения содержания и пространственного распределения ряда микроэлементов в подводных лавах Курильской островной дуги. Поскольку в литературе больше всего приведено данных по геохимии Cu, Zn и элементов группы железа, то и здесь











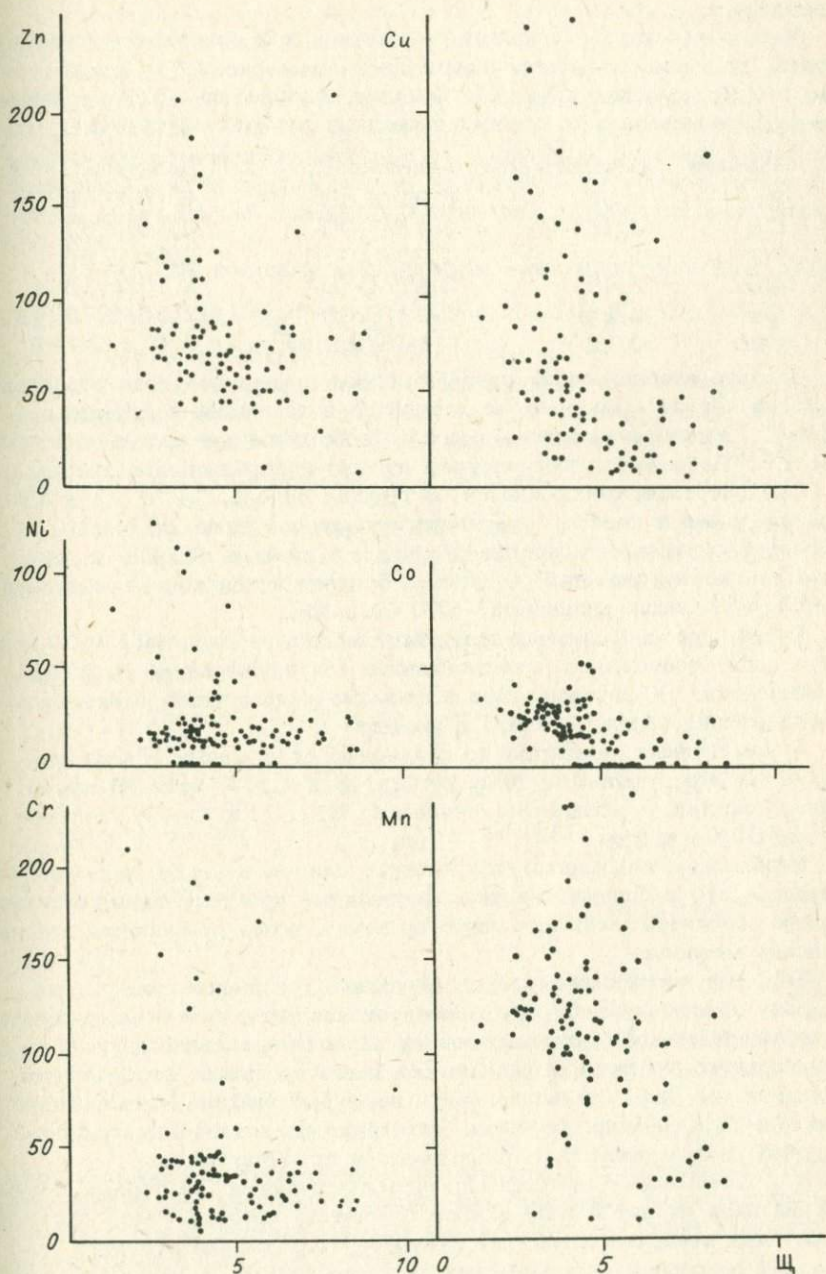


Рис. 23. Соотношения между содержаниями микроэлементов и окислов в породах Курильской островной дуги, г/т.

основной упор будет сделан на описание геохимических особенностей этих компонентов. Также будут приведены и данные для других элементов.

Какова геохимия подводных лав Курильской островной дуги, можно судить по данным вариационных диаграмм (рис. 23) и таблиц (см. Приложение, табл. 2). Средние содержания Cu, Zn и элементов группы железа в различных подводных вулканитах таковы:

Элемент	Базальты (62)	Андезиты (162/20)	Дациты (31/5)
Zn	8,56	6,91/6,48	4,75/4,65
Cu	6,25	3,87/7,00	2,50/3,67
Ni	1,52	1,73/3,03	2,50/1,80
Co	2,45	2,17/1,60	1,55/1,18
Cr	3,23	2,92/5,50	2,33/2,70
Mn	0,120	0,135/0,120	0,172/0,235

Здесь в скобках после названия пород приведено число образцов, за косой чертой – содержание элементов в измененных породах (Mn-%, других элементов – р.р.т.). Содержания подсчитаны аналитиком А.С. Бобровой с применением атомно-абсорбционного анализа).

Средние содержания элементов группы железа, Cu и Zn в базальтах (даже с учетом "ураганных" анализов) ниже кларковых, в андезитах средние содержания Zn, Ni, Cr ниже, а Cu, Co и Mn выше кларковых значений, в дацитах близкие к кларковым содержания Zn, Cu и Cr, выше кларковых – Ni, Co и Mn.

Видно, что от основных к кислым породам в ряду базальт – андезит – дацит содержание всех элементов (за исключением Ni и Mn) уменьшается. Характерно, что в этом же направлении уменьшаются содержания окислов железа и магния.

В измененных андезитах по сравнению со свежими содержания Zn, Co и Mn становятся ниже, а Cu, Ni и Cr – выше. В измененных дацитах уменьшается количество Zn, Ni и Co и увеличивается Cu, Cr и Mn.

Необходимо напомнить, что выводы, данные в конце предыдущего раздела – это в большей части качественные предположения, которые должны получить количественную проверку путем применения статистических методов.

Так, рассмотрим вывод, утверждающий увеличение содержаний Cu, Zn и элементов группы железа от кислых к основным породам. Он может быть количественно оценен как для локального, так и для регионального проявления вулканизма и его продуктов от базальтов до липаритов. Для локальной оценки нами был выбран Мутновский блок Южной Камчатки, геология, структура и вулканизм которого подробно рассмотрены В.Н. Шараповым и др. /Магматизм ..., 1979/. Такой выбор продиктован двумя причинами: во-первых, Мутновский блок входит в зону Южной Камчатки, которую часто рассматривают как северный фланг или северное продолжение структур Курильской островной вулканической дуги; во-вторых, в нашем распоря-

жении была достаточно полная коллекция пород этого блока, геохимически исследованная.

Региональная оценка произведена по материалам вулканических пород, драгированных в акватории Большой Курильской гряды. В последнем случае материалы могут как-то охарактеризовать неоген-четвертичный вулканизм Курильской вулканической дуги. Б.Н. Пискунов /1975а, б/ отмечает большое сходство в составе лав плиоценового и четвертичного вулканизма на Курильских островах. Поэтому приведенные ниже данные могут, по-видимому, рассматриваться как оценка геохимии лав новейшего вулканизма Курильской вулканической дуги.

На рис. 24 показаны вариационные диаграммы для SiO_2 , MgO , ΣFe , TiO_2 , $\text{Ш}(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})$, K_2O и Cu , Zn , Co , Ni , Cr , Mn для Мутновского блока Южной Камчатки.

Имеются две группы петрогенных компонентов, с которыми связаны вариации элементов-примесей группы железа, Cu и Zn (см. Приложение, табл. 3-6). К первой группе относятся SiO_2 , ΣFe , TiO_2 , MgO , ко второй - K_2O и Na_2O .

В отдельных по составу группах пород картина более сложная. Так, для базальтов и андезитобазальтов обнаруживаются (кроме очевидных соотношений типа $r_{\text{SiO}_2-\text{MgO}} = -0,28$; $r_{\text{SiO}_2-\Sigma\text{Fe}} = -0,32$) следующие интересные парные корреляции (см. Приложение, табл. 4):

$$r_{\text{MgO}-\text{K}_2\text{O}} = -0,24; \quad r_{\text{MgO}-\text{Ш}} = -0,29; \quad r_{\text{Ш}-\Sigma\text{Fe}} = -0,40;$$

$$r_{\text{K}_2\text{O}-\text{Ni}} = 0,47; \quad r_{\text{K}_2\text{O}-\Sigma\text{Fe}} = -0,40; \quad r_{\text{Cu}-\text{Ni}} = 0,47;$$

$$r_{\text{Cu}-\text{Cr}} = -0,38; \quad r_{\text{Cu}-\text{TiO}_2} = -0,41; \quad r_{\text{Zn}-\text{Cr}} = 0,45;$$

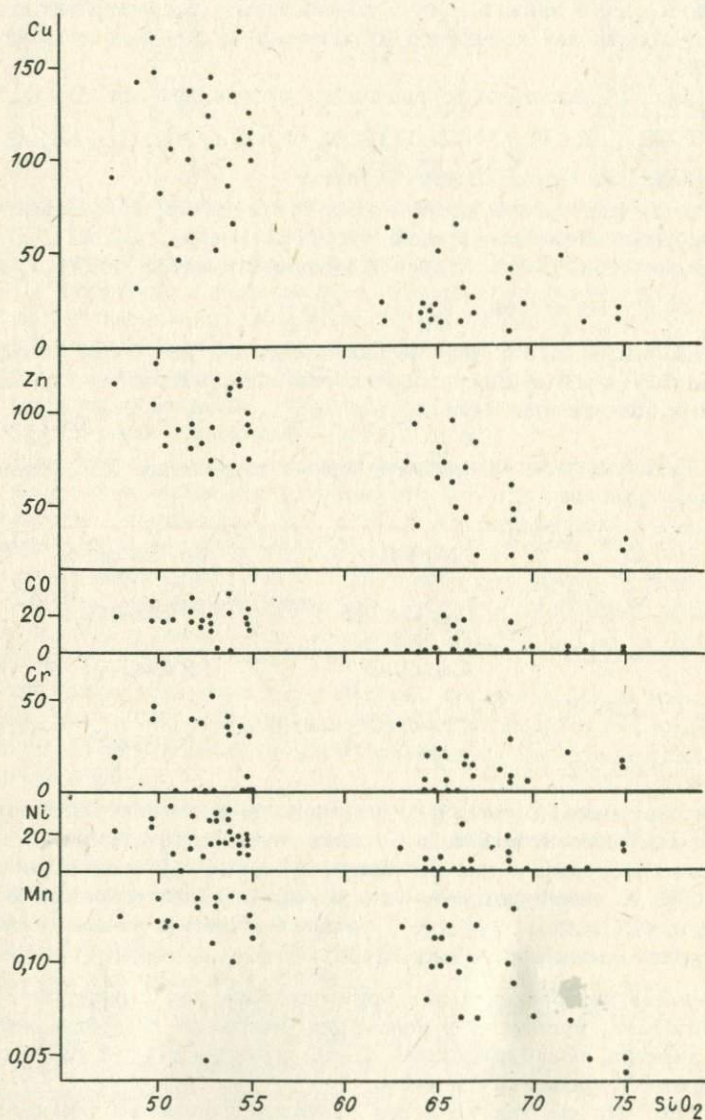
$$r_{\text{Zn}-\Sigma\text{Fe}} = -0,52; \quad r_{\text{Co}-\text{TiO}_2} = -0,66; \quad r_{\text{Mn}-\Sigma\text{Fe}} = -0,59;$$

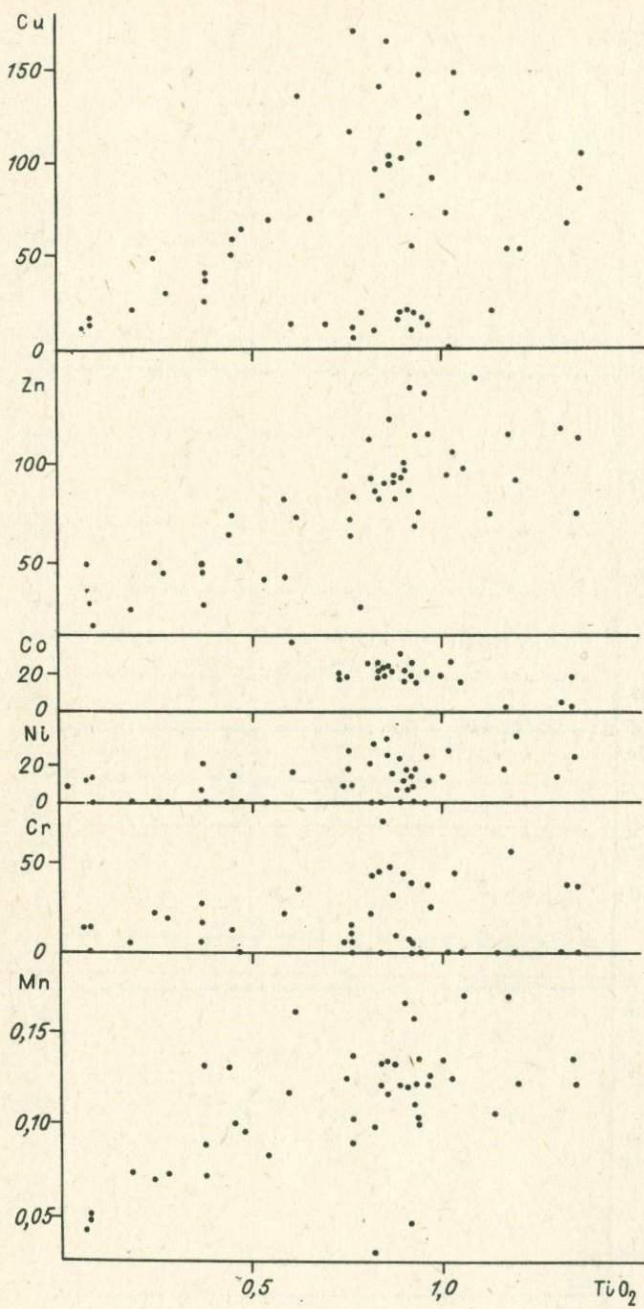
$$r_{\text{Mn}-\text{TiO}_2} = 0,42.$$

Эти соотношения указывают на сложную геохимию рассматриваемой группы элементов в базальтоидах Мутновского блока. Ясно, что титаномagnetиты в них не являются основными концентраторами Cu , Co , Cr . С темноцветными минералами связаны основные концентрации Ni , Cu , Co , Cr , Zn сосредоточены в стекле и сульфидах. Отрицательная корреляция $\text{Ш}(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})$ с MgO и суммарным железом петрогенетически примечательна для структуры Мутновского блока, поскольку в целом для базальтов Камчатки наблюдается картина, подтверждающая связь структур Южной Камчатки со структурами Курильской системы.

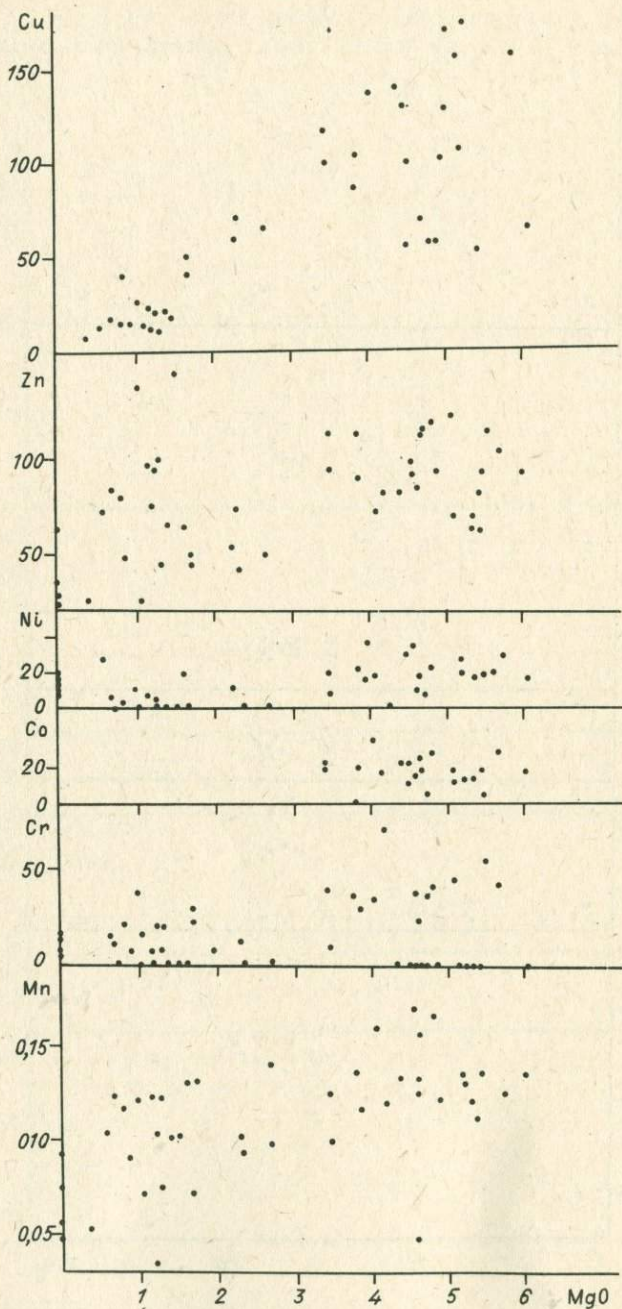
На рис. 25 для тех же пород показаны данные по геохимии Co , Ni , Cr . Ясно, что лишь для базальтов повышенной магнезиальности (толеитовых - по А.А. Важеевской /1976/ и Л.Л. Леоновой /1979а/

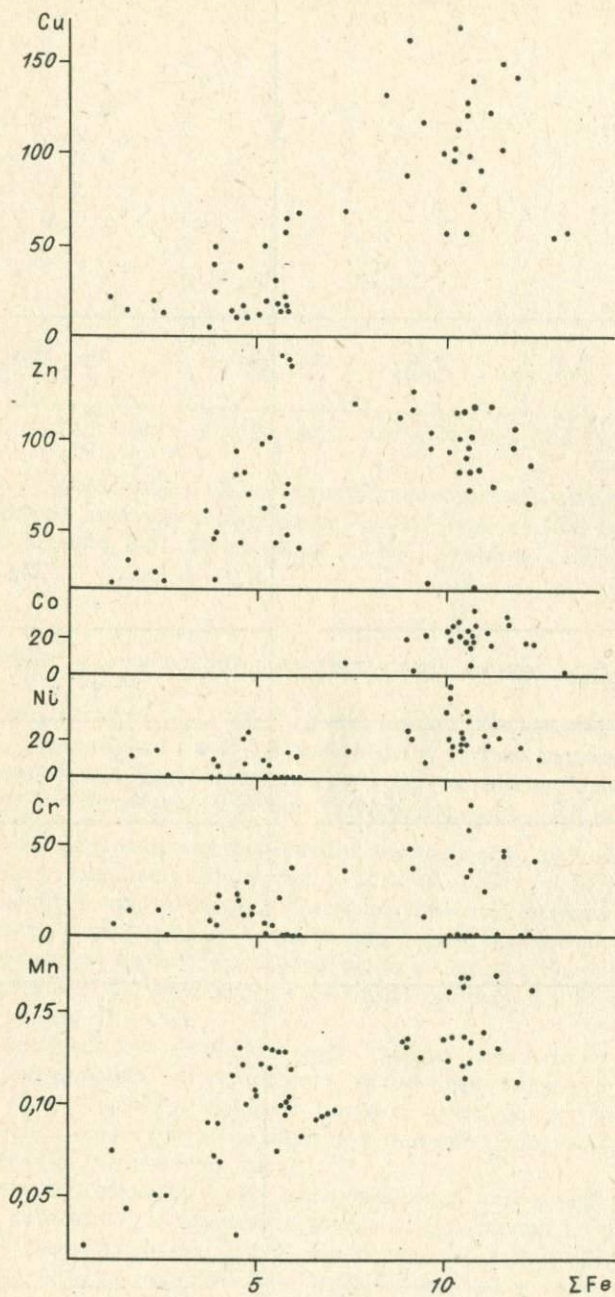
Рис. 24. Соотношения между микроэлементами и окислами в породах Мутновского блока Южной Камчатки, г/т.



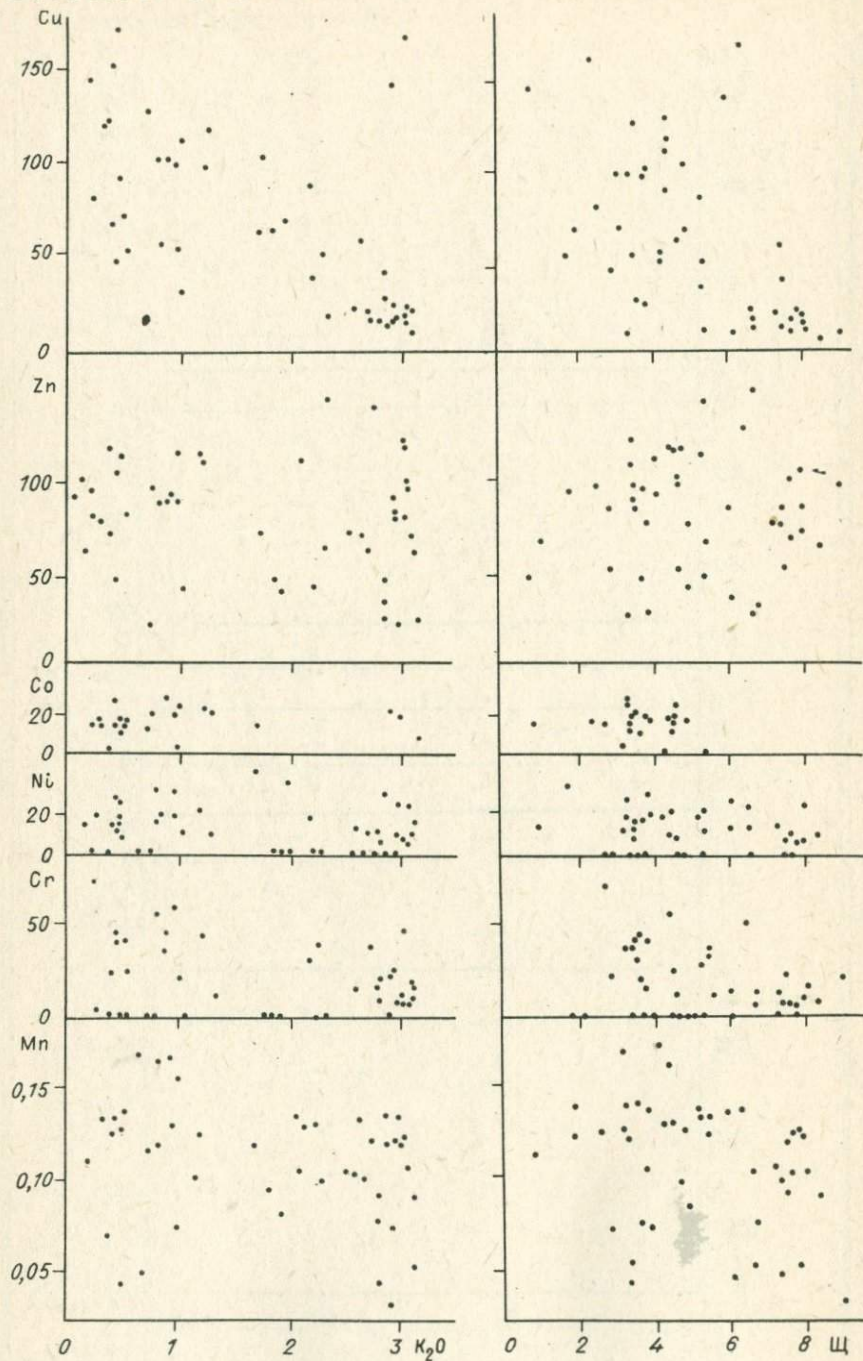


Продолжение рис. 24





Окончание рис. 24.



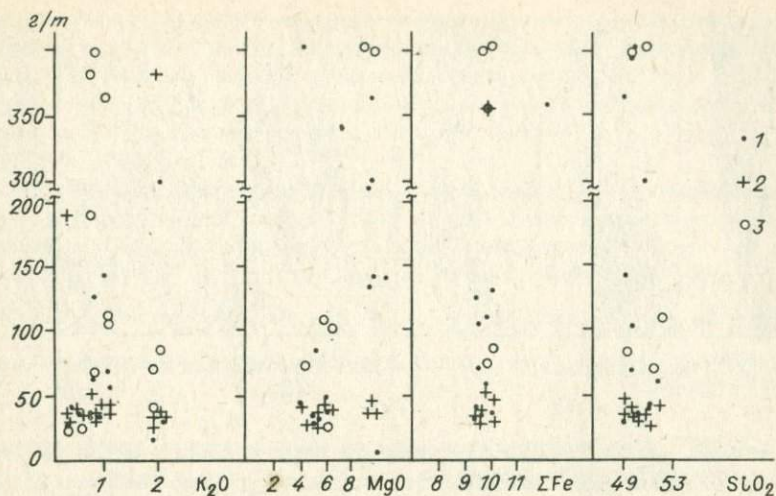


Рис. 25. Соотношения между содержанием микроэлементов и породообразующих окислов в эффузивах Курило-Камчатской островной дуги (по данным Э.И. Пополитова и О.Н. Волынца /1981/).

1 - Ni, 2 - Co, 3 - Cr.

проявляются хорошие корреляционные связи между SiO_2 , MgO и Ni, Cr.

Какова геохимия Cu, Zn и элементов группы железа в "андезитовой" серии Курильской островной дуги, можно судить по данным вариационных диаграмм (см. рис. 23) и таблиц (см. Приложение, табл. 2). Отметим, что при увеличении SiO_2 пород происходит сужение вариаций содержаний микроэлементов, причем наблюдается явное уменьшение количеств Zn, Cu, Co и Mn. Вариации микроэлементов при изменении магнезиальности, железистости и титанистости пород сходны (только для последних соотношений отмечается большая размытость ореола точек). Здесь с увеличением в породах окислов магния, железа и титана повышается количество Zn, Cu, Co, Cr, Mn.

Что касается соотношений между содержаниями микроэлементов и щелочей в породах, то установить какие-либо закономерности трудно, так как имеется большой разброс точек на диаграммах. Можно только наметить тенденцию уменьшения содержаний Co и Mn при увеличении щелочности пород.

Поскольку прослеживается синхронность в поведении проанализированных элементов в подводных породах Курильской дуги и в вулканитах Мутновского блока Южной Камчатки, то можно сделать два вывода: во-первых, генетические особенности лав данных областей Курило-Камчатской островной дуги близки; во-вторых, отмеченные тенденции типичны для пород "андезитовой" серии.

Данные, полученные с помощью вариационных диаграмм и таблиц,

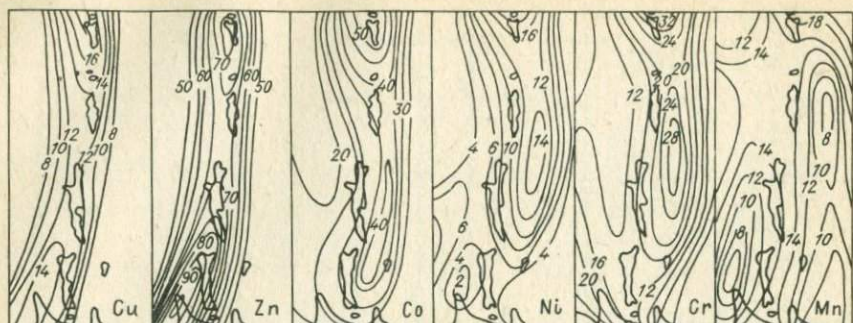


Рис. 26. Карты трендов микроэлементов в эффузивах Южных Курил.

могут быть количественной проверкой перечисленных выше качественных выводов ряда авторов. Все элементы группы железа, Cu, Zn имеют отрицательную корреляцию с SiO_2 . Связь микрокомпонентов с FeO и MgO много сложнее. Так, Zn, Cu, Mn имеют слабые корреляционные связи с MgO, а Cr и Ni — значимые с FeO. Слабую корреляцию обнаруживают эти элементы и с суммой железа (ΣFe). Ясно, что титаномagnetиты не являются их концентраторами, хотя с двуокисью титана никель имеет высокий положительный коэффициент корреляции ($r = 0,54$). Соответственно Mn имеет слабую связь с MgO и высокую — с FeO, ΣFe и TiO_2 . Следовательно, в титаномagnetите в основном и концентрируется марганец. Очевидно и то,

что в исследованных лавах достаточно редки хромшпинелиды

($r_{\text{Al}_2\text{O}_3-\text{Cr}} = -0,38$; $r_{\text{Al}_2\text{O}_3-\text{MgO}} = 0,08$), а концентратами

Cu и Ni являются оливины и пироксены (как и следовало ожидать, учитывая данные некоторых авторов /Кутыев, Шаралов, 1979/. Кроме этого, без особых сложностей можно считать, что Cu, Zn, Co, Mn, Ni сосредоточены и в сульфидах, и во вторичных magnetитах.

О характере распределения этих элементов в пределах всей дуги можно судить главным образом по сопоставлению их трендов и трендов петрогенных компонентов (рис. 26, 27). Рассмотрим, например, южную половину Курильской дуги (на рис. 26 показаны тренды 4-го порядка для Cu, Zn и элементов группы железа). Видно, что тренды микрокомпонентов существенно иные, чем петрогенных элементов (см. рис. 20). Хорошо различаются эффузивы по содержанию Cu, Zn, Mn, а также Ni, Co, Cr с восточной и западной сторон Большой Курильской гряды. Характерно, что максимумы Cu, Zn соотносятся с территорией проявления формации зеленых туфов, миоцен-плиоценовых проявлений вторичных кварцитов с сульфидным оруденением. При этом минимумы содержания Mn соответствуют максимумам Zn, Cu, а также Ni, Cr. Следует отметить еще одну интересную деталь — главный максимум в содержаниях Co смещен относительно максимумов Ni и Cr к югу, а до-

полнительный совпадает с максимумами Zn и Cu. В отличие от трендов окислов область, разделяющая максимумы содержаний Cu, Zn и других микроэлементов, располагается в районе о. Уруп или между островами Симушир и Уруп, а изолинии трендов микроэлементов конформны простиранию основных морфоструктур Курильской островной дуги (см. рис. 27).

Исследование корреляционных связей между петрогенными окислами и микроэлементами, а также между последними, показывает следующие соотношения: имеется отрицательная корреляция ($r = -0,07$) между SiO_2 и Co и более слабая отрицательная связь SiO_2 с Cr ($r = -0,40$) и Mn ($r = -0,43$). Наиболее существенно положительные корреляционные связи между этими микроэлементами и MgO ($r_{\text{Ni} \dots} = 0,58$; $r_{\text{Co} \dots} = 0,57$; $r_{\text{Cr} \dots} = 0,57$). Ин-

тересна существенная положительная корреляция между CaO, Co и Mn ($r_{\text{Co} \dots} = 0,66$; $r_{\text{Mn} \dots} = 0,52$). Отметим также положительные

корреляционные связи TiO_2 и Ni, Co, Mn ($r = 0,54$; $0,69$; $0,48$ соответственно). Положительная корреляция между Cu и ΣFe очевидна ($r = 0,55$), так как в полированных шлифах подводных вулканитов обычно встречается вкрапленность халькопирита и пирита в титаномagnetитах.

Между микрокомпонентами выявлены следующие существенные корреляционные связи: $r_{\text{Cu-Co}} = 0,47$; $r_{\text{Ni-Co}} = 0,46$; $r_{\text{Ni-Cr}} = 0,68$; $r_{\text{Co-Mn}} = 0,47$. Сравнение этих результатов с распре-

лением максимумов трендов позволяет увидеть пространственное выражение характера этих связей, а также их распределение по минералам и в стекле.

Пространственная изменчивость содержаний микроэлементов в пределах Курильской дуги была проанализирована и по профилям:

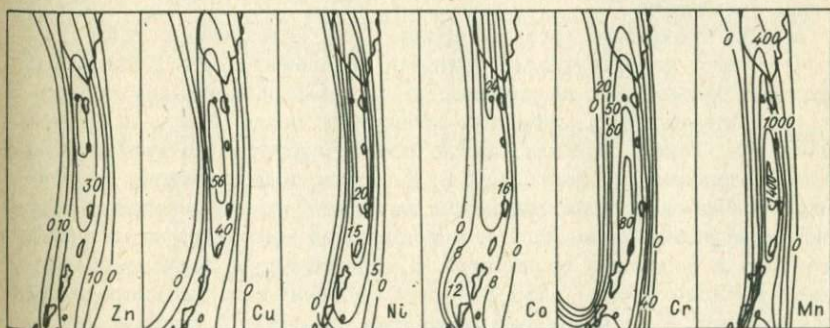


Рис. 27. Карты трендов микроэлементов для новейших эффузивов Курило-Камчатской островной дуги.

1 - через о. Маканруши и северное окончание о. Онекотан; 2 - район островов Чиринкотан, Экарма, Шиашкотан; 3 - район пролива Дианы; 4 - район пролива Фриза; 5 - район пролива Екатерины. Оказалось, что поперек дуги с северо-запада на юго-восток в 3-м и 5-м профилях увеличиваются содержания всех элементов, а в 4-м профиле их содержания (за исключением никеля) уменьшаются. Вдоль дуги в направлении с северо-востока на юго-запад увеличиваются содержания Zn и Mn, а Cu, Ni, Co уменьшаются. Количества Cr увеличиваются от 1-го к 4-му профилю, а в районе пролива Екатерины падают до уровня содержания в породах 1-го профиля.

Появление вышеуказанных неоднородностей содержаний микроэлементов в лавах в первую очередь может быть связано с ассимиляцией магмой некоторого количества корового материала, поскольку столь существенной разницы в составах мантийного субстрата при выплавлении расплавов от базальтов до дацитов и при их дифференциации трудно предполагать, кроме того, тренды петрогенных и микрокомпонентов различны. Похоже, что восточнее Большой Курильской гряды в разрезе земной коры больше офиолитов; в которых существенна роль ультрабазитов.

О присутствии в подводных лавах ассимилированного вещества свидетельствуют особенности морфологии и микроэлементного состава рудных минералов, а также физических свойств самих пород /Шевченко и др., 1982; Шевченко, 1984/. Кроме того, проведенные расчеты показали незначительность масштабов ассимиляции базитовыми магмами глубинного вещества /Шевченко, 1985/ (правда, эти расчеты касались только определения объемов растворения в базитовых расплавах рудного вещества: магнетита и титаномагнетита). В более ранние годы исследователями на основе натуральных наблюдений и расчетных данных проверялась возможность проявления ассимиляционных процессов в отношении скарнов /Лапин, Шарпов, 1976/, ультраосновных пород /Шарапов, Милова, 1977/. Эти работы свидетельствуют в пользу гипотезы о захвате поднимающимися расплавами глубинного вещества, находящегося в разрезе земной коры под вулканами.

Анализ геохимического материала (см. Приложение, табл. 2) в сочетании с литературными данными показывает, что в наземных эффузивах больше Mn и меньше Co, Ni, Cr. Содержание последних трех элементов в глубинных ксенолитах выше, чем в подводных вулканитах. Таким образом, можно констатировать (по крайней мере для таких элементов, как Co, Ni, Cr), что в направлении от глубинных и глубоководных условий к наземным их содержание в породах падает. Это покажем дальше и на примере минералов из ксенолитов, подводных и наземных вулканитов. Таким образом, подводный вулканизм обладает рядом специфических особенностей, предопределяющих и состав, и свойства его продуктов, зачастую отличные от характеристик наземных эффузивов. Учитывая данную "глубинную тенденцию", нужно принять, что (наиболее простое объяснение) продукты вулканизма Камчатского полуострова являются более глубинными

производными, так как в них, по сравнению с курильскими эффузивами содержится больше Ni и Cr. Правда, концентрации этих элементов могут быть связаны и с присутствием в породах повышенных содержаний таких минералов, как оливин, хромшпинелиды, а также большей ролью ультраосновных пород в разрезах Камчатских структур, что является известным в литературе фактом.

Следовательно, можно считать, что:

1. Пространственное распределение микроэлементов в лавах сложное: с севера на юг вдоль фронта вулканизма в эффузивах дуги уменьшаются содержания Co, Ni, Cu и увеличиваются Zn, Mn и отчасти Cr. Поперек дуги в центральной ее части увеличивает-ся количество всех элементов с северо-запада на юго-восток (за исключением профиля в районе пролива Фриза, где содержания всех, кроме Ni, элементов уменьшаются), тогда как на юге фиксирует-ся обратная картина.

2. От основных к кислым породам содержания элементов (за исключением Ni и Mn) уменьшаются.

3. Все элементы группы железа, Cu и Zn отрицательно коррелируются с SiO₂ пород.

4. Тренды микроэлементов существенно иные, чем тренды окислов. Отмечается ясное различие эффузивов по содержаниям Cu, Zn, Mn, а также Co, Ni, Cr с западной и восточной сторон дуги соответственно. Изолинии трендов конформны простиранию основных морфоструктур Курильской островной дуги.

5. Подводные вулканы дуги отличаются от наземных большим содержанием Co, Ni, Cr.

В целом, как видно из изложенного, подводные породы Курильской островной дуги по сравнению с наземными характеризуются более выраженной сидерофильной специализацией (особенно это заметно в группе кислых пород). Эта же тенденция наблюдается и при анализе пород с восточной и западной сторон дуги. То есть в этом плане можно выделить два этапа – сидеро- и халькофильный. Первый тип характеризуется, видимо, более глубинными условиями генерации расплавов. Здесь мы подошли к вопросу о некоторых петро- и геохимических "реперах". Об одном из них – петрохимической паре K₂O–MgO – уже говорилось.

Часто в литературе по высокой корреляции Co, Ni, Cr с TiO₂ и MgO, а также TiO₂ и MgO (сюда еще добавляют и K₂O) пишут о большой глубине генерации расплавов, давших породы, попавшие впоследствии в руки исследователей. Однако анализ статистических связей между данными компонентами на примере подводных вулкани-тов показывает следующее:

$$r_{\text{Co-K}_2\text{O, Cu, Zn, Ni, Cr, TiO}_2, \text{MgO}} = -0,49; 0,47; 0,12; 0,46; 0,33; 0,69; 0,70.$$

$$r_{\text{Ni-K}_2\text{O, Cu, Zn, Co, Cr, TiO}_2, \text{K}_2\text{O}} = -0,06; -0,02; -0,04; 0,46; 0,68; 0,54; 0,58.$$

$$r_{\text{Cr-K}_2\text{O,Cu,Zn,Ni,Co,TiO}_2,\text{K}_2\text{O}} = -0,07; 0,07; -0,13; 0,68; 0,33; 0,27; 0,57.$$

$$r_{\text{Zn-TiO}_2,\text{MgO,K}_2\text{O}} = 0,34; 0,19; 0,03.$$

$$r_{\text{Cu-TiO}_2,\text{MgO,K}_2\text{O}} = 0,32; 0,24; -0,27.$$

$$r_{\text{TiO}_2-\text{MgO,K}_2\text{O}} = 0,51; -0,32.$$

$$r_{\text{MgO-K}_2\text{O}} = -0,44.$$

Видно, что нет устойчивости связи между "глубинными" компонентами: так, один из самых "глубинных" (по литературным сведениям) элементов Cr имеет более низкую положительную связь с TiO_2 , чем с Zn и Cu, или с MgO и K_2O , чем Co и Zn. Кроме того, Co вряд ли является реперным элементом, поскольку он характеризуется высокой коррелятивной связью с халькофильными элементами. Это видно и на примере соотношений Cr/Co, а также Cr/Ni.

Отмеченные обстоятельства в отношении Co требуют и более внимательного рассмотрения отношений Ni/Co. По многим литературным сведениям, значение $\text{Ni/Co} > 1$ характерно для глубинных пород. Выше, при анализе содержаний элементов группы железа, Cu и Zn в подводных эффузивах, было показано, что значение этого отношения в базальтах и андезитах меньше, а в дацитах больше 1. В измененных породах данное значение возрастает еще в несколько раз. Но это же не значит, что такие породы более глубинные! Факт увеличения значений отношения Ni/Co в измененных породах в литературе, видимо, не отмечался. Следовательно, петрогенетические построения, сделанные на основе анализа содержаний Ni и Co, требуют если не коренного изменения, то хорошей проверки.

Чтобы избежать фактора случайности, нами просчитаны значения отношений Ni/Co с использованием и литературных, и собственных данных. При этом породы были разбиты по Северной, Центральной и Южной зонам Курильской дуги на группы основных, средних и кислых пород. В результате средние значения отношения Ni/Co для данных пород Северных Курил оказались равны 1,13 (34); 1,70 (28); 2,0 (17) соответственно (в скобках - число анализов); Центральных Курил - 1,14 (39); 0,62 (26); 0,95 (15) и Южных Курил - 1,21 (18); 0,86 (17); 1,30 (14). Как видно, почти во всех случаях в породах Центральных Курил отношения Ni/Co самые низкие. И здесь должна быть корреляция с минимальной мощностью земной коры в этой зоне. Все же думается, что делать какие-то петрогенетические выводы рано, поскольку есть вероятность, что термин "глубинность пород" исследователями понимается по-разному. Для одних это глубина, на которой находился исходный субстрат, т.е.

мантийные уровни, для других – длина (или высота) канала от промежуточного очага, где расплав отстаивался, т.е. подвергался процессам различной дифференциации и т.п., до поверхности земли, для третьих – уровень, на котором достигаются определенные термодинамические условия.

Нужно отметить, что при расчете значений отношения Ni/Co в группе основных пород были получены высокие оценки: 3,40; 3,71; 3,86. Как правило, это характерно для пород с $SiO_2 < 50\%$.

Однако и здесь относить породы с такими значениями отношения Ni/Co к более глубинным нельзя, так как в них обнаруживаются и более интенсивные процессы изменения.

В любом случае вопрос о "реперных" отношениях и парах является интересным и требует внимательного рассмотрения и проверки на большом статистическом материале. При этом нужно четко различать состав пород (основность – кислотность) и степень их изменения.

ГЛАВА 4

СОСТАВ МИНЕРАЛОВ ПОДВОДНЫХ ВУЛКАНИТОВ КУРИЛЬСКОЙ ОСТРОВНОЙ ДУГИ

В проблемах магматической геологии к числу интересных и важных относятся исследования особенностей состава пород и слагающих их минералов и выяснение характера соотношений между составами данных объектов. Последнее для генетического анализа конкретных тел изверженных пород и геологических образований важно потому, что, скорее всего, минеральный фазовый состав и химические особенности самих минералов отражают и состав (химический и микроэлементный или геохимический), и физико-химические условия кристаллизации исходных расплавов. Кроме того, в ряду данных проблем большое значение имеют особенности и свойства глубинных ксенолитов как представителей иных, чем лавы вулканов, частей разреза земной коры. То есть они помогают провести более полное сравнение генетических условий и особенностей геологических объектов.

Автор не мог обойти стороной поднятые выше вопросы, хотя и приходится отметить, что имеющиеся данные о петро- и геохимическом составе породообразующих минералов в изученной коллекции вулканитов недостаточно полны.

Состав породообразующих минералов

Естественно, что основные особенности свойств и состава минералов подводных вулканитов дуги изучены геологами, исследовавшими сами вулканиты. На их работы мы уже указывали в пре-

Таблица 8. Содержание железистого компонента в фемических минералах подводных и наземных лав по данным В.Ф. Остапенко, Е.Н. Кичиной /1977/

Минералы	б, аб		а		ад		д, р	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Оливины	10	25	-	-	-	50	-	-
Ромбические пироксены	23	32	33	40	40	37	36	48
Моноклинные пироксены	7	20	30	23	22	28	38	34
Роговые обманки	38	-	63	34	-	-	36	-
Среднее арифметическое общей железистости	14 [*]	28	33	32	25	32 ^{**}	29 [*]	41

Примечание. 1 - подводные лавы, 2 - породы кальдер Медвежьей и Заварицкого. Одной и двумя звездочками отмечены содержания без учета роговой обманки и оливина соответственно, а, аб, а, ад, д, р - базальты, андезитобазальты, андезиты, андезитодациты, дациты, риолиты соответственно.

дыдуших разделах. Здесь же отметим только наиболее существенные моменты, касающиеся минеральной части.

Породообразующие минералы подводных лав по ряду генетических признаков отличаются от аналогичных минералов наземных пород. Так, подводные плагиоклазы по сравнению с наземными имеют более кислый состав. Это объясняется более кислой специализацией подводных лав в сравнении с наземными, о чем говорилось при исследовании особенностей распределения пород Курильской дуги по содержанию кремнезема.

Содержание фаялитового компонента в подводных оливинах колеблется от 3 до 21%, а в наземных эти значения приближаются к 50%.

Различия между подводными и наземными условиями кристаллизации устанавливаются и по данным изучения пироксенов - моноклинных и ромбических: так, содержание волластонитовой составляющей в первых колеблется в интервалах 37-45% (подводные условия) и 25-50% (наземные условия). А содержание ферролитового компонента во вторых из подводных лав много ниже, чем в лавах наземных вулканов (табл. 8).

Как видно из табл. 8, подводные оливины отличаются от наземных пониженной железистостью.

Во всех случаях меньшая железистость подводных образований

по сравнению с наземными видна из одной характерной минералогической особенности подводных лав: в составе их минералов почти повсеместно присутствует роговая обманка. Естественно, что при кристаллизации базитового расплава происходит интенсивное перераспределение химического железа между образующимися фазами, при этом железо в больших количествах входит в состав роговой обманки. И чем основнее расплав, тем большее количество железа уходит на образование данного феррического минерала. В табл. 8 четко отмечается преобладание железистого компонента в роговых обманках по сравнению с оливинами и пироксенами из основных лав, а обратная тенденция прослеживается в содержаниях данного компонента в роговых обманках и других феррических минералах из кислых лав — андезитодацитов, дацитов, риолитов.

Вхождение большого количества железа в роговую обманку обуславливает пониженную железистость других минералов подводных пород, по крайней мере основных (базальт-андезитового ряда) в сравнении с наземными, лишенными роговой обманки.

В дополнение к отмеченным особенностям приведены результаты микронзондового исследования минералов и стекол подводных эффузивов Курильской островной дуги и для сравнения базит-гипербазитовых ксенолитов вулканов Камчатки: Ксудач, Желтовского и Авачинского (см. Приложение, табл. 7, 8).

Минералы и стекла исследованы в наиболее представительных образцах подводных пород: 723 — Южные, 41-15 — Центральные и 120-5, 98-3 — Северные Курилы (рис. 28).

Габброид влк. Ксудач и лерцолит влк. Желтовского на петрохимической диаграмме А.Н. Заварицкого попадают в поле базитовых ксенолитов, лерцолит влк. Авачинского — в поле гипербазитовых ксенолитов. Породы образцов 120-5 и 41-15 отличаются от пород образцов 98-3 и 723, лежащих в поле базитовых ксенолитов, меньшими значениями коэффициента c и большими — a (рис. 29). От пород ксенолитов данные породы отличаются меньшей железистостью.

Имеющиеся в нашей коллекции ксенолиты аналогичны описанным подробно Ф.Ш. Кутыевым и В.Н. Шарповым /1979/. Поэтому мы остановимся на характеристике подводных эффузивов. Во всех образцах под микроскопом наблюдаются признаки изменения: ожелезнение, серицитизация и т.п. В основном образцы представлены порфировыми разностями, главными минеральными фазами в которых являются пироксены (диопсид-геденбергит — обр. 41-15, авгит — обр. 723, салит — обр. 120-5) и плагиоклазы, среди которых преобладает анортит. В микролитовой фазе господствует плагиоклаз. Оливин (гортнолит) встречен в ассоциации с плагиоклазом в базальте (обр. 98-3). Амфибол более связан с клинопироксенами в кислых породах (обр. 120-5, андезитодацит). В даците (обр. 41-15), поднятом в районе Центральных Курил, обнаружен редкий для изверженных пород кальциево-алюминиево-железистый гранат гроссуляр — андрадитового ряда в ассоциации с титаномагнетитом и пироксенами, обогащенными кальцием. Автору известен только один случай находки гранатов в пределах Курильской островной дуги: в наземных кислых эффузивах

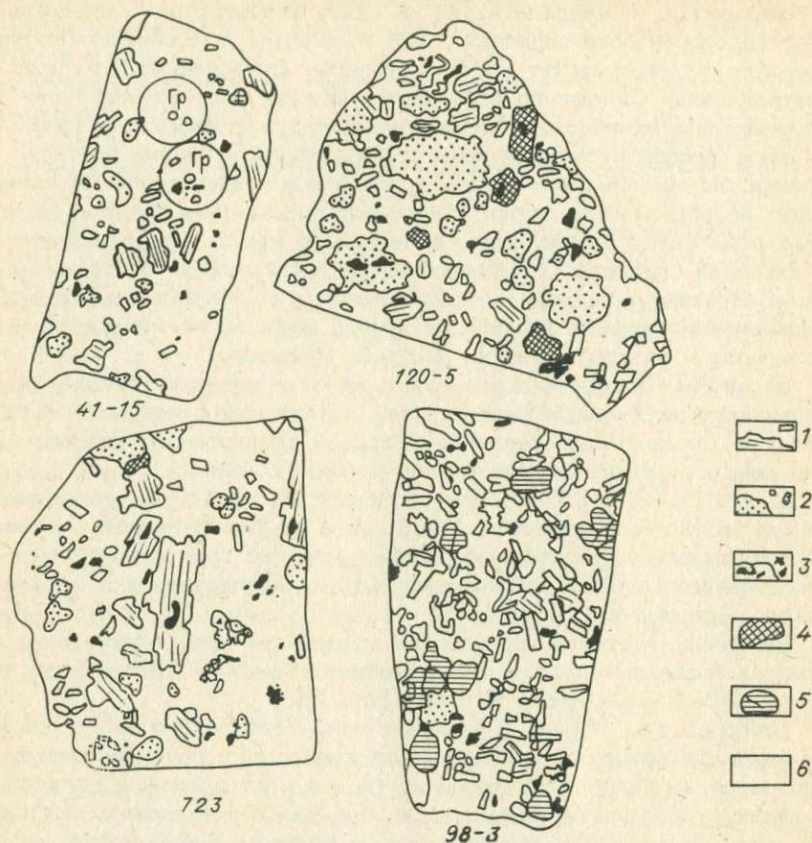


Рис. 28. Структуры некоторых подводных пород.

1 - плагиоклаз, 2 - пироксены, 3 - магнетит, 4 - амфибол, 5 - оливин, 6 - основная масса, Гр - гранат.

Южных Курил (устное сообщение сотрудника ИГиГ СО АН СССР Г.А. Третьякова).

Состав гранатов в обр. 41-15 характеризуется отсутствием двуокси титана, небольшим содержанием магния и высоким - железа, кальция и марганца. Гранаты по составу очень похожи на гранаты в расплавных включениях из оливин-анортитовых сегрегаций, описанных В.В. Ананьевым и Г.Д. Шныревым /1984/, и отличаются только большим содержанием MnO , Al_2O_3 , CaO и меньшим -

TiO_2 , ΣFeO , MgO . Близки они по составу и гранатам из ксенолитов дистеновых эклогитов и гроспидитов кимберлитовой трубки Удачная, если учитывать норму андрадитового номинала. Все это говорит о более глубинном уровне генерации пород обр. 41-15 по сравнению с другими эффузивными образованиями и (или) о более высоком зна-

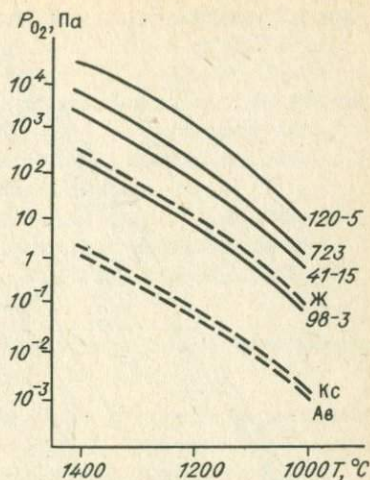
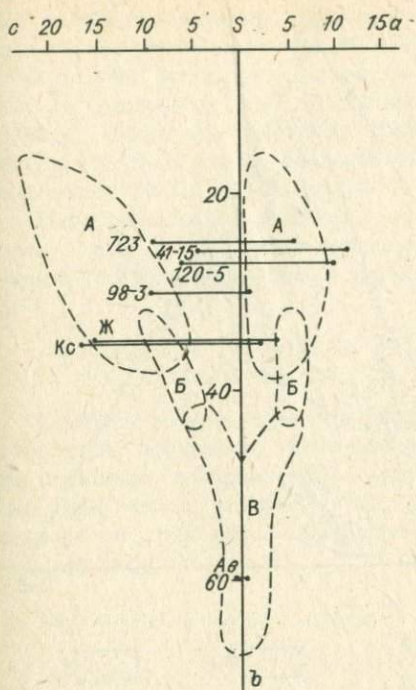


Рис. 30. P_{O_2} кристаллизации некоторых подводных пород (сплошная линия) и ксенолитов (штриховая линия). Сокращения см. на рис. 29.

Рис. 29. Положение некоторых подводных пород и ксенолитов на диаграмме А.Н. Заварицкого.

А-В - поля фигуративных точек базитовых (А), лампроболитовых (Б) и гипербазитовых (В) ксенолитов, по Ф.Ш. Кутыеву и В.Н. Шарпову /1979/. Ж, Кс, Ав - ксенолиты вулканов Желтовского, Ксудач, Авачинского соответственно.

чении термодинамических параметров (в первую очередь P и T , °C), поскольку P_{O_2} кристаллизации расплава с составом, аналогичным составу обр. 41-15, мало отличается от P_{O_2} других пород (рис.

30). Интересно, что в этом же образце пироксены содержат больше глинозема и кальция и меньше железа.

Стекло в тех или иных количествах встречается почти во всех образцах, однако большие вариации и дисперсии породообразующих окислов в стеклах указывают на резкую неоднородность последних (даже в масштабах анализа: локальность порядка 2-4 мкм), свидетельствующей о неравномерности процессов при охлаждении первичных жидкостей. Но в отличие от ксенолитов, где стекло заполняет в основном интерстициальные промежутки между минералами и трещинки, выделения стекла в эффузивах часто наблюдаются в виде капель внутри минералов. Часть стекла заполняет небольшие

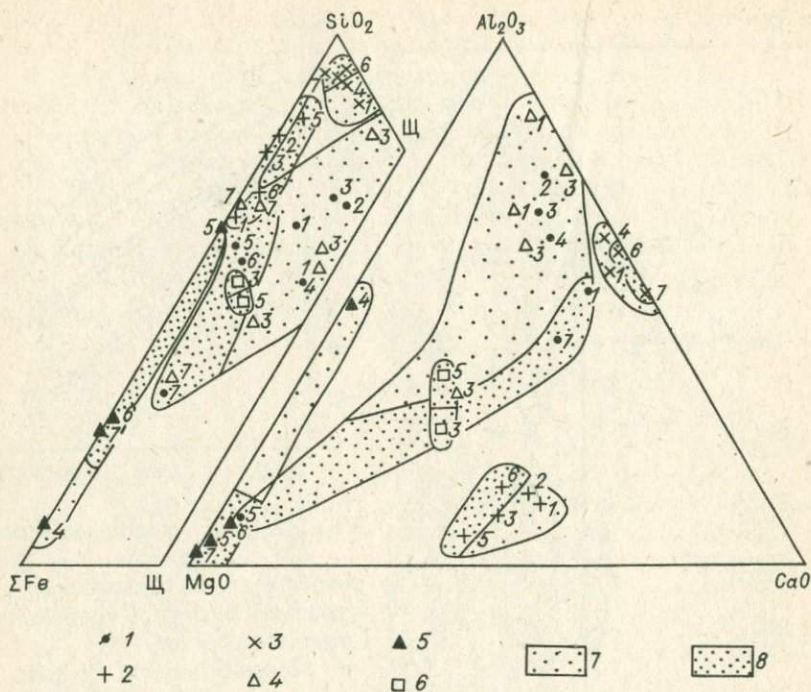


Рис. 31. Петрохимические особенности эффузивов и ксенолитов и их минералов и стекол.

1 - породы; 2 - пироксены; 3 - плагиоклазы; 4 - стекло; 5 - оливины; 6 - амфиболы; 7,8 - поля фигуративных точек эффузивов и ксенолитов соответственно. Цифры на диаграммах - образцы: 1 - 723, 2 - 41-15, 3 - 120-5, 4 - 98-3, 5-7 - ксенолиты вулканов Авачинского, Желтовского, Ксудач.

трещинки в минералах и в основной массе пород. В кислых породах в основной массе присутствует значительное количество стекловатой фазы.

Одноименные минералы из эффузивов и ксенолитов четко различаются между собой по ряду петрохимических признаков, особенности которых показаны на диаграмме $\text{SiO}_2 - \Sigma\text{FeO} - \text{Щ}$ и $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{MgO} - \text{CaO}$ (см. рис. 31 и Приложение, табл. 7, 8). Так, в оливинах ксенолитов (гортонолит - вулканы Ксудач и Желтовский, форстерит - влк. Авача) отмечается пониженное содержание ΣFeO , MnO и повышенное - MgO и Al_2O_3 , причем в ряду лерцолитовый ксенолит - габброид-

ный ксенолит - эффузив количества последних двух окислов изменяются соответственно от 50,55 и 39,30 до 29,33 и от 0,73 и 2,30 до 0%. Здесь не отмечается устойчивости примесей Ca и Ti (в отличие от Al) в оливинах, как это показано С.А. Щекоей /1983/. Несколько обособлен состав оливина из лерцолита влк. Желтовского: он имеет большую титанистость, глиноземистость и щелочность (0,22, 2,30 и 0,47% соответственно).

Пироксены из ксенолитов (диопсид-геденбергит - влк. Авача, салит - влк. Желтовский) отличаются меньшими титанистостью и железистостью и большим содержанием MgO и щелочей, особенно K₂O.

Плагиоклазы (анортит № 5-10) ксенолитов имеют чуть меньше MgO, Na₂O и больше ΣFeO, CaO, K₂O.

Статистические характеристики минералов и стекол из массивов ксенолитов, эффузивов, эффузивов + ксенолитов различны. Это видно при сравнении коэффициентов парной корреляции данных массивов (см. Приложение, табл. 8). Так, для основных формульных окислов оливинов из ксенолитов обнаруживаются следующие интересные связи с другими окислами:

$$r_{\text{MgO}-\text{CaO}, \text{SiO}_2, \text{MnO}} = -0,54; -0,43; 0,98.$$

$$r_{\Sigma\text{FeO}-\dots} = 0,67; 0,56; -0,99.$$

Для оливинов из массива эффузивы + ксенолиты эти связи другие:

$$r_{\text{MgO}-\dots} = -0,39; 0,66; -0,80.$$

$$r_{\Sigma\text{FeO}-\dots} = 0,48; -0,60; 0,78.$$

Как видно, в оливинах из ксенолитов MgO отрицательно коррелирует с CaO, Na₂O, а ΣFeO - с MnO. Роль SiO₂ и MnO в породах ксенолитов и, видимо, на тех уровнях разреза земной коры (и верхней мантии?), где находились эти породы, и в эффузивах совершенно различна.

Связь ΣFeO и MgO со щелочами также меняется в этом ряду от отрицательной (-0,21) к положительной (0,25). Этого нельзя сказать для пироксенов, рассматривая те же корреляционные ряды:

$$r_{\text{MgO}-\text{CaO}, \text{SiO}_2, \text{MnO}, \text{Na}_2\text{O}, \text{K}_2\text{O}} = \frac{0,69; 0,87; -0,41; 0,28; 0,02}{0,18; 0,72; -0,89; 0,00; -0,95}$$

$$r_{\Sigma\text{FeO}-\dots} = \frac{-0,85; -0,87; 0,80; 0,04; 0,49}{-0,78; -0,85; 0,96; 0,00; 0,81}$$

Здесь в числителе значения коэффициентов для массива ксенолитов, в знаменателе – для массива эффузивов.

Пироксены отличаются большей равномерностью состава, менее зависящей от генетической принадлежности данных минералов к различным группам пород (это выдвигает данный минерал в ряд "реперных" при построениях генетического характера). Кроме того, различие между оливинами и пироксенами возникает из-за разной роли их молекул в первичных расплавах и в процессе кристаллизации последних. Так, в перцолитовых ксенолитах основным минералом является оливин (до 60–80%), в то время как в эффузивах его доля много меньше ($\approx 5\%$). В стеклах, например, из массивов эффузивов и эффузивов + ксенолитов корреляционные соотношения таковы (для тех же пар окислов, что даны выше):

$$r_{\text{MgO} \dots} = \frac{0,08; -0,67; -0,19; -0,36; -0,77}{0,97; -0,63; 0,07; 0,47; -0,79}$$

В числителе дан массив ксенолитов + эффузивов, в знаменателе – эффузивов.

Учитывая значения коэффициента парной корреляции в эффузивах и сложный состав второго массива, получаем, что Mg в стеклах из ксенолитов в сравнении со стеклами в эффузивах имеет отрицательную корреляционную связь с CaO, MnO и Na₂O, а ΣFeO – с MnO и Na₂O:

$$r_{\Sigma\text{FeO} \dots} = \frac{0,47; -0,80; -0,01; -0,08; -0,08}{0,73; -0,79; 0,36; 0,53; -0,54}$$

Как видно, здесь почти полная аналогия с поведением MgO и ΣFeO в оливинах из ксенолитов.

При сравнении содержаний окислов в минералах из эффузивов и ксенолитов выяснилось, что SiO₂ в плагиоклазах и пироксенах ксенолитов содержится больше (а в плагиоклазах и пироксенах эффузивов меньше), чем в породе ксенолитов (и эффузивов). Обратное явление отмечается для ΣFeO у пироксенов.

Анализ соотношений между вариациями породообразующих окислов в эффузивах и ксенолитах показывает, что между данными массивами существует вполне определенная взаимосвязь: так, состав пород зависит от состава минералогической составляющей в них, а состав минералов отражает особенности состава самих пород (рис. 32). Рассмотрим соотношения между составами минералов-матриц и минералов-включений. В нашем случае это пара амфибол (матрица) – магнетит (включение) (см. Приложение, табл. 7; обр. 120–5, рис. 33), где наиболее показательны содержания MgO, TiO₂ и ΣFeO в магнетите-включении по сравнению с магнетитами из основной массы и отмечаются экстремальные значения содержаний Al₂O₃ и MnO в магнетите-включении. На рис. 33 штрихом показаны вариации окислов триады магнетит в основной массе – магнетит-включение в амфиболе – амфибол-матрица (использованы данные Ю.С. Шевченко и др., /1982/). Вышесказанное видно и на примере стекол: по соот-

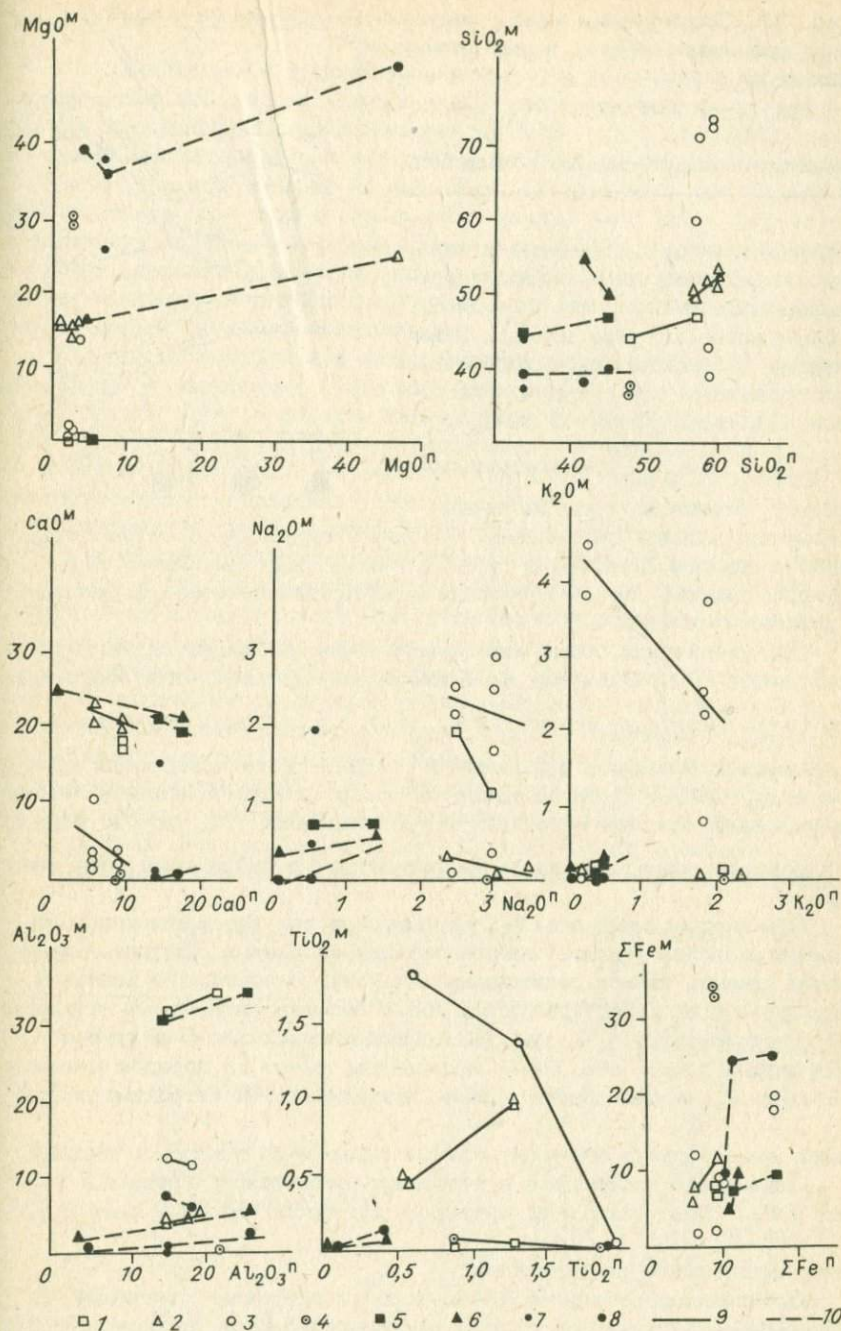


Рис. 32. Соотношения между составом пород (п) и их минералов (м).
 Породы: 1-4, 9 - эффузивы; 5-8, 10 - ксенолиты (1,5 - плагиоклаз, 2,6 - пироксены, 3,7 - стекло, 4,8 - оливин).

Рис. 33. Соотношения между составами амфибола-матрицы и магнетита-включения.

$Mt_{1,2}$ - магнетиты, Mt_{Am} -

магнетит в амфиболе, Ам - амфибол.

ношению щелочей, глинозема и кальция все рассмотренные породы пересыщены глиноземом, т.е. относятся к плюмазитовому ряду по А.Н. Заварицкому (за исключением габброидного ксенолита влк. Ксудач, у которого $CaO+Na_2O+K_2O > Al_2O_3 > K_2O + Na_2O$, т.е. нормальный состав); стекла из этих же пород

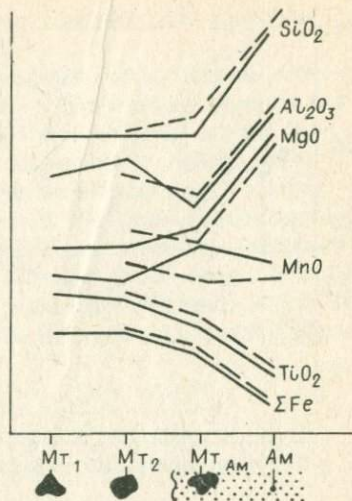
также пересыщены глиноземом или имеют нормальный состав с отношением окислов, близким к плюмазитовому ряду (например обр. 120-5) (два анализа стекол габброида влк. Ксудач показали нормальный и щелочной составы).

При увеличении общей щелочности пород наблюдается увеличение содержаний Al_2O_3 и Na_2O в пироксенах ксенолитов и эффузивов, что согласуется (за исключением TiO_2) с данными изучения пород и минералов Большого Трещинного Толбачинского извержения /Флеров и др., 1980/. Что же касается связи между вариациями каждого из щелочных окислов в породах и содержаниями Al_2O_3 и Na_2O в пироксенах пород, то здесь зависимости более сложные (см. рис. 32).

Отмеченная взаимосвязь отражается и при восстановлении физико-химических условий кристаллизации расплавов. Породы, содержащие оливин, имеют пониженные значения парциального давления кислорода, т.е. характеризуются более восстановительными условиями кристаллизации (см. рис. 30). Особенно это видно в группе эффузивных пород: обр. 98-3 с оливином имеет на порядок меньшее значение P_{O_2} , чем другие породы без оливина. В петрохимическом плане этот образец содержит больше глинозема, магния и кальция.

Данное обстоятельство в отношении содержания оливина в породах и P_{O_2} кристаллизации последних интересно само по себе и требует дальнейшего рассмотрения.

Соотношения между составом пород и составом слагающих их минералов - это первый уровень петрологической и петрохимической зависимости. Второй уровень, который подтверждается и литературными данными и нами, наблюдается при анализе соотношений между составами минералов-матриц и минералов-включений в данных матрицах



Сообщения о рудных минералах в вулканогенных породах океанической коры носят эпизодический характер. Что же касается рудных минералов подводных вулканитов Курильской островной дуги, то нужно констатировать почти полное отсутствие не только специальных работ, но и сообщений на эту тему. Естественно, что в данной работе нельзя было пройти мимо этого факта. Тем более, что есть вероятность подойти к характеристике и особенностям зональности петро- и геохимии лав Курильской островной дуги со стороны изучения минералов, считающихся обычно в литературе второстепенными, аксессуарными, непородообразующими.

По мере возможности в лавах были изучены сульфиды и ферришпинелиды - магнетиты и титаномagnetиты. Поскольку эти образования присутствуют в лавах в количествах, недостаточных для анализа традиционными методами (химическим, спектральным и т.п.), то с целью исследования отдельных кристаллов была использована лазерная микроспектральная установка ЛМА-1, позволяющая установить присутствие большинства элементов в соотношениях порядка сотых, а иногда и тысячных долей процента. В более ранних работах нами были показаны эффективность и сходимость результатов лазерной микроспектроскопии с атомно-абсорбционным анализом /Шевченко и др., 1982; Портнягин, Шевченко, 1982/.

В исследованных образцах с помощью стандартных оптических методик определены следующие рудные минералы: титаномagnetит, магнетит, ильменит, шпинель, гематит, пирит, халькопирит, пирротин. Кроме гематита, все эти минералы являются или первичными выделениями из расплава, или ксенокристаллами, или продуктами распада твердых растворов и разложения силикатных минералов.

Сульфиды в подводных вулканитах представлены в основном пиритом в виде отдельных зерен или их скоплений. Выделения пири-

Таблица 9. Среднее содержание микроэлементов в пиритах из подводных лав Курильской дуги, вес. %

№ обр.	Порода	Al	Mg	Mn	Ni
49-8	Окварцованный туф	0,10	0,18	0,04	-
69-6	Дацит	0,20	0,70	0,07	-
71-2	Андезит	0,90	0,10	0,04	-
77-1	Андезитодацит	0,20	0,60	0,50	-
122	Дацитовый туф	0,20	0,10	0,15	0,010
1077-13	Туф	0,13	0,09	0,35	0,001
1270-16	Дацит	0,07	0,08	0,06	-
1306-5	"	0,08	0,08	-	-
1358-4	Дацитовый туф	0,20	0,06	0,02	0,001
1361-1	Кислый альбитизированный туф	0,20	1,00	0,05	0,020

Окончание табл. 9

№ обр.	Порода	Co	Ti	Zn	Cu
49-8	Окварцованный туф	0,005	0,02	-	0,005
69-6	Дацит	0,009	0,05	-	0,004
71-2	Андезит	-	0,02	-	0,002
77-1	Андезитодацит	-	0,80	-	0,002
122	Дацитовый туф	0,009	0,04	-	0,004
1077-13	Туф	0,005	0,50	-	0,002
1270-16	Дацит	0,008	0,07	-	0,002
1306-5	"	0,005	0,01	0,02	0,005
1358-4	Дацитовый туф	0,025	0,01	-	0,003
1361-1	Кислый альбитизи- рованный туф	0,012	0,02	-	0,040

та имеют округлую и изометрическую форму и погружены в основную стекловидную массу породы, иногда размещаются в пустотах и трещинах, часто заполненных серицит-хлоритовым материалом; довольно часты включения пирита в ферришпинелидах и силикатах.

По ряду признаков (морфологии кристаллов, соотношению их с другими минералами и т.п.) можно выделить две генерации сульфидов (пирита, халькопирита, пирротина) - первично-магматическую и постмагматическую. Первая выделяется и по равномерности содержаний S и Fe (обр. 723 - 37,24; 35,66; 36,44 и 48,97; 47,45; 47,82% соответственно). Данная генерация более высокотемпературная и представлена округлыми (вплоть до каплеобразной) образованиями, включенными в матрицу либо породообразующих минералов (оливина, пироксена), либо чаще ферришпинелидов (титаномагнетитов). Имеются случаи совместного нахождения в матрице, например, клинопироксена, округлых включений пирита и титаномагнетита или стекла и пирита.

Наиболее распространены вторичные выделения сульфидов.

С помощью установки ЛМА-1 (оператор С.И. Портягин, ИГиГ СО АН СССР) в пиритах обнаружены и количественно определены содержания Al, Mg, Mn, Ni, Co, Ti, Cu, Zn (табл. 9). В пиритах из наземных лав, кроме данных элементов, было зафиксировано присутствие Ag и Pb (табл. 10) (Ag = 0,005-0,04 вес.%; среднее значение - 0,01).

Микроэлементный состав двух типов пирита обобщенно представлен в табл. 10. В подводном пирите элементы Al, Mn, Ti содержатся в больших количествах, чем Co, Cu, Zn, Pb, Ag, а в наземном - Pb, Zn, Al, Cu, Ti и Ag, чем Mn, Co и Ni. Подводный пирит явно обогащен Al, Ti, Mn, Co и Ni и обеднен Zn, Cu, Pb и Ag, хотя повышенное содержание в подводных пиритах Mn и Al может быть связано и с воздействием на породы морской воды через поры и трещины.

Изменение величин концентраций элементов не случайно, а связано с местом отбора образцов относительно простирания Курильской

Таблица 10. Содержание микроэлементов в пиритах из лав Куриль-ской островной дуги, вес. %

Характеристика	Al	Mn	Ni	Co
Наземный пирит (25)	$\frac{0,04-0,3}{0,06}$	$\frac{0,001-0,03}{0,005}$	$\frac{0,001-0,002}{0,005}$	$\frac{0,005-0,008}{0,003}$
Подводный пирит (20)	$\frac{0,07-0,9}{0,2}$	$\frac{0,000-0,5}{0,1}$	$\frac{0,000-0,02}{0,003}$	$\frac{0,005-0,025}{0,008}$

Окончание табл. 10

Характеристика	Ti	Cu	Pb	Zn
Наземный пирит(25)	$\frac{0,001-0,1}{0,01}$	$\frac{0,002-0,1}{0,02}$	$\frac{0-0,3}{0,1}$	$\frac{0,02-0,4}{0,08}$
Подводный пирит (20)	$\frac{0,01-0,8}{0,2}$	$\frac{0,002-0,04}{0,007}$	He обн. 0?	$\frac{0,00-0,02}{0?}$

Примечание. В числителе - минимальное и максимальное значения концентраций микроэлементов; в знаменателе - среднее; в скобках количество проанализированных образцов (лазерная микро-спектроскопия, установка ЛМА-1, оператор С.И. Портнягин, ИГиГ СО АН СССР).

островной дуги (см. табл. 9). Чтобы более точно показать данную зональность, элементы в пирите по максимумам концентрации были разделены на две группы: Al, Mn, Ti и Co, Ni, Cu. Вариации этих элементов в пиритах вдоль Курильской дуги представлены на рис. 34.

В изменении концентраций Al, Mn и Ti заметно выделяются два максимума, причем основной приходится на участок между п-овом Камчатка и о. Парамушир, а дополнительный - между островами Симушир и Уруп. Характер распределения содержаний Mn и Ti для обоих участков совпадает, а максимумы по Al смещены.

Для элементов Ni, Co, Cu также выделяются два максимума, но в этом случае основной пик расположен между островами Симушир и Уруп, а дополнительный - между островами Парамушир и Расшуа.

В то же время область с минимальными концентрациями обеих групп элементов располагается в районе о. Матуа.

Мы уже говорили, что по данным атомно-абсорбционного анализа и анализа трендов эффузивы с восточной и западной сторон Большой Курильской гряды различаются по содержаниям Zn, Cu и Mn, а также Ni, Co и Cr, причем максимумы содержаний Zn и Cu наблюдаются на территории проявления формации зеленых туфов и миоцен-плиоценовых вторичных кварцитов с сульфидным оруденением. Максимумы концентраций Cu и Zn, а также Ni и Cr соот-

ветствуют минимумам содержания Mn. Для пород характерно смешение максимальных содержаний Co по отношению к Ni и Cr, а также совпадение дополнительного максимума Co с максимумами Zn и Cu. Области максимальных концентраций микроэлементов в подводных вулканитах располагаются в районе о. Уруп и между островами Симушир и Уруп (см. рис. 26, 27).

Районы, в которых подводные вулканиты и пириты имеют наибольшие концентрации микроэлементов, совпадают и расположены между островами Симушир и Уруп. Здесь подводные эффузивы и пириты в них насыщены Ni, Co, Cu и Zn.

Таким образом, для сульфидов отчетливо наблюдается антагонизм между указанными группами элементов: Al, Mn, Ti и Co, Ni, Cu (при преимущественном накоплении элементов первой группы).

Выявленные закономерности подчеркивают геохимическую специфику среды, в которой накапливаются продукты подводного и наземного вулканизма.

Ферришпинелиды (титаномагнетит) представлены в основном магнетитом и титаномагнетитом. Так как последний преобладает в более свежих породах, то он и представляет для нас наибольший интерес.

Выделяются несколько разновидностей титаномагнетита: 1) крупные (до 1 мм и более) отдельные кристаллы первично-магматического происхождения, вкрапленные как в основную массу породы, так и в виде включений в фенокристаллы пироксенов, оливина, роговой обманки; 2) мелкозернистый титаномагнетит и 3) титаномагнетитовая "сыпь", пропитывающая основную и стекловатую массу породы в виде скелетных выделений.

Встречаются зерна титаномагнетита, которые по всем признакам (ассоциация с породообразующими минералами, наличие полицентрической зоны роста, следов растворения и т.п.) можно отнести к группе ксенокристаллов, вероятность чего доказывалась нами ранее /Шевченко и др., 1982; Шевченко, 1983, 1985/.

Обнаруживается определенная закономерность между степенью раскристаллизации породы, количеством фенокристаллов и размерами зерен титаномагнетита: в наиболее раскристаллизованных породах ферришпинелиды крупные (более 0,5 мм), в пористых зерна меньше (0,05-0,1 мм) и формы их менее совершенны, в стекловатых титаномагнетита мало или совсем нет.

Анализ табл. 11 показал присутствие в титаномагнетитах Al, Mg, Ca, Mn, Ni, Co, Ti, Cr, Zn. Среднее содержание элементов группы железа, Cu и Zn, в монофракциях титаномагнетитов следующее:

Характеристика титаномагнетитов	Zn	Cu	Ni	Co	Cr	Mn
Подводные (52)	60,0	5,5	8,7	14,3	8,2	439,5
Наземные (32)	52,7	6,1	5,7	12,1	28,9	553,3
Титаномагнетиты из базитовых ксенолитов (8)	58,4	5,2	9,4	14,7	50,4	290,0

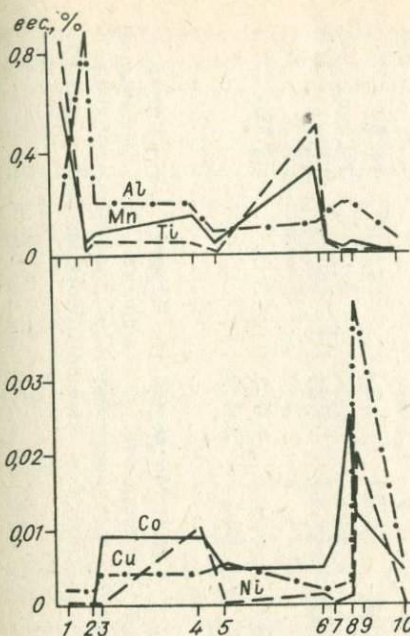


Рис. 34. Вариации концентраций элементов первой (вверху) и второй (внизу) групп в подводных пиритах вдоль Курильской островной дуги с севера на юг.

Станции драгирования: 1 - 77, 2 - 71, 3 - 69, 4 - 122, 5 - 49, 6 - 1077, 7 - 1270, 8 - 1358, 9 - 1361, 10 - 1306.

(Атомно-абсорбционный анализ, аналитик А.С. Боброва, ИГиГ СО АН СССР; содержание Mn-%, других элементов $\cdot 10^{-3}$ %). Получена хорошая сопоставимость результатов лазерного микроспектрального анализа и атомной абсорбции. Имеющиеся же различия объясняются либо на-

хождением в монофракциях (при атомно-абсорбционном анализе) разнотипных титаномагнетитов, либо присутствием в минерале чужеродных примесей (в случае анализа на ЛМА-1). Первое наблюдается более явно, так как невозможно выделить чистую монофракцию. Второе же лучше всего прослеживается при анализе корреляционных соотношений между элементами. Об этом будет сказано дальше.

В титаномагнетитах с падением основности пород от базальтов к дацитам содержания Zn, Mn, Ni увеличиваются, а Al, Mg, Co, Cu уменьшаются. В этом же направлении, по данным С.А. Шеки и др. /Парагенезисы ..., 1980/, наблюдается увеличение в титаномагнетитах содержаний Pb, Zr, Sn и уменьшение - Cr, V. В "кислых" титаномагнетитах (по сравнению с "основными") все реже встречаются такие минералы алюминия, магния и титана, как шпинель, ильменит, т.е. чем больше элементов составляют объем первоначального твердого раствора, тем больше вероятность выделения их в самостоятельную минеральную фазу при кристаллизации ферришпинелидов.

Поведение Mn, Ni и Al, Mg, Co, Cu в породах аналогично наблюдаемому в титаномагнетитах (табл. 12), т.е. состав титаномагнетитов отражает изменения состава вмещающих пород. Закономерно с этим изменяется и форма выделений титаномагнетитов: от неправильной до совершенной. Микронзондовые исследования титаномагнетитов из основной массы пород и из фенокристаллов силикатов, в частности амфибола, также подтверждают унаследованность титаномагнетитом особенностей вмещающего субстрата (табл. 13). Нужно отметить, что исследования С.А. Шеки и др. /Парагенезисы ...,

Таблица 11. Средний состав первично-магматических титаномагнетитов ($n \cdot 10^{-2} \%$)

№ п/п	Порода	n	Al	Mg	Ca	Mn	Ni	Co	Cu	Zn	Cr
1	б	25	27,5	52,0	0,5	8,0	0,4	0,6	0,5	-	He опр.
	а	90	27,0	49,0	0,3	13,0 (27,0)	- (0,3)	0,6 (1,5)	0,9 (0,6)	0,8 (4,6)	" (1,4)
	д	8	22,5	26,0	0,5	20,0	0,4	0,3	1,0	-	He опр.
2	б	4	23,0	31,0	0,4	8,0	-	0,5	1,0	-	"
	к	4	-	-	-	29,0	0,3	1,2	0,8	4,5	"
3	ад	4	22,0	37,0	4,0	6,0 (32,0)	0,5 (0,5)	0,4 (1,2)	1,5 (0,2)	-	" (1,4)
	д	3	30,0	100,0	0,5	25,0 (35,0)	0,7 (0,9)	0,6 (1,1)	- (0,2)	3,0 (6,5)	He опр. (4,4)
4	б	3	40,0	73,0	0,2	8,0	0,3	0,8	4,0	3,0	He опр.
	а	6	20,0	60,0	-	7,0	0,4	0,7	2,4	-	"

Примечание. 1 - подводные эффузивы Курильской дуги, 2 - влк. Медвежий (о. Итуруп), 3 - южная оконечность о. Кунашир; 4 - Мутновский блок Южной Камчатки. б - базальты, а - андезиты, д - дациты, ад-андезитодациты, к - ксенолиты. n - количество образцов. Прочерк - не обнаружено. Дан лазерный микроспектральный анализ (аналитик С.И. Портнягин, ИГиГ СО АН СССР), в скобках - атомно-абсорбционный (аналитик А.С. Боброва, ИГиГ СО АН СССР).

Таблица 12. Относительные пространственные вариации микроэлементов в ферритах и породах вдоль Курило-Камчатской островной дуги

Порода	Содержания элементов	
	уменьшаются	увеличиваются
Базальты	$\frac{\text{Al Mg Ca Mn}}{\text{Zn Ni Ca Mn Cr}}$	$\frac{\text{Ni Co}}{\text{Co}}$
Андезиты	$\frac{\text{Ca}}{\text{He опр.}}$	$\frac{\text{Mn Ni Cu Zn}}{\text{He опр.}}$
Андезитодащиты	$\frac{\text{Mn Zn Co}}{\text{He опр.}}$	$\frac{\text{Al Mg Ca Cu Ni}}{\text{He опр.}}$
Дашиты	$\frac{\text{Cu}}{\text{Cu Zn}}$	$\frac{\text{Al Mg Co Mn Ni Zn}}{\text{Cr Co Mn Ni}}$

Примечание. В числителе - профиль 1 (п -ов Камчатка - вулканы Мутновского блока - Курильские острова в целом - влк. Медвежий, о. Итуруп - Южные Курилы) для титаномагнетитов; в знаменателе - профиль 2 (Южная Камчатка - Северные - Центральные - Южные Курилы) для породы). Содержание Mn от Центральных Курил к Южным повышается, Co падает (в базальтах), а Zn в дащитах Центральных Курил увеличивается.

1980/ показали когерентность признаков магнетитов, например, из толеитовых базальтов и андезитов, а также из включений и ксенолитов из данных пород.

Наиболее чувствительный - нейтронно-активационный - анализ подтверждает данные положения. Так, с увеличением содержания в породах SiO_2 растут титанистость магнетитов и концентрации As, Au, Ce, Sm, U, La и уменьшаются количества Cr, Co, Rb, Cs (см. Приложение, табл. 9).

Часть элементов, видимо, входит в ферришпинелиды изоморфно, что можно рассмотреть на примере корреляционных связей. Так, ($r_{\text{Cr-Fe}} = 0,53$; $r_{\text{Cr-Ni}} = 0,49$ (см. Приложение, табл. 10)). Характерно, что Co имеет значительные отрицательные корреляции с Ni и Cr (о чем мы говорили и при анализе связей микроэлементов в эффузивных породах). Но $r_{\text{Ti-Co}} = 0,44$, следовательно, Co изоморфно содержится главным образом в ильменитах ($r_{\text{Ti-Fe}} = 0,12$). То есть в структурах распада в титаномагнетите, магнетите и ильмените сосредоточены разные микропримеси.

Обнаруживаемые же в титаномагнетитах высокие содержания Al_2O_3 , MgO, SiO_2 (данные микрозондового анализа), а также

Таблица 13. Состав титаномагнетитов из основной массы андезита (Mt_{OM_1} и Mt_{OM_2}), титаномагнетита-включения в амфиболе¹ андезита² ($Mt_{Amф}$) и амфибола (Амф)

Окисел	Mt_{OM_1}	Mt_{OM_2}	$Mt_{Amф}$	Амф
SiO_2	0,00	0,00	0,00	47,29
TiO_2	8,37	1,76	5,23	0,87
Al_2O_3	2,03	3,16	0,65	8,18
ΣFe	85,21	85,80	81,36	13,27
MnO	0,56	0,55	1,74	0,58
MgO	1,07	1,07	2,43	15,36
CaO	0,00	0,00	0,00	10,55
Na_2O	0,00	0,00	0,00	1,34
K_2O	0,00	0,00	0,00	0,34
H_2O	0,00	0,00	0,00	2,00

Примечание. Микронзондовый анализ, оператор О.И. Хмельникова, ИГиГ СО АН СССР. Содержание Cr_2O_3 во всех объектах равно нулю.

Al, Mg, Ca, иногда Si связаны, скорее всего, с механическими включениями стекла и кристалликов нерудных минералов. Так, в наших титаномагнетитах содержания кальция доходят до 3%. Правда, исследователи говорят о возможности вхождения в решетку магнетита высоких содержаний кальция /Phillips, Muan, 1958; Hrynkiwicz et. al., 1970; Воронцов, Афонина, 1976; Пермьяков, 1978/. Однако положительные корреляционные связи между породообразующим силикатными компонентами свидетельствуют в пользу первого предположения: так, $r_{Al-Mg,Ca} = 0,43; 0,11$ (хотя, например, $r_{Al-Cu} = 0,30; r_{Mg-Co} = 0,31$) (табл. 14).

В этом плане титаномагнетиты из эффузивов Камчатки более обогащены примесями, чем титаномагнетиты из новейших лав Курильской дуги. Различен в них и характер корреляционных связей – сравнение Курильских титаномагнетитов с камчатскими показывает, что в первых включения представлены стеклом ($r_{Al-Ca} = 0,13; r_{Mg-Al} = 0,30$), а во вторых – плагиоклазом или стеклом ($r_{Al-Ca} = 0,47$) и частично шпинелью ($r_{Mg-Al} = 0,50$).

Содержание микрокомпонентов зависит во многом от присутствия в породах тех или иных породообразующих минералов: например,

Таблица 14. Коэффициенты парной корреляции между микроэлементами в первично-магматических титаномагнетитах из эффузивов

Компонент	\bar{X}	D	Al	Mg	Ca	Mn	Ni	Co	Zn	\bar{X}	D
Al	0,25	0,01	1,00	0,50	0,47	0,10	0,10	0,09	0,29	0,30	0,01
Mg	0,44	0,07	0,27	1,00	0,10	0,56	0,32	0,28	0,38	0,58	0,09
Ca	0,26	0,58	0,13	-0,33	1,00	-0,14	-0,15	-0,42	0,08	0,06	0,04
Mn	0,18	0,03	-0,17	-0,17	0,34	1,00	0,00	0,02	0,19	0,11	0,01
Ni	0,00	0,00	-0,04	-0,04	-0,08	-0,10	1,00	0,42	0,28	0,00	0,00
Co	0,00	0,00	0,09	0,40	-0,36	-0,21	-0,27	1,00	0,24	0,01	0,00
Zn	0,01	0,00	0,19	-0,09	0,25	0,21	-0,05	0,03	1,00	0,02	0,00
Al			1,00	0,43	0,11	-0,13	0,05	0,09	0,30	0,27	0,01
Mg				1,00	-0,21	0,01	0,14	0,31	0,23	0,51	0,08
Ca					1,00	0,28	-0,11	-0,36	0,12	0,18	0,34
Mn						1,00	-0,09	-0,12	0,09	0,14	0,02
Ni							1,00	0,04	0,14	0,00	0,00
Co								1,00	0,14	0,00	0,00
Zn									1,00	0,01	0,00

Примечание. Вверху над диагональю 1,00 - титаномагнетиты из наземных эффузивов (42 анализа), под диагональю - титаномагнетиты из подводных эффузивов (78 анализов). Внизу - данные для титаномагнетитов из эффузивов в целом (86 анализов). \bar{X} , D, равные нулю, означают, что порядок этих величин равен 10^{-3} и 10^{-4} .

титанистость и марганцовистость титаномагнетита в гранатсодержащем даците в 5 и 2 раза соответственно выше, а глиноземистость в 3 раза ниже, чем в почти аналогичной породе (обр. 41-15 и 120-5), содержащей амфибол (см. Приложение, табл. 7).

Синхронность вариаций состава рудных минералов и вмещающих их пород указывает и на закономерное пространственное изменение содержаний микроэлементов в титаномагнетитах из разных пород. Это подтверждается при сопоставлении вариаций состава титаномагнетитов и пород вдоль Курило-Камчатской островной дуги с севера на юг в профилях: 1) п-ов Камчатка - вулканы Мутновского блока - Курильские острова в целом - влк. Медвежий - Южные Курилы (для титаномагнетитов); 2) Южная Камчатка - Северные - Центральные - Южные Курилы (для пород) (см. табл. 12).

Синхронно и в породах, и в титаномагнетитах ведут себя Cu, Co, Mn, Ni (базальты) и Co, Mn, Ni (дациты). Анализ форм выделений титаномагнетитов из одноименных пород северного и южного флангов дуги показывает, что в среднем "южные" ферриты отличаются от "северных" более правильным габитусом и меньшим содержанием различных примесей и включений, что может быть обусловлено или большей степенью фракционирования "южных" магм, или более равновесными условиями и меньшими скоростями их кристаллизации.

Сравнение микроэлементного состава первично-магматических титаномагнетитов и монофракций этих минералов из подводных и наземных лав показывает, что в первых больше Al, Mg, Ni и Cu (из базальтов и дацитов соответственно) и меньше Cu, Zn, Co и Al, Mg, Ni, Co, Zn . В валовом составе различия таковы: в подводных титаномагнетитах больше Co, Ni, Cr и меньше Mn (в андезитах). То есть по крайней мере для Co, Ni, Cr можно констатировать, что в направлении от наземных к глубоководным условиям их содержание как в рудных минералах, так и во вмещающих породах растет. Здесь можно провести параллель и с составом сульфидов. Кроме того (как и в сульфидях), в титаномагнетитах Al, Mn и Co, Ni, Cu, Cr являются антагонистами.

Итак, по данным изучения пород и минералов выделяются совершенно однозначные особенности петро- и геохимии вулканизма Курильской островной дуги: существование поперечной и продольной зональности; отличие подводных продуктов от наземных; синхронность микроэлементного и окисного составов минералов и пород. При более конкретной постановке можно выделить следующее: 1) породообразующие минералы подводных лав отличаются от наземных более кислым составом; 2) подводные лавы в отличие от наземных содержат роговую обманку; 3) существует четкое отличие породообразующих минералов из эффузивных пород и ксенолитов; 4) существует два уровня петрологической и петрохимической зависимости: в соотношениях между составами минералов и пород и между минералами-включениями и минералами-матрицами; 5) в рудных подводных минералах из основных пород больше $Ti, Al, Mg, Co, Cu, As, Au, Ce, Sm, U, La$ и меньше Rb, Cs, Zn, Mn, Ni , чем в аналогичных минералах из

кислых пород; 6) титаномагнетиты Курильской дуги по сравнению с камчатскими менее насыщены примесями и силикатными включениями; 7) в титаномагнетитах и в породах синхронны вариации $\text{Cu}, \text{Co}, \text{Mn}, \text{Ni}$ (базальты) и $\text{Co}, \text{Mn}, \text{Ni}$ (дациты); 8) существует пространственное различие рудных минералов: так, "южные" титаномагнетиты более совершенны по габитусу и содержат меньше различных включений; 9) от наземных к глубоководным условиям в рудных минералах увеличивается содержание Cr, Ni , отчасти Co и уменьшается - Mn .

ГЛАВА 5

НЕКОТОРЫЕ ПЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ И СЛЕДСТВИЯ

Здесь затронем в основном вопросы, касающиеся природы пространственной зональности новейших вулканитов Курильской островной дуги, геодинамических процессов тепло- и массопереноса под вулканами, особенностей кристаллизации курильских вулканитов и возможной металлогении региона.

Процессы тепло- и массопереноса под вулканами как причина вариаций состава лав и зональности вулканизма

Как уже упоминалось, в литературе имеется несколько точек зрения на природу петро- и геохимической зональности вулканизма Курило-Камчатской островной дуги и латеральных вариаций состава продуктов этого вулканизма. В основном они сводятся к установлению закономерностей между глубиной выплавки порций вулканитов или глубиной сейсмофокальной зоны (СФЗ) и содержанием различных микро- и макрокомпонентов в продуктах извержения вулканов. При этом особый упор делается на соотношения типа $\text{SiO}_2 - \text{MgO}, \text{K}_2\text{O} - \text{Na}_2\text{O}$, окисленность - щелочность пород. Однако зачастую новые исследования вносят значительные коррективы в имеющиеся петрогенетические построения, сделанные на основе полученных закономерностей. Например, нами было показано, что правило Диккинсона для участков изученной территории не выполняется - пропорционального увеличения содержания щелочей с погружением СФЗ не обнаружено. Значит, нужно искать иное объяснение обнаруженным аномалиям, например "скачку" щелочей вкострости простираемая дуги.

Возможно, что явления, усложняющие закономерный характер вариаций состава лав и зональности вулканизма дуги, есть следствия преобразования базитовых пород в результате флюидного тепло- и

массопереноса в зонах глубинных разломов под вулканами дуги. Сведения об этом были получены нами при изучении базитовых ксенолитов из андезитобазальтовых лав вулканов Южных Курил: Медвежьего, Менделеева и Головнина /Шарапов и др., 1983/.

Основное внимание было уделено установлению состава стекловидной фазы в трещинах, макропорах и на поверхности кристаллов плагиоклаза, оливина и клинопироксена, а также топографии поверхностей граней и тонкой структуры кристаллов плагиоклаза (с помощью методов просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ), электронной микроскопии, микрозондового анализа).

Базитовые ксенолиты сложены незональными кристаллами оливина, клинопироксена и плагиоклаза. Их состав изменяется лишь вблизи трещин, макропор и границ кристаллов, если они подвергаются растворению (травлению) или локальному подплавлению. Сравнение характера проявления такого изменения состава и структуры базитов из лав вулканов Южной Камчатки (Мутновский блок) и Южных Курил показывает, что ксенолитам курильских вулканов свойственны несколько меньшие масштабы локального подплавления и развития "вторичных" кристаллов в форме друз, вискоров, пластинок или игл. Здесь широко проявлено отложение в виде пленок или гроздьевидных выделений кремнезема, а также концентрически-зональных выделений гетита и сидерита с относительно высоким содержанием Mn и Mg. Нередкая цементация стяжений гетита в трещинах кварцем и кальцием свидетельствует о процессах гидротермальной приповерхностной переработки лав, однако для анализа глубинного петрогенезиса они не представляют интереса.

Характер поверхности кристаллов и распределения микроэлементов позволяют утверждать, что неоднородное растворение (выщелачивание) минералов высокотемпературными флюидами сопровождается отложением на травленной поверхности ряда петрогенных компонентов. Например, в случаях, когда оптическими методами на поверхности кристаллов фиксируется топография в виде шагрени, ступенек, ямок и т.п., отмечается возрастание ряда компонентов или появление новых в сравнении с составом матрицы-кристалла: Fe, Ti, K, S, Cl. На поверхности трещин и макропор меняются содержания Si, Mg, Al.

При изучении состава стекол в интерстициях между кристаллами, на поверхности трещин внутри них и в макропорах интересны два обстоятельства: 1) состав стекол у поверхности кристаллов мало отличается от состава минералов (лишь добавляются щелочи, железо и титан); 2) состав стекол внутри макропор и на поверхности трещин обычно существенно отличается от состава вмещающего кристалла, а также меняется на разных участках макропоры. Особенно это характерно для крупных округлых или сигарообразных включений вспененного стекла в оливине и клинопироксене. В оливине состав таких стекол по содержанию Si, Al, Ca близок к составу плагиоклаза, но в них повышены содержания Fe и Ti, иногда K. В клинопироксене такого рода стекла резко обогащены Fe, иногда Ti и имеют низкие содержания Si, Al, Mg, Ca.

Аналогичная ситуация отмечалась ранее и в ксенолитах базитов из лав вулканов Восточной вулканической зоны Камчатки /Шарапов и др., 1977/. Природа образования подобных крупных включений вспененного стекла в силикатах пока не ясна. Вполне возможно, что такого рода включения образуются на месте более низкотемпературных (в смысле плавкости) минералов, подвергающихся плавлению и частичному выщелачиванию при привносе в эти участки горячими флюидами щелочей, кремния, железа и титана.

Все данные свидетельствуют о проявлении в зонах глубинных разломов под вулканами Курило-Камчатской островной дуги процессов перекристаллизации, выщелачивания и локального подплавления пород земной коры при воздействии на них горячих флюидов. Эти процессы можно рассматривать как наиболее ранние и глубинные проявления тепло- и массопереноса в корневой зоне магматогенных гидротермальных систем.

Для нас интересен вывод о привносе в породы вследствие данных процессов кремнезема и щелочей, потому что здесь можно найти ответ на вопрос о природе "скачка" щелочности пород, установленного в пределах Мутновского блока Южной Камчатки. Здесь фиксируется мощная зона глубинных разломов, сопровождающаяся повышенным тепловым потоком, в результате чего в районе вулканов Мутновский, Горелый, как раз на участке "скачка" щелочей, проявлено мощное термальное поле.

Кроме подобных скачков, может быть просто нивелирование пространственных вариаций в составе пород, в результате чего не всегда и обнаруживается проявление закономерности Диккинсона.

Как правило, при извержениях вулканов не наблюдается излияния явно гидротермально-переработанных лав. Поэтому высокую или повышенную щелочность последних можно объяснить и ассимиляционными процессами в разрезе коры, где действуют горячие флюиды. Кроме того, нельзя исключать и возможности полной переработки, переплавления, перекристаллизации магм в очагах, расположенных в зонах глубинных разломов. Тогда на поверхность земли действительно могут выйти высокощелочные (или глиноземистые, или железистые и т.п.) базиты. То есть процессы изменения пород в зонах данных разломов, по-видимому, являются характерным типом глубинного метаморфизма, как и появление локальных зон псевдоожигенного состояния вещества, из продуктов извержения которого состоят анортитовые базальты и андезитобазальты четвертичных наземных и подводных вулканов Камчатки и Курильских островов.

Следует отметить еще одно обстоятельство. В районе Южной Камчатки глубины очагов плавления и состав субстрата на границе коры и верхней мантии в восточной и западной зонах перехода Курильская островная дуга - Центральная Камчатка неоднородны. Здесь выявлена ступенеобразная конфигурация верхней границы СФЗ /Шарапов, Шевченко, 1979/, что может обусловить и скачкообразное изменение состава базальтоидов, выплавляющихся в верхней мантии и основании земной коры. Но и здесь приходится брать во внимание процесс флюидной переработки магм под вулканами, так как ступене-

образная конфигурация СФЗ вызвана, скорее всего, мощными разломами в данном районе и интенсивными процессами тепло- и массопереноса.

Особенности кристаллизации курильских вулканитов

Данный вопрос в литературе рассматривался со многих сторон и достаточно тщательно. Это было сделано исследователями на базе изучения каменного материала, в основном наземного, поэтому ниже речь пойдет о некоторых минералогических особенностях подводных вулканитов и результатах модельной кристаллизации последних.

Уже отмечалось, что присутствие роговой обманки характерно только для продуктов подводного вулканизма. Последние же отличаются от наземных вулканитов повышенной щелочностью, что может быть связано как раз с присутствием в подводных лавах роговой обманки. Кроме того, факт нахождения данного минерала свидетельствует о том, что подводные лавы кристаллизовались в условиях повышенного давления летучих /Tomita, 1934; Bentor, 1941; Бетехтин, 1956; и др./ . Однако это вызывает сомнение при анализе значений окисленности различных вулканитов дуги в целом и ее зон (рис. 35) (окисленность = $\text{Fe}_2\text{O}_3 / \text{FeO}$).

Так, наблюдается резкая контрастность наземных и подводных вулканитов по степени окисленности. Если значения данного параметра в основных породах (наземных и подводных) совпадают, то в более кислых они расходятся (см. рис. 35). Видно, что подводные вулканиты (средние и кислые) окислены значительно меньше, чем наземные. Этот, может быть и парадоксальный, факт можно объяснить хорошей экранирующей способностью стеклянной оболочки на поверхности вытекающей в подводных условиях лавы.

Большие расхождения наблюдаются в степени окисленности наземных и подводных базальтов, андезитов и дацитов из разных зон Курильской дуги (см. рис. 35). Во-первых, окисленность средних и кислых наземных пород выше по сравнению с аналогичными породами, драгированными в акватории дуги. В то же время аналитические данные показывают, что с увеличением окисленности в кислых породах наблюдаются отчетливое увеличение их железистости и уменьшение содержания кремнезема и щелочей. Что касается соотношений степени окисленности пород и содержания в них щелочей, то по нашим данным в отличие от данных А. Ритмана /1975/ в породах с SiO_2 от 50 до 60% данная зависимость прямая, а в области более кислых пород она меняется на обратную /Шевченко, 1983/. Во-вторых, однотипные породы различных зон Курильской дуги отличаются по степени окисленности: здесь наибольшая контрастность между наземными и подводными породами ряда базальт- и дацит отмечается в зоне Южных Курил. Однако делать какие-то окончательные выводы в указанном плане опасно из-за недостаточной представительности статис-

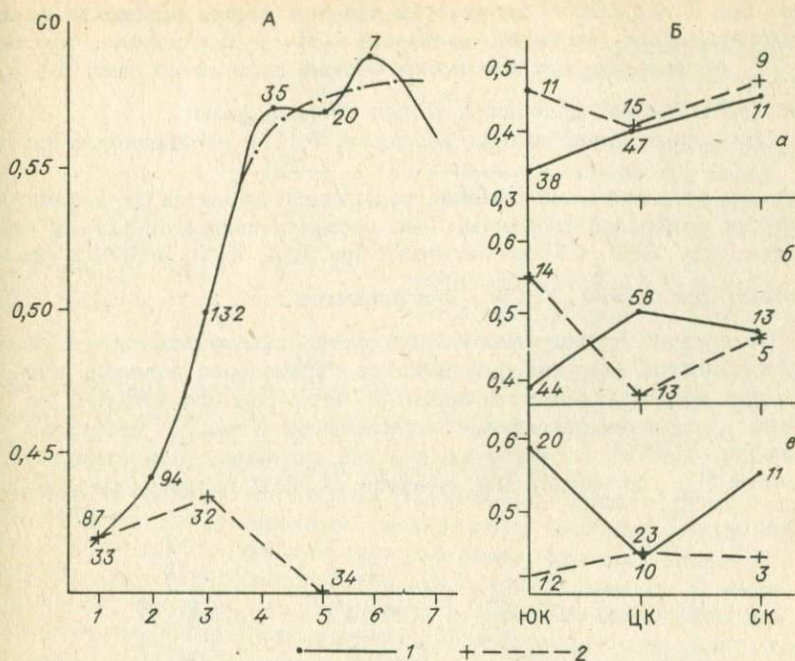


Рис. 35. Средняя окисленность (СО) различных пород (А) и различных зон (Б) Курильской островной дуги.

1 - наземные, 2 - подводные породы (а - андезиты, б - базальты, в - дациты). По оси абсцисс: 1 - базальты, 2 - андезитобазальты, 3 - андезиты, 4 - андезитодациты, 5 - дациты, 6 - липаритодациты, 7 - липариты. ЮК, ЦК, СК - соответственно Южные, Центральные, Северные Курилы. Цифры на графиках - число образцов. Штрихпунктирная кривая - усреднение.

тистических выборок по объему. Полученные данные заставляют относиться осторожно к различным петрогенетическим построениям, выполненным на "валовом" материале, без учета количественной роли основных, средних и особенно кислых пород, поскольку выводы, сделанные на основании исследования основных пород, могут быть совсем неприемлемыми для пород кислого ряда.

Воспользуемся уже отмеченными окисными формами железа для восстановления физико-химических условий охлаждения магм в приповерхностных условиях, когда парциальное давление воды несущественно влияет на смещение кривой ликвидуса и состав ликвидусных фаз. Расчеты с использованием алгоритма Натана и Ван-Кирка /Nathan, Van-Kirk, 1978/ показали /Шевченко, 1985/, что при высоком P_{O_2} на ликвидусе первым выпадает титаномагнетит, а температуры его кристаллизации ($T_{кр}$) достаточно велики - $1400^{\circ}C$.

Лишь при $T < 1200^{\circ}\text{C}$ начинается кристаллизация плагиоклаза. Здесь существенны два момента: чем меньше SiO_2 в расплаве, тем больше $T_{\text{кр}}$ первых твердых фаз и тем больше количество этих фаз в расплаве в момент появления второй твердой фазы.

При относительно низких величинах P_{O_2} в неодинаковых по оснoвности расплавах соотношения содержаний ферритов на ликвидусе и других минералов различны. Так, первыми твердыми фазами оказываются: при $\text{SiO}_2 < 50\%$ – магнетит, при $50 < \text{SiO}_2 < 60\%$ – плагиоклаз, при $\text{SiO}_2 > 60\%$ – ортопироксен.

Постоянное и повышенное присутствие титаномагнетита в подводных вулканитах указывает на высокое парциальное давление кислорода при кристаллизации их магм. Об этом свидетельствуют, на основе изучения ферритной составляющей, и данные петругров /Вольдан, 1963/, и физико-химические расчеты /Маракушев, 1975/. Расчеты P_{O_2} по методу Дж. Кеннеди /1950/ подтверждают вышесказанное:

$T, ^{\circ}\text{C}$	1	2	3
1400	$3,7 \cdot 10^{-3}$	$4,4 \cdot 10^{-3}$	$3,2 \cdot 10^{-3}$
1300	$8,6 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$7,5 \cdot 10^{-4}$
1200	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$1,9 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-4}$
1100	$1,7 \cdot 10^{-5}$	$2,1 \cdot 10^{-5}$	$1,5 \cdot 10^{-5}$
1000	$1,4 \cdot 10^{-6}$	$1,7 \cdot 10^{-6}$	$1,2 \cdot 10^{-6}$

Состав 1–3 образцов соответственно таков: SiO_2 – 44,00; 61,00; 55,00; TiO_2 – 2,55; 0,85; 0,74; Al_2O_3 – 15,40; 16,67; 17,50; Fe_2O_3 – 5,90; 2,15; 4,26; FeO – 7,00; 4,10; 6,09; MnO – 0,19; 0,15; 0,16; MgO – 8,30; 2,98; 3,50; CaO – 9,85; 4,71; 8,20; Na_2O – 2,90; 3,23; 2,15; K_2O – 1,40; 2,22; 0,47.

Оказалось, что по значениям P_{O_2} начала кристаллизации к подводным эффузивам Курильской островной дуги близки габброиды Чинейского массива и расплавы рудных порфиритов, в которых искусственно задавались соотношения между Fe^{+3} и Fe^{+2} , отвечающие безмагнетитовым парагенезисам /Шерченко, 1985/. На диаграмме дифференцированности этих расплавов в системе $\Sigma\text{Fe} + \text{TiO}_2 - \text{CaO} + \text{Ш} - \text{MgO}$ поле фигуративных точек габброидов частично пересекается с полем точек эффузивов, причем по направлению вектора SiO_2 видно, что более основные породы смешаются по дифференциации в более железистую область (рис. 36).

О высоком значении P_{O_2} кристаллизации подводных вулканитов

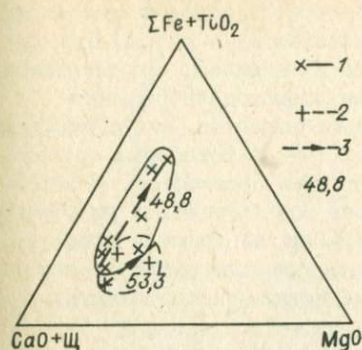


Рис. 36. Дифференцированность расплавов габброидов (1) и эффузивов (2), а также вектор SiO_2 (3), показывающий направление уменьшения основности пород. 48,8; 53,3 - SiO_2 среднее.

свидетельствует и присутствие в последних роговой обманки. И это же обстоятельство, видимо, сказалось и на более щелочном характере подводных пород по сравнению с наземными. Об этом можно судить и по связи SiO_2 , MgO со щелочами: как известно, подводные вулканиты являются и более кислыми.

Состав исходной магмы под структурами Курильской островной дуги относительно однородный, судя по всем вышеприведенным данным. Скорее всего, различия, которые были отмечены, связаны с особенностями термодинамической среды под вулканами. Причем получается, что продукты подводного вулканизма более обогащены литофильными элементами, особенно это характерно для пород кислого ряда. Такая обогащенность может свидетельствовать в пользу большего действия глубинных флюидов под подводными вулканами, особенно находящимися на охотоморской стороне дуги.

Флюидная обработка расплавов может внести свои коррективы и в зависимости щелочности и магнезиальности пород от глубины их выплавки. Однако вернее будет считать причиной нарушения данной зависимости более неравновесные условия кристаллизации подводных пород по сравнению с наземными. Об этом можно судить и по значительной вариативности состава подводных вулканитов, и по взаимоотношению между породообразующими минералами, и по физическим свойствам, и по особенностям ферритизации.

Вопросы металлогении подводных вулканитов

Наиболее интересен вопрос о первичном оруденении магматических пород, в нашем случае вулканитов Курильской островной дуги, т.е. о содержании и происхождении их рудной минеральной составляющей.

В результате просмотра и изучения обширного материала, как каменного, так и литературного, не было встречено ни одного образца и ни одного сообщения, свидетельствующего о присутствии в продуктах подводного (да и наземного) вулканизма Курильской островной дуги аналогов палеотипным рудным порфирирам, связанным с вулканогенными породами, известными в Казахстане, на Урале, Алтае-Саяне, Украине. И нет аналогов рудным магнетитовым лавам, из-

вестным в Северном Иране и Чили. Встречаются образцы с мощной сульфидизацией. Однако все данные свидетельствуют о том, что это оруденение постмагматическое, связанное с явлениями так называемого вторичного оруденения, при котором происходили процессы переотложения и последующей концентрации вещества, его собирательной перекристаллизации и т.п. Возможно, что в некоторых случаях мощная сульфидизация произошла в результате проявления глубинного тепло- и массообноса в краевой зоне магматогенных гидротермальных систем, поскольку наши исследования на примере ксенолитов показали, что в данной зоне в породах при понижении температуры отлагаются такие минералы, как магнетит, титаномагнетит, сульфиды, гидроокислы железа.

Количественная же роль процессов первичного оруденения мала. В среднем содержание химического железа колеблется от 5 до 12%, а магнетитового составляет 3%. Такие низкие "показатели" железоруднения в первую очередь связаны или с потенциальными возможностями глубинных (мантийных или нижнекоровых) магм или с отсутствием удовлетворительных для получения рудных расплавов (или хотя бы их порций) глубинных физико-химических условий.

Если в образце фиксируется повышенное содержание ферритов, то наблюдения показывают, что многие из рудных минералов (ферришпинелидов) несут признаки ксеногенности (без учета части ферришпинелидов, образовавшихся явно в постмагматическую стадию при распаде силикатных минералов). Таким образом, мы имеем факты проявления процессов ассимиляции глубинных пород расплавами вулканов Курильской дуги, как подводных, так и наземных. Эксперименты А.И. Васильевой, Ю.С. Шевченко /1982/ подтвердили вышесказанное. Причем выявились различия между реликтовыми и новообразованными титаномагнетитами, в целом совпадающие с натурными наблюдениями. Но, как уже говорилось выше, растворимость магнетитового железа в базитовых расплавах мала: как при низком (1 Па), так и при высоком (10^2 Па) P_{O_2} в условиях нормального давления

в интервале температур $1150-1350^{\circ}C$ колеблется в пределах 25-30% по весу. Близка к указанной величине растворимость магнетитового железа в базитовом расплаве и при содержании воды 2-4% по весу.

Все данные показывают, что ассимиляционные процессы под вулканами Курило-Камчатской островной дуги не являются существенным фактором обогащения базитовых магм (в нашем случае магм, давших серии пород в Курильском вулканическом регионе) железом. Для объяснения их повышенной железистости необходимо привлечь другие механизмы: ликвацию, дифференциацию и т.п. Возможно, что появление обогащенных железом магм связано с процессами отставания их в промежуточных камерах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Конечно, в работе отмечены и выявлены далеко не все особенности состава подводных вулканитов Курильской островной дуги. Это обусловлено и аналитическими возможностями, и обширностью темы, и многофакторностью геологических явлений (последняя причина одна из самых насущных, так как даже простой анализ данных показывает сложность зависимости какого-либо одного петро- или геохимического фактора-компонента от массы других). Все же подытоживая результаты исследований, нужно сказать, что по целому ряду признаков подводный вулканизм отличается от наземного. Это отличие фиксируется и при исследовании петро- и геохимического состава пород: 1) подводные вулканиты более щелочные (в первую очередь по калиевости) и глиноземистые и менее известковистые; 2) они более кислые; 3) для них характерна более выраженная сидерофильная специализация особенно в группе кислых пород; 4) в них содержится больше Co, Ni, Cr.

Отличие подводных лав от наземных фиксируется и при изучении минеральной составляющей вулканитов: 1) подводные породообразующие минералы более кислые; 2) для подводных вулканитов характерно присутствие железистой роговой обманки; 3) рудные минералы из подводных лав отличаются по составу от наземных образований, в первую очередь по содержанию Co, Ni и Cr.

Таким образом, получается, что подводный вулканизм обладает целым рядом специфических особенностей, которые предопределяют и состав, и свойства подводных вулканических продуктов. Причем ряд таких особенностей показывает, что подводные вулканиты по своему происхождению являются более глубинными. Указанное обстоятельство более свойственно породам, драгированным с западной стороны Курильской островной дуги.

Хочется думать, что данная работа, посвященная петро- и геохимии продуктов вулканизма преобладающей, но наименее изученной части Курильской островной дуги - подводной, позволит специалистам быстрее и полнее ответить на вопросы, связанные с процессами вулканизма Курильской островной дуги. Тем более, что особенности петро- и геохимического состава горных пород неразрывны с проблемами петрологического характера, как наиболее весомыми в области магматической геологии и прикладной, и теоретической. Петро- и геохимические исследования пород кроме качественных, позволяют получить и количественные оценки, что крайне важно в такой науке, как геология, занимающейся в основном обратными задачами.

- Абдурахманов А.И. Геохимическая зональность четвертичных вулканитов Курильской дуги // Современный вулканизм и связанные с ним геологические, геофизические и геохимические явления. - Тбилиси: Мешниереба, 1980. - С. 114-116.
- Абдурахманов А.И., Пискунов Б.Н., Смирнов И.Г., Федорченко В.И. Вулкан Алайд (Курильские острова) // Восточно-Азиатские островные системы (тектоника и вулканизм). - Южно-Сахалинск: Изд-во ДВНЦ АН СССР, 1978. - С. 85-107.
- Авдейко Г.П. Масштабы современного подводного вулканизма // Современный вулканизм и связанные с ним геологические, геофизические и геохимические явления. - Тбилиси: Мешниереба, 1980. - С. 74-75.
- Аверьянова В.Н. Детальная характеристика сейсмических очагов Дальнего Востока. - М.: Наука, 1968. - 192 с.
- Ананьев В.В., Шнырев Г.Д. Гранаты в расплавных включениях из оливина ОI-Ап сегрегаций (вулкан Ксудач, Камчатка) // Докл. АН СССР. - 1984. - Т. 274, № 2. - С. 402-406.
- Атлас Сахалинской области / Под общей ред. Г.М. Власова. - М.: ГУ геодезии и картографии при СМ СССР, 1967. - 135 с.
- Бабич В.В. Петрохимические особенности четвертичного вулканизма Среднего хребта Камчатки // Докл. АН СССР. - 1973. - Т. 208, № 5. - С. 1072-1075.
- Балеста С.Т., Утнасин В.М., Аносов Г.И. Особенности глубинного строения Ключевой группы вулканов на Камчатке по данным ГСЗ // Тектоника морей, океанов и островных дуг. - Южно-Сахалинск, 1972. - С. 13-17.
- Балуев Э.Ю., Перепелов А.Б., Ананьев В.В., Тактаев В.Н. Высококальциевые андезиты фронтальной части дуги (Камчатка) // Докл. АН СССР. - 1984. - Т. 279, № 4. - С. 977-981.
- Безруков П.Л., Зенкевич Н.Л., Канаев В.Ф., Удинцев Г.Б. Подводные горы и вулканы Курильской островной дуги // Молодой вулканизм СССР. - Петропавловск-Камчатский: Изд-во ДВНЦ АН СССР, 1958. - Вып. 13. - С. 71-88.
- Беляевский Н.А., Борисов А.А., Вольвовский И.С. Глубинное строение территории СССР // Сов. геология. - 1967, № 11. - С. 58.
- Бегехтин А.Г. Курс минералогии. - М.: Госгеолиздат, 1956. - 574 с.
- Болабко Г.Т., Друкер Е.З., Смирнов В.С., Фельдман И.С. Опыт магнитотеллурических зондирований в Центрально-Камчатской депрессии // Бюл. вулканол. станций. - 1974. - № 50. - С. 99-103.
- Важеевская А.А. Два типа базальтов на Камчатке // Бюл. вулканол. станций. - 1976. - № 52. - С. 127-134.
- Васильева А.И., Шевченко Ю.С. Экспериментальное изучение характера растворения и кристаллизации магнетита в базитовых расплавах // Дина-

- мические модели физической геохимии. - Новосибирск: Наука, 1982. - С. 108-111.
- Васильковский Н.П. О направленности геологических процессов в истории Земли // Геология и геофизика. - 1962. - № 11. - С. 41-51.
- Вергунов Г.П., Прямухина А.Ф. Мiocеновые отложения Курильских островов // Докл. АН СССР. - 1967. - Т. 154, № 6. - С. 1359-1362.
- Вольнец О.Н. О неоднородности состава коры и верхней мантии в пределах Курило-Камчатской магматической провинции // Вопросы петрохимии. - Л.: Изд-во АН СССР, 1969. - С. 254-255.
- Вольдан Я.Н. Проблемы каменного литья. - Киев: Изд-во АН СССР, 1963. - 504 с.
- Воронцов А.Е., Афонина Г.Г. О причине изменения размера элементарной ячейки в магнетитах железорудных месторождений юга Сибирской платформы // Геология рудных месторождений. - 1976. - № 4. - С. 77-82.
- Горшков Г.С. Четвертичный вулканизм и петрохимия современных лав Курильских островов // Доклады советских геологов на XXI сессии МГК. Пробл. 13. - М.: Изд-во АН СССР, 1960. - С. 61-69.
- Горшков Г.С. Вулканизм Курильской островной дуги. - М.: Наука, 1967. - 287 с.
- Городницкий А.М., Ушаков С.А. Геофизические изучения подводных вулканов // Вулканизм и геодинамика. - М.: Наука, 1977. - С. 179-186.
- Гузиев Н.С. Повышение содержания титана в базальтах Камчатки в ходе развития мезо-кайнозойского вулканизма // Геохимия. - 1973. - № 1. - С. 131-135.
- Ерохов В.Ф., Кичина Е.Н., Остапенко В.Ф. Петрохимические особенности лав подводных вулканов Курильских островов. - Южно-Сахалинск: Изд-во ДВНЦ АН СССР, 1975. - С. 21-26.
- Заварицкий А.Н. Вулканическая зона Курильских островов // Вестн. АН СССР. - 1946. - № 1. - С. 41-48.
- Затонский Л.К., Канаев В.Ф., Удинцев Г.Б. Геоморфология подводной части Курило-Камчатской дуги // Океанологические исследования. - М.: Изд-во АН СССР, 1961. - № 3. - С. 124-136.
- Зверев С.М., Тулина Ю.В. Некоторые результаты детального изучения строения земной коры южной части Курильской островной дуги методом ГСЗ // Вулканизм и глубинное строение Земли. - М.: Наука, 1966. - Т. 3. - С. 39-42.
- Зенкович В.П. Основы учения о развитии морских берегов. - М.: Изд-во АН СССР, 1962. - 710 с.
- Злобин Б.И., Кравченко С.М., Лактионова Н.В. Распределение меди в дифференцированных базальтовых сериях различной щелочности // Геохимия. - 1973. - № 3. - С. 371-377.
- Йодер Г.С., Тилли К.Э. Происхождение базальтовых магм. - М.: Мир, 1965. - 248 с.
- Канаев В.Ф., Ларина Н.И. Подводный рельеф Северо-Курильского района // Труды Института океанологии АН СССР, 1959. - Т. 36. - С. 158-168.
- Кеннеди Дж. К. Равновесие между летучими и окислами железа в изверженных породах // Вопросы физикохимии в минералогии и петрографии. - М.: Иностран. лит., 1950. - С. 121-136.
- Кеппежинскас В.В. Химизм четвертичных вулканов Курило-Камчатской вулканической провинции // Докл. АН СССР, 1970. - Т. 190, № 6. - С. 356-358.
- Кичина Е.Н., Остапенко В.Ф. Химический состав лав некоторых кальдерных вулканов Курильских островов // Труды СахКНИИ ДВНЦ АН СССР, 1975. - Вып. 25. - С. 17.

- Кичина Е.Н., Неверова Ю.Л., Остапенко В.Ф. Новые данные о подводных вулканах акватории острова Симушир (Курильские острова) // Геология дна северо-запада Тихого океана. - Владивосток: Изд-во ДВНЦ АН СССР, 1980. - С. 61-65.
- Косминская И.П. Метод глубинного сейсмического зондирования земной коры и верхов мантии. - М.: Наука, 1968. - 175 с.
- Косминская И.П., Зверев С.М., Вейцман П.С. Основные черты строения земной коры Охотского моря и Курило-Камчатской зоны Тихого океана по данным ГСЗ // Изв. АН СССР. Сер. геофиз. - 1963. - № 1. - С. 20-31.
- Кропоткин П.Н. Краткий очерк тектоники и палеогеографии южной части советского Дальнего Востока // Вопросы геологии Азии. - М.: Изд-во АН СССР, 1954. - С. 736-764.
- Кутолин В.А. Статистическое изучение химизма базальтов разных формаций. - М.: Наука, 1969. - 142 с.
- Кутолин В.А. Проблемы петрохимии и петрологии базальтов. - Новосибирск: Наука, 1972. - 190 с.
- Кутыев Ф.Ш., Шарапов В.Н. Петрогенезис под вулканами. - М.: Недра, 1979. - 197 с.
- Лалин С.С., Шарапов В.Н. К вопросу о возможных масштабах ассимиляции скарнов и магнетитовых руд гипабиссальными интрузиями // Проблемы физики магматизма и рудообразования. - Новосибирск: Наука, 1976. - С. 132-148.
- Леонова Л.Л. Геохимия четвертичных вулканических пород Курильской островной дуги // Магмообразование и отражение его в вулканическом процессе. - М.: Наука, 1977. - С. 148-157.
- Леонова Л.Л. Геохимия четвертичных и современных вулканогенных пород Курильских островов и Камчатки // Геохимия. - 1979а. - № 2. - С. 179-197.
- Леонова Л.Л. Петрохимия и геохимия четвертичных вулканитов Курило-Камчатской зоны // Тезисы докладов 14-го Тихоокеанского научного конгресса. - М.: Изд-во АН СССР, 1979б. - С. 28-29.
- Лисицын А.П. Закономерности ледового разноса грубообломочного материала // Современные осадки морей и океанов. - М.: Наука, 1961. - С. 232-284.
- Лучицкий И.В. Основы палеовулканологии. - М.: Наука. - 1971. - Т. 1. - 480 с.
- Магматизм и гидротермальные системы Мутновского блока Южной Камчатки / Шарапов В.Н., Симбирев И.Б., Третьяков Г.А. и др. - Новосибирск: Наука, 1979. - 151 с.
- Макдональд Г. Вулканы. - М.: Мир, 1975. - 407 с.
- Маракушев А.А. Петрохимическая систематика изверженных и метаморфических пород // Изв. вузов. Геология и разведка. - 1973. - № 8. - С. 3-16.
- Маракушев А.А. Термодинамические основы образования парагенезисов химических элементов в процессах глубинного магмообразования // Очерки физико-химической петрологии. - М.: Наука, 1975. - Вып. 5. - С. 23-28.
- Марков М.С. К проблеме формирования "гранитного" слоя островных дуг // Проблемы связи тектоники и магматизма. - М.: Наука, 1969. - С. 228-242.
- Мархинин Е.К. Вулканизм Курильских островов // Изв. АН СССР. Сер. геол. - 1961. - № 6. - С. 45-58.

- Мархинин Е.К. Роль вулканизма в формировании земной коры (на примере Курильской островной дуги). - М.: Наука, 1967. - 256 с.
- Мархинин Е.К., Сапожников А.М. О содержании Cu, Zn в вулканических породах Камчатки и Курильских островов // Геохимия. - 1962. - № 4. - С. 372-376.
- Мезо-кайнозойская история и строение земной коры Охотского региона / Марков М.С., Аверьянова В.Н., Карташев И.П. и др. - М.: Наука, 1967. - 224 с.
- Набоко С.И. Вулканические эксгаляции и продукты их реакций // Труды лаборатории вулканологии АН СССР. - 1959. - Вып. 16. - С. 302.
- Огородов Н.В., Кожемяка Н.Н., Важеевская А.А., Огородова А.С. Вулканы и четвертичный вулканизм Срединного хребта Камчатки. - М.: Наука, 1972. - 191 с.
- Остапенко В.Ф. Некоторые аспекты новейшей истории прикурильской части Охотского моря в свете изучения подводных вулканов этого региона // Вулканизм Курило-Камчатского региона и о. Сахалин. - Южно-Сахалинск: Изд-во ДВНЦ АН СССР, 1976. - С. 34-42.
- Остапенко В.Ф. Подводные вулканы прикурильской части Охотского моря и их значение для понимания новейшей истории этого региона // Докл. АН СССР. - 1978. - Т. 242, № 1. - С. 168-171.
- Остапенко В.Ф., Кичина Е.Н. Вещественный состав лав подводных вулканов Курильской дуги // Геология дна дальневосточных морей. - Владивосток: Изд-во ДВНЦ АН СССР, 1977. - С. 24-25.
- Остапенко В.Ф., Федорченко В.И., Родионова Р.И. Опыт установления связи между петрохимическими особенностями четвертичных лав и глубинным строением земной коры в пределах Курильской островной дуги // Вопросы глубинной петрохимии. - Л.: Наука, 1969. - С. 259-260.
- Парагенезисы микроэлементов магнетита / Шека С.А., Пятков А.Г., Вржосек А.А. и др. - М.: Наука, 1980. - 147 с.
- Пермяков А.А. Онтогенез скелетного магнетита // Генетическая и экспериментальная минералогия. - Новосибирск: Наука, 1978. - С. 83-92.
- Петрохимия кайнозойской Курило-Камчатской вулканической провинции / Под ред. Э.Н. Эрлиха. - М.: Наука, 1966. - 280 с.
- Пискунов Б.Н. Типы высокоглиноземистых базальтоидов и их распределение в структуре Курильской островной дуги // Докл. АН СССР. - 1975а. - Т. 220, № 5. - С. 1172-1175.
- Пискунов Б.Н. Вулканизм Большой Курильской гряды и петрология пород высокоглиноземистой серии (на примере островов Уруп и Симушир). - Новосибирск: Наука, 1975б. - 187 с.
- Пискунов Б.Н., Сергеев К.Ф., Федорченко В.И. Курильская островная дуга. Геологическое строение // Строение земной коры и верхней мантии в зоне перехода от Азиатского континента к Тихому океану. - Новосибирск: Наука, 1976. - С. 190-220.
- Попек В.А., Войнова И.П., Зуенко В.В. Анализ тренда петрохимических характеристик четвертичных базальтов Курильской островной дуги // Докл. АН СССР. - 1978а. - Т. 243, № 5. - С. 1250-1253.
- Попек В.А., Марченко А.Ф., Зуенко В.В., Войнова И.П. Анализ тренда петрохимических характеристик четвертичного вулканизма Камчатского полуострова // Докл. АН СССР. - 1978б. - Т. 239, № 5. - С. 1182-1185.
- Попек В.А., Войнова И.П., Зуенко В.В. Соотношения между четвертичными вулканическими зонами Курильских островов и Камчатского полуострова в изолиниях трендов химического состава базальтов // Докл. АН СССР. - 1979. - Т. 244, № 5. - С. 1197-1201.

- Портнягин С.И., Шевченко Ю.С. Элементы-примеси в пиритах из вулканических пород подводной части Курильской островной дуги // Гипербазитовые ассоциации складчатых областей. - Новосибирск: Наука, 1982. - С. 152-163.
- Пополитов Э.И., Волынец О.Н. Геохимические особенности четвертичного вулканизма Курило-Камчатской островной дуги и некоторые вопросы петрогенезиса. - Новосибирск: Наука, 1981. - 182 с.
- Ритман А. Устойчивые минеральные ассоциации изверженных пород. Метод пересчета. - М.: Мир, 1975. - 288 с.
- Родионова Р.И., Федорченко В.И., Пискунов Б.Н. Петрография продуктов четвертичного вулканизма // Опыт комплексного исследования района современного и четвертичного вулканизма (на примере хр. Вернадского о. Парамушир). - Южно-Сахалинск: Изд-во ДВНЦ АН СССР, 1966. - Вып. 16. - С. 80-113.
- Розинов М.И., Колесников Д.И. Магматические формации зон новейшего вулканизма. - М.: Недра, 1975. - 159 с.
- Савостин Л.А., Баранов Б.В., Зоненшайн Л.П. О возможной природе подводных гор Курильской глубоководной впадины Охотского моря // Докл. АН СССР. - 1978. - Т. 242, № 3. - С. 676-679.
- Святловский А.Е. Основные черты геологического развития Камчатки // Геология зон перехода от Азиатского материка к Тихому океану. - М.: Наука, 1968. - С. 182-196.
- Селиверстов Н.И. Об изучении подводных вулканических структур методом непрерывного сейсмического профилирования // Современный вулканизм и связанные с ним геологические, геофизические и геохимические явления. - Тбилиси: Мецниереба, 1980. - С. 86-87.
- Сергеев И.В., Удинцев Г.Б. Открытие и исследование подводной горы Исакова в Тихом океане // Докл. АН СССР. - 1957. - Т. 113, № 5. - С. 1123-1126.
- Симбирева И.Г., Федотов С.А., Феофилактов В.Д. Геодинамика Курило-Камчатской дуги по сейсмическим данным // Вулканизм и геодинамика. - Л.: Наука, 1977. - С. 91-103.
- Снеговской С.С. Исследования МОВ и тектоника южной части Охотского моря и прилегающей части Тихого океана. - Новосибирск: Наука, 1974. - 87 с.
- Соловьев С.Л. Магнитуда землетрясений // Землетрясения в СССР. - М.: Изд-во АН СССР, 1961. - С. 83-102.
- Стратула Д.С. О закономерностях изменения основных особенностей четвертичного вулканизма в пределах эшелонов вулканов на Курильских островах // Материалы I городской конференции молодых ученых и специалистов. - Петропавловск-Камчатский, 1969. - С. 18-19.
- Тихонов В.И., Ривощ Л.А. Новые данные о тектоническом строении Южной Камчатки (по результатам геологических и аэрогеологических работ) // Изв. АН СССР. Сер. геол. - 1961. - № 6. - С. 59-67.
- Тузев И.К. Литосфера Азиатско-Тихоокеанской зоны перехода. - Новосибирск: Наука, 1975. - 279 с.
- Тузев И.К. Погребенные и подводные вулканы Курильской глубоководной котловины Охотского моря // Докл. АН СССР. - 1977. - Т. 232, № 1. - С. 198-200.
- Удинцев Г.Б. Происхождение рельефа дна Охотского моря // Труды Института океанологии АН СССР. - 1955. - Т. 13. - С. 5-15.
- Федорченко В.И. Генетические типы четвертичных вулканов Курильских островов и перспективы их сероносности // Изв. АН СССР. Сер. геол. - 1969. - № 9. - С. 100-107.

- Федорченко В.И. Геолого-петрографические особенности четвертичных вулканов Курильских островов и их возможно глубинная обусловленность // Тектоника дна морей, океанов и островных дуг. - Южно-Сахалинск, 1972. - С. 48-53.
- Федорченко В.И., Пискунов Б.Н., Родионова Р.И. Неоген-четвертичная андезитовая формация Курильских островов и некоторые вопросы ее генезиса // Изв. АН СССР, Сер. геол. - 1971. - № 2. - С. 88-97.
- Федорченко В.И., Родионова Р.И. Ксенолиты в лавах Курильских островов (вещественный состав, происхождение, геологическое значение). - Новосибирск: Наука, 1975. - 139 с.
- Федотов С.А. О закономерностях распределения сильных землетрясений Камчатки, Курильских островов и Северо-Восточной Японии. - М.: ИФЗ АН СССР, 1965. - 200 с.
- Федотов С.А. Глубинное строение, свойства верхней мантии и вулканическая деятельность Курило-Камчатской островной дуги по сейсмическим данным на 1964 г. // Вулканизм и глубинное строение Земли. - М.: Наука, 1966. - С. 8-24.
- Федотов С.А., Славина Л.Б. Оценка скоростей продольных волн в верхней мантии под северо-западной частью Тихого океана и Камчатки // Изв. АН СССР. Физика Земли. - 1968. - № 2. - С. 8-31.
- Флеров Г.Б., Соболев А.В., Колосков А.В. Пироксены и оливины в породах Большого Трещинного Толбачинского извержения 1975-1976 гг. // Вулканология и сейсмология. - 1980. - № 3. - С. 58-65.
- Фогиади Э.Э., Туезов И.К. Глубинное строение северо-западного сектора Тихоокеанского тектонического кольца // Геология и геофизика. - 1972. - № 12. - С. 6-22.
- Чемеков Ю.В. О четвертичной истории Охотского моря // Изв. Всесоюзного географического общества. - 1957. - Т. 89, вып. 13. - С. 203-222.
- Четвериков С.Д. Руководство к петрохимическим пересчетам химических анализов горных пород и определению их химических типов. - М.: Госгеолтехиздат, 1956. - 245 с.
- Шарапов В.Н., Милова Л.В. Возможные масштабы ассимиляции ультраосновных пород базальтовыми магмами // Проблемы дифференциации вещества в магматических и рудообразующих процессах. - Новосибирск: Наука, 1977. - С. 71-76.
- Шарапов В.Н., Кутыев Ф.Ш., Кутыева Г.В., Корольюк В.Н. О форме и природе локального растворения и плавления основных пород высокотемпературными флюидами под вулканами Камчатки // Проблемы дифференциации в магматических и рудообразующих системах. - Новосибирск: Наука, 1977. - С. 55-70.
- Шарапов В.Н., Меламед В.Г., Остапенко В.Ф., Шевченко Ю.С. Латеральные вариации лав подводных и наземных вулканов Курило-Камчатской островной дуги, связанные с динамикой плавления пород литосферы // Петрология литосферы и рудоносность. - М.: ГЕОХИ АН СССР, 1981. - С. 56-57.
- Шарапов В.Н., Стенина Н.Г., Остапенко В.Ф., Шевченко Ю.С. Преобразование структуры и состава базитовых пород при воздействии горячих флюидов под вулканами Курило-Камчатской островной дуги // Мантийные ксенолиты и проблема ультраосновных магм. - Новосибирск: Наука, 1983. - С. 103-115.
- Шарапов В.Н., Шевченко Ю.С. Вариации состава базальтоидов в зоне сочленения Курильской островной дуги и Центральной Камчатки // Геохимия магматических пород. - М.: ГЕОХИ АН СССР, 1979. - С. 78-79.

- Шевченко Ю.С. Количественные соотношения между свойствами, составом минералов и содержанием в них титаномагнетита // Геология и геофизика. - 1983. - № 2. - С. 54-60.
- Шевченко Ю.С. Физические свойства вулканогенных пород Курило-Камчатской островной дуги // Геология и геофизика. - 1984. - № 2. - С. 98-108.
- Шевченко Ю.С. Некоторые вопросы природы титаномагнетитового оруденения в изверженных породах // Геология и геофизика. - 1975. - № 7. - С. 72-85.
- Шевченко Ю.С., Портнягин С.И., Боброва А.С. Вариации форм выделений и микроэлементного состава титаномагнетита из эффузивов Курило-Камчатской островной дуги // Геология и геофизика. - 1982. - № 1. - С. 107-113.
- Штейнберг Г.С., Балеста С.Т., Зубин М.И. Глубинное строение Авачинской группы вулканов // Проблемы вулканизма. - Петропавловск-Камчатский: Изд-во ДВНЦ АН СССР, 1964. - С. 53-64.
- Щека С.А. Базит-гипербазитовые интрузии и включения в эффузивах Дальнего Востока. - М.: Наука, 1983. - 167 с.
- Эрлих Э.Н. Современная структура и четвертичный вулканизм западной части Тихоокеанского кольца. - Новосибирск: Наука, 1973. - 232 с.
- Aoki H. High-alumina basalt // Earth Sci. (Chikyu Kagaku), J. Assoc. Geol. Collabor. Japan. - 1968. - V. 22, N 6. - P. 300-305.
- Aoki H., Ito M. Against Kuno's high - alumina basalt concept again // Earth Sci. (Chikyu Kagaku), J. Assoc. Geol. Collabor. Japan. - 1969. - V. 23, N 3. - P. 118-120.
- Bentor Y. Sur une trachyandesite a kaersutite of cristobalite parmi les lavas de la Chaîne des Puys // Compt. Rend. Acad. Sci., Paris. - 1941. - V. 213. - P. 211-216.
- Bowen N.L., Schairer L.F. The system MgO-FeO-SiO₂ // Amer. I. Sci. - 1935. - V. 29. - P. 151-217.
- Dickinson W.R. Potash-depth (K-h) relations in continental margin and intra-oceanic magmatic areas // Geology. - 1975. - V. 3, N. 5. - P. 53-56.
- Hrynkiwicz A.Z. Mössbauer effect study of calcium // Magnetites, JNP, N706/P. - Crakow. - 1970. - P. 1-10.
- Kurasawa H. Origin of basaltic magma and high-alumina basalts // Earth Sci. (Chikyu Kagaku), J. Assoc. Geol. Collabor. Japan. - 1968. - V. 22, N 6. - P. 295-300.
- Larsen E.S., Irving J., Gonger F.A. Petrologic results of a study of the minerals from the Tertiary volcanic rocks of the San Juan region, Colorado // Amer. Mineral. - 1936. - V. 21. - P. 679-686.
- Nathan H.D., Van-Kirk C.K. A model of magmatic crystallization // J. Petrol. - 1978. - V. 19, N 1. - P. 66-94.
- Nilson D.E., Stoiber R.E. Relationship of potassium content in andesitic lavas and depth to the seismic zone // J. Geophys. Res. - 1973. - V. 78, N 29. - P. 6887-6892.
- Phillips B., Muan A. Phase equilibria in the system CaO-iron oxide in air and the 1 atm O₂ pressure // J. Amer. Ceramic. Soc. - 1958. - V. 41, N^o 11. - P. 445-455.
- Tomita J. On kaersutite from Dogo, Oki islands, Japan, its magmatic alteration and resorption // J. Shanghai. Sci. Inst. Sect. - 1934. - N 1. - P. 99-112.

Приложение

Таблица 1. Статистические характеристики вулканитов некоторых подводных вулканов Курильской островной дуги

Компонент	\bar{X}	D	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	\bar{X}	D
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
влк. Лисянского (5)														
SiO ₂	56,97	17,98	1,00	-0,96	-0,79	0,26	-0,99	-0,89	-0,91	-0,93	0,99	0,67	56,10	12,40
TiO ₂	0,40	0,03	-0,53	1,00	0,92	-0,42	0,98	0,91	0,83	0,94	-0,98	-0,56	0,34	0,02
Al ₂ O ₃	17,20	6,84	-0,24	0,15	1,00	-0,50	0,82	0,74	0,68	0,76	-0,85	-0,42	19,67	0,21
Fe ₂ O ₃	3,80	2,41	-0,44	-0,11	0,06	1,00	-0,39	-0,38	0,15	-0,58	0,30	-0,47	2,97	0,15
FeO	3,67	3,19	-0,35	0,54	0,11	-0,42	1,00	0,92	0,85	0,97	-0,99	-0,58	3,43	0,93
MnO	0,14	0,00	-0,13	0,36	-0,05	-0,27	0,45	1,00	0,74	0,92	-0,92	-0,63	0,07	0,00
MgO	3,55	2,10	-0,74	0,55	0,18	0,22	0,18	0,36	1,00	0,69	-0,90	-0,88	3,38	1,41
CaO	7,19	3,54	-0,76	0,15	0,09	0,44	0,27	0,12	0,41	1,00	-0,93	-0,40	7,91	2,19
Na ₂ O	3,70	0,34	0,54	0,02	-0,07	-0,48	-0,04	0,04	-0,34	-0,66	1,00	0,67	3,49	0,26
K ₂ O	1,67	1,36	0,10	-0,25	-0,20	0,21	-0,49	-0,25	0,18	-0,25	0,09	1,00	1,56	0,03
влк. 162 м (48)														
влк. Берга (21)														
SiO ₂	64,09	109,96	1,00	-0,21	-0,16	-0,43	-0,26	-0,36	-0,58	-0,68	0,51	0,62	54,55	22,60
TiO ₂	0,55	0,35	-0,93	1,00	-0,18	-0,07	0,40	0,21	-0,08	0,31	-0,37	-0,06	0,60	0,07
Al ₂ O ₃	15,38	4,87	-0,35	0,02	1,00	-0,25	0,23	-0,42	0,38	-0,04	-0,29	-0,56	16,65	3,05
Fe ₂ O ₃	1,94	1,57	-0,75	0,73	0,16	1,00	-0,68	0,57	-0,06	-0,04	0,31	0,08	5,92	5,93

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
FeO	3,69	11,63	-0,92	0,98	0,04	0,63	1,00	-0,24	0,35	0,56	-0,68	-0,55	3,34	3,99
MnO	0,12	0,01	-0,93	0,87	0,27	0,60	0,89	1,00	-0,02	-0,04	0,31	-0,06	0,17	0,04
MgO	2,69	8,09	-0,95	0,94	0,10	0,65	0,96	0,93	1,00	0,21	-0,34	-0,57	4,69	2,63
CaO	3,90	10,31	-0,96	0,92	0,21	0,73	0,93	0,91	0,97	1,00	-0,81	-0,43	7,11	8,96
Na ₂ O	3,28	0,42	0,68	-0,74	0,18	-0,47	-0,76	-0,64	-0,79	-0,75	1,00	0,49	3,34	0,59
K ₂ O	2,80	1,14	0,52	-0,39	-0,36	-0,27	-0,50	-0,61	-0,56	-0,61	0,23	1,00	1,51	0,62

влк. Вавилова (12)

влк. Белянкина (8)

SiO ₂	53,54	103,10	1,00	-0,53	0,19	-0,47	0,00	0,00	-0,03	-0,57	-0,12	0,67	47,97	1,00
TiO ₂	0,53	0,16	-0,36	1,00	0,29	-0,22	0,36	-0,71	0,38	0,48	-0,66	-0,83	0,80	0,02
Al ₂ O ₃	17,67	1,45	-0,71	-0,06	1,00	-0,34	-0,05	-0,63	0,76	-0,54	-0,64	-0,19	17,87	0,43
Fe ₂ O ₃	5,26	2,83	0,24	0,21	0,17	1,00	-0,81	0,39	-0,43	0,19	0,59	-0,27	5,31	1,66
FeO	3,82	5,71	-0,59	0,14	0,05	-0,72	1,00	-0,25	0,35	0,13	-0,32	0,11	5,95	0,80
MnO	0,25	0,06	0,19	-0,49	0,26	0,36	-0,25	1,00	-0,60	0,02	0,81	0,57	0,16	0,00
MgO	4,06	1,66	-0,15	-0,24	0,19	0,08	0,03	0,65	1,00	-0,56	-0,44	-0,19	5,12	0,11
CaO	8,28	9,37	-0,80	0,43	0,25	-0,61	0,76	-0,60	-0,18	1,00	-0,11	-0,53	11,06	0,58
Na ₂ O	3,46	0,33	0,71	0,13	-0,72	0,29	-0,42	-0,10	-0,22	-0,51	1,00	0,49	3,43	0,07
K ₂ O	1,32	0,78	0,47	-0,04	-0,45	0,14	-0,44	0,00	0,10	-0,41	0,78	1,00	1,79	0,05

влк. Архангельского (12)

Примечание. \bar{X} , D — среднеарифметическое и дисперсия соответственно; в скобках — число образцов.

Таблица 2. Содержание Cu, Zn и элементов группы железа в породах Куриль-ской островной дуги

№ п/п	№ обр.	Zn	Cu	Ni	Co	Cr	Mn
1	2	3	4	5	6	7	8
1	69-7	12,6	13,9	Сл.	3,4	4,7	0,219
2	71a-9	4,5	2,5	"	Сл.	2,6	0,018
3	40-12	16,8	6,9	1,4	3,0	4,4	0,175
4	49-8	4,9	5,3	0,8	Сл.	1,8	0,036
5	44-10	9,4	12,3	1,6	3,0	4,7	0,197
6	122-4	6,5	2,3	0,5	2,3	3,1	0,139
7	867-25	7,8	1,3	1,4	Сл.	2,1	0,031
8	40-23	5,8	5,2	1,6	3,4	3,6	0,121
9	1366-4	3,9	1,1	1,1	Не обн.	1,8	0,081
10	771	6,1	3,0	8,4	3,8	7,8	0,116
11	44-3	4,2	1,0	1,2	Не обн.	2,9	0,148
12	44-7	7,1	2,0	2,0	1,9	3,6	0,103
13	509-6	4,2	4,0	3,7	Сл.	4,4	0,900
14	120-4	6,8	22,4	1,6	2,3	4,4	0,121
15	41-4	4,9	2,2	1,6	Не обн.	2,9	0,036
16	71-3	5,8	1,3	2,2	2,7	4,4	0,139
17	122-73	10,0	29,7	2,0	3,0	4,7	0,179
18	923-13	7,1	16,6	1,4	2,7	4,7	0,125
19	120	8,1	2,1	0,9	Не обн.	2,3	0,063
20	123-12	5,5	2,3	1,6	"	2,6	0,090
21	1358-4	13,9	6,7	1,1	Сл.	2,6	0,157
22	44-4	7,4	14,1	0,8	2,3	3,9	0,152
23	867-27	2,9	16,4	1,9	1,5	1,6	0,013
24	541-11	10,4	4,5	3,1	2,7	4,2	0,157
25	772-16	9,1	10,1	3,0	1,5	4,2	0,107
26	122-72	6,1	2,1	2,2	Не обн.	2,3	0,031
27	41-20	6,5	8,4	2,0	3,4	4,4	0,134
28	41-16	8,7	4,6	1,1	Сл.	2,9	0,067
29	172-11	8,7	5,8	24,2	5,4	13,5	0,103
30	723	7,8	1,5	0,8	1,0	1,7	0,125
31	1306-5	1,1	8,5	1,3	2,6	1,7	0,012
32	44-2	6,1	0,8	1,4	1,0	1,3	0,169
33	42-3	5,9	9,5	4,7	2,9	10,6	0,114
34	77-6	36,9	4,2	1,3	Сл.	2,5	0,092
35	126-13	8,0	2,8	2,3	2,1	2,7	0,103
36	126-15	4,7	0,7	1,1	0,6	2,0	0,048
37	42-5	18,4	6,6	11,2	2,9	23,0	0,117
38	71-4	6,2	3,0	1,0	1,7	1,7	0,114
39	40-10	14,4	18,0	Сл.	1,6	1,3	0,060
40	40-1	8,9	5,0	1,1	2,0	2,0	0,110
41	123-5	7,3	1,9	4,7	0,9	17,4	0,103
42	3-18	20,7	14,4	4,8	2,9	14,1	0,116
43	172	4,9	1,5	4,3	0,9	9,9	0,036
44	120-5	7,0	3,8	1,4	1,3	3,3	0,130
45	122-71	21,2	3,4	1,7	1,3	2,0	0,053
46	122-11	8,0	3,9	2,4	1,6	6,4	0,107
47	40-3	11,2	5,8	1,6	2,0	2,5	0,130
48	42-6	9,4	5,2	1,0	1,6	1,3	0,139
49	456-22	12,1	6,6	1,1	2,3	2,5	0,141
50	853-21	7,3	1,6	1,7	0,9	6,7	0,046
51	867-4a	12,1	1,0	0,8	Сл.	1,7	0,141
52	40-16	13,5	0,8	1,1	1,2	2,0	0,085

Продолжение табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8
53	1270-16	36,0	0,4	Сл.	Сл.	1,2	0,112
54	535-5	4,5	4,8	0,8	1,0	2,3	0,085
55	1263-11	0,8	0,5	0,7	Не обн.	1,7	0,025
56	44-5	8,4	6,1	1,1	2,9	2,5	0,158
57	861-6	1,4	0,8	Сл.	Не обн.	1,6	0,029
58	123-3	6,8	7,8	4,1	1,9	12,4	0,107
59	69-6	6,8	8,0	0,6	1,7	1,0	0,125
60	541-22	6,3	10,4	3,2	2,1	8,5	0,129
61	24-3	6,0	4,1	1,2	1,7	2,9	0,124
62	535-13	3,2	0,8	0,9	Сл.	2,7	0,058
63	25-12	7,0	3,0	0,9	1,2	1,6	0,117
64	1113-88	6,0	3,0	Сл.	1,2	1,4	0,119
65	976-1	5,0	2,7	2,9	1,2	2,7	0,059
66	40-13	7,8	6,8	1,5	2,8	1,6	0,132
67	41-15	5,0	1,2	1,8	1,7	1,4	0,242
68	69-3	7,6	14,2	1,5	2,8	2,0	0,121
69	49-4	16,8	1,2	Сл.	Не обн.	1,4	0,088
70	860-12	2,0	0,8	"	Сл.	1,0	0,030
71	861-7	10,8	1,1	"	0,9	1,4	0,166
72	872-6	4,8	1,5	1,2	Сл.	1,9	0,079
73	71a-11	7,9	15,9	1,2	2,4	1,4	0,115
74	40-7	12,0	3,9	3,2	1,4	3,0	0,101
75	41-6	6,8	5,0	10,1	3,1	18,5	0,256
76	1408-8	8,4	2,5	1,8	2,2	2,9	0,256
77	120-5	5,5	3,1	0,9	1,7	2,5	0,120
78	867-16	18,4	1,6	Сл.	0,9	0,7	0,149
79	3-8	10,8	27,0	1,2	2,4	1,5	0,135
80	1408-1	7,8	1,0	Сл.	0,7	1,2	0,146
81	41-1	12,0	7,4	"	2,8	1,1	0,175
82	71-2	5,5	2,5	1,2	1,2	2,5	0,122
83	122-6	6,1	1,8	0,9	Не обн.	2,3	0,035
84	71-5	6,7	12,8	0,9	2,4	1,6	0,139
85	179-2	7,6	8,2	4,4	2,1	6,1	0,097
86	857-3	8,4	13,3	1,5	2,3	3,4	0,173
87	71a-6	4,2	10,1	11,5	3,1	19,2	0,043
88	71a-5	5,2	10,3	1,4	2,7	3,6	0,112
89	3-17	5,8	3,7	3,3	3,1	4,9	0,095
90	126-11	4,8	3,3	1,9	2,7	3,4	0,074
91	120-1	4,5	4,7	1,2	1,9	3,1	0,108
92	71a-4	6,1	16,3	1,1	1,9	3,6	0,121
93	40-8	5,5	6,7	2,0	2,7	4,4	0,104
94	40-22	8,4	8,0	8,3	5,0	6,2	0,121
95	71a-8	8,1	2,0	0,6	Сл.	3,1	0,186
96	42-9	6,8	10,8	0,9	2,7	3,9	0,151
97	1080-43	4,8	2,8	1,9	Сл.	3,6	0,099
98	122	6,8	4,1	1,6	"	3,9	0,108
99	42-7	8,4	4,0	1,1	"	3,9	0,182
100	71a-3	5,2	6,6	14,3	4,2	15,3	0,125
101	71a-1	1,0	1,5	0,5	Сл.	Не обн.	0,013
102	1408-7	2,9	4,7	2,3	1,5	3,6	0,043
103	1408-3	5,2	5,1	0,8	1,5	3,4	0,138
104	1408-9	6,8	2,0	2,2	1,5	3,1	0,290
105	1408-5	5,8	3,9	1,2	1,9	4,2	0,147
106	1077-13	4,2	2,9	3,6	3,5	5,7	0,112

Продолжение табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8
107	44-8	6,8	9,1	0,5	3,1	4,2	0,169
108	505-4	9,0	10,1	1,4	2,5	3,5	0,135
109	1382-1	7,0	8,5	4,8	1,5	10,7	0,170
110	887-13	6,6	21,7	2,9	1,9	10,2	0,095
111	69-2	7,7	9,1	0,9	2,3	3,3	0,129
112	884-51	8,6	7,4	0,7	2,3	4,2	0,129
113	887-20	2,6	0,6	Не обн.	Не обн.	1,1	0,065
114	505	8,8	4,5	5,0	2,3	15,8	0,171
115	504-1	11,0	5,8	0,9	2,1	3,4	0,097
116	903-8	7,4	9,0	8,6	3,6	21,0	0,119
117	683-1	10,4	2,8	1,7	1,5	4,5	0,115
118	886-1	11,6	4,6	1,4	1,0	4,0	0,170
119	900-2	3,0	1,4	Не обн.	Не обн.	2,4	0,127
120	887-12	8,0	8,3	0,9	2,1	4,0	0,127
121	903-5	3,6	1,1	1,4	Сл.	1,9	0,073
122	92	7,4	8,7	6,0	2,5	11,3	0,120
123	887-9	8,2	1,8	Не обн.	1,0	2,6	1,100
124	892-9	6,8	0,6	0,9	1,0	5,1	0,072
125	899-16	5,0	0,8	Не обн.	Не обн.	1,5	0,121
126	884-17	10,6	4,0	"	"	2,9	0,165
127	1235-6	6,2	5,0	6,5	1,1	7,7	0,086
128	505-Я	7,8	8,2	2,5	1,3	4,5	0,125
129	887-5	3,0	0,5	Не обн.	Не обн.	1,0	0,020
130	890-12	7,6	1,8	1,2	0,8	3,1	0,140
131	887-8	7,3	4,9	1,2	1,3	4,3	0,100
132	1382	7,6	4,2	1,4	1,0	2,9	0,095
133	505-5	6,8	6,2	13,2	2,1	15,8	0,110
134	1382	7,8	3,4	8,1	1,5	5,0	0,073
135	44-2	8,8	2,8	Не обн.	1,0	2,3	0,140
136	892-17	5,6	8,8	4,1	1,5	3,3	0,090
137	505-15	10,2	11,3	3,8	0,8	5,5	0,254
138	884-11	12,0	7,5	Не обн.	1,1	2,7	0,155
139	885-6	10,0	1,7	"	0,8	2,8	0,143
140	40-8	8,0	5,1	2,1	2,1	5,2	0,095
141	1235-1	6,0	11,2	2,4	1,1	5,8	0,190
142	123-2	6,4	10,5	2,2	1,9	8,7	0,079
143	179-1	60,0	40,0	9,0	31,0	1,2	920,0
144	1252-18	73,0	125,0	9,0	37,0	6,0	1460,0
145	1222-3	62,0	55,0	8,0	28,0	6,0	1200,0
146	861-1д	22,0	5,0	Не обн.	10,0	10,0	357,0
147	42-10	63,0	102,0	"	11,0	1,7	994,0
148	1361-1	48,0	102,0	10,5	16,0	28,0	637,5
149	44-9	57,0	85,0	27,0	16,0	40,0	1173,0
150	48-2	57,0	53,0	34,0	17,0	59,0	892,5
151	71а-1	32,0	12,0	10,5	5,0	17,0	229,5
152	49-6	81,0	36,0	10,5	17,0	9,0	1657,5
153	48-4	101,0	56,0	13,0	16,0	10,0	1249,5
154	69-9б	72,0	158,0	10,5	21,0	17,0	1147,5
155	116-19	63,0	102,0	Не обн.	21,0	9,0	1657,5
156	50-9	71,0	12,0	4,0	4,0	7,0	433,5
157	57-2	65,0	29,0	Не обн.	12,0	7,0	1224,0
158	41-2	96,0	45,6	8,0	11,0	21,0	714,0
159	272-15	44,0	16,0	Не обн.	11,0	7,0	1122,0
160	120-2	72,0	68,0	6,0	18,0	12,0	1377,0
161	513-1	70,0	148,0	8,0	23,0	7,0	1530,0

Продолжение табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8
162	771	50,0	50,0	8,0	12,0	12,0	765,0
163	123-1	65,0	80,6	19,0	22,0	36,0	918,0
164	171-2а	76,5	31,0	17,0	Сл.	42,0	34,0
165	853-28	83,0	6,0	Не обн.	Не обн.	1,5	943,0
166	183-4	59,5	129,0	196,0	34,0	461,0	861,0
167	915-4	117,0	130,0	11,0	31,0	16,5	1684,0
168	175-3	110,5	200,0	31,0	21,0	33,0	4434,0
169	181	61,0	147,0	182,0	35,0	271,0	1045,0
170	914-8	51,0	15,0	8,0	Сл.	4,5	902,0
171	867-13	34,0	6,0	Не обн.	8,0	7,5	533,0
172	923-12	76,5	38,0	"	14,0	4,5	1209,0
173	1091-26	41,0	6,0	"	Сл.	15,0	88,0
174	277-25	14,0	15,0	"	"	10,5	260,0
175	914-9	73,0	14,0	"	11,0	4,5	1045,0
176	512-2	51,0	32,0	"	14,0	6,0	1373,0
177	513-2	59,5	29,0	Сл.	13,0	4,5	553,0
178	254-1	44,0	11,0	"	Не обн.	27,0	3443,0
179	1297-5	11,0	32,0	Не обн.	"	Сл.	67,0
180	272-11	68,0	6,0	"	"	"	615,0
181	513-5	68,0	55,0	"	14,0	9,0	1455,0
182	861-23	66,0	8,0	"	Не обн.	9,0	266,0
183	1112-48	92,0	45,0	70,0	31,0	79,5	1209,0
184	914-1я	92,0	80,0	Сл.	20,0	19,5	1230,0
185	512-3	85,0	126,0	"	14,0	3,0	1025,0
186	275-4	36,0	22,0	"	Не обн.	12,0	533,0
187	509-3	68,0	74,0	22,0	20,0	43,5	1291,0
188	182-3	37,0	151,0	31,0	18,0	24,0	533,0
189	687-18	30,0	10,0	Не обн.	9,0	3,0	420,0
190	853-7	60,0	5,0	"	9,0	8,4	84,0
191	867-4	62,5	9,0	Не обн.	Не обн.	11,2	294,0
192	102-8	85,0	49,0	"	20,0	8,4	1365,0
193	363-3	200,0	82,0	407,0	101,0	21,0	70305,0
194	172-8	77,5	68,0	Не обн.	20,0	15,4	735,0
195	866-6	50,0	5,0	"	Не обн.	10,0	147,0
196	178-3	30,0	6,5	"	"	10,0	735,0
197	923-2	360,0	52,0	"	20,0	14,0	1848,0
198	184-1	120,0	422,0	15,0	29,0	17,0	2394,0
199	512-1	65,0	77,0	Не обн.	14,5	5,6	1785,0
200	178-1	70,0	43,0	18,5	14,5	43,0	1092,0
201	916-2	75,0	68,0	Не обн.	20,0	10,0	1323,0
202	853-5	80,0	19,5	"	12,0	5,6	1218,0
203	182	55,0	140,0	52,0	23,0	112,0	987,0
204	1112-52	12,5	73,0	Не обн.	Не обн.	10,0	105,0
205	1252-11	67,5	35,0	"	20,0	7,0	1806,0
206	1091-34	70,0	26,0	"	17,0	36,0	1134,0
207	1252-1	80,0	34,0	Сл.	20,0	11,2	1344,0
208	861-9	110,0	5,0	Не обн.	14,5	14,0	1470,0
209	182-4	37,5	44,0	15,0	14,5	8,4	441,0
210	914-5	85,0	25,0	Не обн.	20,0	15,4	1470,0
211	871-7	112,5	2,6	"	Не обн.	5,6	735,0
212	859-2	100,0	23,0	"	26,0	11,2	1722,0
213	1112-3	92,5	126,0	48,0	55,0	277,0	1680,0
214	860-7	76,4	11,0	Не обн.	10,2	10,0	1573,0
215	184-4	52,8	146,4	33,6	17,0	54,0	1144,0
216	853-4	61,2	26,8	18,4	22,1	52,0	1401,0

Продолжение табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8
217	509-7	75,1	30,5	18,4	11,9	60,0	1215,0
218	916-10	48,6	24,4	Не обн.	30,6	52,0	1144,0
219	1091-7	61,2	45,1	"	18,7	15,0	1444,3
220	1097-1	51,4	34,2	8,8	8,5	36,0	1358,5
221	861-4	59,8	23,2	16,0	22,1	59,0	1515,8
222	1359-6	33,4	64,7	8,0	13,6	22,0	443,3
223	861-14	54,2	46,4	20,8	28,9	69,0	972,4
224	272-8	19,5	8,5	Не обн.	Сл.	14,0	286,0
225	917-6	41,7	25,6	"	"	13,0	228,8
226	1089-137	68,1	48,8	10,4	23,8	81,0	1001,0
227	180	59,8	32,9	Не обн.	17,0	15,0	1186,9
228	1091-131	148,7	24,4	"	10,2	16,0	1058,2
229	509-1	52,8	98,8	21,6	17,0	39,0	1315,6
230	509-4	66,7	34,2	17,6	17,0	48,0	1601,6
231	867-26	58,4	19,5	Не обн.	10,2	16,0	1329,0
232	1112-29	100,1	80,5	34,4	40,8	287,0	1272,7
233	509-8	89,0	6,1	24,4	13,6	46,0	1072,5
234	1221-21	62,2	7,3	Не обн.	Сл.	25,0	686,4
235	506-3	55,6	75,6	58,4	25,5	104,0	1329,9
236	182-6	51,4	26,8	306,0	51,0	534,0	1301,3
237	279-12	30,6	17,1	Не обн.	Не обн.	12,0	572,0
238	867-30	264,0	2,4	"	8,5	20,0	2574,0
239	509-5	69,0	69,0	Сл.	21,0	36,0	1355,0
240	1402-2	51,0	27,0	86,0	10,5	34,5	862,0
241	1221-19	75,0	31,0	Не обн.	25,2	174,5	1340,0
242	913-3	72,0	20,0	"	Сл.	22,0	1278,0
243	914-6	104,0	104,0	"	25,2	30,5	1925,0
244	180-3	59,0	193,0	"	12,6	23,5	1155,0
245	923-3	99,0	37,0	"	10,5	18,5	1617,0
246	1221-13	77,0	30,0	26,0	25,2	59,0	924,0
247	1221-4	29,0	6,0	Не обн.	8,4	13,0	616,0
248	1218-17	88,0	111,0	18,0	21,0	46,5	1586,0
249	503-1	59,0	26,0	18,0	Сл.	50,0	1525,0
250	181-2	59,0	36,0	13,0	14,7	18,5	1001,0
251	916-5	61,0	12,5	Не обн.	6,3	27,0	1201,0
252	867-29	16,0	23,7	"	Не обн.	10,5	46,0
253	1093-2	91,0	174,0	109,0	46,2	153,0	1602,2
254	863-5	106,0	7,5	Не обн.	12,6	16,5	1432,0
255	1218-10	58,0	6,0	"	Не обн.	8,5	847,0
256	923-1	83,0	54,0	"	25,2	36,0	1694,0
257	1252-14	50,0	12,5	"	Не обн.	18,5	1324,0
258	916-6	53,0	71,0	34,0	19,0	50,0	2433,0
259	184	98,0	234,0	Не обн.	21,0	39,5	1971,0
260	172-5	72,0	11,0	"	Не обн.	103,5	601,0
261	503-5	67,0	27,5	26,0	"	56,5	1494,0
262	1219-6	61,0	127,5	44,0	36,0	62,5	1278,0
263	1221-11	36,2	7,2	Не обн.	Не обн.	Не обн.	277,0
264	503-7	62,3	28,8	17,9	Сл.	75,9	1557,0
265	914-6	70,0	51,6	7,2	17,9	Сл.	1315,0
266	194	51,0	195,6	26,8	25,0	110,7	813,0
267	507-6	55,0	18,0	10,7	Не обн.	Сл.	1090,0
268	1221-5	20,0	9,6	17,9	"	Не обн.	311,0
269	851-22	116,0	9,6	Сл.	10,7	"	969,0
270	851-4	78,3	15,6	8,9	14,3	Сл.	1124,0

Продолжение табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8
271	913-1	20,0	9,6	Не обн.	Не обн.	Не обн.	1021,0
272	1222-6	53,6	56,4	"	16,1	17,4	1124,0
273	871-2	65,0	60,0	26,8	26,8	8,7	21171,0
274	1221-20	84,0	13,2	Не обн.	Сл.	8,7	778,0
275	1218-3	98,6	86,4	23,3	14,3	134,5	1211,0
276	1401-5	58,0	19,2	Не обн.	16,1	Сл.	778,5
277	1358-3	56,5	32,4	"	10,7	Не обн.	986,0
278	1281-3	62,3	51,6	48,3	25,0	297,3	1263,0
279	872-4	87,0	37,2	Не обн.	17,9	Не обн.	1540,0
280	1359-3	61,0	52,8	"	17,9	"	1211,0
281	914-2	74,0	98,4	"	16,1	21,7	1332,0
282	853-17	56,5	43,2	"	16,1	19,5	1280,0
283	861-13	35,0	26,4	"	Не обн.	15,2	519,0
284	183-1	64,0	58,8	19,7	26,8	15,2	1211,0
285	850-5	72,5	42,0	Не обн.	8,9	28,2	1349,0
286	917-6	45,0	9,6	"	Не обн.	Не обн.	311,0
287	120-2	56,5	19,2	"	12,5	Сл.	1194,0
288	1358-2	55,5	77,0	"	19,7	Не обн.	1536,0
289	851-6	85,1	27,5	39,1	26,2	68,0	1472,0
290	870-4a	119,9	17,6	Сл.	Не обн.	10,0	1952,0
291	867-9	10,7	5,5	Не обн.	"	10,0	1632,0
292	1308-1	77,7	8,8	Сл.	Сл.	Сл.	1664,0
293	503-2	57,3	19,8	13,0	23,0	23,0	1984,0
294	162-3	74,0	50,6	Не обн.	16,4	Не обн.	1408,0
295	1090-100	74,0	82,5	Сл.	23,0	"	1568,0
296	1252-6	44,4	92,4	Не обн.	18,0	10,0	640,0
297	1217-11	75,8	62,7	34,7	21,3	23,0	1376,0
298	861-12	88,8	5,5	Не обн.	Не обн.	Не обн.	2016,0
299	867-10	64,7	16,5	"	11,5	10,0	864,0
300	861-11	85,1	14,3	Не обн.	13,1	Не обн.	1568,0
301	867-2	133,2	117,7	"	29,5	Сл.	1888,0
302	867-20	107,3	34,1	10,8	21,3	10,0	2208,0
303	866-12	68,4	3,3	Не обн.	9,8	Сл.	576,0
304	851-7	94,3	35,2	"	21,3	Не обн.	1120,0
305	1091-36	131,3	7,7	34,7	19,7	59,0	2592,0
306	1089-191	101,7	24,2	156,2	33,0	131,0	1120,0
307	853-33	81,4	18,7	34,7	18,0	50,0	1056,0
308	1217-3	62,9	101,7	26,0	14,8	Не обн.	1152,0
309	507-5	62,9	42,9	56,4	21,3	81,0	1280,0
310	456-113	45,0	6,1	Не обн.	Не обн.	Не обн.	348,7
311	505-9	72,5	39,0	5,8	10,0	50,6	1077,8
312	885-8	82,5	75,6	13,4	15,0	17,6	1109,5
313	505-10	162,5	15,9	Не обн.	Не обн.	10,0	507,2
314	1377	70,0	11,0	9,6	6,2	Не обн.	824,2
315	884-10	62,5	63,4	9,6	8,7	"	1077,8
316	884-12	72,5	50,0	57,6	21,2	59,4	1268,0
317	1235-6	102,5	58,6	13,4	10,0	24,2	1077,8
318	122-5	90,0	120,8	13,4	25,0	11,0	1172,0
319	1089-111	117,5	47,6	9,6	8,7	Не обн.	855,9
320	277-9	60,0	18,3	Не обн.	Не обн.	17,6	634,0
321	1252-27	85,0	74,4	"	18,7	10,0	1204,0
322	273-1	75,0	153,7	Сл.	11,2	17,7	1046,1
323	1090-6	290,0	197,6	44,2	Не обн.	246,4	317,0
324	1315-10	65,0	36,6	15,4	13,7	22,0	1268,0
325	1135-5	287,5	19,5	80,6	21,2	264,0	221,9

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8
326	967-23	90,0	30,5	25,0	21,2	61,6	1299,7
327	1096-2	180,0	40,3	Сл.	11,2	15,4	1236,3
328	1069-11	32,5	12,2	19,2	Не обн.	Не обн.	63,4
329	175	97,5	144,0	19,2	21,2	37,4	1014,0
330	1099-5	155,0	6,1	Не обн.	16,2	39,6	1933,7
331	279-7	55,0	4,9	"	Не обн.	10,0	285,3
332	1073	77,5	26,8	9,6	"	10,0	1902,0
333	1069-10	45,0	4,9	Сл.	"	Не обн.	443,8
334	515-7	37,5	14,6	"	"	"	253,6
335	506-5	87,5	51,2	"	12,5	17,6	951,0
336	509-96	67,5	7,3	Не обн.	8,7	19,8	760,0
337	1135-4	20,0	2,4	"	Сл.	13,2	982,7
338	1217-8	92,5	43,9	17,3	18,7	10,0	2948,1
339	867-24	124,9	6,1	Не обн.	7,5	10,0	1204,6
340	1358-7	87,0	20,0	"	19,7	Сл.	1252,0
341	1077-16	82,0	38,0	Сл.	16,0	5,0	1400,0
342	614-31	37,0	10,0	Не обн.	9,0	Сл.	1019,0
343	162-7	57,0	19,0	"	20,0	"	1560,0
344	614-3в	39,0	16,0	"	Не обн.	"	1056,0
345	201-1	64,0	65,0	34,0	15,0	34,0	1191,0
346	207-4	83,0	36,0	11,0	18,0	14,0	2640,0
347	1312	37,8	6,9	Сл.	Сл.	4,6	946,0
348	507-3	65,1	57,0	251,5	21,5	380,0	1145,0
349	861-20	69,3	18,1	15,1	21,5	55,8	1377,8
350	1222-11	73,5	60,0	12,1	17,9	18,6	1211,8
351	866-3	50,4	16,7	Не обн.	Сл.	Не обн.	581,0
352	1091-30	73,5	15,3	"	"	"	564,4
353	509-2	81,9	48,6	115,1	17,9	105,4	1294,8
354	1222-13	77,7	65,3	Не обн.	19,7	17,0	1261,6
355	510-2	65,1	104,2	"	17,9	12,4	1045,8
356	1221-14	111,3	72,3	"	12,5	12,4	1394,4
357	183-я	56,7	83,4	200,0	35,8	276,0	962,8
358	512-61	86,1	278,0	Не обн.	23,3	18,6	1377,8
359	869-3	79,8	6,9	"	Сл.	Не обн.	1162,0
360	1359-1	67,2	54,2	"	14,3	12,4	1377,0
361	1112-51	48,3	20,8	"	16,1	17,0	1743,0
362	1281-8	88,2	37,5	"	16,1	31,0	1029,2
363	496-1	88,2	27,8	"	12,5	10,8	1543,8
364	1221-26	79,8	18,1	"	17,9	15,5	1145,4
365	1112-44	81,9	45,9	"	10,7	10,8	1394,4
366	1222-12	81,9	37,5	"	14,3	17,0	996,0
367	1222-88	79,8	97,3	18,2	25,1	27,9	1411,0
368	1222-7	67,2	36,1	Не обн.	12,5	18,6	1145,4
369	506-8	67,2	11,1	91,0	32,2	247,0	1211,8
370	871-4	102,9	20,8	Не обн.	19,7	9,3	1045,8
371	851-8	81,9	25,0	"	8,9	10,8	1311,4
372	871-3	82,0	66,0	23,0	26,0	14,6	1280,0
373	591-6д1	75,0	172,0	167,0	39,0	193,0	1312,0
374	591-69	78,0	165,0	147,0	36,0	168,0	1328,0
375	912-1	60,0	168,0	96,0	24,0	84,0	1008,0

Примечание. 1-142 - содержание элементов - $n \cdot 10^{-3}\%$, Mn - %; 143-375 - р.р.т. ($n \cdot 10^{-4}\%$). Атомно-абсорбционный анализ, аналитик А.С. Боброва, ИГиГ СО АН СССР.

Таблица 3. Состав основных пород Мутновского блока Южной Камчатки

№ п/п	SiO ₂	MgO	Щ	K ₂ O	Cu	Zn	Co	Ni	Cr	Mn	TiO ₂	ΣFe
1	55,00	4,60	4,61	0,78	12,8	10,0	1,4	Сл.	-	0,168	1,08	10,70
2	54,00	3,90	5,34	2,10	8,7	11,3	Сл.	2,3	3,6	0,134	1,38	9,22
3	50,50	4,25	2,77	0,30	8,3	8,3	1,7	Сл.	7,1	0,120	0,86	10,70
4	52,00	6,05	2,24	0,50	7,3	9,6	1,7	1,5	-	0,134	1,03	10,55
5	53,00	5,20	3,73	0,38	12,6	7,5	1,4	1,9	-	0,135	0,96	11,20
6	50,00	5,75	3,36	0,44	15,0	10,7	2,7	2,9	4,2	0,124	1,05	11,60
7	54,50	5,50	3,46	0,52	17,1	8,3	1,9	1,9	-	0,135	0,78	10,35
8	53,00	5,40	1,05	0,28	14,6	6,7	1,7	1,7	-	0,110	0,95	12,10
9	53,30	5,60	4,33	1,00	5,4	11,8	0,3	2,0	5,6	0,168	1,20	10,65
10	54,50	4,80	3,26	0,42	6,9	12,0	0,4	1,5	3,7	0,228	1,35	7,40
11	55,00	5,35	4,95	1,71	10,3	7,5	1,7	4,6	-	0,120	1,38	10,20
12	50,00	5,20	6,35	3,00	16,6	12,5	1,9	2,7	4,6	0,131	0,87	9,15
13	52,00	4,45	6,13	2,90	14,0	8,3	2,2	3,1	-	0,132	0,85	10,80
14	54,00	4,10	-	-	13,7	7,4	3,4	1,8	3,5	0,160	0,63	10,70
15	52,50	4,65	3,43	0,55	5,6	8,7	1,4	1,1	3,8	0,047	0,93	12,20
16	54,00	3,50	3,91	1,27	9,9	11,4	2,2	2,1	4,1	0,100	0,84	10,25
17	52,00	4,85	3,38	0,91	10,2	9,5	2,9	2,1	4,1	0,165	0,92	11,60
18	54,50	4,70	4,61	1,06	11,2	11,7	2,5	1,0	Не опр.	0,157	0,95	10,30
19	48,00	4,70	4,55	0,55	9,1	11,6	1,9	2,3	2,4	0,125	0,98	11,05
20	53,00	4,60	4,00	1,00	10,1	9,2	2,1	3,4	-	0,132	0,79	10,10
21	55,00	3,95	3,54	0,84	10,1	9,2	2,0	1,6	3,1	0,117	0,88	10,65
22	55,00	3,50	4,66	1,33	11,7	9,5	1,9	1,0	1,0	0,124	0,77	9,50

Примечание. Содержание микроэлементов - р.т., Мг -%. 1-22 - место отбора образцов: 1 - р. Освистанная; 2-5 - южный склон влк. Мутновского; 6-8 - ур. Куропатка хр. Отходящий; 9, 10 - сопка Двугорбая; 11 - влк. Горелый; 12-22 - сопки: 12-15 - Скалистая, 16-19 - Длинная, 20-22 - Каменная. Прочерк - нет определения.

Таблица 4. Статистика данных по табл. 3

Компонент	SiO ₂	MgO	Ш	K ₂ O	Cu	Zn	Co	Ni	Cr	Mn	TiO ₂	ΣFe	\bar{X}	D
SiO ₂	1,00	-0,28	-0,02	-0,00	-0,07	-0,18	-0,27	-0,13	-0,38	0,21	0,21	-0,32	52,90	3,86
MgO		1,00	-0,29	-0,24	0,17	-0,13	0,01	0,26	-0,19	0,17	0,23	0,28	4,79	0,50
Ш			1,00	0,85	0,19	0,42	-0,06	0,35	-0,00	0,09	0,09	-0,40	3,99	1,54
K ₂ O				1,00	0,27	0,24	-0,00	0,47	-0,01	-0,03	0,03	-0,35	1,04	0,62
Cu					1,00	-0,22	0,47	0,20	-0,38	-0,04	-0,41	0,08	10,83	11,17
Zn						1,00	-0,20	-0,06	0,45	0,40	0,24	-0,52	9,78	2,88
Co							1,00	0,15	-0,20	-0,27	-0,66	0,44	1,71	0,54
Ni								1,00	-0,19	-0,09	0,26	-0,06	1,94	1,15
Cr									1,00	-0,02	0,09	-0,10	2,26	5,25
Mn										1,00	0,42	-0,59	0,13	0,00
TiO ₂											1,00	-0,36	0,99	0,03
ΣFe												1,00	10,50	1,17

Таблица 5. Состав кислых пород Мутновского блока Южной Камчатки

№ п/п	SiO ₂	MgO	Щ	K ₂ O	Cu	Zn	Co	Ni	Cr	Mn	TiO ₂	ΣFe
1	65,00	0,78	7,53	2,91	1,5	8,2	Сл.	Сл.	2,2	0,116	0,60	4,40
2	64,50	1,22	9,80	2,87	1,2	9,4	"	"	2,0	0,030	0,83	4,46
3	62,67	0,98	5,43	2,71	1,5	14,1	"	1,2	3,7	0,120	0,98	5,98
4	51,00	4,90	1,82	0,82	5,6	9,2	1,8	3,6	-	0,120	1,22	10,55
5	64,50	1,50	6,73	2,29	1,7	14,6	Сл.	Сл.	-	0,100	0,95	5,70
6	65,00	1,40	7,74	2,67	2,0	6,7	"	"	-	0,100	0,95	5,65
7	65,25	1,20	7,23	2,55	2,2	7,5	"	"	-	0,104	1,15	5,75
8	75,00	Не обн.	6,77	3,10	2,0	2,9	"	1,4	1,3	0,051	0,88	2,25
9	75,00	"	6,12	2,79	1,5	3,5	"	1,2	1,4	0,043	0,07	1,50
10	72,00	1,70	2,92	0,42	4,9	5,0	"	Сл.	2,1	0,070	0,25	3,90
11	73,00	0,35	3,39	0,70	1,3	2,5	"	"	-	0,050	0,08	2,50
12	66,50	1,30	3,69	1,00	3,1	4,5	"	"	2,0	0,074	0,28	5,50
13	70,00	Не обн.	6,70	2,93	2,2	2,5	"	"	0,6	0,073	0,19	1,10
14	69,00	"	8,45	3,07	0,8	6,3	Не обн.	1,0	0,8	0,090	0,78	3,70
15	67,00	0,70	8,00	3,00	1,8	8,4	Сл.	0,7	1,0	0,121	0,90	4,60
16	65,50	1,15	7,71	2,96	1,3	9,8	Не обн.	0,9	0,6	0,121	0,94	5,15
17	64,50	1,25	7,78	3,00	2,1	10,2	"	0,7	0,6	0,120	0,93	5,35
18	66,50	0,55	8,07	3,07	1,3	7,2	1,8	2,7	1,5	0,102	0,78	4,77
19	66,00	2,70	4,70	1,82	6,4	5,0	0,7	Сл.	-	0,096	0,48	5,80
20	65,50	1,60	5,39	2,27	5,1	6,5	2,0	"	-	0,130	0,45	5,20
21	69,00	1,70	5,13	2,18	3,9	4,6	1,6	2,0	2,8	0,130	0,38	4,55
22	63,50	2,30	7,33	2,61	5,8	7,4	Не обн.	1,3	1,2	0,100	0,46	5,75
23	64,00	2,35	4,91	1,91	6,9	4,2	Сл.	Сл.	-	0,082	0,55	6,16
24	69,00	0,85	7,54	2,79	4,0	4,9	Не обн.	0,6	0,6	0,090	0,38	3,85
25	67,00	1,05	3,83	2,82	2,6	2,6	Сл.	Сл.	1,6	0,071	0,38	3,85

Примечание. Содержание микроэлементов - см. табл. 3. 1-25 - место отбора образцов: 1-3 - р. Освистанная, 4-7 - влк. Горелый, 8-13 - сопка Скалистая, 14-18 - платоащиты влк. Горелого, 19-25 - сопка Каменная.

Таблица 6. Статистика данных по табл. 5

Компонент	SiO ₂	MgO	Ш	K ₂ O	Cu	Zn	Co	Ni	Cr	Mn	TiO ₂	ΣFe	\bar{X}	D
SiO ₂	1,00	-0,53	0,19	0,19	-0,48	-0,10	-0,23	0,02	0,25	-0,19	-0,19	-0,42	64,02	196,7
MgO		1,00	-0,50	-0,55	0,74	0,24	0,44	0,32	-0,24	0,32	0,39	0,87	1,27	1,1
Ш			1,00	0,84	-0,52	0,30	-0,27	-0,09	-0,01	0,00	0,30	-0,27	6,17	3,7
K ₂ O				1,00	-0,51	0,18	-0,21	-0,00	0,16	0,07	0,18	-0,32	2,40	0,6
Cu					1,00	-0,23	0,34	0,05	-0,24	0,20	-0,16	0,45	2,91	3,4
Zn						1,00	0,01	0,15	0,12	0,41	0,79	0,54	6,71	10,8
Co							1,00	0,58	-0,06	0,45	0,12	0,41	0,32	0,5
Ni								1,00	0,17	0,34	0,24	0,36	0,69	0,9
Cr									1,00	0,09	-0,15	-0,17	1,04	1,0
Mn										1,00	0,31	0,43	0,09	0,0
TiO ₂											1,00	0,71	0,60	0,1
ΣFe												1,00	4,72	3,4

Таблица 7. Состав стекол и минералов эффузивов и ксенолитов Курило-Камчатской дуги

Компонент	723						41-15						
	П	Пи		Пл	Ст		П	Гр		Мг		Пи	
SiO ₂	57,00	49,90	49,87	47,32	60,65	71,89	60,00	37,94	38,13	0	0	52,48	51,06
TiO ₂	1,30	0,99	0,83	0	1,32	0,34	0,56	0	0	8,53	9,80	0,44	0,44
Al ₂ O ₃	14,80	3,81	3,38	31,60	11,68	11,61	19,40	22,09	22,56	1,08	1,28	4,53	4,50
Σ Fe	9,45	10,77	10,61	0,61	9,62	2,01	6,10	13,58	13,56	83,90	82,67	5,49	5,48
MnO	0,10	0,35	0,27	0	0,12	0,01	0,30	0,62	0,62	1,02	1,14	0	0
MgO	2,50	12,87	15,15	0,08	2,30	0,60	1,60	0,25	0,25	0	0	15,61	15,50
CaO	9,40	21,05	19,94	17,18	3,50	1,80	5,30	22,97	22,94	0	0	22,67	22,67
Na ₂ O	2,46	0,39	0,27	1,98	2,63	2,24	3,50	0,04	0	0	0	0,17	0,17
K ₂ O	0,20	0	0	0	4,56	3,87	2,38	0	0	0	0	0	0

Продолжение табл. 7

Компонент	120-5										98-3			
	П	Мт/Ам	Мт ₁	Мт ₂	Ам	Пи	Ст				П	Пл	Ол	
SiO ₂	59,00	0	0	0	47,29	51,82	39,41	43,56	73,69	73,48	48,70	44,76	36,88	37,16
TiO ₂	0,54	5,24	8,37	1,76	0,87	0,47	30,56	1,84	0,40	0,40	0,90	0	0	0,10
Al ₂ O ₃	18,30	0,65	2,03	3,16	8,18	3,34	5,48	11,21	11,53	11,47	21,87	33,68	0	0
Σ Fe	6,50	81,36	85,21	85,50	13,27	7,17	6,08	12,18	1,45	1,45	9,05	0,69	33,74	32,71
MnO	0,15	1,74	0,56	0,55	0,58	0	0,41	0,11	0	0	0,17	0	0,75	0,70
MgO	3,00	2,43	1,07	1,07	15,36	16,25	1,18	13,80	0,51	0,50	3,56	0,06	29,33	30,58
CaO	6,50	0	0	0	10,55	20,33	2,16	10,59	3,47	3,46	9,69	17,44	0,34	0,43
Na ₂ O	3,00	0	0	0	1,34	0	1,78	3,02	2,63	0,39	2,96	1,18	0	0
K ₂ O	1,80	0	0	0	0,34	0	2,27	0,80	3,80	2,64	2,13	0,07	0	0

Окончание табл. 7

Компонент	влк. Авача, перцолит				влк. Желтовский, перцолит				влк. Ксудац, габброид				
	П	Ам	Ол	Пи	П	Пл	Пи	Ол	П	Пл	Ол	Ст	
SiO ₂	42,09	44,33	38,70	54,55	45,30	47,00	50,21	40,12	34,10	44,30	39,03	43,90	37,08
TiO ₂	0,04	3,00	0,01	0,03	0,43	0	0,08	0,22	1,80	0	0	0	0
Al ₂ O ₃	3,14	14,32	0,73	1,70	26,01	34,05	5,13	2,30	15,00	31,08	0,12	7,20	0,15
Σ Fe	10,43	12,45	9,09	3,93	11,31	0,69	8,89	24,42	17,00	0,91	25,03	20,03	18,40
MnO	0,03	0	0,03	0,05	0,07	0	0,01	0,02	0,25	0	0	0	0
MgO	47,27	17,12	50,55	23,08	4,50	0,02	16,09	39,30	7,45	0,05	36,78	15,78	38,00
CaO	0,58	12,08	0,02	24,42	17,06	19,32	20,89	0,70	14,32	21,05	0,25	15,06	0,79
Na ₂ O	0,11	2,07	0	0,30	1,40	0,70	0,52	0,42	0,58	0,70	0	2,00	0,50
K ₂ O	0,07	0,35	0	0,11	0,50	0,17	0,28	0,05	0,40	0,06	0	0,19	0,29

Примечание. Пи - пироксен, Пл - плагиоклаз, Ст - стекло, Гр - гранат, Мт_{1,2} - магнетит, Мт/Ам - магнетит в амфиболе, Ам - амфибол, Ол - оливин, П - породы (общий анализ). Микронзондовый анализ, аналитик О.М. Хмельникова, ИГиГ СО АН СССР.

Таблица 8. Статистические характеристики минералов и стекол эффузивов и ксенолитов

Компонент	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	ΣFe	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	\bar{X}	D	B	\bar{X}	D	B
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Оливины															
SiO ₂	1,00	0,96	0,86	0,56	-0,59	0,43	0,98	0,96	0,96	39,3	0,43	1,76	38,4	3,0	4,5
TiO ₂	0,52	1,00	0,97	0,34	-0,37	-0,19	0,92	0,99	0,99	0,18	0,01	139,1	0,07	0,01	155,6
Al ₂ O ₃	0,83	0,83	1,00	0,09	-0,13	0,05	0,80	0,96	0,96	1,15	1,10	100,1	0,70	1,6	180,5
ΣFe	-0,60	0,07	-0,40	1,00	-0,99	0,99	0,67	0,36	0,36	19,91	62,0	39,5	25,10	139,8	47,1
MnO	-0,94	-0,21	-0,62	0,78	1,00	0,98	-0,69	-0,39	-0,39	0	0	38,4	0,29	0,2	169,4
MgO	0,66	0,04	0,49	-0,99	-0,80	1,00	-0,54	-0,21	-0,21	41,84	42,4	13,6	37,27	106,0	27,6
CaO	0,29	0,88	0,60	0,48	0,07	-0,39	1,00	0,93	0,93	0,33	0,1	89,8	0,36	0,1	81,0
Na ₂ O	0,76	0,91	0,96	-0,15	-0,48	0,25	0,78	1,00	0,99	0,33	0,01	38,7	0,26	0,01	46,7
K ₂ O	0,76	0,91	0,96	-0,15	-0,49	0,25	0,78	0,99	1,00	0,03	0	38,7	0,03	0	46,7
Пироксены															
SiO ₂	1,00	-0,89	0,48	-0,85	-0,88	0,72	0,57	-0,84	0,0	51,02	2,0	2,8	45,74	2,56	3,5
TiO ₂	-0,74	1,00	-0,55	0,97	0,99	-0,85	-0,64	0,92	0,0	0,62	0,1	51,4	0,0	0	0
Al ₂ O ₃	-0,53	0,11	1,00	-0,72	-0,49	0,11	0,99	-0,19	0,0	3,91	0,6	19,1	32,56	2,4	4,7
ΣFe	-0,87	0,76	0,19	1,00	0,96	-0,74	-0,78	0,81	0,0	7,61	9,2	39,8	0,73	0,02	19,8
MnO	-0,59	0,82	-0,23	0,80	1,00	-0,89	-0,57	0,95	0,0	0,20	0,1	60,8	0	0	0
MgO	0,87	-0,77	-0,70	-0,69	-0,41	1,00	0,18	-0,95	0,0	15,14	2,1	9,5	0,05	0	50,0
CaO	0,82	-0,64	-0,27	-0,85	-0,49	0,69	1,00	-0,28	0,0	21,33	2,8	7,8	18,82	4,5	11,3
Na ₂ O	-0,29	-0,01	0,01	0,49	0,45	0,02	-0,09	1,00	0,0	0,21	0,1	65,3	1,12	0,4	58,4
K ₂ O	0,02	-0,60	0,18	0,04	-0,27	0,28	0,03	0,70	1,00	0	0	0	0,08	0	76,9

Окончание табл. 8.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Стекла															
SiO ₂	1,00	-0,74	0,75	-0,79	-0,81	-0,63	-0,50	-0,30	0,71	60,54	448,9	35,0	55,94	521,7	37,1
TiO ₂	-0,50	1,00	-0,99	0,23	0,99	-0,01	-0,14	-0,05	-0,35	5,70	248,2	276,5	4,30	217,4	342,9
Al ₂ O ₃	0,76	-0,35	1,00	-0,22	-0,98	0,00	0,12	0,08	0,39	10,51	10,2	30,4	8,96	32,8	63,9
Σ Fe	-0,80	-0,05	-0,67	1,00	0,36	0,82	0,73	0,53	-0,54	5,37	33,2	107,3	8,62	89,7	109,8
MnO	-0,53	0,99	-0,30	-0,01	1,00	0,07	-0,06	0,02	-0,38	0,13	0,03	137,5	0,11	0,03	150,9
MgO	-0,67	-0,18	-0,80	0,83	-0,19	1,00	0,97	0,47	-0,79	3,24	45,6	208,4	8,71	314,2	203,6
CaO	-0,30	-0,12	0,17	0,47	-0,09	0,08	1,00	0,40	-0,77	4,23	17,1	97,6	5,12	39,3	122,3
Na ₂ O	0,04	0,02	0,50	-0,08	0,11	-0,36	0,38	1,00	-0,00	2,11	1,3	55,2	1,91	1,7	68,7
K ₂ O	0,79	-0,11	0,66	-0,08	-0,09	-0,77	-0,51	0,30	1,00	2,94	3,3	62,2	2,31	5,5	101,7
Плагиоклазы															
SiO ₂	1,00	0,00	0,25	-0,74	0,00	-0,01	-0,44	0,48	0,27	45,74	2,6	3,5	0,00	0,0	0,0
TiO ₂	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	6,93	17,3	60,1
Al ₂ O ₃	0,00	-0,94	1,00	-0,50	0,00	-0,44	-0,39	-0,15	0,66	32,56	2,6	4,7	1,93	1,2	57,0
Σ Fe	0,00	-0,77	0,84	1,00	0,00	-0,37	0,92	-0,75	0,03	0,73	0,02	19,8	84,32	2,4	1,8
MnO	0,00	0,75	-0,88	-0,96	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0	0	0,82	0,1	44,1
MgO	0,00	-0,73	0,90	0,92	-0,99	1,00	-0,62	0,86	-0,94	0,05	0	50,0	0,81	0,1	44,5
CaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	-0,83	0,33	18,82	4,5	11,3	0	0	0
Na ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	-0,66	1,12	0,4	58,4	0	0	0
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,08	0	76,9	0	0	0
Магнетиты															

Примечание. Над диагональю 1,00 и слева данные для оливинов из ксенолитов (3 образца), пироксенов (5) и стекол (6) из эффузивов, плагиоклазов (4) из эффузивов и ксенолитов; под диагональю и справа - для оливинов (5), пироксенов (7) и стекол (8) из эффузивов и ксенолитов для магнетитов (5) из эффузивов.

Таблица 9. Средние содержания микроэлементов в монофракциях титаномагнетита из различных пород ($n \cdot 10^{-3}$)

№ п/п	Порода	Na	Ca	Si	Ti	Cr	Fe	Co	Ni	As	Br	Rb
1	Базальт (1)	0,13	0,00	46,31	5,26	450,18	49,83	167,81	198,96	1,75	0,19	11,39
2	Андезит (1)	0,10	1,64	74,50	6,03	317,09	54,24	139,05	26,70	2,59	0,06	11,66
3	Андезит (4)	0,34	0,55	73,94	6,50	313,81	47,94	98,01	33,91	9,04	0,16	5,02
4	Базальт (5)	0,07	0,79	64,28	5,81	450,44	55,21	127,75	42,52	2,36	0,20	9,96
5	Андезитодацит (1)	0,47	4,20	-	6,31	374,08	51,72	-	68,76	8,86	0,42	-
6	Дашит (1)	0,64	0,00	-	6,97	2,90	45,86	-	56,55	4,15	0,08	-

Окончание табл. 9

№ п/п	Порода	Sr	Sb	Cs	Hf	W	Au	Ce	Sm	Eu	Th	U	La
1	Базальт (1)	0,00	0,34	0,31	1,32	1,98	0,00	6,68	0,35	0,00	0,00	0,25	0,81
2	Андезит (1)	0,00	0,30	0,26	0,97	0,72	3,25	8,47	0,61	0,00	0,00	0,02	0,47
3	Андезит (4)	168,07	0,61	0,28	3,79	1,30	3,21	9,58	3,32	1,03	5,89	1,00	3,08
4	Базальт 5)	113,40	0,40	20,63	1,76	1,51	1,04	11,11	0,39	0,46	1,28	0,37	0,79
5	Андезитодацит (1)	73,89	0,80	0,60	0,25	2,09	4,07	7,46	0,91	0,38	0,92	0,13	1,64
6	Дашит (1)	58,52	0,38	0,89	1,78	0,00	2,68	23,17	2,59	0,43	0,65	0,76	7,70

Примечание. Породы: 1-3 - подводные, 4-6 - наземные. Нейтронно-активационный анализ, аналитик С.И. Шестель, ИГиГ СО АН СССР. Прочерк - нет определений.

Таблица 10. Корреляционные соотношения между микроэлементами ферришпинелидов из различных пород Курило-Камчатской островной дуги

Компо- нент	Na	Ca	Sc	Ti	Cr	Fe	Co	Ni	As	Br	Rb
Na	1,00	0,90	0,53	-0,50	-0,27	-0,22	0,15	-0,15	0,14	0,16	0,57
Ca	-0,42	1,00	0,23	-0,69	-0,27	0,05	-0,19	-0,01	-0,03	0,16	0,24
Sc	0,00	0,50	1,00	0,31	-0,37	-0,54	0,85	-0,76	-0,09	0,21	0,77
Ti	-0,75	0,16	0,41	1,00	0,11	0,12	0,44	-0,18	-0,40	-0,46	0,39
Cr	-0,05	-0,34	-0,90	-0,33	1,00	0,53	-0,05	0,39	-0,34	-0,69	-0,01
Fe	-0,99	0,46	0,06	0,78	0,04	1,00	-0,62	0,64	-0,67	-0,81	-0,12
Co	-0,18	-0,50	-0,64	0,05	0,65	0,21	1,00	-0,81	-0,04	0,21	0,56
Ni	-0,11	-0,41	-0,97	-0,36	0,81	0,02	0,52	1,00	0,13	-0,57	-0,19
As	0,04	0,46	0,59	0,09	-0,57	-0,09	-0,97	-0,46	1,00	0,55	-0,12
Br	0,68	-0,86	-0,31	-0,42	0,05	-0,75	0,06	0,28	-0,08	1,00	-0,35
Rb	0,77	-0,23	-0,36	-0,94	0,27	-0,77	0,16	0,26	-0,33	0,41	1,00
Sr	-0,15	0,22	0,62	0,42	-0,79	0,08	-0,75	-0,46	0,80	0,09	-0,54
Sb	0,35	-0,51	0,44	0,32	-0,46	-0,34	-0,23	-0,48	0,28	0,55	-0,28
Cs	-0,11	0,30	-0,26	-0,14	0,61	0,15	-0,02	0,20	0,10	-0,44	-0,03
Hf	-0,08	0,36	0,56	0,23	-0,68	0,00	-0,90	-0,39	0,93	0,02	-0,44
W	-0,45	0,58	0,04	0,10	-0,09	0,36	-0,61	0,16	0,69	-0,35	-0,39
Au	0,91	-0,06	0,33	-0,67	-0,33	-0,88	-0,39	-0,41	0,21	0,40	0,71
Ce	-0,50	0,48	0,46	0,45	-0,67	0,41	-0,59	-0,25	0,62	-0,24	-0,56
Sm	-0,04	0,56	0,50	0,03	-0,52	-0,02	-0,96	-0,34	0,98	-0,17	-0,30
Eu	0,31	0,36	0,41	-0,20	-0,26	-0,32	-0,87	-0,35	0,88	-0,02	-0,06
Th	-0,21	0,59	0,47	0,20	-0,40	0,16	-0,88	-0,32	0,95	-0,30	-0,47
U	-0,25	0,62	0,38	0,13	-0,36	0,19	-0,86	-0,20	0,92	-0,31	-0,42
La	0,00	0,41	0,53	0,08	-0,61	-0,08	-0,95	-0,36	0,97	0,00	-0,32

Окончание табл. 10

Компо- нент	Sr	Sb	Cs	Hf	W	Au	Ce	Sm	Eu	Th	U	La
Na	-0,07	0,03	-0,27	0,69	0,14	0,80	-0,36	-0,33	0,29	0,38	-0,10	-0,34
Ca	-0,11	-0,17	-0,52	0,61	0,34	0,58	-0,15	-0,15	0,09	0,24	0,18	-0,09
Sc	0,18	-0,03	0,15	0,15	-0,56	0,40	-0,68	-0,92	-0,11	0,27	-0,75	-0,93
Ti	-0,06	-0,32	0,15	-0,17	-0,36	-0,42	0,17	-0,43	-0,12	-0,26	-0,26	-0,26
Cr	-0,88	-0,29	0,41	-0,12	-0,17	-0,44	0,29	0,27	0,62	-0,84	0,11	0,40
Fe	-0,70	-0,77	-0,52	0,25	0,47	-0,51	0,85	0,29	0,16	-0,67	0,73	0,67
Co	0,10	0,13	0,62	-0,27	-0,88	0,12	-0,78	-0,79	-0,04	0,02	-0,96	-0,90
Ni	-0,38	-0,03	-0,36	0,47	0,81	0,02	0,85	0,82	0,54	-0,11	0,89	0,94
As	0,57	0,97	0,29	0,10	0,20	0,65	-0,28	0,45	0,27	0,76	-0,06	0,07
Br	0,81	0,62	0,19	-0,38	-0,23	0,31	-0,70	-0,10	-0,52	0,63	-0,44	-0,44
Rb	-0,24	-0,16	-0,02	0,61	-0,17	0,51	-0,19	-0,62	0,49	0,12	-0,32	-0,50
Sr	1,00	0,59	-0,05	-0,23	0,01	0,28	-0,36	-0,06	-0,60	0,81	-0,22	-0,33
Sb	0,49	1,00	0,49	-0,11	-0,03	0,54	-0,43	0,36	0,20	0,68	-0,25	-0,06
Cs	-0,44	-0,38	1,00	-0,59	-0,76	-0,11	-0,58	-0,06	0,27	-0,19	-0,70	-0,32
Hf	0,95	0,34	-0,19	1,00	0,64	0,68	0,34	0,04	0,52	0,33	0,46	0,19
W	0,51	-0,35	0,30	0,69	1,00	0,27	0,74	0,64	0,18	0,30	0,93	0,75
Au	-0,01	0,26	-0,16	0,07	-0,35	1,00	-0,33	-0,04	0,40	0,76	-0,07	-0,22
Ce	0,86	0,02	-0,41	0,82	0,69	-0,29	1,00	0,56	0,17	-0,29	0,90	0,84
Sm	0,76	0,09	0,13	0,92	0,80	0,15	0,68	1,00	0,34	0,03	0,70	0,90
Eu	0,45	0,22	0,44	0,67	0,53	0,40	0,20	0,84	1,00	-0,13	0,16	0,33
Th	0,70	0,08	0,30	0,87	0,83	-0,04	0,64	0,96	0,84	1,00	-0,06	-0,23
U	0,69	-0,06	0,26	0,87	0,91	-0,08	0,70	0,97	0,78	0,98	1,00	0,89
La	0,87	0,26	-0,06	0,98	0,73	0,16	0,74	0,97	0,78	0,91	0,91	1,00

Примечание. Над диагональю 1,00 - коэффициенты парной корреляции между микроэлементами в наземных, а под диагональю - в подводных эффузивах.

Предисловие	3
<u>Глава 1.</u> Краткий геологический очерк Курильской островной дуги	5
Геолого-тектоническое положение Курильской островной дуги и ее краткая характеристика	-
Общие особенности строения земной коры и мантии	9
Подводные вулканы Курильской островной дуги	11
<u>Глава 2.</u> Петрохимия подводных вулканитов Курильской островной дуги	18
Литературные сведения о петрохимии новейших эффузивов	19
Петрографическое описание подводных пород	29
Петрохимия продуктов подводного вулканизма	31
<u>Глава 3.</u> Геохимия новейших подводных лав Курильской дуги	48
Литературные сведения о геохимии новейших эффузивов Курильской островной дуги	-
Геохимия подводных лав	51
<u>Глава 4.</u> Состав минералов подводных вулканитов Курильской островной дуги	71
Состав породообразующих минералов	-
Состав рудных минералов	81
<u>Глава 5.</u> Некоторые петрологические вопросы и следствия	91
Процессы тепло- и массопереноса под вулканами как причина вариаций состава лав и зональности вулканизма	-
Особенности кристаллизации курильских вулканитов	94
Вопросы металлогении подводных вулканитов	97
Заключение	99
Литература	100
Приложение	107

Научное издание

Шевченко Юрий Степанович

ПОДВОДНЫЕ ВУЛКАНИТЫ
КУРИЛЬСКОЙ ОСТРОВНОЙ ДУГИ
петро- и геохимические аспекты

Редактор издательства А.М. Самсоенко

Художественный редактор М.Ф. Глазырина

Художник Е.Ф. Гришин

Технический редактор Н.М. Остроумова

Корректоры Н.В. Шипицына, Е.Л. Гальперина

ИБ № 30219

Сдано в набор 01.09.87. Подписано к печати 17.02.88.

МН-01209. Формат 60x90 1/16. Бумага офсетная.

Офсетная печать. Усл. печ. л. 8. Усл. кр.-отт. 8,3.

Уч.-изд. л. 9. Тираж 600 экз. Заказ № 1073.

Цена 1 р. 70 к.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство "Наука",
Сибирское отделение, 630099, Новосибирск, ул. Совет-
ская, 18.

4-я типография издательства "Наука". 630077, Новоси-
бирск, ул. Станиславского, 25.

Для получения книг почтой заказы просим направлять по адресу: 117192 Москва, Мичуринский проспект, 12, магазин "Книга - почтой" Центральной конторы "Академкнига"; 197345 Ленинград, Петрозаводская ул., 7, магазин "Книга - почтой" Северо-Западной конторы "Академкнига" или в ближайший магазин "Академкнига", имеющий отдел "Книга-почтой".

- 480091 Алма-Ата, ул. Фурманова, 91/97 ("Книга - почтой");
- 370005 Баку, ул. Коммунистическая, 51 ("Книга - почтой");
- 232600 Вильнюс, ул. Университето, 4;
- 690088 Владивосток, Океанский проспект, 140 ("Книга - почтой");
- 320093 Днепропетровск, проспект Гагарина, 24 ("Книга - почтой");
- 734001 Душанбе, проспект Ленина, 95 ("Книга - почтой");
- 375002 Ереван, ул. Туманяна, 31;
- 664033 Иркутск, ул. Лермонтова, 289 ("Книга - почтой");
- 420043 Казань, ул. Достоевского, 53 ("Книга - почтой");
- 252030 Киев, ул. Ленина, 42;
- 252142 Киев, проспект Вернадского, 79;
- 252030 Киев, ул. Пирогова, 2;
- 252030 Киев, ул. Пирогова, 4 ("Книга - почтой");
- 277012 Кишинев, проспект Ленина, 148 ("Книга - почтой");
- 343900 Краматорск, Донецк. обл., ул. Марата, 1 ("Книга - почтой");
- 660049 Красноярск, проспект Мира, 84;
- 443002 Куйбышев, проспект Ленина, 2 ("Книга - почтой");
- 191104 Ленинград, Литейный проспект, 57;
- 199164 Ленинград, Таможенный пер., 2;
- 196034 Ленинград, В/О, 9 линия, 16;
- 220012 Минск, Ленинский проспект, 72 ("Книга - почтой");
- 103009 Москва, ул. Горького, 19а;
- 117312 Москва, ул. Вавилова, 55/7;
- 630076 Новосибирск, Красный проспект, 51;
- 630090 Новосибирск, Морской проспект, 22 ("Книга - почтой");
- 142284 Протвино, Московской обл., ул. Победы, 8;
- 142292 Пушкино, Московской обл., МР, "В", 1;
- 620161 Свердловск, ул. Мамина-Сибиряка, 137 ("Книга - почтой");
- 700000 Ташкент, ул. Ю. Фучика, 1;
- 700029 Ташкент, ул. Ленина, 73;
- 700070 Ташкент, ул. Шота Руставели, 43;
- 700185 Ташкент, ул. Дружбы народов, 6 ("Книга - почтой");
- 634050 Томск, наб. реки Ушейки, 18;
- 634050 Томск, Академический проспект, 18;
- 450059 Уфа, ул. Р. Зорге, 10 ("Книга - почтой");
- 450025 Уфа, ул. Коммунистическая, 49;
- 720000 Фрунзе, бульвар Дзержинского, 42 ("Книга - почтой");
- 310078 Харьков, ул. Чернышевского, 87 ("Книга - почтой").

1 р. 70 к.

5020