

ПРИРОДА БАЗАЛЬТОИДОВ БОЛЬШОЙ И МАЛОЙ КУРИЛЬСКИХ ГРЯД

Б.Н. Пискунов

*Институт морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения РАН
693022, Южно-Сахалинск, ул. Науки, 1 «Б»*

E-mail: piskunov@imgg.ru

Поступила в редакцию 1 марта 2004 г.

Анализируется распространенность базальтоидов в неогеновом и верхнемеловом разрезах внешней и внутренней Курильских гряд и проводится сравнительный анализ химического и геохимического составов. Для определения режима и тектонической природы вулканизма критически рассматриваются главные конкурирующие гипотезы – океаническая, островодужная, эвгеосинклиальная, поясовая вулканическая. Показано, что наиболее удовлетворительно особенности состава и распространения вулканитов объясняют гипотезы островодужного для внутренней и периокеанического поясового вулканизма для внешней гряд дуги на активной континентальной окраине. В зависимости от тектоно-магматического режима вулканизма должна, соответственно, производиться оценка потенциальных минеральных ресурсов островной дуги.

Ключевые слова: островная дуга, вулканизм, базальтоиды, тектоно-магматический режим.

THE NATURE OF BASALTOIDES EXTERNAL AND INTERNAL KURIL RIDGES

B.N. Piskunov

Institute of Marine Geology and Geophysics Far Eastern Branch of RAS

Distribution of basaltoids in Neogene and upper Cretaceous sections of external and internal Kuril ridges is analyzed. A comparative analysis of chemical and geochemical compositions is made. The main competing hypotheses: oceanic, island arc, eugeosynclinal, belt volcanic are critically considered for determination of the regime and tectonic nature of volcanism. It was shown that hypotheses of island arc explained best the features of composition and distribution of volcanites for internal ridge of the arc and perioceanic belt volcanism for its external ridge on the active continental margin. Potential mineral resources of the island arc must be evaluated depending on tectono-magmatic regime of volcanism.

Key words: island arc, volcanism, basaltoides, tectono-magmatic regime.

Островные дуги, наиболее активные современные структуры восточно-азиатской континентальной окраины, характеризуются глобальными проявлениями известково-щелочного вулканизма, формирующего в конечном счете земную кору переходного типа. Этот вулканизм является ведущим эндогенным геологическим процессом в образовании Большой и Малой гряд Курильской островной дуги, продукты которого в виде лавовых потоков, пирокластических и вулканогенно-осадочных отложений входят в состав всех стратифицированных комплексов этого уникального тектоно-магматического сооружения.

В настоящее время положение о связи состава вулканических продуктов с тектоно-магматическими режимами является общепризнанным. Разногласия касаются ее масштабности в пределах зон или провинций и степени тесноты. Не вызывает сомнения и то обстоятельство, что из всего спектра вулканических пород группа базальтоидов, как наименее подверженная процессам фракционирования и ассимиляции, несет черты первичных магм и отражает условия генерации расплавов. Все это позволяет избрать базальтоидные вулканические породы в качестве объекта для решения обратной задачи – определения природы вулканизма на

основании изучения и сопоставления особенностей составов его продуктов. Для Большой Курильской гряды островодужная природа всего спектра неоген – четвертичных вулканитов ни у кого из исследователей не вызывает сомнения (по определению). Происхождение базальтоидов Малой гряды является предметом острых дискуссий. По мнениям разных авторов, им приписывается связь с океаническим, периокеаническим, островодужным и раннегеосинклинальным тектоно-магматическими режимами. В то же время от правильного понимания этого вопроса зависит металлогеническая оценка региона, так как рудная нагрузка вулканизма разной природы также различна. Установление условий развития вулканизма позволит аргументированнее оценить перспективы обеих гряд на полезные ископаемые и обосновать необходимость постановки целенаправленных поисковых и поисково-ревизионных работ на различные виды минерального сырья. Поэтому целью настоящего исследования является изучение состава, соотношений и происхождения базальтоидных пород Большой и Малой Курильских гряд для установления на основе сравнительного анализа природы вулканизма и металлогенической специализации вулканических комплексов.

Вулканические комплексы Курильской островной дуги

Курильское островодужное сооружение является классической двойной дугой, состоящей из внешней (Малой) и внутренней (Большой) гряд. Гряды представляют собой надводную часть гигантского линейного поднятия, сопряженного с крупными отрицательными структурами – с океанской стороны с глубоководным желобом, с охотоморской – с Южно-Охотской котловиной. Большая и Малая Курильские гряды существенно отличаются своим геологическим строением и магматизмом, на что уже давно было обращено внимание исследователей [Мархинин, 1961; Сергеев, 1976]. Внешняя гряда, включающая о. Шикотан и подводный хребет Витязя, являлась ареной интенсивного вулканизма в позднемеловое время на западной окраине Тихого океана. Поднятие Большой гряды сложено относительно молодыми (от раннемиоценовых до современных) вулканическими породами, накопление которых свидетельствует об эволюции собственно островодужного этапа истории формирования региона.

Малая Курильская гряда. Несмотря на небольшие размеры островов и проводившиеся на них многочисленные геологические исследования, до сих пор не существует единого мнения о стратиграфии, строении и тектонике слагающих их геологических образований. В настоящей работе мы придерживаемся схемы Н.А. Соловьевой [Гаврилов, Соловьева, 1973], дополненной данными абсолютной геохронологии Ю.И. Говорова [Говоров, 1987] и личными наблюдениями.

В соответствии с этими материалами, в строении о. Шикотан принимают участие преимущественно базальтовые вулканические и вулканогенно-осадочные образования поздне-мелового – палеогенового времени, интродуцированные основными габбро-гипербазитовыми массивами. Они разделяются на матакотанский (кампан-маастрих), шикотанский (дат-палеоцен) вулканогенно-молассовые комплексы и вулканический комплекс Томари-Ноторо (дат-палеоцен). Первые два разделены малокурильской осадочной толщей (маастрихт) с примесью распыленного вулканического материала, содержащей силлы шошонитов. Возраст комплекса Томари-Ноторо является предметом острых дискуссий и, по данным разных исследователей, варьирует от позднемелового до современного [Говоров, 1987; Федорченко и др. 1989].

Матакотанский комплекс имеет мощность превышающую 800 м, характеризуется значительным литолого-петрографическим и фаціальным разнообразием состава. В его основании залегают разнообломочные вулканические и вулканомиктовые брекчи, переходящие вверх по разрезу в конгломераты. Обломочный материал в них представлен преимущественно базальтами, диабазами и спилитами. В нижней, преимущественно эффузивной части разреза, наряду с шаровыми лавами содержатся прослойки кластических пород и кремней. В верхней, в основном обломочной части комплекса, преобладают брекчи основного состава и конгломераты с маломощными слоями базальтовых туфов и туфопесчаников. Эффузивы нижней части комплекса отлагались в морском бассейне как продукты трещинного вулканизма. В период формирования верхней части комплекса вулканические постройки поднимались над уровнем моря. Комплекс сложен в основном базальтами, петрографически довольно однотипными. Породы комплекса имеют порфировую (нередко миндалекаменную), реже афи-

ровую структуру. Во вкрапленниках (25–30%) содержится плагиоклаз андезин-битовнитового состава и моноклинный пироксен (диопсид-авгит). Ромбический пироксен, как и оливин, присутствует исключительно редко и, как правило, замещен вторичными минералами. По химическому составу (таблица) эффузивы комплекса представляют собой типичные известково-щелочные вулканические образования тихоокеанского петрохимического типа.

Они характеризуются пересыщенностью кремнеземом, повышенной глиноземистостью (см. табл.) и суммарной щелочностью ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 4–6%). По соотношению щелочей они относятся к калиево-натриевому типу с 2–3 разовым преобладанием натрия (отношение Na_2O к K_2O равно 3). Характерно также повышенное содержание суммарного железа (около 10%) и пониженное – титана. Их геохимический состав отличается низкими концентрациями хрома, никеля и кобальта по сравнению с океаническими базальтами, а также низкими отношениями Ni/Co и V/Cr [Фролова и др., 1989]. Примечательна высокая концентрация в породах меди, циркония и иттрия, превышающая кларковые в 1.5–3 раза, и пониженная металлоносность – Zn, Pb, Ag, Sn Cs, Ba и Ge [Федорченко и др., 1989].

Шикотанский комплекс имеет мощность не менее 800 м распространен преимущественно на юго-восточном побережье острова, где он прорван габбровыми интрузиями и субвулканическими телами базальтов, а также на мелких островах Малой гряды. Сложен эффузивно-пирокластическими образованиями и характери-

зуется фациальной пестротой состава. Преобладают лавовые и лавобрекчиевые потоки базальтов и андезито-базальтов, перемежающиеся с неотсортированными грубообломочными вулканическими породами. В районе бух. Дмитрова комплекс представлен толщей пироксен-плагиоклазовых лавобрекчий базальтового состава с прослоями массивных базальтов и линзами конгломерато-брекчий. Толща инъецирована sillами и дайками базальтового состава. Дайки нередко образуют плотные субпараллельные серии или структуры типа «дайка в дайке». Комплекс сформирован в результате вулканической деятельности центрального типа. Вулканизм носил преимущественно субэвральный характер, о чем свидетельствует интенсивное ожелезнение и окраска пород в бурые цвета. В петрографическом отношении, состав продуктов довольно однообразен – это преимущественно плагиоклаз-пироксеновые и пироксен-плагиоклазовые базальты и андезито-базальты. По химическому составу (см. табл.) они, как и базальты предыдущего комплекса, являются типичными представителями известково-щелочного магматического семейства тихоокеанского типа и относятся к насыщенным породам с нормальной щелочностью (до 4-5%) при преобладающей роли окиси натрия, с умеренной глиноземистостью (до 17-18%) и с низким содержанием TiO_2 (0.5-0.7 %) и CaO (7-8%). Лейкократовые разности содержат больше Al_2O_3 (более 17%) при пониженных концентрациях MgO, CaO и суммарного железа. В меланократовых разностях меньше щелочей, глинозема и,

Средние химические составы вулканических комплексов Малой Курильской гряды (мас.%)

Комплексы Окислы	Матакотанский	Шикотанский	Томари-Ноторо
SiO_2	49,16	51,68	52,72
TiO_2	0,82	0,65	0,80
Al_2O_3	17,75	16,77	17,23
Fe_2O_3	6,04	4,98	4,78
FeO	4,14	3,45	3,9
MnO	0,19	0,16	0,16
MgO	4,88	5,86	5,83
CaO	8,80	7,87	8,14
Na_2O	3,36	3,45	3,43
K_2O	1,18	1,28	1,12
P_2O_5	0,19	0,14	0,009
H_2O	0,42	1,38	0,37
шпш	1,51	0,62	0,18
Сумма	98,42	98,28	98,73
Кол. анализ.	106	50	46

соответственно, больше магния и кальция. Общий уровень содержания микрокомпонентов в породах комплекса близок к известково-щелочному ряду островных дуг. В меланократовых разностях увеличены концентрации хрома и никеля при стабильных значениях содержаний ванадия и кобальта [Фролова и др., 1989].

Комплекс Томари-Ноторо представлен толщей субэвральных известково-щелочных базальтоидов мощностью не менее 400 м в центральной и юго-восточной частях о. Шикотан и несогласно залегает на отложениях шикотанского комплекса (район бухты Церковной). В основании его находится прослой красно-бурых агглютинизированных агломератов. Ведущую роль в составе занимают лавы и лавобрекчии базальтов, андезитов-базальтов и реже – андезитов, чередующиеся с менее распространенными агломератовыми туфами и брекчиями. Петрографический состав вулканитов однообразный и сходен с шикотанским комплексом – это порфиоровые, редко афировые, породы, содержащие во вкрапленниках основной плагиоклаз, диопсид-авгит, редко оливин, замещенный серпентином, а также гиперстен и базальтическую роговую обманку. По химическому составу представляют собой типичные известково-щелочные пересыщенные кремнеземом породы с высоким содержанием глинозема (см. табл.), кальция, умеренным – титана, магния и щелочей (4-5%) при значительном преобладании натрия (см. табл.).

Резюмируя изложенное по вулканическим комплексам Малой Курильской гряды, необходимо отметить следующее. Позднемеловой вулканизм на территории Малой Курильской гряды носил трещинный и центральный характер и протекал с перерывами в подводных и субэвральных условиях. Продукты вулканизма разных этапов, формирующие разновозрастные комплексы, близки по вещественному составу и представлены в основном базальтами и андезитов-базальтами, по соотношению окислов относящимися к известково-щелочному магматическому семейству. С вулканическими комплексами ассоциируют массивы габброидов (северный и южный плутоны), сложенные в основном оливиновыми габбро, габбро-норитами и лейкократовыми габбро. По петрографическому составу вулканиты Малой гряды представлены пироксен-плагиоклазовыми базитами с варьирующими соотношениями главных минеральных фаз – основного плагиоклаза и диопсид-авгита. Оливин, роговая обманка и ромби-

ческий пироксен встречаются в резко подчиненном количестве. Для химических составов характерна насыщенность кремнеземом, повышенное содержание глинозема, суммарного железа и щелочей, а также пониженная концентрация двуокиси титана. Главной особенностью изменения составов вулканических продуктов в процессе дифференциации является «феннеровский» путь эволюции, т.е. накопление железа с ростом кремнезема, что в корне отлично от «боуэновского» тренда дифференциации пород ряда «базальт-риолит» Большой гряды.

Большая Курильская гряда. Состав и строение позднекайнозойских отложений Курильской дуги свидетельствуют об их образовании за счет длительных и интенсивных процессов вулканизма. С раннего миоцена (а возможно с конца олигоцена) до современного периода произошло формирование четырех вулканических комплексов – «зеленотуфового», вулканогенно-кремнисто-диатомитового, базальтоидного и андезитового.

«Зеленотуфовый» комплекс включает отложения раннего и среднего миоцена мощностью около 4000 м. По генезису и условиям формирования в его составе выделяется эффузивно-пирокластическая, вулканогенно-осадочная и экструзивная фации. Во многокилометровой толще отложений породы первой из них встречаются в виде мощных «линз», фиксирующих деятельность крупных очагов палеовулканов.

Нижняя часть разреза сложена агломератовыми брекчиями базальтов, чередующимися с псефитовыми туфами, туффитами, лавами и лавобрекчиями. В средней части наблюдается переслаивание разнообломочных туфов основного, среднего и кислого состава, брекчий, песчаников и туфопесчаников. Верхняя часть разреза сложена флишеподобным тонким чередованием витрокластических и агломератовых андезитовых и дацитовых туфов, туфопесчаников, туффитов. В кровле комплекса нередко встречаются пемзобрекчии и пемзобрекчии кислого состава, игнимбриты, а также алевролиты. Разнообразие и изменчивость условий осадконакопления характеризуют обстановку погружающегося активного вулканического архипелага. Среди продуктов преобладают туфы основного, среднего и кислого состава. Встречаются базальты в виде потоков, подушечных брекчий, литокластического материала в туфобрекчиях и агломератах. В зависимости от вкрапленников, выделяются плагиоклазовые, авгито-

вые, гиперстеновые, оливиновые и двупироксеновые разновидности. Все породы характеризуются интенсивными вторичными изменениями с новообразованием хлорита, эпидота, альбита, благодаря чему за ними исторически закрепилось название «зеленые туфы». Химический состав вулканитов подвержен значительным колебаниям и представлен всеми разновидностями породы ряда «базальт–андезит–риолит» при общем преобладании андезитов. По соотношению породообразующих окислов породы относятся к типичному тихоокеанскому известково-щелочному семейству, характеризующемуся повышенным содержанием глинозема и извести, пониженным – титана и преобладанием натрия в составе щелочей. Наиболее вариabильными компонентами являются калий, магний и титан, коэффициенты вариаций содержания которых достигает 50%. Щелочно-известковый индекс пород комплекса равен 61,5 при содержании извести и щелочей 5%, на основании чего они могут быть отнесены к кальциевому типу. Серийный индекс Ритмана не превышает 2,0, что указывает на принадлежность пород к тихоокеанскому (известково-щелочному) типу с сильным и предельно сильным характером родственной группы. Для микрокомпонентного состава характерна пониженная концентрация кобальта, хрома и ванадия (с Cr/V отношением меньше 1,0) и повышенная – элементов халькофильной группы.

Вулканогенно-кремнисто-диатомитовый комплекс связан с активизацией вулканической деятельности преимущественно в эксплозивной форме в конце миоцена – начале плиоцена. В его основании повсеместно развиты валунные и галечные конгломераты, залегающие с несогласием на подстилающих отложениях. Выше распространены тонкопереслаивающиеся песчаники с гравелитами, пемзовые туффиты с вулканомиктовыми песчаниками, гравелиты, диатомиты, конгломераты и псефитовые туффиты. В средней части разреза фиксируются плотные опокovidные туфопесчаники с линзами опокovidных туфодиатомитов, вулканомиктовые песчаники с титаномagnetитовым цементом и псефитовые брекчии. Верхи комплекса сложены пемзовыми туфами с валунами и глыбами кислых эффузивов, конгломерато-брекчиями и косослоистыми туфопесчаниками. Общей особенностью состава комплекса является слабая литификация пород, обилие в их составе светлого распыленного пемзового материала и обломков пемз, наличие

кремнистых образований – опок и диатомитов, хорошая стратификация разреза и отсутствие зеленокаменного изменения. Анализ условий формирования отложений показывает, что поступление материала в седиментационный бассейн происходило за счет вулканических извержений эксплозивного типа при кальдерообразовании, а также за счет разрушения прилегающих вулканотектонических поднятий.

Преобладающими в составе комплекса являются вулканические продукты среднего и кислого состава. Они представляют собой темно-серые породы порфирового сложения с содержанием вкрапленников от 10 до 30%. Плагноклаз (лабрадор-битовнит) повсеместно является наиболее распространенным минералом и составляет от 60-70 до 90-95% от всего количества фенокристаллов. Моноклинные пироксены (5-15%) представлены авгитом, диопсид-авгитом. Ромбические пироксены (2-7%), как правило, характеризуются невысоким содержанием железистой составляющей (21-37%).

По соотношению породообразующих окислов вулканиты ряда андезит–риолит относятся к тихоокеанскому известково-щелочному классу пород, отличающемуся повышенной глиноземистостью и известковистостью, низким содержанием титана, умеренной щелочностью и повышенной ролью натрия в составе щелочей. По соотношению извести и щелочей породы занимают промежуточное положение между типично известковыми и известково-щелочными (индекс Пикока равен 61,5, показатель родства Ритмана – 0,5-2,0).

Базальтоидный комплекс сформирован в результате проявления позднеплиоценовой фазы вулканизма и залегает с несогласием на отложениях вулканогенно-кремнисто-диатомитового комплекса. В основании его широко представлены чередующиеся шаровые лавы, подушечные брекчии, аквагенные туфы, гиалокластиты, разнообломочные туффиты и конгломерато-брекчии. В средней части разреза наблюдается пачка переслаивающихся псефитовых и агломератовых туфов и подушечных брекчий, перекрываемая слоистыми агломерато-псефитовыми туфами и туффитами базальтового состава. Верхние части комплекса сложены тем же набором пород, включающим шаровые лавы, подушечные брекчии, аквагенные туфы и гиалокластиты. Для отложений характерна грубая слоистость, обусловленная чередованием пород разного состава. Распределение обломочного

материала в слоях весьма разнообразно и может быть сведено к трем типам: градационному, маятниковому и обращенному градационному. Все вулканогенные породы являются производными базальтовой, андезито-базальтовой и реже – андезитовой магм. По составу вкрапленников выделяются плагиоклазовые, двупироксеновые, авгитовые, гиперстеновые и оливинные базальты. Для всех пород комплекса весьма характерны вторичные изменения в виде палагонитизации, причем различаются три генерации палагонита [Пискунов, 1987]. По содержанию кремнезема породы представляют слабо дифференцированную группу, в составе которой преобладают базальты тихоокеанского известково-щелочного класса с повышенной глиноземистостью и известковистостью, с пониженной титанистостью и щелочностью при преобладании окиси натрия. Для микрокомпонентного состава характерны низкие содержания кобальта, хрома, ванадия (при относительном преобладании последнего), повышенные – меди.

Андезитовый комплекс включает четвертичные вулканические и осадочные породы, широко распространенные на внутренней гряде и представляет собой пестрый в литологическом, фациальном и генетическом отношении набор отложений, основную роль в составе которого играют лавово-пирокластические продукты вулканических извержений. Преобладающими в составе комплекса являются андезиты, хотя для каждого вулкана характерен свой главенствующий тип пород. Это – преимущественно порфиоровые эффузивы с содержанием вкрапленников от 10 до 65%. По минеральным фазам в порфиоровых выделениях различаются плагиоклазовые, пироксеновые, двупироксеновые, оливин-пироксеновые и амфиболовые разновидности.

Главные черты химизма пород в полной мере соответствуют тому петрохимическому типу, который в геологической литературе называют «тихоокеанским». По соотношению основных компонентов базальты и породы большей кислотности относятся к типичному известково-щелочному семейству и отличаются насыщенностью кремнеземом, повышенной глиноземистостью и известковистостью, пониженной титанистостью и преобладанием натрия в среде щелочей. В составе комплекса редко выделяются базальты с повышенным (8-12%) содержанием MgO, встречающиеся на многих вулканах, но особенно широко развитые в кальдере Медвежьей на о. Итуруп. Химический со-

став пород комплекса характеризуется ярко выраженным химическим континуумом по щелочам (преимущественно по калию), выражающимся в необычайно высоких колебаниях его содержания в породах с одинаковой кремнекислотностью (более чем на порядок). Вулканы с породами низкокальциевой серии расположены на тихоокеанском фронте дуги, высококальциевой – тяготеют к охотоморскому побережью. Среднекальциевая серия занимает, в целом, промежуточное положение между ними (так называемая латеральная зональность) [Пискунов, 1987].

Общей особенностью распределения редких элементов является пониженное содержание когерентных элементов (особенно сидерофильной группы) и повышенное – некогерентных (щелочных, щелочноземельных, редкоземельных и радиоактивных) [Федорченко и др., 1989]. Содержание элементов группы железа-никеля, кобальта, хрома и ванадия характеризуется относительно пониженными значениями, исключая последний элемент. Никель, как правило, находится в несколько меньших количествах, чем кобальт, а хром почти на порядок уступает ванадию. Количество легких РЗЭ также коррелируется с содержанием калия и также укладывается в схему латеральной зональности. Сумма их варьирует от 42 до 125 г/т, увеличиваясь к кислым породам. Между базальтами низко- и высококальциевой серий содержание РЗЭ меняется почти в 2 раза. «Европиевый» критерий в базальтах равняется 0,7–0,92 и близок к таковому в хондритах. Изотопный состав стронция вулканических пород андезитового комплекса варьирует от 0,7029 до 0,7042, что в целом типично для островных дуг [Пискунов, 1987].

Тектоно-магматические режимы и природа базальтоидов

Представления современной тектоники и петрологии основываются на концепции тесной связи состава магматических пород с их тектоническим положением. Это признается практически всеми на уровне крупных таксономических единиц – океанов, окраинных морей, островных дуг, вулcano-плутонических поясов, спрединговых, рифтовых и субдукционных зон, кратонов и гесинклиналей. По этой причине установление тектонической принадлежности магматических пород имеет важное значение для петрогенетических построений и определения металлогенической специализации регионов.

Внутренняя гряда. Изучение Большой Курильской гряды с активным современным вулканизмом показывает, что образующие ее четыре вулканических комплекса образовались в островодужных условиях, последний из которых не завершил еще стадию своего формирования в настоящее время. Заложение и развитие дуг не связано непосредственно с этапами предшествующей истории континентальной окраины. Неогеновые островодужные комплексы на разных дугах перекрывают верхнемеловые геосинклинальные отложения, а также мезозойские, палеозойские и, возможно, более древние образования, неоднократно подверженные дислокациям, метаморфизму и интрузивным инъекциям.

Таким образом, тектонический и магматический режимы внутренней гряды Курильской дуги характеризуются в «доостроводужное» время стабильностью или слабым поднятием, сменившимся в конце палеогена крупной тектонической перестройкой структурного плана и заложением дуг в собственно островодужную стадию. Магматизм этого периода характеризуется выдержанностью состава на протяжении всего этапа эволюции и четко выраженными специфическими свойствами, отличающими его от магматизма океанов и континентов. Кроме того, важной особенностью островодужного вулканизма, которая должна находить отражение в петрогенетических гипотезах, является закономерное изменение состава его продуктов в структуре дуг, выражающееся в приуроченности низкокалиевых пород к фронтальной части, высококалиевых – к тыловой (латеральная зональность).

Внешняя гряда. Вопрос о тектонической природе и магматическом режиме позднемелового базальтового вулканизма до сих пор остается открытым. Высказываются весьма противоречивые точки зрения, включающие принадлежность базальтоидов к океаническим образованиям (обдущированное океаническое дно) [Меланхолина, 1978], поясовым периокеаническим вулканитам [Ротман, Щеглов, 1993], эвгеосинклинальным доинверсионным [Власов, Мишин, 1992], а также к островодужным магматическим проявлениям [Фролова и др., 1989]. Ниже мы еще раз рассмотрим вопрос о природе внешней гряды Курильской дуги, от правильного понимания которой зависит выбор модели генезиса и эволюции островных дуг и земной коры в целом, а также оценка перспектив металлоносности [Кичина и др., 1997].

Концепция океанической природы. Основанием для гипотезы об океаническом происхождении позднемеловых базальтоидов явилось обнаружение на полуострове Димитрова на о. Шикотан комплекса вертикальных даек, отождествляемых с основанием базальтового слоя океанического дна [Меланхолина, 1978]. Сам этот факт, без изучения состава пород, вряд ли может быть достаточным аргументом для отнесения вулканических пород к океаническим ассоциациям. Нами подобные серии секущих тел типа «дайка в дайке» описаны в неогеновых отложениях Большой гряды и в плиоценовых отложениях Сахалина на м. Ламанон, которые никак нельзя отнести к геологическим образованиям океана. Главным критерием в решении данной проблемы должны быть особенности состава пород.

Нами ранее было проведено исследование по сравнению состава пород на наиболее крупном ранговом уровне – абиссальных базальтов Мирового океана и островодужных вулканических образований [Пискунов, 1987]. Согласно полученным данным, основанным на 4000 силикатных анализов, продукты вулканизма планетарной системы дуг Земли отличаются от вулкаников дна и островов океана соотношением окислов глинозема, титана, натрия и калия. Разделение пород, разных по тектонической природе, уверенно производится на диаграмме «k-t», где

$$k = 100K_2O / (K_2O + Na_2O)$$

$$t = (Al_2O_3 - K_2O - Na_2O) / TiO_2 \text{ (окислы в весовых \%)}$$

Уравнение разделительной линии, аппроксимирующей петрохимическую границу пород океана и континента (в том числе и островных дуг), именуемая в литературе «андезитовой линией» имеет вид: $D = 0,3k * t - k - t$. Составы абиссальных толеитовых и щелочных пород дна и островов океанов проектируются в область диаграммы левее и ниже разделительной гиперболы и характеризуются отрицательными значениями дискриминантного уравнения ($D < 0$). Породы островных дуг, вулканических поясов и эвгеосинклиналей занимают область, соответственно, правее и выше кривой и имеют положительное значение дискриминанты ($D > 0$).

Для проверки гипотезы о принадлежности пород всех трех комплексов Малой Курильской гряды, все имеющиеся химические анализы вулкаников были пересчитаны по приведенным выше уравнениям и проецированы на ди-

аграмму «k-t» (рис. 1.). Как видно по положению точек на графике, все без исключения породы Малой гряды, независимо от их стратиграфической принадлежности и содержания кремнезема, попадают в «океаническую» область известково-щелочных пород, в которую также попадают вулканиды островных дуг Тихого океана и Восточно-Катазиатского вулканического пояса.

О различии составов «малокурильских» лав от океанических базальтов свидетельствуют также и данные о концентрациях малых и рассеянных элементов [Антонов, 1996; Говоров, 1987; Федорченко и др., 1989]. Так, первые существенно обеднены тугоплавкими элементами группы железа – Cr, Co, Ni. Концентрация их в лавах о. Шикотан значительно ниже, чем в толеитах и щелочно-оливиновых базальтах океана. Отношение Ni/Co, используемое для отличия пород океанов и островных дуг, в вулканидах Малой гряды за редким исключением ниже 1,5, что не характерно для океанических серий [Лутц, 1980]. Кроме этих элементов показатель-

но и содержание стронция, которое в базальтах всех комплексов Малой гряды варьирует от 600 до 700 г/т, что в 4–5 раз выше, чем в щелочных оливиновых базальтах дна и океанических островов. То же самое относится и к повышенному содержанию в «малокурильских» лавах циркония, о чем будет сказано ниже.

Островодужная гипотеза происхождения базальтоидного вулканизма. Вопрос о возможной принадлежности позднемеловых базальтоидов к островодужным образованиям представляется более сложным. Приведенная на рис. 1 диаграмма «k-t» предназначена для определения принадлежности пород в ряду «океан-континент» и не показывает различия в составе пород в серии структур с континентальной и субконтинентальной корой в переходной зоне. В область составов известково-щелочных пород на диаграмме проецируются, как уже отмечалось, островодужные, окраинно-поясовые, внутриконтинентальные и эвгеосинклинальные вулканические образования [Пискунов, 1987]. В этом случае первостепенное значение для

проверки упомянутой гипотезы имеет анализ геологического и сейсмического материала, а также прямое сравнение содержаний породообразующих и рассеянных элементов.

Общей особенностью строения внутренних гряд дуг является широкое развитие на всех них позднекайнозойский (олигоцен-четвертичных) вулканических и вулканогенно-осадочных пород, сформировавшихся в стадию развития островодужных поднятий. И лишь на некоторых дугах на их внешних грядках и в эрозионно-тектонических «окнах» распространены более древние (меловые, мезозойские, палеозойские) отложения,

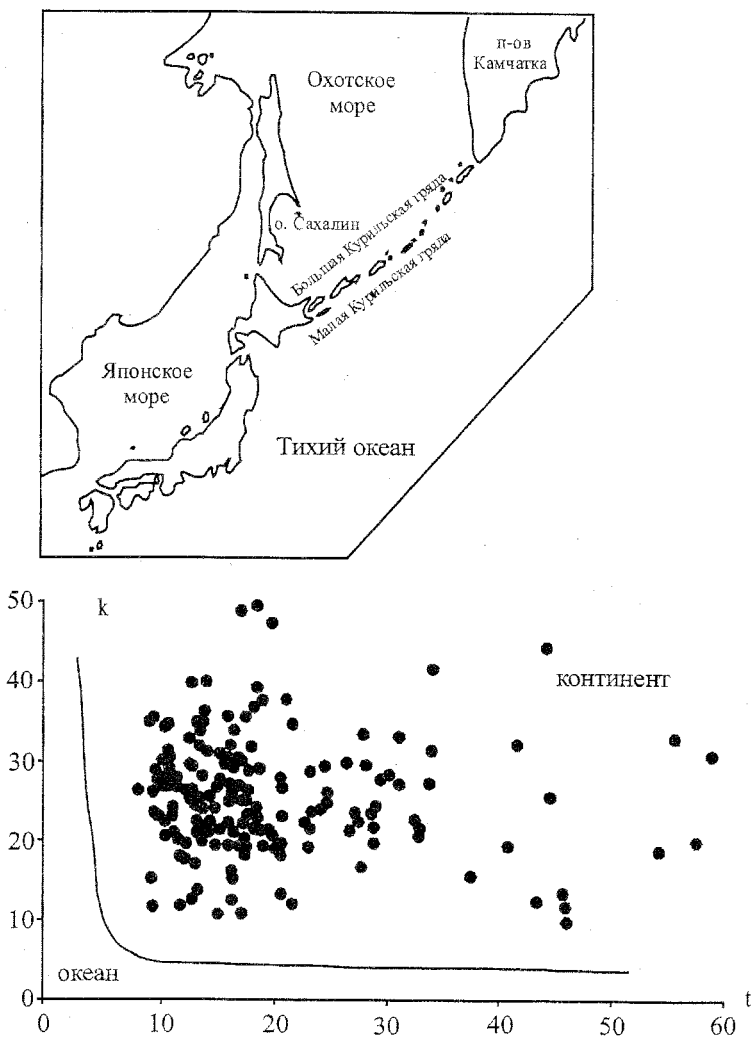


Рис. 1. Проекция состава базальтоидов Малой Курильской гряды на петрохимическую диаграмму «океан-континент» $k=100K_2O/(K_2O+Na_2O)$, $t=(Al_2O_3-Na_2O-K_2O)/TiO_2$.

На врезке общая схема региона.

отличающиеся от вышележащих толщ по составу, степени метаморфизма и условиям образования. По признанию большинства исследователей, подобная закономерность строения свидетельствует о том, что заложение островных дуг произошло на гетерогенном основании, отдельные блоки которого вовлекались в процесс новейшей тектонической перестройки. Это привело к объединению разнородных участков земной коры в единые линейные структуры, режим развития которых определен глубинными процессами формирования островодужных систем.

Таким образом, анализ регионального материала показывает, что в олигоценовое время практически одновременно вдоль всей окраины Азиатского континента произошла крупнейшая тектоническая перестройка, в результате которой образовалась система Восточноазиатских островных дуг [Пушаровский, 1972; Белоусов, 1982; Пискунов, 1987]. Они заложены дискордантно по отношению к существовавшему структурному плану на гетерогенном и гетерохронном фундаменте, отдельные блоки которого, будучи вовлеченными в тектонический процесс, входят в систему современных структур островных дуг. Результаты изучения строения островодужных систем показывают, что стадии заложения и развития дуг не связаны непосредственно с этапами предшествующей истории развития континентальной окраины. Одновременное наложение островодужных поясов на гетерогенные структуры с разными типами земной коры свидетельствует о независимости проявления островодужной стадии как специфической формы орогенного режима. Таким образом, анализ геологических материалов по заложению и развитию Восточноазиатских дуг не позволяет принять гипотезу об островодужной природе позднемиоценового вулканизма.

Важную информацию относительно последней концепции дает непосредственное сравнение состава основных вулканических пород по данным химических анализов. На рис. 2 в виде гистограммы показано соотношение составов базальтоидов Малой гряды с бесспорно островодужными базальтами Большой по 5 породообразующим окислам: дано уравнение дискриминантной линии, разделяющей составы базальтоидов

$$D=1,086Al_2O_3+0,641Fe_2O_3+0,441FeO-1,054CaO+0,344Na_2O+1,13K_2O+24,55$$

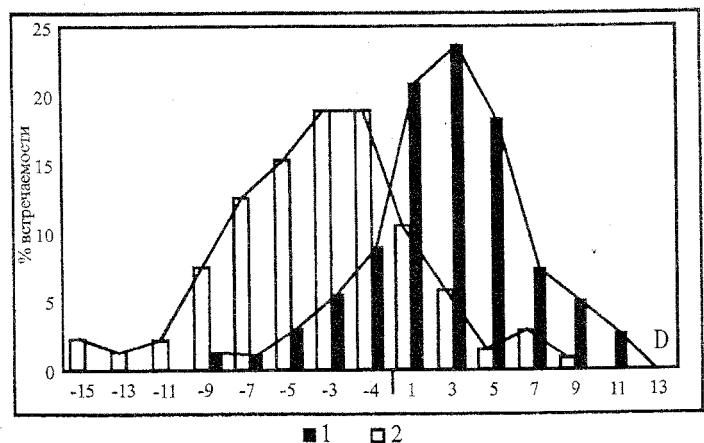
Несмотря на значительное перекрытие областей гистограмм, на рис. 2 наглядно проявляется бимодальный характер распределения частот, свидетельствующий о существенном различии составов по избранным 5 окислам.

Более значительное несходство составов проявляется при сравнении содержаний пар элементов Sr–Zr (рис. 3), Zr–Cu (рис. 4) и Rb–Sr (рис. 5), не оставляющие сомнения в различной геохимической и, соответственно, тектоно-магматической природе базальтов.

Гипотеза об эвгеосинклинальной природе базальтового вулканизма. Данная гипотеза, последовательно поддерживаемая Г.М. Власовым [Власов, Мишин, 1992] с позиции классической геотектонической концепции, предполагает появление базитов в доинверсионную стадию в узких структурно-формационных зонах внешней гряд, заложившихся перед образованием собственно островодужных систем. Пространственно они закономерно располагаются параллельно внутренним вулканическим грядам в области меньших глубин зоны Заварицкого–Беньюффа по сравнению с зонами современного вулканизма на дугах. Согласно мнению сторонников этой точки зрения, в последующие постинверсионные этапы развития прогибов

Рис. 2. Гистограмма распределения значений дискриминантного уравнения для базальтоидов Большой (1) и Малой (2) Курильских гряд.

$$D=1,086Al_2O_3+0,641Fe_2O_3+0,441FeO-1,054CaO+0,344Na_2O+1,13K_2O+24,551.$$



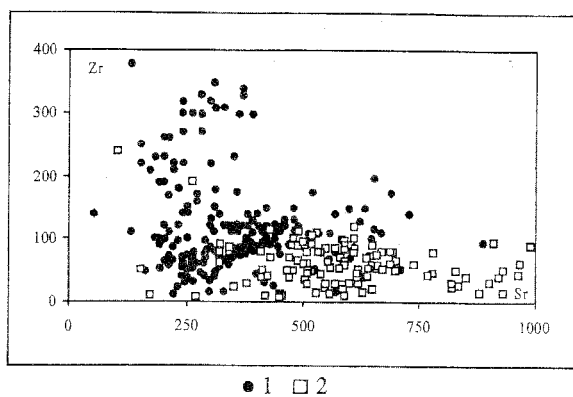


Рис. 3. Соотношение концентраций Sr и Zr в базальтоидах Большой (1) и Малой (2) Курильских гряд.

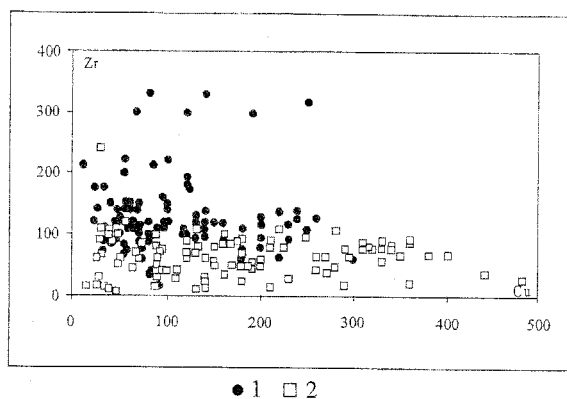


Рис. 4. Соотношение концентраций Zr и Si в базальтоидах Большой (1) и Малой (2) Курильских гряд.

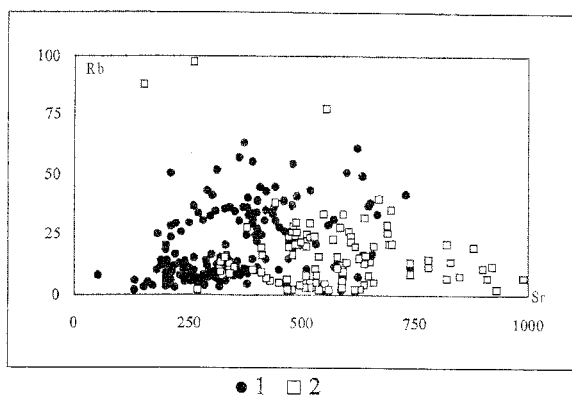


Рис. 5. Соотношение концентраций Rb и Sr в базальтоидах Большой (1) и Малой (2) Курильских гряд.

вулканические отложения претерпели метаморфизм и складчатость.

С этой гипотезой, базирующейся на классических представлениях «континентальной» геологии, не согласуются многие данные и, в первую очередь, широкое площадное развитие продуктов позднемелового вулканизма [Ротман, Щеглов, 1993], отсутствие среди них спилитов, кератофиров и кремнистых комплексов, слабая дислоцированность пород. Кроме того, гипотеза об эвгеосинклинальной природе рассматриваемых вулканитов не объясняет их отсутствие в основании некоторых дуг, где в фундаменте вместо меловых базитов встречаются мезо-палеозойские отложения, инъецированные гранитоидами.

В глубинном строении Курильской островной дуги, уточненном последними сейсмическими исследованиями методами МОВЗ,

скорректированными с материалами по ГСЗ [Злобин, 1987] до глубины 30 км, обнаружены 4 границы обмена. Все они наклонены от поднятия Малой гряды в сторону Большой, под которой и формируется крупный прогиб. Резкое смещение границ раздела между грядями с вертикальной составляющей до 5 км указывает на наличие под дном Южно-Курильского пролива глубинного разлома типа левостороннего сбросо-сдвига, существование которого подтверждается и другими геолого-геофизическими данными. Эти материалы опровергают распространенное представление о наличии «литосферного корня» или глубокого эвгеосинклинального прогиба под Малой грядой и, тем самым, не позволяют принять эвгеосинклинальную концепцию.

Проведенный геолого-петрохимический анализ позволяет при выборе гипотез остановиться на периокеанической природе позднемелового вулканизма, проявившегося в условиях геодинамического режима растяжения и рифтинга. Тектоно-магматические процессы в позднем мелу способствовали формированию обширного базитового вулканического пояса с базит-гипербазитовыми интрузиями, наложенного на окраину континента и, частично, на прилегающее океаническое дно. Геологическая позиция пояса, состав вулканических продуктов, металлогеническая специализация и геодинамический режим рассмотрены В.К. Ротманом и А.Д. Щегловым [1993] на обширном материале по западу Тихого океана. Благодаря активным магматическим процессам, в пределах указанного региона на поверхность поставлялась

базальтовая магма, подводные и субаэральные продукты которой в пределах Малой гряды и Восточной Камчатки формируют вулканические комплексы с повышенным содержанием натрия, железа, стронция и пониженным – циркония. В результате последующего зарождения дуги в олигоцене–раннем миоцене, отдельные блоки позднемелового пояса вовлекались в процесс тектонической перестройки и в настоящее время в виде горст-антиклинория формируют внешнюю гряду Курильской островной дуги.

Петрогенетические концепции. Попытка интерпретации закономерностей строения и состава вулканических комплексов внутренней гряды, пространственных и временных вариаций, петрогеохимического родства всех пород ряда «базальт–риолит», соотношений с другими магматическими семействами, а также анализ многочисленной геолого-геофизической информации приводит к выводу о целесообразности привлечения для петрогенетических построений многостадийной модели генезиса расплавов, включающей плавление метасоматически измененного вещества верхней мантии при участии флюидов и взаимодействие с породами коры [Пискунов, 1987]. Ее применение оправдано, по крайней мере, для основных и основных-средних вулканитов внутренних гряд.

В пользу мантийного происхождения расплавов свидетельствуют многочисленные факты. В первую очередь к ним относится связь процессов образования дуг и островодужного вулканизма с глобальной тектонической перестройкой и древними сейсмическими поясами глубокого заложения. Об этом же свидетельствуют и данные о наличии под дугами на глубинах до 200 км зон загущения сейсмических волн и повышенной электропроводности, повсеместно проявленная латеральная зональность состава вулканических комплексов и связь содержания ряда окислов и редких элементов с глубиной до фокальных зон. Высокие температуры гомогенизации включений и термомагнитные свойства титаномagnetитов указывают на глубины очагов в 60–70 км. Имеющиеся данные по включениям и геофизические исследования позволяют предполагать в качестве магмогенерирующего субстрата ультраосновное вещество верхней мантии под дугами (лерцолиты, вебстериты) в плагиоклазовой и шпинелевой фазах. Присутствие во включениях амфибола как реакционного минерала свидетельствует о преобразовании мантии до процесса

плавления. Амфиболитизация является промежуточной стадией дебазикизации мантии и сменяется габброизацией.

Экспериментальные данные показывают, что плавление амфиболитизированного перидотита в водных условиях при давлениях, соответствующих глубинам 30–70 км, приводит к образованию выплавов с широким спектром содержания SiO_2 , с дефицитом сидерофильных компонентов и распределением щелочей, близким к реальным составам островодужных пород [Генштафт, 1977].

Участие флюидов в маглообразовании доказывается эксплозивностью вулканизма дуг, газонасыщенностью магм при извержениях, присутствием гидратизированных обособлений во вкрапленниках, повышенной летучестью кислорода, мантийной природой гелия и другими фактами. Областью отделения летучих, вероятно, являются сейсмические зоны, служащие путями миграции при общем процессе дегазации Земли. Главная их роль сводится к преобразованию вещества мантии с привнесением и выносом ряда компонентов и приближением его состава к котектическому, к привнесению тепла, снижению температур плавления и взаимодействию с расплавами. Благодаря различной компонентной нагрузке флюидов, отделяющихся с разных глубин, и ее осаждению в зоне водного «фильтра», изменения мантии могут иметь зональный характер, а степень обогащения щелочами (в первую очередь калием и легкими РЗЭ) – возрастать с увеличением глубины отделения и пути миграции флюидов.

Признаки дальнейшей эволюции расплавов на верхних уровнях в земной коре многочисленны: приуроченность вулканической ассоциации к континентальной и субконтинентальной коре и отличие ее состава от магматических комплексов океана, зависимость калинасыщенности пород от мощности коры и ее гранитного слоя [Пискунов, 1987], растворение магмой включений, представленных породами коры, неравновесные ассоциации минералов (оливин с кварцем), а также изотопный состав стронция и неодима некоторых пород на дугах с мощной корой (Рюкю, Хонсю). Роль кристаллизационной дифференциации на разнообразие состава, особенно в условиях повышенной летучести кислорода, показана многими наблюдениями и экспериментальными данными.

По данным Г.И. Говорова, исследовавшего петрогенетические проблемы на Малокуриль-

ском поднятии [1987], сходный механизм применим и для интерпретации происхождения вулканитов внешней гряды, чем и объясняется их принадлежность (как и «большекурильских» расплавов) к известково-щелочному магматическому семейству. Отмеченные же выше различия составов связаны с разной глубиной проникновения магмогенерирующих разломов и отделения летучих (меньшей для Малой гряды), отсутствием взаимодействия с корой для позднемеловых магм и меньшей степенью развития в них процессов дифференциации. Определенную роль в различии составов пород обеих гряд и присутствии на внутренней из них кислой составляющей играет компонентная нагрузка летучих флюидов, отделявшихся под Большой грядой с больших глубин и более обогащенных щелочными элементами и легкими РЗЭ.

Различие тектоно-магматических режимов внешней и внутренней гряд Курильской островной дуги, наблюдающееся и на других дугах Востока Азии, определяет и их различную металлогеническую специализацию. Для Большой гряды, из-за тесной пространственно-хронологической связи и петрохимического родства базальтов с более кислыми островодужными породами, зачастую не удается выделить типы оруденения, непосредственно связанные с базальтовым вулканизмом. Аналогично этому, на современных действующих вулканах, сложенных комплексом лав и туфов от основного до кислого состава, подчас трудно определить, с какими извержениями связаны современные экзгаляции, несущие рудную нагрузку. Все известное богатство островных дуг, в отношении металлических полезных ископаемых, связано с общим магматическим режимом внутренних дуг.

Внешняя гряда входит в область верхнемелового вулканизма Тихоокеанского пояса, представленного внешней (континентальной) и внутренней (приокеанической) зонами. В отношении оруденения, первая из них соответствует оловоносной, вторая – (вместе с Малой грядой) меденосной мегапровинциям Тихоокеанского рудного пояса [Ротман, Щеглов, 1993]. Эти рудоносные области соответствуют протяженным контрастным вулканическим поясам: Восточно-Азиатскому и Периокеаническому. К месторождениям второго типа относится медно-колчеданное оруденение на Филиппинских островах и месторождения меди в Среднем

хребте Камчатки, приуроченное к калиевым метасоматитам. С развитием островодужного вулканизма с характерным для него комплексом полезных ископаемых, противостояние внешней и внутренней мегапровинций олова и меди сглаживается в связи с наложенным характером минерализации островных дуг.

Породы внешней гряды, соответствующие по ассоциациям базит-гипербазитовой магматической формации, по аналогии с сопредельными регионами, могут вмещать хромитовое и платиноидное оруденение. Небольшие скопления хромита известны в полосчатых габброидах о. Шикотан. Специальных исследований на эти виды полезных ископаемых не проводилось, хотя потенциальные перспективы островов Малой гряды на этот вид сырья не отвергаются практически никем из исследователей.

С островодужными комплексами Большой гряды, как и на многих дугах Востока Азии, ассоциируют комплексная медно-полиметаллическая колчеданная, медно-золото-серебряная, медно-полиметаллическая, серно-колчеданная и редкометальная минерализация [Неверов, 1970; Данченко, 1999].

Таким образом, заканчивая исследования о природе базальтоидов Курильской гряды, можно сделать вывод о том, что среди продуктов вулканизма большую роль играет базитовая составляющая, особенно на Малых островах. Сравнение состава базальтоидов внешней и внутренней гряды по ряду порообразующих и редких элементов (Rb, Sr, Cu, Zr) показывает их различие, связанное с разными тектоно-магматическими режимами. Если островодужная природа вулканизма внутренней гряды не вызывает сомнения, то определение магматического режима внешней дуги является дискуссионным вопросом. Геолого-петрологический анализ конкурирующих гипотез с привлечением сейсмических данных позволяет остановиться на связи позднемелового вулканизма с активностью периокеанического вулканического пояса на востоке Азии. Различные условия зарождения и состав образующихся магм определяют и разную металлогеническую специализацию Малой и Большой Курильских гряд. Так, вулканы внешней гряды являются перспективными на хромиты и платиноиды, а внутренней – на полиметаллическое, золото-серебряное, медно-колчеданное и редкометальное оруденение.

Список литературы

Антонов А.Ю., Кононов М.В., Голионко Б.Г. Геохимическая типизация мел-палеогеновых магматических образований о. Шикотан (Малая Курильская гряда) // Тихоокеанская геология. 1996. Т. 15. № 6. С. 19-35

Белоусов В.В. Переходные зоны между континентами и океанами. М.: Недра, 1982. 140 с.

Власов Г.М., Мишин Л.Ф. Геотектоническая теория и магматогенно-рудные системы. М.: Наука, 1992. 230 с.

Гаврилов В.К., Соловьева Н.А. Вулканогенно-осадочные формации геосинклинальных поднятий Малых и Больших Курил. Новосибирск: Наука, 1973. 151 с.

Геншафт Ю.С. Экспериментальные исследования в области глубинной минералогии и петрологии. М.: Наука, 1977. 208 с.

Говоров Г.И. Магматизм Малокурильского поднятия: Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Владивосток, 1987. 30 с.

Данченко В.Я. Редкие металлы в рудах Курильских островов. Южно-Сахалинск: ИМГИГ ДВО РАН, 1999. 89 с.

Злобин Т.К. Строение земной коры и верхней мантии Курильской островной дуги (по сейсмологическим данным). Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1987. 160 с.

Кичина Е.Н., Пискунов Б.Н., Сергеев К.Ф. Природа базальтового вулканизма Малой Куриль-

ской гряды // Тихоокеанская геология. 1997. Том 16. № 3. С. 81-86.

Лутц Б.Г. Геохимия океанического и континентального магматизма. М.: Недра, 1980. 246 с.

Мархинин Е.К. Вулканизм Курильских островов // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1961. № 6. С. 45-58.

Меланхолина Е.Н. Габброиды, параллельные дайки в структуре о. Шикотан (Малая Курильская гряда) // Геотектоника. 1978. № 3. С. 128-136.

Неверов Ю.Л. Магматизм и рудная минерализация южной группы Курильских островов: Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Владивосток, 1970. 26 с.

Пискунов Б.Н. Геолого-петрологическая специфика вулканизма островных дуг. М.: Наука, 1987. 237 с.

Пуцаровский Ю.М. Введение в тектонику Тихоокеанского сегмента Земли. М.: Наука, 1972. 222 с.

Ротман В.К., Щеглов А.Д. Фундамент островных дуг Тихого океана как критерий их типизации // Докл. РАН. 1993. Т. 331. № 5. С. 590-593.

Сергеев К.Ф. Тектоника Курильской островной системы. М.: Наука, 1976. 238 с.

Федорченко В.И., Абдурахманов А.И., Родионова Р.И. Вулканизм Курильской островной дуги: геология и петрогенезис. М.: Наука, 1989. 240 с.

Фролова Т.И., Перчук Л.Л., Бурикова И.А. Магматизм и преобразование земной коры активных окраин. М.: Недра, 1989. 255 с.

Рецензент доктор геол.-мин. наук В.Н. Огородников