

НОВЫЕ ДАННЫЕ ПО РАДИОИЗОТОПНОМУ ДАТИРОВАНИЮ ВУЛКАНИТОВ ЯПОНСКОГО И ОХОТСКОГО МОРЕЙ

*Е.П. Леликов**, *Т.А. Емельянова**, *В.Т. Съедин**, *М.М. Аракелянц***,
*В.А. Лебедев***

**Тихоокеанский океанологический институт ДВО РАН, г. Владивосток*

***Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, г. Москва*

Получены новые радиоизотопные датировки (К-Аг метод) возраста мезозойско-кайнозойских вулканитов Японского и Охотского морей, которые более надежно обосновывают время формирования ряда вулканических комплексов. Уточнен возраст базальтов Японской котловины Японского моря, который отвечает среднемиоцен – плиоценовому времени (13,1–4,5 млн лет), что достаточно хорошо согласуется с историей его геологического развития. Новые радиоизотопные данные по базальтам с материкового склона Южного Приморья (11,1 млн лет) подтвердили их разновозрастность с вулканитами неогеновых базальтовых плато Южного Приморья. Полученные определения для пород андезитовой толщи Северного Ямато (24,7; 21,5 млн лет) показали разновозрастность их с вулканитами трахиандезитового комплекса, что позволило объединить их в единый олигоцен-раннемиоценовый комплекс. Выполнены датировки по образцам вулканитов из Охотского моря трех возрастных комплексов: мелового, палеогенового и плиоцен-плейстоценового. Меловые магматические породы участвуют в формировании фундамента крупных возвышенностей Охотского моря, а проявление палеогенового и плиоцен-плейстоценового вулканизма отражает этап кайнозойской тектоно-магматической активизации этого региона.

Ключевые слова: К-Аг возраст, вулканиты, мезо-кайнозой, Японское, Охотское моря.

ВВЕДЕНИЕ

В изучении магматических пород, наряду с данными об их вещественном составе и условиях образования, важное значение имеет определение времени проявления магматизма. Для магматических пород морского дна определяющую роль при этом играют методы радиоизотопного датирования, поскольку, в подавляющем большинстве случаев, при драгировании невозможно установить взаимоотношение магматических пород с вмещающими образованиями, а также определить последовательность излияния лавовых потоков. Поэтому, начиная с шестидесятых годов, при драгировании первых образцов вулканитов со дна Японского и Охотского морей проводилось их радиоизотопное датирование (К-Аг метод). Эти определения выполнялись в различных лабораториях по устаревшим методикам и нередко по измененным образцам, что приводило к значительному разбросу цифр значений возраста пород, даже отобранных из одних и тех же вулканических построек.

В 1999–2000 годах в лаборатории изотопной геохимии и геохронологии ИГЕМ РАН были перепределён возраст ряда образцов, а также выполнено радиоизотопное датирование по новым образцам вулканитов северной части Японского моря и неко-

торых структур Охотского моря. Эти данные уточнили время формирования вулканитов и позволили более надежно обосновать возраст выделенных вулканических комплексов. Результаты этих исследований изложены в настоящей статье.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Для определения изотопного возраста вулканических пород отбирались наиболее свежие образцы различного состава от базальтов до дацитов.

Содержания калия в образцах измерялось методом пламенной спектрометрии с использованием дифракционной решетки, фотоумножителя и высокочувствительного гальванометра. Точность определения составляла 1–5% относительных, в зависимости от концентрации калия. Содержание радиогенного аргона измерялось методом изотопного разбавления с применением в качестве трассера моноизотопа ^{38}Ar . Измерения проводились на специализированном масс-спектрометрическом комплексе в статическом режиме. Основные характеристики измерительного комплекса, созданного в ИГЕМ на базе прибора МИ 1201ИГ (чувствительность по аргону 5×10^{-3} А/торр и уровень холостого опыта – 5×10^{-10} нсм³), доведены до уровня лучшего зарубежного аналога –

масс-спектрометра VG 5400 («Micromass», Англия). Точность измерений контролировалась систематическими измерениями содержания $^{40}\text{Ar}_{\text{рад}}$ в стандартных образцах биотит «70А», мусковит «Р-207» и мусковит «Вегн-4М», а также измерением изотопного состава воздушного аргона. При расчете возраста использовались константы: $\lambda_{\text{к}}=0.581 \cdot 10^{-10} \text{ год}^{-1}$, $\lambda_{\beta}=4.962 \cdot 10^{-10} \text{ год}^{-1}$, $^{40}\text{K}=0.1167$ (ат. %).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Кайнозойские вулканогенные породы широко распространены в Японском и Охотском морях. Они участвуют в строении большинства их морфоструктур, слагая вулканические постройки и хребты в глубоководных котловинах и на подводных возвышенностях, реже формируя покровы на крупных возвышенностях.

Японское море. Процессы кайнозойского вулканизма в Японском море носили непрерывно-циклический характер. Данные радиоизотопного возраста, геологическое положение, а также особенности состава вулканитов позволили выделить ряд формационно-геохимических типов вулканитов, сформированных в несколько этапов вулканической активности [2, 8]. В настоящей статье ограничимся краткой характеристикой трех комплексов, по породам которых выполнены определения возраста: олигоцен-раннемиоценового, миоценового и среднемиоцен-плиоценового, который может быть частью раннее выделенного палеоцен-плиоценового комплекса.

Олигоцен-раннемиоценовые вулканогенные породы установлены в различных структурах Японского моря. По составу слагающих их пород они подразделяются на два комплекса или толщи: трахиандезитовую (свита Оки) и андезитовую [4].

Породы трахиандезитового комплекса распространены в южной части моря, залегая в виде покровов на гетерогенном фундаменте всех крупных возвышенностей с «субконтинентальным» типом земной коры, но наиболее полно изучены на хребте Оки, по названию которой названа и свита. Здесь она подразделяется на две толщи, нижняя из которых сложена псаммитовыми игнимбритами и спекшимися туфами риолит-трахитового и трахириолитового состава, а верхняя – псаммитовыми игнимбритами и спекшимися туфами трахиандезитового и трахидацитового состава, псаммитовыми туфами смешанного состава и пепловыми туфами. На других возвышенностях наряду с туфами встречаются трахириолиты, трахидациты и трахиандезиты. Породы комплекса относятся к субщелочной серии ($\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} = 8,0\text{--}11,5 \%$) и по составу аналогичны образованиям кедровской и колчанской свит эоцен-олигоценного возраста Восточно-Сихоте-Алинско-

го вулканогенного пояса [5, 6, 7], отличаясь от последних более молодым возрастом.

Вулканиты свиты Оки залегают в виде покровов, сформировавшихся в субаэральных условиях на рубеже олигоцена – миоцена (24–23 млн лет). Для Японского моря этот возрастной интервал является важным этапом геологического развития его структур, когда крупные возвышенности (Ямато, Восточно-Корейская, Оки, Криштофовича и др.) находились выше уровня моря. С его окончанием завершается «континентальная» история их развития, и с конца раннего миоцена, особенно в среднем миоцене, здесь начинают формироваться толщи с морской фауной с базальными горизонтами прибрежно-морских валунно-галечниковых отложений. Современное нахождение этих отложений на глубине 1700–2200 м ниже уровня моря свидетельствует о значительном опускании этих структур в течение миоцен – голоценового времени [3].

К андезитовой толще отнесены вулканиты, развитые на возвышенности Северное Ямато. Они представлены непрерывным рядом от базальтов до дацитов, причем в ее составе преобладают андезиты ($\text{SiO}_2 = 54\text{--}63\%$), тогда как базальты и дациты встречаются в ограниченных количествах.

Данные более ранних определений возраста пород андезитовой толщи варьировали в широком диапазоне от 46 до 23 млн лет [2]. Результаты наших радиоизотопных анализов из этих вулканитов Северного Ямато (таблица) уточнили их возраст, который оказался аналогичен возрасту пород трахиандезитовой толщи, что позволило объединить их в единый олигоцен-раннемиоценовый комплекс.

Миоценовый комплекс. Породы этого комплекса установлены только на материковом склоне Южного Приморья. Они представлены исключительно оливин-плагионоклазовыми базальтами, среди которых по химическому составу выделяются как низкощелочные ($\text{K}_2\text{O} = 0,5\text{--}0,8\%$) и низкотитанистые (TiO_2 – до 1,5%) разности, так и породы с более высоким уровнем щелочности и титанистости (K_2O – до 1,5%, и TiO_2 – до 2,2%). По особенностям минерального и химического состава эти базальты аналогичны неогеновым (позднемиоценовым) платобазальтам Южного Приморья (Шуфанское, Шкотовское плато [6, 7]). Новые радиоизотопные данные (табл.) также подтверждают возможность их отнесения к неогеновым платобазальтам.

Среднемиоцен-плиоценовый комплекс. Вулканиты этого комплекса наиболее распространены в Японском море. Они слагают многочисленные вулканические постройки и хребты в глубоководных котловинах Японской (Центральной) и Ямато (Хонсю), а также наложенные вулканические постройки в краевой части подводных возвышенностей Ямато,

Таблица. Радиоизотопное определение возраста вулканитов.

№	№ пробы	Широта	Долгота	Глубина, м	K%±σ	⁴⁰ Ar _{рад} (нг/г) ±σ	Возраст, млн лет ±1,6σ
1	1999-3	39° 53,6'	133° 19,3'	1350–1200	1,61± 0,025	2,8±0,08	24,7±1,0
2	2005	39° 50,4'	133° 17,4'	1600–1500	2,38± 0,03	3,6±01	21,5±1,0
3	1147-Г	41° 46,2'	132° 22,4'	1800–1580	1,01± 0,025	0,92± 0,03	13,1±0,7
4	1567	42° 07,9'	133° 44,2'	1800–1750	4,21±0,04	3,30±0,15	11,2±0,5
5	791-Б	42° 30,4'	132° 55,5'	1100–1000	0,47±0,02	0,36±0,015	11,1±0,8
6	7714-А	42° 36,1'	136° 17,4'	1600–1500	1,02± 0,025	0,76± 0,02	10,7±0,5
7	2055-4	42° 39,5'	136° 16,5'	3150–2900	2,55± 0,03	1,82± 0,08	10,2±0,5
8	2697-1-3	40° 32,5'	135° 23,2'	2100–1800	1,07± 0,025	0,61± 0,02	8,2±0,5
9	2519-2-1	38° 30,2'	129° 49,7'	1200–1050	0,93±0,02	0,51±0,015	7,9±0,5
10	2070-а	41° 26,1'	134° 59,0'	3400–3100	1,21±0,02	0,38±0,015	4,5±0,3
11	27-14-109	48° 29,3'	151° 02,1'	3050–2540	0,450± 0,015	3,8± 0,1	118±6
12	27-14-3	-	-	-	0,116±0,005	0,75± 0,02	91±6
13	3133-1	56° 12'	149° 15,5'	235	0,95± 0,02	3,15± 0,10	47±2,5
14	3111-1	52° 55,1'	148° 40,8'	1220–1160	1,82± 0,02	5,60± 0,15	44±2,5
15	3118-19	55° 00,5'	145° 09,6'	1000–800	1,38± 0,02	3,65± 0,15	39±2,5
16	27-19-10	49° 39,8'	152° 09,6'	1500–1300	0,79± 0,02	0,18±0,01	3,3±0,3
17	2357-8	47° 55,0'	148° 02,0'	2700–2900	1,50± 0,02	0,28±0,01	2,7±0,3
18	2357-5	-	-	-	1,09±0,02	0,19±0,01	2,6±0,3

Примечание: Обр. 1–10 – с подводных возвышенностей Японского моря: 1, 2 – Северное Ямато, 3 – Первенца, 4 – Тарасова, 5 – материкового склона Южного Приморья, 6, 7 – Богорова, 8 – вулкана Шевалдина, 9 – Восточно-Корейской, 10 – Беляевского; 1, 2 – андезиты, 3, 5, 6, 8, 9, 10 – базальты, 4, 7 – трахиты; 1- 2 – олигоцен-раннемиоценовый комплекс, 5 – миоценовый комплекс, 3, 4, 6–10 – среднемиоцен-плиоценовый комплекс. 11–18 – с подводных возвышенностей Охотского моря: 11, 12, 16, 17, 18 – Академии наук, 13 – Охотского свода, 14 – Института океанологии, 15 – Кашеварова; 11 – долериты, 12, 13, 15, 16, 17, 18 – базальты; 14 – трахидациты; 11-12 – меловой комплекс, 13–15 – палеогеновый комплекс, 16–18 – плиоцен-плейстоценовый комплекс.

Восточно-Корейской и Окусири. По содержанию кремнезема породы образуют ряд от базальтов до трахириолитов при резком преобладании базальтов. Последние представлены, в основном, порфиоровыми оливин-плагноклазовыми и плагноклазовыми разновидностями, реже встречаются оливин-пироксен-плагноклазовые базальты и ферробазальты. По геохимическим особенностям базальты обладают чертами сходства как с основными вулканитами известково-щелочной серии островных дуг (по высокому содержанию $Al_2O_3 = 17-20\%$, $K_2O+Na_2O = 3,5-4,5\%$, Rb, Sr, низкому содержанию $CaO = 8,5-10\%$), так и с океаническими толеитами (по высокому уровню Ni – 40–250, Cr – 150–500 г/т и особенностям состава минералов). Это специфические породы, которые были выделены в самостоятельный тип – окраинноморских толеитов и их дифференциатов позднепалеоцен-плиоценового комплекса [2, 8].

Данные более ранних определений возраста этих вулканитов варьировали в широком диапазоне значений (от 3,5 до 60 млн лет), и поэтому время формирования комплекса принималось в широком интервале от позднего палеоцена до плиоцена. При этом для Японской котловины выделялись три этапа магматической активности, а в котловине Ямато –

два [9]. Три образца базальтов из Японской котловины, для которых ранее были получены наиболее древние возрасты (2070-а – 58,5; 7714-А – 52,7; 2697-1-3 – 40,2 млн лет) были переопределены в лаборатории ИГЕМ и показали миоценовое (табл.) время их излияния. Эти радиоизотопные данные, наряду с результатами определений других образцов, позволили выделить среднемиоцен-плиоценовый комплекс, что значительно лучше согласуется с геологическими данными о развитии Японского моря, в частности, с проявлением активного рифтогенеза в Японской глубоководной котловине в позднеолигоцен-миоценовое время, на дне которой в это время формируется большая часть вулканических построек, сложенных базальтами этого типа. Наличие шаровой отдельности и стекловатых корок закаливания в базальтах вулканических построек указывает на их излияние в подводных, вероятно в близповерхностных (высокая пористость до 40%) условиях. Появление на вершинах ряда вулканических построек (Гэбасс, Тарасова) плиоценовых отложений может указывать на завершение этого процесса в плиоцене.

Охотское море. Основную площадь морского дна Охотского моря занимают мезозойско-кайнозойские отложения осадочного чехла, выполняющие

впадины, желоба и прогибы. Породы складчатого (акустического) фундамента выступают из-под чехла в центральной части моря на отдельных морфоструктурах: банках Кашеварова и Ионы, возвышенностях Института Океанологии и Академии Наук, в бортах впадины Дерюгина и Курильской котловины. Со склонов этих возвышенностей, наряду с метаморфическими, осадочными и интрузивными породами, были подняты многочисленные образцы вулканогенных пород мезозойско-кайнозойского возраста.

Мезозойские магматические породы представлены эффузивными и гранитоидными образованиями, которые формируют единые вулcano-плутонические комплексы [11]. По радиоизотопным данным выделено два таких комплекса: позднеюрский (179,4–138 млн лет) и меловой (138–72 млн лет). Согласно имеющимся определениям возраста пик вулканизма приходится на меловое время, когда образовалось 80% всех вулканогенных пород, слагающих акустический фундамент Охотского моря. Кроме того, на ряде возвышенностей развиты кайнозойские вулканогенные породы, среди которых по радиоизотопному датированию можно выделить три группы или комплекса: палеогеновый (57,0 млн лет), миоценовый (11,9 млн лет) и плиоцен-плейстоценовый (3,3–0,92 млн лет).

Разновозрастные вулканические породы Охотского моря характеризуются многими общими петрогеохимическими особенностями, характерными для пород известково-щелочной серии островных дуг и континентальных окраин [11], поэтому для обоснования возрастных комплексов важны новые данные по радиоизотопному датированию пород.

Нами были получены возрастные датировки по образцам вулканитов трех возрастных комплексов: мелового, палеогенового и плиоцен-плейстоценового. Эти образцы были подняты при драгировании в 27 рейсе НИС «Академик Лаврентьев» в 1996 году (см. таблицу, образцы 11,12, 16), в 39 рейсе НИС «Первенец» в 1981 году (обр. 17,18) и в 31 рейсе НИС «Пегас» (обр. 13–15). Последние любезно переданы нам сотрудниками Института морской геологии и геофизики ДВО РАН О.С. Корневым, В.И. Нарыжным, Ю.Л. Неверовым.

Меловые вулканиты установлены в южной части возвышенности Академии Наук и представлены долеритами и базальтами. Долеритами мы называем измененные породы, состоящие из частично разрушенного плагиоклаза и полностью актинолитизированного клинопироксена, развитого в основной массе совместно с микролитами плагиоклаза, микровкрапленниками титаномагнетита и хлоритизированным стеклом. Базальты – миндалекаменные лейкократовые субафирные породы, состоящие из

плагиоклаза, клинопироксена, титаномагнетита и вулканического стекла. Вторичные изменения выразились в развитии хлорита, халцедона и карбоната в миароловых пустотах и частично по вулканическому стеклу. Вторичные изменения пород комплекса могли повлиять на результаты их радиоизотопного датирования.

Палеогеновые вулканиты. Полученные определения возраста вулканитов по трем образцам, поднятым с различных структур северной и центральной частей Охотского моря, указывают на проявление здесь вулканической активности в палеогеновое время. На севере Охотского свода и юге банки Кашеварова изученные образцы представлены базальтами, а на возвышенности Института Океанологии – трахидацитами. Базальты – редкопористые клинопироксен-плагиоклазовые породы, которые на Охотском своде характеризуются наличием клинопироксена как во вкрапленниках, так и основной массе, а на банке Кашеварова – клинопироксен встречается только в фенокристаллах. Из вторичных изменений наблюдается слабая смектитизация стекла. Трахидациты характеризуются роговообманково-плагиоклазовым составом, субафирной и трахитоидной структурой, слабой пористостью и интенсивным замещением крупных участков анальцимом (30%).

Плиоцен-плейстоценовые вулканогенные породы установлены на южном и северном бортах Курильской котловины. На северном борту (южный склон возвышенности Академии Наук) они подняты на двух станциях драгирования (2357 и 27–19) и представлены базальтами, которые по минеральным и структурно-текстурным особенностям сходны с базальтами тыловой зоны Курильской островной дуги [1]. Это пористые, сериальнопорфировые клинопироксен-плагиоклазовые породы, в которых плагиоклаз резко преобладает над клинопироксеном, а основная масса сложена бурым вулканическим стеклом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные новые радиоизотопные данные уточнили время формирования вулканитов Японского и Охотского морей и позволили более надежно обосновать возраст ряда выделенных вулканических комплексов.

В частности, они уточнили возраст наиболее древних (палеогеновых) образцов с вулканических построек Японской котловины Японского моря. Полученные нами позднемиоцен-плиоценовые определения для этих пород более надежно согласуются с историей геологического развития Японского моря. Новые определения возраста базальта с материкового склона Южного Приморья (поздний миоцен) хорошо увязываются со временем формирования базальтовых плато юга Приморья. Полученные опре-

деления для пород андезитовой толщи Северного Ямато показали, что они аналогичны по времени формирования вулканитам трахиандезитового комплекса (олигоцен-ранний миоцен).

Для Охотского моря получены датировки возраста по образцам вулканитов трех возрастных комплексов: мелового, палеогенового и плиоцен-плейстоценового. Меловые магматические породы, скорее всего, участвуют в формировании фундамента крупных возвышенностей Охотского моря. Палеогеновый и плиоцен-плейстоценовый комплексы отражают этапы кайнозойской тектоно-магматической активизации этого региона. Процессы субдукции Тихоокеанской плиты под Курильскую дугу сопровождаются активными тектоническими процессами и проявлением рифтогенных разломных зон и вулканизма плиоцен-плейстоценового возраста не только в пределах самой дуги и Курильской котловины [10], но и в южной части Охотского моря, в том числе, в пределах возвышенности Академии Наук.

ЛИТЕРАТУРА

1. Авдейко Г.П., Антонов А.Ю., Вольнец О.Н. и др. Подводный вулканизм и зональность Курильской островной дуги. М.: Наука, 1992. 528 с.
2. Берсенов И.И., Леликов Е.П., Безверхний В.Л., Ващенко Н.Г. и др. Геология дна Японского моря. Владивосток, 1987. 140 с.
3. Леликов Е.П., Терехов Е.П. Щелочные вулканиты дна Японского моря // Тихоокеан. геология. 1982. № 2. С. 77–71.
4. Леликов Е.П., Съедин В.Т., Аракелянц М.М., Лебедев В.А. Геология и геохронология кайнозойских вулканитов Японского моря // Изотопное датирование геологических процессов: новые методы и результаты: Тез. докл. I Рос. конф. по изотопной геохронологии. М.: ГЕОС, 2000. С. 230–233.
5. Мартынов Ю.А. Петрология эоцен-миоценовой контрастной формации нижнего Приамурья. Владивосток, 1983. 140 с.
6. Мартынов Ю.А. Геохимия базальтов активных континентальных окраин и зрелых островных дуг (на примере северо-западной Пацифики). Владивосток: Дальнаука, 1999. 218 с.
7. Попов В. К. Петрология неогеновых вулканических комплексов Восточного Сихотэ-Алиня. Владивосток, 1986. 220 с.
8. Съедин В.Т. Формационно-геохимические типы кайнозойских базальтоидов Японского моря // Докл. АН СССР. 1987. Т. 296, № 2. С. 1441–1446.
9. Съедин В.Т. Особенности кайнозойского базальтоидного магматизма и вопросы происхождения Японского моря // Тихоокеан. геология. 1989. № 2. С. 30–38.
10. Тарарин И.А., Леликов Е.П., Итая Т. Плейстоценовый подводный вулканизм восточной части Курильской котловины (Охотское море) // Докл. АН. 2000. Т. 371, № 3. С. 366–370.
11. Lelikov E.P., Emel'yanova T. A., Tararin I.A. Petrology and geochemistry of magmatic and metamorphic rocks (Sea of Okhotsk) // Third Workshop on Russian-German Cooperation in the Sea of Okhotsk-Kurile Island Arc System. M., 2000. P. 37–39.

Поступила в редакцию 3 января 2001 г.

Рекомендована к печати А.И. Ханчуком

E.P. Lelikov, T.A. Emel'yanova, V.T. S'edin, M.M. Arakelyants, V.A. Lebedev

New radioisotopic dating for volcanites from the Sea of Japan and Sea of Okhotsk

New radioisotopic datings (K-Ar method) of Meso-Cenozoic volcanites from the Sea of Japan and the Sea of Okhotsk are obtained. They have enabled us to reason the age of the distinguished volcanic complexes. Basalts from the volcanic edifices of the Japan Sea Basin were determined the Middle Miocene – Pliocene (13.1–4.5 Ma) in age, which is well correlated with the geological evolution of the Sea of Japan. New datings for the basalts from the continental slope of Southern Primorye (11.1Ma) confirm their age being similar to the volcanites of the Neogene basalt plateaus of Southern Primorye, to which they are very similar in mineral and chemical composition. The obtained datings for the rocks from andesite series of the Northern Yamato (24.7, 21.5 Ma) show that they are concordant with the age of the volcanites of trachyandesite complex, that allows combining them into one Oligocene-Early Miocene complex. In the Sea of Okhotsk we obtained datings by the volcanite samples of three complexes: Cretaceous, Paleogene, and Pliocene-Pleistocene. Cretaceous magmatic rocks make part of the basement of large rises in the Sea of Okhotsk, and Paleogene and Pliocene - Pleistocene complexes illustrate the stages of the Cenozoic tectono-magmatic activation of the region.