

УДК 551.21+552.313(265.54)

ПЕПЛЫ ВУЛКАНА ЧАНБАЙШАНЬ В ОСАДКАХ ЯПОНСКОГО МОРЯ: ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПО МИКРО- И РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫМ ЭЛЕМЕНТАМ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЗРАСТА ИХ ИЗВЕРЖЕНИЙ

© 2009 г. Член-корреспондент РАН В. Г. Сахно, И. В. Уткин

Поступило 13.04.2009 г.

При изучении пирокластических образований в районах новейшего и современного вулканизма большое значение имеет решение вопросов периодичности извержений, особенно катастрофических, которая может быть установлена на основании детальных хронологических исследований. Это дает возможность выявить хронологическую закономерность извержений и решать вопросы прогноза на будущее.

Тефрогеохронологические исследования пирокластики на основе радиоуглеродного метода (^{14}C) не всегда возможны в силу определенных трудностей; наиболее точные результаты возможны в возрастном интервале в пределах голоцена. Изотопное датирование К–Аг-методом также имеет свои ограничения. Они более надежны для раннего плейстоцена. Наиболее реальными для позднеплейстоценовых и раннеголоценовых этапов вулканизма являются определения возраста пирокластических прослоев в морских осадках по составу микроорганизмов в перекрывающих и подстилающих породах. В связи с этим были привлечены многочисленные находки пепловых прослоев в морских осадках дна Японского моря, в составе которых обнаружены тефровые горизонты. Диагностика и идентификация пепловых пород проводилась на основе определения микро- и редкоземельных элементов методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS) в Аналитическом центре ГЕОХИ СО РАН (г. Иркутск, аналитики Г.П. Сандиминова и Е.В. Смирнова).

Изучение осадков дна Японского моря российскими и японскими геологами показало присутствие пеплового материала в позднеплейстоценовых и голоценовых осадочных породах, а

также отдельные горизонты тефры, мощностью от нескольких до десятков сантиметров. Было установлено на основании анализа донных трубок, а также в скважинах глубоководного бурения (ODP-794, -799 и др.) широкое распространение пепловых горизонтов в различных частях Японского моря. Корреляция этих пеплов в более ранних работах российских и японских исследователей проводилась главным образом по показателю преломления стекла, петрохимическому составу и присутствию минеральных ассоциаций (плагиоклаз, пироксены и амфиболы). Сопоставление с пеплами, вскрытыми в обнажениях на островах Японского моря, позволило японским геологам идентифицировать их, а на основании данных радиоуглеродного метода (^{14}C) определить возраст извержений островных вулканов. К доисторическим извержениям относятся катастрофические взрывы вулкана Асо, образовавшие огромную кальдеру на о. Кюсю. Пеплы покрыли огромную площадь: юго-восточную часть Японского моря, всю территорию Японии и встречаются в осадках Тихого океана; особенно это касается прослоя Асо-4 (рис. 1). Не менее катастрофическим было извержение вулкана Аира во время эксплозивного эпизода Аира–Таназава (А–Тн) с центром на юго-востоке о. Кюсю, а также извержения вулкана Кикай во время эпизода Кикай–Акахоя (К–Ах). Кальдера последнего находится под водой к югу от о. Кюсю. Прослои пеплов этих вулканов являются стратиграфическими реперами в морских осадках, по которым можно определять возраст других пеплов и проводить корреляцию с пеплами, вскрытыми в донных трубках дна Японского моря (рис. 1) [4, 6, 10, 1].

Помимо вулканов, расположенных на островах Японского архипелага, известны вулканы на восточной окраине континента Азия. Это вулкан Чанбайшань (Пектусан) и вулкан на о. Уллындо, извержения которых были неоднократны как в доисторическое, так и в историческое время. Пеплы этих вулканов были обнаружены в осадках Японского моря, где они слагают несколько разновозрастных горизонтов. Идентификация пеплов проводилась на основе их микроэлементного

*Дальневосточный геологический институт
Дальневосточного отделения
Российской Академии наук, Владивосток
Тихоокеанский океанологический институт
им. В.И. Ильичева
Дальневосточного отделения
Российской Академии наук, Владивосток*

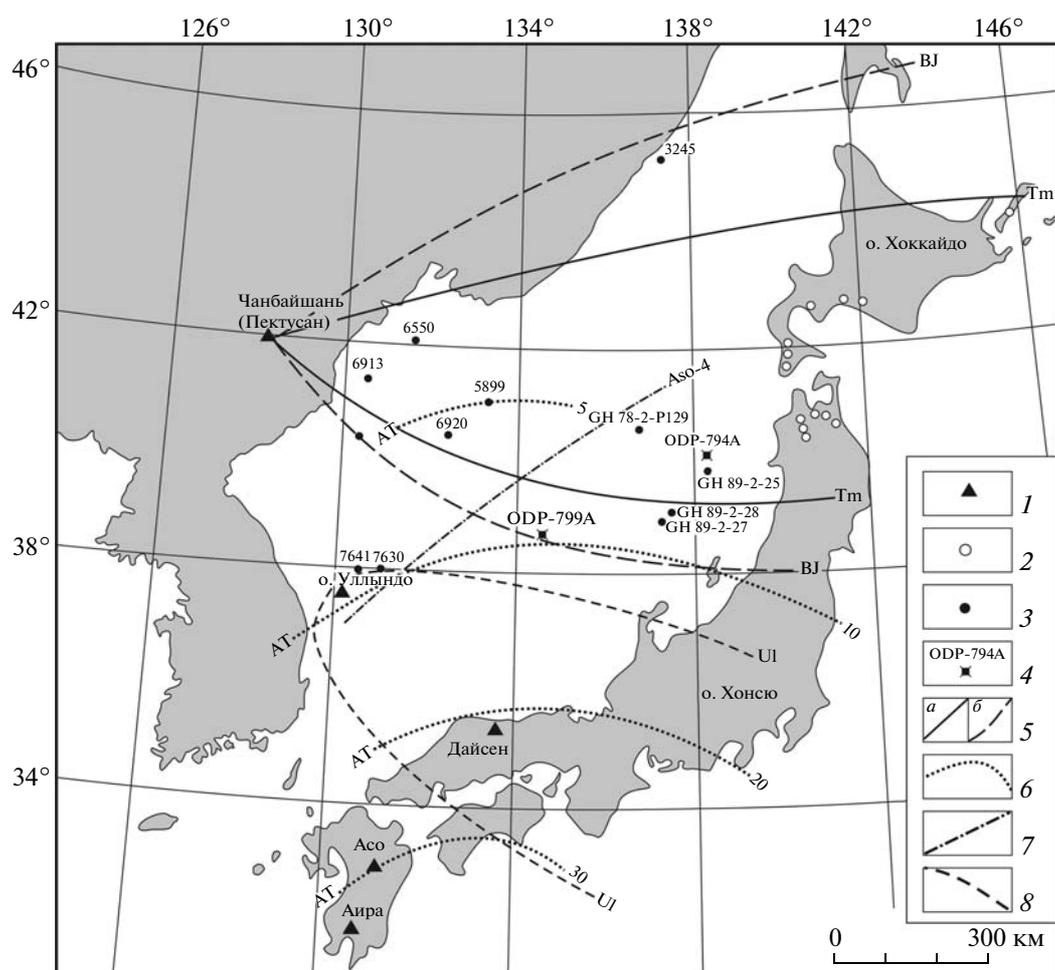


Рис. 1. Схема ареалов пеплов и тефры на дне Японского моря и островах извержений вулканов Асо, Дайсен, Аира (Япония), Чанбайшань (Китай–Корея) и о. Уллыиндо (Корея) в позднем плейстоцен–голоцене [10, 13, 5, 1 и др]. 1 – вулканы; 2 – находки пеплов на суше; 3 – пеплы и тефра трубок морского дна и их номера; 4 – скважины ODP; 5 – ареал пеплов в морских осадках извержений вулкана Чанбайшань: *a* – тысячелетнего (Tm) AD возраста, *б* – 51 тыс. лет BP – (BJ); *б* – ареал пеплов вулкана Аира (AT), изопакиты (см), – 29 тыс. лет BP; 7 – ареал пеплов вулкана Асо (Aso-4), мощность 6 см; 8 – ареал пеплов вулкана о. Уллыиндо (UL) (граница распространения извержения 9.3 и 33 тыс. лет BP).

состава и путем сопоставления с породами, отобранными на этих вулканах.

Последний катастрофический взрыв вулкана Чанбайшань произошел 1000 лет назад. Его возраст оценивается как 934–969 AD [10] или 1199–1200 AD [7]. Было выброшено огромное количество тефры, которая покрыла акваторию Японского моря и достигла Японского архипелага, где она была обнаружена при археологических раскопках древних городищ эпохи Хэйан с возрастом около 1000 лет и датирована радиоуглеродным методом [10]. Эти отложения получили название Томакомаи (Baegdusan–Tomakomai, B–Tm) по месту их первой находки. Впоследствии пеплы Томакомаи обнаружены во многих местах на севере о. Хонсю, на о. Хоккайдо и даже на Курилах [12], а также в скважине к востоку от Приморья в Татарском проливе. Как установлено, мощность

пепловых горизонтов в Японии и вокруг нее достигала нескольких сантиметров. Общий объем рыхлой тефры, поступивший только в Японское море, составил примерно 5.0 км³, или 2.8 км³ в пересчете на твердый материал [4], при общем объеме рыхлой выброшенной тефры 96 км³ или в пересчете на магму 24 км³ [8].

Пеплы, близкие по составу к пеплам Томакомаи, впервые обнаружены при отборе проб осадков дна Японского моря сотрудниками Тихоокеанского отделения ИО АН СССР в экспедиционных работах 1964–1973 гг. Ревизия этих материалов позволила скоррелировать многие пепловые горизонты, расположенные к западу от центрального меридиана Японского моря [4].

Детальные тefрохронологические работы проводились японскими исследователями [10]. Более древние пеплы, чем Томакомаи, обнаруже-

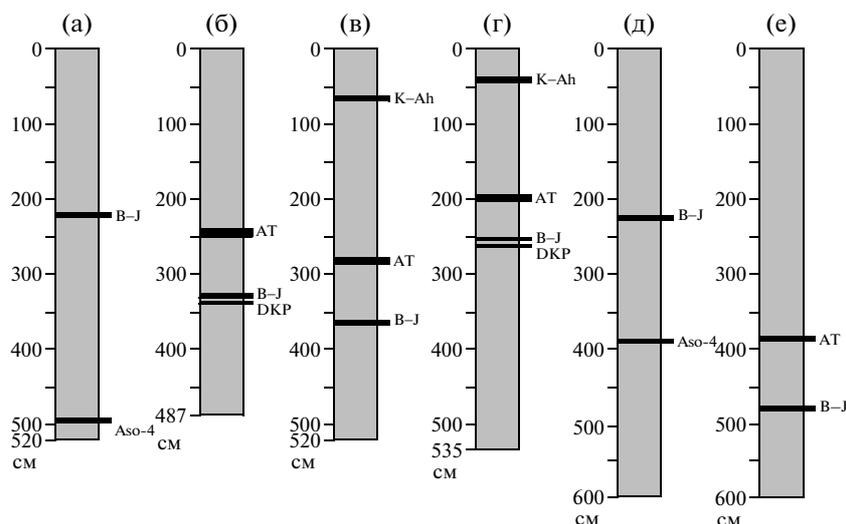


Рис. 2. Стратиграфическое положение тэфровых прослоев в скважинах ODP и трубках дна Японского моря [5]. а — GP-78-2 P129 (Японский бассейн); б–д — трубки GH89, 2-25, 2-29 и скв. ODP-794A из бассейна Ямато; е — колонка скв. ODP-799A, трог Кита–Ямато. АТ — пеплы вулкана Аира (29 тыс. лет ВР); Асо-4 — пеплы вулкана Асо (88 тыс. лет ВР); DKP — пеплы вулкана Дайсен (53–55 тыс. лет ВР); В–J — пеплы вулкана Чанбайшань (51 тыс. лет ВР); К–Ah — пеплы и тефра вулкана Кикай–Акахоя (6.3 тыс. лет ВР).

ны в колонках вблизи Приморья [11, 9] — прослой, получивший название Baegdusan–Vladivostok (В–V). Это позволило уточнить возраст катастрофических извержений более древних, чем 1000 лет назад. Недавно южнокорейские и японские седиментологи обнаружили третий прослой, названный ими Ямато (Baegdusan–Japan Basin, В–J) с возрастом 48 000–51 500 лет назад [5]. Известен и четвертый прослой (Baegdusan–Oga, В–Og) на п-ове Асо в Японии с возрастом 488 000 лет назад [5] (рис. 2). Трахиты этого возраста датированы К–Аг-методом на северном склоне вулкана Чанбайшань [2].

Из литературных источников известно, что извержения пеплов трахитового состава характерны и для вулкана Нари на о. Уллындо в Японском море: U-2 с возрастом 9300 и U-5 с возрастом 33 тыс. лет назад [10, 5, 13]. Площадь распространения пеплов Уллындо в морских осадках располагается к югу от 38° с.ш. На островах Японского архипелага они установлены главным образом в южной и центральной частях о. Хонсю, тогда как пеплы извержения вулкана Чанбайшань обнаружены к северу от 40° с.ш. (рис. 1). Здесь же известны, помимо пеплов тысячелетнего возраста, и более древние (2130 и 4000 ВР) извержения вулкана Чанбайшань [14].

Очень важное стратиграфическое значение имеют прослой пепла вулкана Аира (эпизод Aira–Tanazawa–A–Tn, АТ), распространенные на всей центральной и южной территории Японского моря и встреченные в большинстве колонок, отобранных со дна (рис. 2). Возраст определен в интервале 25 000–29 000 лет назад [6, 5]. Не менее

важным в отношении стратиграфии вышележащих пеплов является прослой Асо-4 извержений вулкана Асо, возраст которого определен как по палеонтологическим, так и палеомагнитным методам в 88 000 лет назад [5]. Это позволяет более точно определить извержение вулкана Чанбайшань в период с позднего плейстоцена и до исторического времени, поскольку определения возраста К–Аг- и радиоуглеродным методами имеют ограничения. Для К–Аг-метода в породах с возрастом менее 50–55 тыс. лет точность определений падает, для ^{14}C — она менее точная в интервале 55–30 тыс лет назад. Более того, возраст пеплов может быть установлен в морских осадках по микрофауне, но ее диагностика требует современных методов. Так, тефра и пепел исторических и доисторических извержений вулкана Чанбайшань были определены во многих трубках дна Японского моря, в основном по показателю преломления стекла. Для более точной диагностики тефры и пеплы вулкана Чанбайшань, отобранные из кернов трубок (по уточненным литостратиграфическим данным, предположительно соответствующие трем разным извержениям), анализировались на микроэлементный состав (Li, Le, REE). Для сопоставления использовались аналитические данные по трахитам и комендитам, непосредственно отобраным из различных возрастных горизонтов на вулкане [2, 3]. Это позволило более определенно диагностировать их по составу и более надежно провести корреляцию. Одновременно были проанализированы пробы пеплов извержений вулканов Уллындо и Аира из кернов таких же трубок. Результаты исследова-

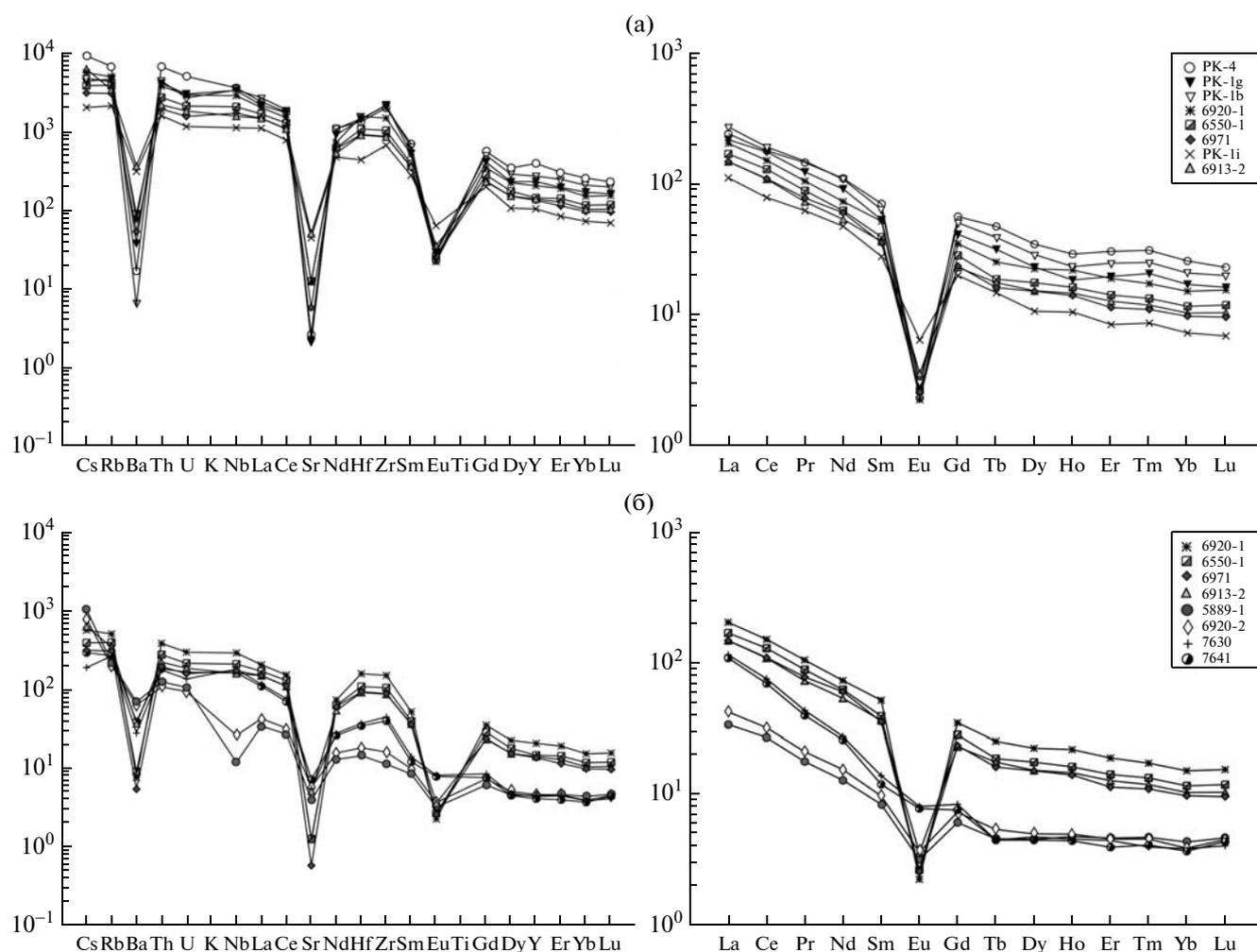


Рис. 3. Распространение редких и редкоземельных элементов в пеплах и тефре вулкана Чанбайшань: а – в морских осадках и на склоне вулкана; б – вулканов Уллындо, Арай и Чанбайшань. Нормировано к примитивной мантии [15]; номера проб соответствуют табл. 1.

ний показали, что для каждого типа пород характерен свой химический и микроэлементный состав (табл. 1, рис. 3). На спайдер-диаграммах, нормированных по примитивной мантии, видно, что каждая группа пород имеет свой характер распределения микро- и редкоземельных элементов.

Пеплы известково-щелочной серии вулкана Аира с возрастом извержения 25–29 тыс. лет существенно отличаются как характером распределения микроэлементов (Nb, La-минимум), так и особенно редкоземельным спектром от пеплов трахитового состава, к которым относятся продукты извержений вулканов Чанбайшань и Уллындо. Это позволяет все пепловые отложения дна Японского моря диагностировать по составу и выделять среди них пирокласты щелочных вулканов Чанбайшань и Уллындо, представленные трахитами и комендитами, отличающиеся как по сумме и соотношениям K и Na, наличию щелочных минеральных фаз (щелочные пироксены, ро-

говые обманки и калишпаты), так и REE. Диагностика тephры вулканов Чанбайшань и Уллындо не представляет трудности. Для пеплов вулкана Чанбайшань отмечаются наиболее высокие концентрации REE и глубокий Eu-минимум. В связи с этим на спайдер-диаграмме (рис. 3) щелочные породы вулкана Чанбайшань занимают более высокое положение в сравнении с пирокластами извержений вулканов Японского архипелага, а также о. Уллындо. Эти различия наиболее ярко выражены и в соотношениях таких элементов, как Nb/Y, Ta/Yb, Nb/Yb, Ba/La и др. (табл. 2).

Таким образом, на основе данных по микро- и редкоземельным элементам можно надежно диагностировать пеплы извержений вулкана Чанбайшань среди других пеплов, что дает возможность определить возраст эксплозивных этапов деятельности этого вулкана за последние 50–60 тыс. лет, особенно в голоценовый период его эндогенной активности. На основе сопоставления с пепловы-

Таблица 1. Петрохимический (мас. %), микроэлементный и REE (ppm) составы представительных пород вулкана Чанбайшань и пепловых прослоев дна Японского моря

Компонент	ПК-4	ПК-1b	ПК-1g	6920/1	6550/1	6971	ПК-1i	6913/2	5899/1	6920/2	7630	7641
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SiO ₂	71.72	68.07	68.05	69.20	66.97	63.74	63.18	67.30	72.45	68.50	58.70	58.87
TiO ₂	0.15	0.29	0.27	0.33	0.42	0.38	0.44	0.31	0.17	0.20	0.55	0.48
Al ₂ O ₃	10.76	14.29	14.06	12.20	12.44	13.50	17.25	11.54	11.95	12.57	18.20	18.91
Fe ₂ O ₃	3.61	4.65	5.00	1.50	2.71	3.03	2.20	3.31	1.33	2.01	2.13	1.93
FeO	1.01	1.32	0.56	3.11	2.67	3.07	2.62	2.10	0.95	1.71	1.88	1.80
MnO	0.08	0.12	0.11	0.11	0.10	0.12	0.11	0.08	0.06	0.06	0.12	0.12
MgO	0.04	0.08	0.03	0.14	0.18	0.22	0.32	0.43	0.24	0.48	0.50	0.45
CaO	0.44	0.54	0.66	0.69	0.96	0.88	1.72	1.11	1.32	1.54	1.66	1.80
Na ₂ O	5.37	5.43	5.70	5.55	5.76	5.68	5.55	4.35	3.46	3.30	6.52	6.22
K ₂ O	4.18	4.82	4.75	4.64	5.17	4.85	5.34	3.56	3.26	3.13	6.35	6.00
P ₂ O ₅	0.04	0.05	0.05	0.06	0.10	0.10	0.13	0.15	0.14	0.10	0.15	0.22
H ₂ O ⁻	0.22	0.03	—	0.10	0.13	0.30	—	0.40	0.10	0.39	0.17	—
П.п.п.	2.22	0.16	0.20	2.05	2.03	3.64	0.67	5.00	4.13	5.55	2.60	2.70
Сумма	99.82	99.85	99.89	99.68	99.64	99.51	99.53	99.64	99.56	99.54	99.53	99.50
Sc	1.09	2.39	1.92	3.04	3.60	2.96	3.94	4.65	7.20	6.69	1.61	2.40
V	1.91	3.13	1.25	4.17	4.87	4.58	7.73	14.72	5.46	17.20	9.25	17.79
Cr	87.88	129.6	88.86	1.28	1.31	5.75	92.30	4.00	1.85	6.18	2.77	2.52
Co	0.42	0.57	0.37	3.62	2.85	11.31	1.84	8.58	2.00	11.49	3.83	7.59
Ga	—	105.4	—	35.30	33.66	32.62	105.23	23.74	10.99	11.54	18.76	17.13
Ge	—	8.96	—	1.88	1.65	1.62	6.65	1.55	1.37	1.20	1.25	1.15
Rb	382.8	244.5	262.5	283.78	220.42	172.59	120.53	192.49	122.08	111.82	147.75	150.42
Sr	5.04	1.41	4.24	23.00	24.33	11.47	85.24	96.79	74.90	109.17	104.10	136.71
Y	156.0	107.7	91.86	81.18	57.38	52.54	41.14	54.60	17.55	18.45	17.23	15.70
Zr	1992.3	2122.0	2176.8	1484.60	1032.54	867.33	670.02	854.39	110.41	157.57	440.51	392.96
Nb	239.8	224.6	220.6	189.73	137.21	113.35	74.40	104.33	7.71	17.03	118.05	105.55
Cs	6.56	3.39	3.14	4.00	2.76	2.22	1.44	4.46	7.30	5.54	1.34	2.07
Ba	10.66	23.89	23.96	48.05	57.11	33.79	199.07	232.46	436.50	397.53	175.65	247.05
La	154.14	174.4	139.3	130.47	108.05	94.67	70.90	94.51	21.59	26.89	73.46	69.30
Ce	289.18	307.5	282.8	243.62	208.40	176.75	126.42	175.43	43.46	51.39	121.81	111.95
Pr	36.96	37.5	31.4	26.74	22.57	19.81	15.88	18.58	4.50	5.36	11.04	10.12
Nd	134.8	132.7	112.04	89.64	76.44	73.84	58.29	65.69	15.71	18.87	33.66	31.65
Sm	28.54	25.6	21.5	20.90	15.86	14.33	11.25	14.67	3.38	3.92	5.58	4.80
Eu	0.35	0.46	0.44	0.34	0.40	0.39	0.94	0.54	0.48	0.55	1.22	1.18
Gd	30.35	27.25	22.16	18.85	15.27	12.70	10.76	12.42	3.27	3.92	4.52	4.08
Tb	4.67	3.83	3.12	2.50	1.84	1.59	1.45	1.73	0.45	0.53	0.44	0.44
Dy	23.17	19.32	15.5	14.97	11.76	10.08	7.11	10.17	3.02	3.33	3.16	2.98
Ho	4.35	3.40	2.76	3.28	2.42	2.10	2.20	2.18	0.71	0.74	0.68	0.66
Er	13.36	10.83	8.58	8.29	6.18	4.96	3.67	5.56	2.02	1.98	1.93	1.72
Tm	2.12	1.72	1.41	1.18	0.91	0.75	0.59	0.81	0.32	0.31	0.27	0.28
Yb	11.51	9.32	7.64	6.76	5.19	4.35	3.24	4.60	1.93	1.73	1.71	1.64
Lu	1.54	1.33	1.08	1.03	0.79	0.64	0.46	0.69	0.31	0.30	0.27	0.29
Hf	38.2	41.84	40.5	44.59	30.71	26.36	12.44	25.78	4.04	5.09	10.45	9.66
Ta	—	9.61	9.03	10.07	7.69	6.12	—	5.80	0.65	1.05	5.53	5.35
Pb	42.14	33.63	14.50	26.46	19.14	16.23	12.47	23.92	16.85	16.52	11.28	12.36
Th	59.79	39.67	36.95	34.12	24.43	17.36	14.29	19.73	11.05	9.52	15.64	16.17
U	11.32	6.03	3.74	6.58	4.76	3.50	2.60	4.10	2.36	2.08	3.02	3.67

Примечание. Петрогенные оксиды определены в ДВГИ ДВО РАН (аналитик Л.И. Алексеева); микроэлементы — в СибГЕОХИ (г. Иркутск) на JCP-MS (аналитики Г.П. Сандимирова, Е.В. Смирнова). 1–8 — пеплы и тефра вулкана Чанбайшань (1–3, 7 — со склона вулкана, 4–6, 8 — из трубок дна Японского моря): 1 — извержение 1903 г.; 2–5 — тысячелетнее; 6, 8 — 25–29 тыс. лет BP; 7 — 51 тыс. лет BP; 9, 10 — тефра вулкана Аира — 29 тыс. BP; 11, 12 — тефра вулкана Уллындо: 11 — 9.3 тыс. лет BP, 12 — 33 тыс. лет BP [10, 5, 2].

Таблица 2. Отношения несовместимых элементов в пеплах дна Японского моря и тефре вулкана Чанбайшань

Компо- нент	ПК-4	ПК-1b	ПК-1g	6920/1	6550/1	6971	ПК-1i	6913/2	5899/1	6920/2	7630	7641
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
K/Na	0.78	0.89	0.83	0.84	0.90	0.85	0.95	0.82	0.94	0.95	0.97	0.96
K/Ti	27.87	16.62	17.59	14.06	12.31	12.76	12.14	11.48	19.18	15.65	11.55	12.50
Sr/Rb	0.01	0.01	0.02	0.08	0.11	0.07	0.71	0.50	0.61	0.98	0.70	0.91
Ce/Yb	25.12	33.00	37.02	36.04	40.15	40.63	39.02	38.14	22.52	29.71	71.23	68.26
Nb/Yb	20.83	24.10	28.87	28.07	26.44	26.06	22.96	22.68	3.99	9.84	69.04	64.36
Zr/Yb	173.09	227.68	284.92	219.62	198.95	199.39	206.80	185.74	57.21	91.08	257.61	239.61
Ba/Nb	0.04	0.11	0.11	0.25	0.42	0.30	2.68	2.23	56.61	23.34	1.49	2.34
Rb/Sr	75.95	173.40	61.91	12.34	9.06	15.05	1.41	1.99	1.63	1.02	1.42	1.10
Sm/Nd	0.21	0.19	0.19	0.23	0.21	0.19	0.19	0.22	0.22	0.21	0.17	0.15
U/Pb	0.27	0.18	0.26	0.28	0.25	0.22	0.21	0.17	0.14	0.13	0.27	0.30
Th/U	5.28	6.58	9.88	5.19	5.13	4.96	5.50	4.81	4.68	4.58	5.18	4.41
Nb/Y	1.54	2.09	2.40	2.34	2.39	2.16	1.81	1.91	0.44	0.92	6.85	6.72
Ta/Yb	—	1.03	1.18	1.49	1.48	1.41	—	1.26	0.34	0.61	3.23	3.26
La/Nb	0.64	0.78	0.63	0.69	0.79	0.84	0.95	0.91	2.80	1.58	0.62	0.66
Ba/La	0.07	0.14	0.17	0.37	0.53	0.36	2.81	2.46	20.22	14.78	2.39	3.56
Ba/Th	0.18	0.60	0.65	1.41	2.34	1.95	13.93	11.78	39.50	41.76	11.23	15.28
Rb/La	2.48	1.40	1.88	2.18	2.04	1.82	1.70	2.04	5.65	4.16	2.01	2.17
Sm/Eu	81.54	55.65	48.86	61.47	39.65	36.74	11.97	27.17	7.04	7.13	4.57	4.07
Gd/Eu	86.71	59.24	50.36	55.44	38.18	32.56	11.45	23.00	6.81	7.13	3.70	3.46
Ce/Yb	25.12	32.99	37.02	36.04	40.15	40.63	39.02	38.14	22.52	29.71	71.23	68.26

ми прослоями дна Японского моря, имеющими определенное возрастное датирование, “привязанное” к шкале физического времени, выраженного в годах, возможно более определенно проводить корреляцию пепловых извержений вулкана Чанбайшань с горизонтами пеплов, являющимися стратиграфическими реперами извержений вулканов Кикаи – 6.3 тыс. лет, Аира – 25–29 тыс. лет, Дайсен – 53–55 тыс. лет и Асо – 88 тыс. лет ВР и встречающимися практически повсеместно на Японских островах и в морских осадках. Это позволяет восстановить эруптивную историю вулкана Чанбайшань (Пектусан) в позднем плейстоцене и голоцене. На рис. 3 показано положение тефры В–J извержения вулкана Чанбайшань (51 тыс. лет ВР) в глубоководных бассейнах Японского моря по отношению к реперным горизонтам пеплов, датированным как по микроорганизмам в перекрывающих и подстилающих осадках, так и на основании палеомагнитных исследований [5].

Реконструкция магматических событий на основе линейной шкалы в годах особенно необходима не только для прогноза, но и для понимания изменений природной среды в доисторическое и историческое время.

Из анализа представленного материала можно сделать следующие выводы.

1. Характеристика пеплов на основе данных по микро- и редкоземельным элементам позволяет диагностировать пепловые горизонты различного состава, что дает возможность проводить их корреляцию и определять источники их происхождения. Микроэлементные и особенно редкоземельные характеристики состава пеплов как основа корреляции пепловых горизонтов являются более надежными, чем другие методы диагностики.

2. При сопоставлении со стратиграфическими реперными прослоями установлено широкое распространение пеплов тысячелетних извержений вулкана Чанбайшань. Выделены более древние катастрофические его извержения 25–29 тыс. лет ВР. В то же время в донных колонках не зафиксировано извержение вулкана 1903 г., которое хорошо дешифрируется на космических снимках восточного и южного склонов вулкана, что объясняется малообъемным выбросом пирокластических пород.

3. Уточнен возраст катастрофического извержения вулкана Чанбайшань, при котором была образована кальдера, заполненная в настоящее время водами оз. Тянци. Огромные объемы из-

вергнутого материала этого этапа слагают пирокластические толщи на юго-западном склоне вулкана, где они обнажаются в стенках “Большого каньона”. Ранее их возраст К–Аг-методом определен в интервале 55–60 тыс. лет ВР [2, 3]. Пеплы этого катастрофического взрыва обнаружены в трогe Кита–Ямато, Ямато–бассейн [5], в скважинах глубоководного бурения ODP-794A и ODP-799A, а также в грунтоотборных колонках в западной части Японского моря. Анализ показал, что характеристики горизонта Baegdusan–Japan Basin (B–J), возраст которого уточнен как 51 тыс. лет ВР, полностью соответствуют как геохимическим характеристикам тефры вулкана Чанбайшань, отобранной на его склонах, так и результатам анализов горизонта Baegdusan–Vladivostok, B–V (табл. 1 и 2, рис. 3).

4. Горизонты тефры извержений вулкана Чанбайшань 24 и 51 тыс. лет ВР могут рассматриваться как реперные для более детальной истории вулканической деятельности и осадконакопления бассейна Японского моря, поскольку они хорошо диагностируются как по минеральным ассоциациям (щелочной пироксен–щелочная роговая обманка–анортоклаз), так и по петрогеохимическим, особенно редкоземельным характеристикам, отличным от островных вулканов Японского архипелага, а также вулкана о. Улындо.

Работа выполнена при финансовой поддержке ДВО РАН (проект 09–1–П16–02) и Президиума РАН (проект № 16 фундаментальных исследова-

ний по проекту “Природные катастрофы. Изменение окружающей среды”).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Деркачев А.Н., Уткин И.В., Горбаренко С.А. и др. // Тихоокеан. геология. 1983. Т. 2. № 4. С. 22–29.
2. Сахно В.Г. // ДАН. 2007. Т. 412. № 2. С. 226–233.
3. Сахно В.Г. // ДАН. 2007. Т. 417. № 4. С. 528–534.
4. Уткин И.В. Периокеанический седиментогенез. Владивосток: Дальнаука, 1989. С. 67–79.
5. Chun J.H., Cheong D., Lee Y.-J. et al. // J. Geol. Soc. Korea. 2006. V. 42. № 1. P. 31–42.
6. Gorbarenko S.A., Southon I.R. // Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol. 2000. V. 156. P. 177–193.
7. Guo Z., Liu J., Sui S. et al. // Sci. China. Ser. D. 2002. V. 45. P. 530–539.
8. Horn S., Schmincke H.-U. // Bull. Volcanol. 2000. V. 61. P. 537–555.
9. Ikehara K. // J. Oceanogr. 2003. V. 59. P. 585–593.
10. Machida H., Arai F. // J. Volcanol. Geotherm. Res. 1983. V. 18. P. 151–164.
11. Machida H., Arai F. Atlas of Tephra in and around Japan. Tokyo: Univ. Tokyo Press, 1992. 276 p.
12. Nakagawa M., Ishizuka Y., Kudo T. et al. // Island Arc. 2002. V. 11. P. 236–254.
13. Park M.-H., Kim JI.-S., Shin J.-B. // Mar. Geol. 2003. V. 202. P. 135–142.
14. Wei H., Sparks R.S.I., Liu R. et al. // J. Asian Earth Sci. 2003. V. 21. P. 515–526.
15. Wood D.A. // J. Geol. 1979. V. 7. № 3. P. 499–503.