

УДК 551.21

ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ВУЛКАНОВ СЕВЕРНОЙ ГРУППЫ ПО ДАННЫМ БУРЕНИЯ В КРАТЕРНОМ ЛЕДНИКЕ (ВУЛКАН УШКОВСКИЙ, КАМЧАТКА)

© 2007 г. Я. Д. Муравьев¹, А. А. Овсянников¹, Т. Ширавва²

¹Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006

²Институт исследования низких температур, Саппоро, 060–0819, Япония

Поступила в редакцию 09.02.2004 г.

Многолетние исследования в кальдере вулкана Ушковский завершились в июне 1998 г. бурением глубокой скважины в леднике, заполняющем кратер вершинного конуса Горшкова. Был получен 212-метровый ледяной керн, содержащий 354 прослоя вулканического пепла. В статье рассмотрены перспективы анализа этих данных для палеовулканических реконструкций в пределах Северной группы вулканов.

ВВЕДЕНИЕ

Извержения вулканов происходят не изолированно от окружающей среды. Многие из них несут угрозу жизни и оказывают ощутимое влияние на человеческую деятельность. Для прогноза вулканогенных катастроф необходимы подробные данные о многолетней деятельности вулканов. В исторических архивах обычно отражен небольшой период времени; полнота зафиксированной информации часто недостаточна. Поэтому проблема поиска объективно сохраненной летописи хронологии вулканической деятельности очень важна. Полярные шапки и высокогорные ледники умеренных широт являются наиболее полным источником подобных данных, которые накапливаются и сохраняются во льду длительное время.

Кратерный ледник на вершине вулкана Ушковский (Камчатка, 56°04' с.ш., 160°28' в.д.) является уникальным местом для получения ледяного керна с целью региональных палеоклиматических и палеовулканических реконструкций в тихоокеанском секторе северного полушария. Вершина вулкана поднимается в среднюю тропосферу (~4000 м над у. м.) и, располагаясь на границе между главными барическими центрами действия атмосферы в районе Камчатки (Азиатским максимумом и Алеутским минимумом), содержит в своем леднике подробные сведения о вековых флуктуациях региональных барических центров, продуцирующих колебания климата Камчатки. Кроме того, пепловые слои, захороненные в леднике в хронологическом порядке, отражают информацию об активности окружающих вулканов.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

В 1996–1998 гг. российско-японская экспедиция в кальдере вулкана Ушковский (рис. 1) выполнила комплекс гляциологических и геофизических исследований, завершившихся бурением скважины в леднике, заполняющем кратер Горшкова [12, 13, 19 и др.]. Измерения баланса массы льда в шурфах и в 27-метровой скважине [4, 18], пробуренной в 1996 г. недалеко от геометрического центра кратера, обеспечили надежную оценку скорости аккумуляции, которая в течение, по крайней мере, последних 28 лет составила около 0.6 м/год в ледяном эквиваленте.

Эти материалы совместно с данными радиолокации позволили построить математическую модель динамики кратерного ледника, согласно которой было определено оптимальное место для бурения глубокой скважины, расположенное ниже по линии тока льда в 200 м от геометрического центра кратера [16]. Измеренная радиолокационным методом максимальная толщина ледника в этом месте достигает 250 м [11], а возраст льда на этой глубине, согласно модели, составляет около 800 лет [19].

Бурение было выполнено электромеханическим буром конструкции GeoTecs Co, с проектной глубиной бурения до 200 м (разработчик Т. Takahashi, Япония). Ледяной керн, длиной 212 м, был извлечен практически без потерь и доставлен судном-рефрижератором в кернохранилище Института низких температур Хоккайдского университета для дальнейшей аналитической обработки. Первичное изучение керна производилось на месте, по мере его поступления на поверхность, и включало описание стратиграфии, измерение плотности фирна и льда, а также измерение электропроводимости льда (ЕСМ). Кроме того, весь керн

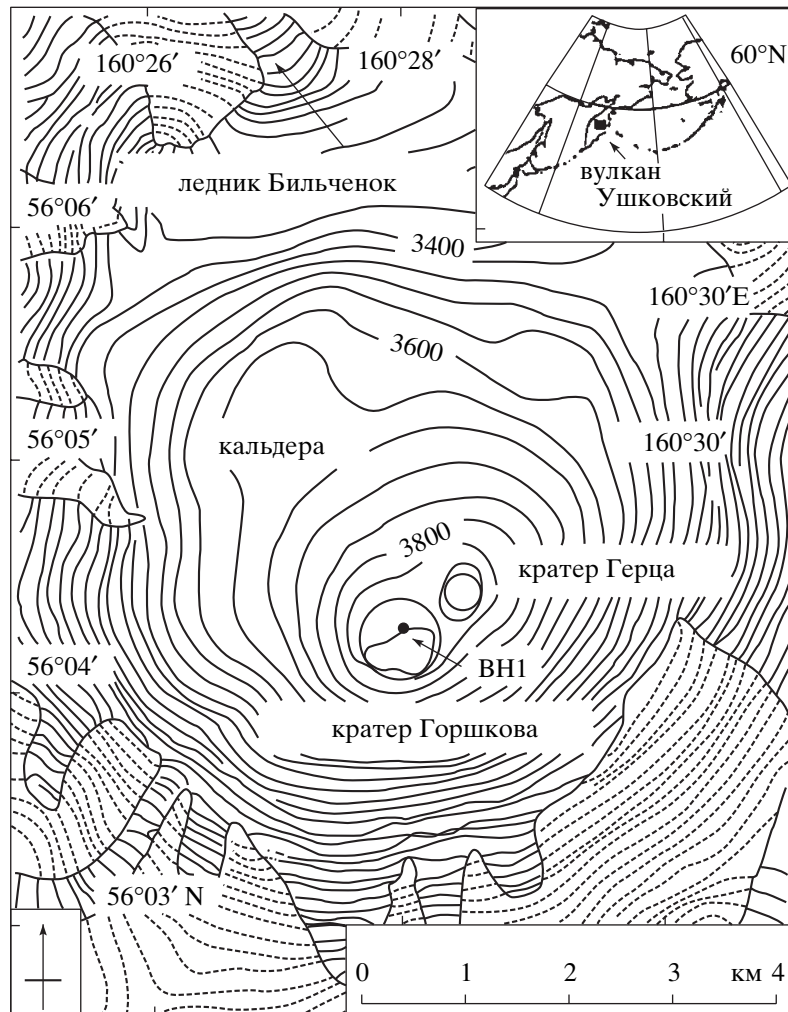


Рис. 1. Топографическая схема вершинного ледникового купола в кратере Горшкова вулкана Ушковский, Камчатка, и положение буровой скважины ВН-1, пробуренной в 1998 году. Сплошные и пунктирные линии – контуры изолиний высот ледника и выходов коренных пород в кальдере соответственно. На врезке – положение вулкана Ушковский в Северной Пацифике.

был переснят цифровой видеокамерой для дальнейшего визуального анализа с использованием средств компьютерной обработки изображений [19, 21].

Изучение ледяного керна включает комплекс различных методов исследований. Вулканологическая часть решает три основные задачи: уточнение хронологии вулканических извержений, изучение особенностей отдельных событий и оценку влияния вулканических пеплов на окружающую среду на основании анализа геохимических характеристик льда. Первые две задачи в первом приближении решаются стратиграфическим анализом керна, который проверялся известными тефрохронологическими маркерами во льду и измерениями годовой скорости аккумуляции в шурфах и мелких скважинах в 1984–1999 гг.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Всего в 212 м керна идентифицировано 354 горизонты пеплов различного химического состава, с разной концентрацией частиц во льду. Все пеплы отвечают однократным пеплопадам. Ввиду того, что понятие извержения вулкана в вулканологии до сих пор трактуется неоднозначно, главным критерием разделения извержений принято отсутствие пепловых горизонтов в течение полупериода (0.3 м льда) годовой аккумуляции льда в кратере. Исходя из этого, было выделено 180 одиночных слоев и пачек пеплов, которые фиксируют отдельные извержения вулканов за прошедшие шесть столетий.

Среди этих вулканогенных горизонтов могут присутствовать следы эксплозивных извержений любых вулканов северотихоокеанского региона планеты (табл. 1). Большое расстояние между

Таблица 1. Эксплозивные извержения вулканов в Северной Пацифике в 1500–2001 гг. [20]

Вулкан (регион)	Высота вулкана, м	Географ. координаты	Даты извержений. В скобках указан индекс эксплозивности (VEI)
Шивелуч (Камчатка)	3395	56.8° с.ш. 161.6° в.д	05/2001(4); 04/1993(3); 1991–1984(1–2); 11/1964(4); 1944(2); 1897(2); 1883(3); 1854(5); 1793(?); 1690(?)С
Ключевской (Камчатка)	4850	56.2° с.ш. 160.8° в.д.	09/1994(4); 1986(3); 1984–1985(3); 1977(3); 1974(3); 1968(3); 1965(3); 1960(3); 01/1945(4); 1937(3); 1935(3); 1931(4); 1829(4); 1737(4); 1697(3)
Безымянный (Камчатка)	3000	56.1° с.ш. 160.7° в.д	05/1997(3); 12/1997(3); 1993–1989(2–3); 1986–1984(2–3); 1981–1976(2–3); 02/1979(4)?; 1971(3); 1965–1957(1–3); 1956(5); 1955(4)
Пл. Толбачик (Камчатка)	3085	55.9° с.ш. 160.5° в.д	1975–1976(4); 1970(2); 1967(2); 1964(2); 1939–1941(3); 1924(2); 1904(2); 1848(2); 1793(2); 1790–1798(2); 1769(2); 1739–1740(2); 1699(2); 1550(2)Т
Карымский (Камчатка)	1436	54.0° с.ш. 159.5° в.д	01/1996(2); 05/1963(3)
Авачинский (Камчатка)	2743	52.3° с.ш. 159.1° в.д	02/1945(4); 1926(3); 1827(3)
Ксудач (Камчатка)	1079	51.8° с.ш. 157.5° в.д	03/1907(5)
Алаид (Курилы)	2339	50.8° с.ш. 155.5° в.д	04/1981(4); 1793(4+)
Чикурачки (Курилы)	1817	50.3° с.ш. 155.5° в.д	11/1986(4); 12/1853(4); 1690(4)Т
Синарка (Курилы)	934	48.9° с.ш. 154.2° в.д	?1873(4)
Райкоке (Курилы)	551	48.3° с.ш. 153.2° в.д	02/1924(4); 1778(4)
Сарычева (Курилы)	1497	48.1° с.ш. 153.2° в.д	11/1946(4)
Чирпой (Курилы)	624	46.5° с.ш. 150.9° в.д	12/1712(4?)
Горелый (Алеуты)	1573	51.8° с.ш. 178.8° з.д.	08/1980(4)
Исноцкий (Алеуты)	2446	54.8° с.ш. 163.7° з.д.	03/1825(4)
Катмай (Аляска)	841	58.3° с.ш. 155.2° з.д.	06/1912(6)
Августин (Аляска)	1227	59.4° с.ш. 153.4° з.д.	10/1883(4)
Погромный (Алеуты)	2002	54.6° с.ш. 164.7° з.д.	? 1795(4)
Тарумаи (Япония)	1024	42.7° с.ш. 141.4° в.д.	08/1739(5); 08/1667(5)
Усу (Япония)	725	42.5° с.ш. 140.8° в.д.	08/1663(5)

Примечание. С – датировано радиоуглеродным методом; Т – датировка тефрохронологическим методом; остальные (?) – исторические свидетельства (с разночтением по литературным источникам).

центром извержения пепла и местом его отложения свидетельствует о мощности самого извержения и о стратосферном эффекте распространения пепловых частиц. Поэтому в табл. 1 для дальних вулканов учитывались извержения с индексом эксплозивности (VEI) от 4 баллов и выше [20]. Но, в отличие от кернов из полярных ледников, где откладывается в основном транзитная тефра

(или кислотные сигналы) извержений вулканов, удаленных от мест бурения на многие сотни и тысячи километров, в ушковском керне главным образом представлены пеплы местных извержений. Исходя из этого, можно полагать, что уровень кислотных сигналов, которые, например, фиксируются в гренландских кернах, практически невозможно диагностировать в пределах Северной

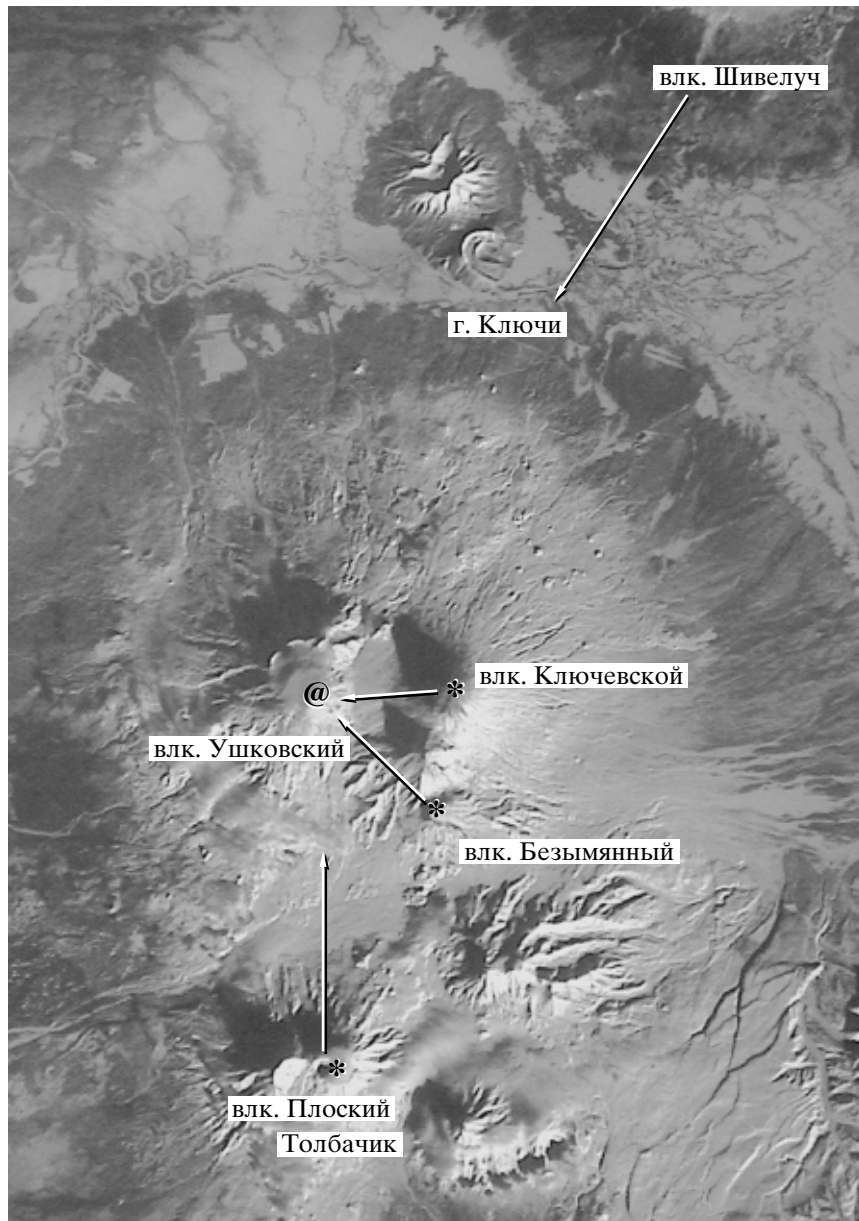


Рис. 2. Схема расположения действующих вулканов Северной группы по отношению к точке бурения скважины (@). Звездочками выделены кратеры вулканов, стрелками – направление на вершину вулкана Ушковский.

группы, в связи с мощным химическим воздействием пеплов и газов местных вулканов [5] на незначительные химические примеси далеких извержений, аккумулярованных льдом.

Среди действующих вулканов региона наиболее близки к месту бурения вулканы Ключевской, Шивелуч, Безымянный, Плоский Толбачик и Ушковский (рис. 2). Их изверженные продукты в той или иной степени представлены в керне. Для верхних 40 метров фирновой толщи ледника, охватывающих около 50 лет аккумуляции, время отложения большинства из этих горизонтов известно.

Гранулометрический анализ, выполненный для 43 образцов пеплов, показал, что по размеру они представлены в основном псаммитовой разностью и только в 6 пробах содержатся частицы псефитовой размерности (>2.0 мм). В основном это пеплы, которые в керне представлены наиболее концентрированными горизонтами, мощностью до 0.5–2.0 см (рис. 3).

На рис. 4 показаны соотношения обломков породы, вулканического стекла и кристаллической фазы. Эти соотношения показывают, что большая часть пеплов в керне представлена литокластической и витрокластической разностями. Кри-

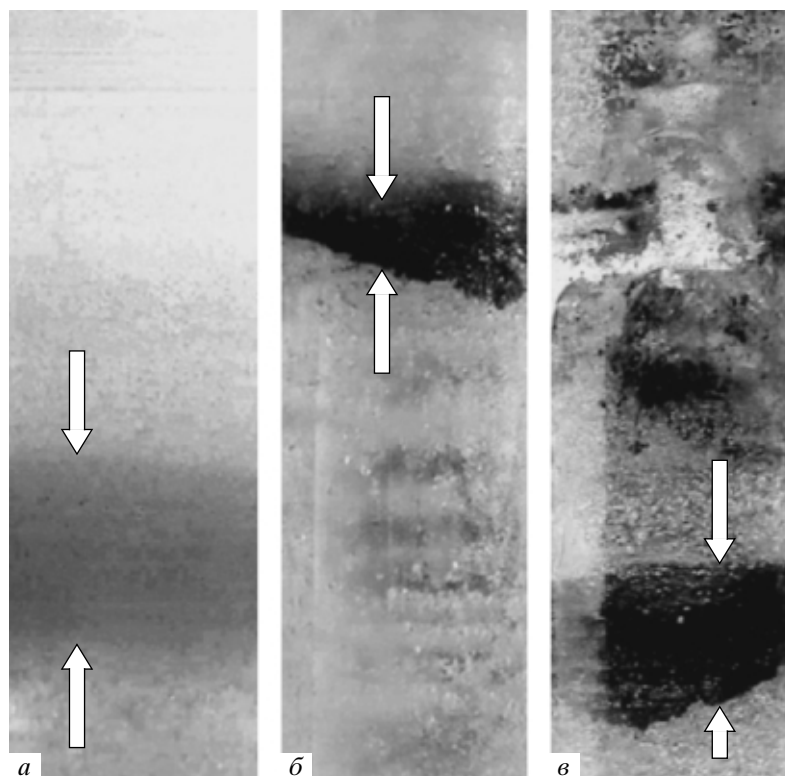


Рис. 3. Примеры залегания пепловых прослоев в керне. *а* – “мутный” лед на глубине 73.36 м от дневной поверхности, насыщенный тончайшими частицами пеплов далеких извержений (толщина 3 см); *б* – четкий пепловый прослой извержения вулкана Ключевской 1852–1854 гг. на глубине 86.44 м; *в* – 2-сантиметровый прослой пепла извержения Ключевского вулкана 1829 г.

сталлокластический пепел встречается очень редко. Примером может служить пепел с глубины 108.7 м, который датируется второй половиной XVIII столетия [14]. Кристаллическая фаза в нем состоит из обломков кристаллов плаггиоклаза.

Минералогия и химический анализ пеплов показали, что они относятся преимущественно к базальтам и только редкие образцы имеют андезитовый состав. Сравнение составов пепла в керне с вулканитами современных извержений вулканов Северной группы открывает возможности для палеовулканологических реконструкций, помогая определить принадлежность того или иного пеплового горизонта определенному эруптивному центру.

Краткая характеристика действующих вулканов Ключевской группы. Ключевской вулкан – самый высокий (4850 м над у. м. по состоянию на 1994 г.) и наиболее активный в группе. Он расположен в 10 км от вершины Ушковского вулкана и возвышается над ним почти на 1 км. Поэтому подавляющая часть тefры в керне относится именно к этому вулкану. Темно-серые или почти черные пеплы базальтового состава Ключевского вулкана являются характерной чертой ледникового разреза. Наиболее мощные пеплопады (6 со-

бытий), когда толщина отложений достигала 1–2 см (рис. 3), приходится на XVIII и XIX столетия, и их положение в разрезе ледника хорошо коррелируется с результатами модельных расчетов (рис. 5) для пароксизмальных извержений 1737 и 1829 гг.

Шивелуч (80 км от Ушковского вулкана) – андезитовый стратовулкан, для которого характерны катастрофические эксплозивные извержения. Его тefра светло-серого цвета с черными кристаллами роговой обманки на удалении от вулкана обычно имеет светло-желтый, палевый или коричневатый оттенки. Несколько пепловых горизонтов в керне, вероятно, относятся к этому вулкану. Например, извержение ~260–300 лет назад (Sh-1 из [10]) или извержение 1854 г. Эруптивная туча этого извержения, правда, в основном распространилась в северном направлении от вулкана. Решение этого вопроса возможно только после выполнения химического и минералогического анализа всей коллекции пеплов.

Второй андезитовый вулкан группы – Безымянный (14 км до точки бурения). Он стал широко известен в мире после извержения 30 марта 1956 г. Слой пепла этого извержения в изученном керне наиболее мощный для XX столетия (около 1.5 см толщиной) и единственный за прошедшие

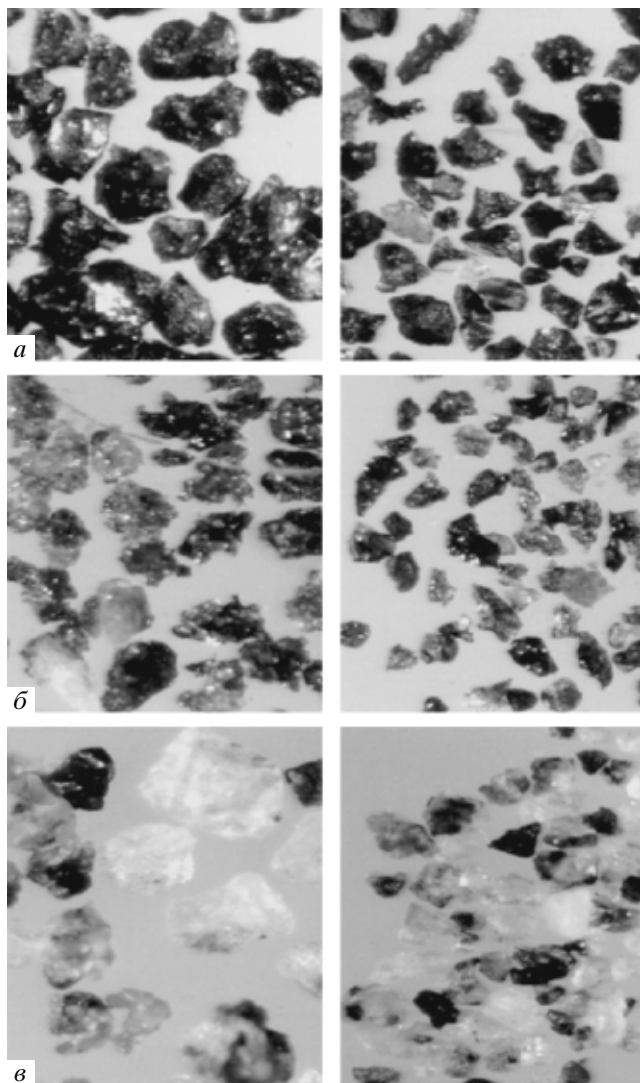


Рис. 4. Соотношение вулканического стекла, обломков породы и кристаллической фазы в пеплах из кернa. *a* – литокластические частицы, *б* – витрокластические и *в* – кристаллокластические. В колонках приведены фракции 1–0.5 (слева) и 0.5–0.25 мм (справа) соответственно.

600 лет, так как вулкан находился в состоянии покоя до октября 1955 г. После начала активизации в течение последних 50 лет присутствие пеплов его извержений в керне, вслед за ключевскими, наиболее представительно. Цвет современных пеплов во льду светло-серый, иногда желтовато-бурый.

Плоский Толбачик (30 км к югу от Ушковского вулкана) – активный базальтовый вулкан Камчатки. Несмотря на преобладание в историческое время в основном слабых эксплозивных извержений, отдельные пароксизмальные события должны были бы фиксироваться в стратиграфии ушковского ледника. Географическое положение вулкана на юге Ключевской группы не способствует распространению на север его пепловых

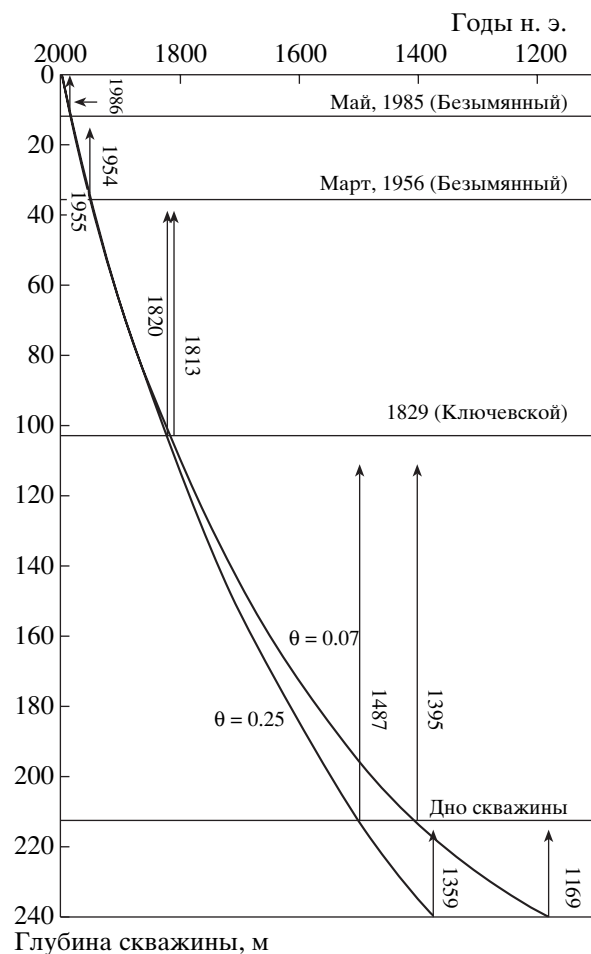


Рис. 5. Расчетный возраст слоев льда в кратерном леднике от глубины их погружения по двум сценариям донного таяния, в зависимости от заданной мощности глубинного теплового потока. Вертикальными стрелками с цифрами показаны результаты датирования по модели А.Н. Саламатина [10, 13] и их отличие от пеплов-маркеров.

облаков, так как в этом регионе преобладают ветры северо-западного, западного и северо-восточного направлений.

Не исключается присутствие в разрезе ледника пеплов и самого вулкана Ушковский. Проявления сольфатарной деятельности и повышенный геотермальный поток в вершинных кратерах вулкана свидетельствуют о наличии его извержений в недалеком прошлом. По данным О. Герца [7], слабое эксплозивное извержение, возможно, произошло весной 1890 г. Решение вопроса о наличии пеплов извержений этого вулкана в ледяном керне отложено до завершения полной аналитической обработки.

В керне также обнаружено 10 слоев “мутного” льда (рис. 3а), содержащего мельчайшие литические частицы в качестве ядер конденсации снежинок и тонкие пеплы пелитовой разности. Некото-

Таблица 2. Химический состав изверженных пород вулканов Ключевской и Плоский Толбачик, мас. %

Образец	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O
1т	51.16	1.94	15.70	3.50	7.96	0.19	4.57	7.96	3.63
2т	51.19	1.72	16.21	4.09	6.84	0.16	5.21	8.06	3.44
3т	49.90	1.05	14.56	5.19	4.59	0.16	8.04	12.48	2.70
4т	49.92	0.97	12.50	3.65	6.06	0.16	11.39	12.41	2.18
1к	52.31	0.77	14.75	8.09*		0.20	10.14	9.28	2.45
2к	53.08	0.86	16.45	8.56*		0.19	7.04	8.99	2.92
3к	51.98	0.91	18.27	5.87	3.71	0.22	5.86	8.01	3.04
4к	53.31	0.95	18.58	3.09	5.54	0.15	4.79	8.19	3.31
5к	54.64	1.28	17.62	4.34	5.12	0.15	4.14	6.12	3.62

Образец	K ₂ O	H ₂ O ⁻	H ₂ O ⁺	P ₂ O ₅	Σ	Na ₂ O + K ₂ O	Na ₂ O/K ₂ O	al'	f'
1т	2.34	0.36	0.35	0.53	100.19	5.97	1.55	0.98	18.16
2т	2.22	0.09	0.23	0.56	100.02	5.66	1.55	1.01	18.03
3т	1.20	0.14	0.26	0.19	100.46	3.90	2.25	0.82	19.03
4т	0.96	0.12	Н.О.	0.2	100.49	3.11	2.34	0.59	22.23
1к	0.70	–	–	0.20	98.89	3.15	3.50	0.81	19.2
2к	1.06	–	–	0.20	99.35	3.98	2.76	1.06	16.65
3к	1.13	Н.О.	0.39	0.19	99.59	4.17	2.69	1.18	16.57
4к	1.25	0.26	Н.О.	0.5	99.57	4.56	2.65	1.38	14.52
5к	1.40	0.18	0.53	0.23	99.95	5.02	2.59	1.30	15.03

Примечание. 1т – пепел извержения центрального кратера вулкана Плоский Толбачик (средний из 9 анализов), аналитик Г.П. Новоселецкая; 2т – пепел Южного прорыва БТТИ 1975–1976 г. (средний из 7 анализов), аналитик Н.Р. Гусакова; 3т – пепел Северного прорыва БТТИ извержения 2 августа 1975 г.; 4т – пепел Северного прорыва БТТИ извержения 26 июля 1975 г., 3т, 4т – аналитик Т.Г. Осетрова; 1к – порода голоценового шлакового конуса Ключевского вулкана [3]; 2к – порода шлакового конуса Билукай (средний из 18 анализов) [3]; 3к, 4к, 5к – пеплы извержений Ключевского вулкана: 3к – 13–14–07.1984 г., аналитик А.М. Округина; 4к – 26.06.1984 г., 5к – 19.02.1987 г., аналитик Г.П. Новоселецкая.

рые из них могут относиться к транзитным пеплам далеких извержений, а также могут быть следами пыльных бурь Северного Китая или Монголии или лесных пожаров.

Рассмотренные вулканы расположены достаточно близко друг к другу, а их пирокластика существенно различается по составу и достаточно уверенно идентифицируется по минералогическому и химическому составам. Для того чтобы определить, к какому конкретно вулканическому центру относится тот или иной слой пепла в керне, рассмотрим петрохимические особенности изверженных продуктов этих вулканов.

В современную эпоху на вулканах Ключевской и Плоский Толбачик происходили извержения как глиноземистых, так и магнезиальных базальтов. Для характеристики базальтов вулкана Плоский Толбачик были взяты средние химические анализы пеплов извержения центрального кратера, Северного и Южного прорывов Большого трещинного Толбачинского извержения 1975–1976 гг. Для Ключевского вулкана – все разновидности базальтов современных и голоценовых из-

вержений. Как видно из табл. 2, 4, глиноземистые базальты вулкана Плоский Толбачик отличаются от таких же базальтов вулкана Ключевской по содержанию как породообразующих окислов, так и по значениям петрохимических параметров. Магнезиальные базальты этих вулканов также различаются по большинству петрохимических параметров и по содержанию некоторых породообразующих окислов. Таким образом, по химическому составу и петрохимическим характеристикам пеплы этих двух вулканов вполне различимы.

Вулканы Ушковский и Шивелуч имеют андезитовый состав изверженных продуктов, а состав современных пород вулкана Безымянный изменяется от андезитов до андезитобазальтов (табл. 3). Пеплы этих вулканов различаются по содержанию SiO₂, Fe₂O₃, FeO, K₂O. Они также хорошо различаются по величинам отношения щелочей и ряду других петрохимических параметров (табл. 4). Для вулканов Шивелуч и Безымянный характерны два типа извержений, которые при анализе хронологии событий необходимо учитывать.

Таблица 3. Химический состав изверженных пород вулканов Безымянный, Шивелуч и Ушковский, мас. %

Образец	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O
1Б	59.94	0.88	17.57	3.17	3.22	0.14	2.81	6.97	3.08	1.32
2Б	56.54	0.81	18.10	4.51	3.02	0.10	3.98	7.67	3.22	1.24
3Б	60.62	0.57	17.77	3.45	2.61	0.13	2.51	6.83	3.46	1.58
4Б	60.86	0.71	17.67	2.59	3.28	0.10	3.56	5.70	3.33	1.55
5Б	60.70	0.90	17.40	3.28	2.65	0.08	3.04	5.94	3.55	1.61
1Ш	59.38	0.63	16.56	4.12	1.97	0.13	4.53	6.50	3.87	1.40
2Ш	62.48	0.53	16.52	2.49	1.79	0.15	3.83	6.21	3.57	1.15
3Ш	61.74	0.40	17.87	2.94	1.87	0.12	2.80	5.80	3.52	1.27
4Ш	63.06	0.61	16.73	2.67	1.96	0.02	1.68	6.40	3.56	1.32
1У	59.38	0.97	18.50	1.73	4.28	0.09	1.92	6.30	3.52	2.11
2У	58.06	0.92	17.54	1.59	5.75	0.12	3.90	6.22	3.40	1.68
Образец	H ₂ O ⁻	H ₂ O ⁺	P ₂ O ₅	SO ₃	Σ	Na ₂ O + K ₂ O	Na ₂ O/K ₂ O	al'	f'	
1Б	–	–	–		99.82	5.12	2.88	1.91	10.22	
2Б	0.21	0.25	0.28		99.93	4.46	2.60	1.57	12.42	
3Б	0.47	–	0.21		100.21	5.04	2.19	2.07	9.27	
4Б	0.30	0.15	0.59		100.42	4.88	2.15	1.88	10.24	
5Б	0.04	0.16	0.19		99.54	5.16	2.20	1.91	9.95	
1Ш	0.48	0.16	0.21		99.97	5.27	2.76	1.56	11.38	
2Ш	0.24	0.58	0.19		99.55	4.72	3.10	2.04	8.61	
3Ш	0.13	0.92	0.29		99.54	4.79	2.77	2.35	8.13	
4Ш	–	1.66	0.13		99.82	4.88	2.70	2.65	6.94	
1У	0.45	0.48	0.55		100.28	5.63	1.67	2.33	8.99	
2У	0.45	0.12	0.30		100.05	5.08	2.02	1.56	12.28	

Примечание. Б – Безымянный, Ш – Шивелуч, У – Ушковский. 1Б – андезит извержения 1956 г., аналитик И.И. Товарова [2]; 2Б – андезитобазальт купола Новый извержения 1985 г. (средний из 20 анализов), аналитики: Н.Р. Гусакова, Г.Ф. Князева [1]; 3Б – пепел извержения 1984 г. (отобран на с/ст. “Апахончич”), аналитик Н.Р. Гусакова [8]; 4Б – пепел извержения 1985 г. (средний из 5 анализов), аналитики: Н.Р. Гусакова, Г.Ф. Князева [1]; 5Б – пепел извержения 1995 г. (отобран в г. Ключи, в 40 км от кратера), аналитик Л.А. Карташева [6]; 1Ш – андезит извержений вулкана (средний из 46 анализов) [3]; 2Ш, 3Ш, 4Ш – продукты извержения вулкана в апреле 1993 г., аналитик не указан [9]; 2Ш – обломки пирокластического потока (средний из 2 анализов) [9]; 3Ш – пепел, отобранный в 25 км от вулкана; 4Ш – пепел, отобранный в 30 км от вулкана; 1У – андезит вершинного конуса Горшкава; 2У – андезит вершинного конуса Герца, аналитик проб № 1У, 2У – Н.Р. Гусакова.

Таблица 4. Вариации значений петрохимических параметров пеплов вулканов Северной группы (Камчатка)

Название вулкана	Породы	Петрохимические параметры			
		Na ₂ O + K ₂ O	Na ₂ O/K ₂ O	al'	f'
Плоский Толбачик	Магнезиальный базальт	3.11–3.90	2.25–2.34	0.59–0.82	19.03–22.23
Ключевской	Магнезиальный базальт	3.15–3.98	2.76–3.50	0.81–1.06	16.65–19.20
Плоский Толбачик	Глиноземистый базальт	5.66–5.97	1.55	0.98–1.01	18.03–18.16
Ключевской	Известково-щелочной базальт	4.17–5.02	2.59–2.69	1.18–1.38	14.52–16.57
Безымянный	Известково-щелочной андезит	4.88–5.16	2.15–2.20	1.88–2.07	9.27–10.24
Шивелуч	Известково-щелочной андезит	4.79–4.88	2.70–2.77	2.35–2.65	6.94–8.13

Первый тип – это катастрофические эксплозивные извержения типа направленного взрыва с разрушением постройки и выносом огромного количества ювенильного материала. Такие из-

вержения на вулкане Шивелуч происходят каждые 100–300 лет. На вулкане Безымянный подобное извержение наблюдалось 30 марта 1956 г., после 900–1000-летнего перерыва. Андезитовые пеплы

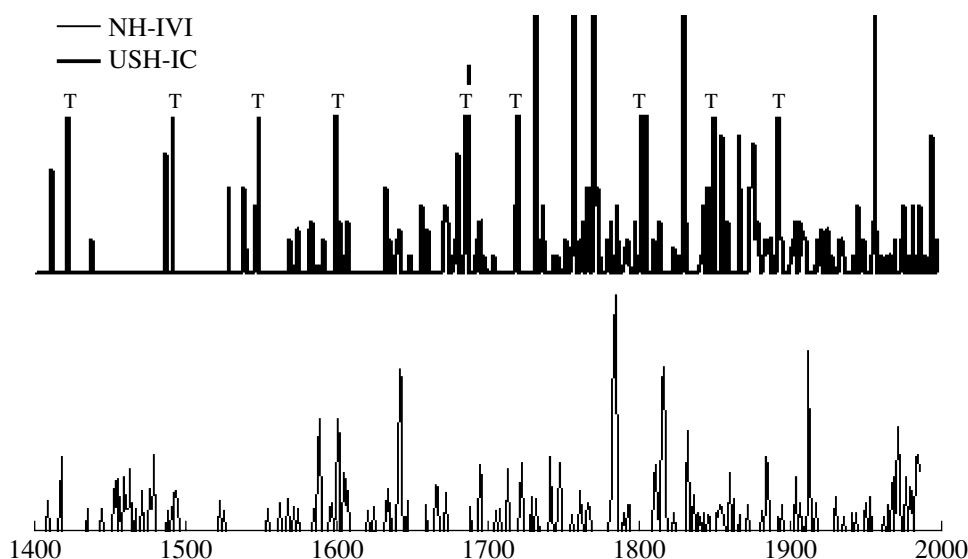


Рис. 6. Ледниковый индекс вулканической активности (IVI) для северного полушария [9] – кислотный сигнал в единицах стандартного отклонения от фонового уровня, и показатель мощности пеплопадов (USH-IC) извержений вулканов Северной группы согласно интерпретации ушковского керна (в миллиметрах толщины прослоя пепла). Т – транзитные пеплы или частицы, связанные с пыльными бурями и лесными пожарами.

в ледниковом керне, встреченные до 1956 г., относятся к пеплам вулкана Шивелуч или к иному вулкану Камчатки, имеющему сходный состав пеплов.

Ко второму типу относятся экструзивно-эксплозивные извержения. Такие извержения на вулкане Безымянный стали происходить сразу после катастрофического извержения 1956 г. и продолжают по настоящее время с перерывами разной продолжительности. После катастрофического извержения вулкана Шивелуч в ноябре 1964 г. извержения второго типа начались в 1980 г., т.е. через 16 лет и продолжают по настоящее время.

При интерпретации стратиграфии по ледниковым кернам существует проблема полноты регистрации вулканических событий. Вследствие метеорологических причин (направление ветра, положения высоты тропопаузы в различные климатические сезоны и т.п.), а также разной продолжительности и мощности самих извержений некоторые современные события не фиксируются в керне видимыми горизонтами тефры. В этих случаях общую картину вулканической деятельности дополняют некоторые виды анализов (химический, изотопно-геохимический, метод измерения электропроводности льда).

Следует отметить хорошее сходство между экспертными датировками значительных пепловых слоев в керне по имеющимся историческим свидетельствам и датированием по модели А.Н. Саламатина [16]. Пепловые горизонты извержений вулкана Ключевской в 1945, 1829, 1737 гг., тефра извержений вулкана Безымянный 1955–1956 гг. и некоторых других практически совпали с расчет-

ной кривой (рис. 5). Из этого следует и первый региональный палеоклиматический вывод: на протяжении по крайней мере трех последних столетий величина годовой аккумуляция льда в кратере вулкана Ушковский существенно не менялась.

Состав и концентрация вулканических пеплов и аэрозолей по разрезу должны помочь оценить вулканогенную нагрузку на региональную атмосферу в целом, а также вклад больших эффузивных и эффузивно-эксплозивных извержений вулканов Северной группы, которые из-за неблагоприятной метеорологической обстановки не оставили в леднике горизонтов тефры (например, пароксизмальное извержение Ключевского вулкана 1 октября 1994 г.); в обработанных кернах из мелких скважин, пробуренных в 1996 и 1997 гг., ясно наблюдается наличие флуктуаций изотопных и химических сигналов, в которых стабильные изотопы кислорода и водорода, а также рН имеют как сезонные циклы, так и иные природные тренды.

Интересно также сопоставить ушковскую хронологию вулканической деятельности (USH-IC) с ледово-вулканическим индексом (IVI) А. Робока [15], который представляет собой индекс глобальной переменной вулканизма, полученный в результате объединения нескольких рядов кислотности и содержания сульфатов в ледниковых кернах [4]. На рис. 6 (верхний график) приведен многолетний ход показателя мощности пеплопадов при извержениях вулканов Северной группы согласно интерпретации ушковского керна (USH-IC, в миллиметрах толщины пеплового горизонта). Сопоставление этих графиков показывает отсутствие прямой корреляции между региональной и



Рис. 7. Распределение пепловых горизонтов в ушковском ледяном керне с датами известных извержений вулканов Северной группы. Т – транзитные тонкие пеплы удаленных вулканов; знаком (?) после даты отмечены неуверенные датировки.

глобальной (IVI северного полушария) хронологиями. В то же время в масштабе вековых изменений вулканической активности связь появляется, особенно в период с середины XVI до начала XX столетия. По-видимому, при выделении в нашей хронологии только извержений Ключевского вулкана связь с IVI станет более тесной.

Заключение. Исследования ледникового керна из кратера Ушковского вулкана важны для уточнения хронологии и мощности извержений вулканов Камчатки (особенно действующих вулканов Северной группы). По данным о ледниковой аккумуляции за последние 50 лет, маркирующим пепловым горизонтам и математическому моделированию динамики кратерного ледника [17], возраст нижних слоев льда на дне скважины оценивается в 600 ± 50 лет. Известно, что за этот период не было сильных или умеренных извержений из верхних кратеров Ушковского вулкана.

Всего за прошедшие столетия в керне определены пеплы 180 вулканических извержений (рис. 7). Из них 49 приходится на XX в., 38 – на XIX и по 25–30 извержений в XVI–XVIII столетиях. Из этого следует, что в XX столетии активность вулканов Северной группы была в 1.5 раза выше, чем за предыдущие 500 лет. Однако следует отметить, что почти все крупные извержения (в основном Ключевского вулкана) произошли в XVIII и XIX столетиях (10 из 13), а в другие столетия их было не более одного события за сто лет.

Этот анализ выполнен на основе учета лишь визуально наблюдаемых пепловых горизонтов. Понятно, что с привлечением более тонких методов геохимического и изотопного анализа информативность ледяного керна существенно возрастет. Особенно это важно для вулкана Шивелуч – наиболее удаленного от точки бурения.

В целом можно отметить, что ледник в кратере Горшкова на вулкане Ушковский заключает в себе не только большой потенциал как палеоклиматический архив для всего северо-тихоокеанского сектора земного шара [19], но и хорошие перспективы для построения 600-летней региональной хронологии вулканической активности в регионе. Часть извержений вулканов Камчатки за подобный период времени, возможно, будет датирована по кислотным и сульфатным сигналам в ледниковых кернах полуострова Аляска, где вулканическая деятельность не столь интенсивна.

Исследования частично финансировались за счет грантов Фонда Сумитомо (поддержка проектов исследований окружающей среды) и Министерства образования, науки, спорта и культуры Японии (№ 08041090: отв. исполнитель Д. Кобаяши).

Авторы выражают глубокую признательность Д. Кобаяши, Т. Хондо и Р. Нарусе из Института низких температур Хоккайдского университета за постоянную поддержку на всех этапах нашего исследования и всем членам Камчатской российско-японской экспедиции, вложившим свои знания и силы в успешную реализацию проекта. Также благодарны а. робоку (A. Robock, USA), любезно предоставившему оригинальные данные своих

расчетов ледово-вулканического индекса для северного полушария.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алидибиров М.А., Богоявленская Г.Е., Курсанов И.Т. и др. Извержение вулкана Безымянного в 1985 г. // Вулканология и сейсмология. 1988. № 6. С. 3–17.
2. Горшков Г.С., Богоявленская Г.Е. Вулкан Безымянный и особенности его последнего извержения 1955–1963 гг. М.: Наука, 1965. 171 с.
3. Действующие вулканы Камчатки / Под ред. Федотова С.А., Масуренкова Ю.П. Т. 1. М.: Наука, 1991. 302 с.
4. Муравьев Я.Д., Саламатин А.Н. Баланс массы и термодинамический режим ледника в кратере Ушковского вулкана // Вулканология и сейсмология. 1989. № 3. С. 85–92.
5. Муравьев Я.Д., Бабанский А.Д. Вулканическая активность в прошедшем тысячелетии // Катастрофические процессы и их влияние на природную среду / Под ред. Лаврова Н.П. Т. 1. Вулканизм. М.: Омни-принт, 2002. С. 39–63.
6. Озеров А.Ю., Демянчук Ю.В., Сторчеус А.В. и др. Извержение вулкана Безымянный 6–8 октября 1995 г. // Вулканология и сейсмология. 1996. № 3. С. 107–110.
7. Пийп Б.И. Ключевская сопка и ее извержения в 1944–1945 гг. и в прошлом // Тр. Лаб. вулканол. 1956. Вып. 11. 399 с.
8. Федотов С.А., Двигало В.Н., Курсанов И.Т. и др. Деятельность вулканов Камчатки и Курильских островов в 1984 г. // Вулканология и сейсмология. 1985. № 5. С. 3–23.
9. Хубуная С.А., Жаринов Н.А., Муравьев Я.Д. Извержение вулкана Шивелуч в 1993 г. // Вулканология и сейсмология. 1993. № 1. С. 3–19.
10. Braitseva O.A., Ponomareva V.V. Holocene key-marker tephra layers in Kamchatka, Russia // Quatern. Res. 1997. № 47. P. 125–139.
11. Macheret Y., Vasilenko E., Glazovsky A. et al. Radioecho sounding of Koryto Glacier (Kamchatka, Russia), 2000 // Proceed. Int. Symp. Atmosph.-Ocean-Cryosph. Interact. in the Sea of Okhotsk. Sapporo, 2001. P. 160–161.
12. Matsumoto T., Kodama Y., Shiraiwa T. et al. Meteorological observations by automatic weather stations (AWS) in alpine regions of Kamchatka, Russia, 1996–1997. Data report, Ser. A. Low temperature // Science. 1997. № 56. P. 53–68.
13. Matsuoka K., Horikawa S., Shiraiwa T. et al. Radio Echo Soundings at the Summit Ice Cap of the Ushkovsky Volcano, Kamchatka // Cryospheric Studies in Kamchatka II. 1999. P. 20–24.
14. Ovsyannikov A.A., Muravyev Ya.D., Yamagata K. Composition peculiarities of the volcanic ash from the crater of Ushkovsky Volcano // Proceed. Int. Symp. Atmosph.-Ocean-Cryosph. Interact. in the Sea of Okhotsk. Sapporo, 2001. P. 134–135.
15. Robock A., Free M.P. The volcanic record in ice cores for the past 2000 years // NATO ASI Series. 1996. V. 141. P. 533–546.
16. Salamatin A.N., Muravyev Y.D., Shiraiwa T., Matsuoka T. Modelling Dynamics of Glaciers in Volcanic Craters // J. Glaciol. 2000. V. 46. № 153. P. 177–187.
17. Salamatin A.N., Shiraiwa T., Muravyev Y.D. et al. Dynamics and borehole temperature memory of Gorshkov Ice Cap on the summit of Ushkovsky Volcano, Kamchatka Peninsula // Proceed. Int. Symp. Atmosph.-Ocean-Cryosph. Interact. in the Sea of Okhotsk. Sapporo, 2001. P. 120–121.
18. Shiraiwa T., Muravyev Y.D., Yamaguchi S. Stratigraphic Features of Firm as Proxy Climate Signals at the Summit Ice Cap of Ushkovsky Volcano, Kamchatka, Russia // Arct. and Alp. Res. 1997. V. 29. № 4. P. 414–421.
19. Shiraiwa T., Muravyev Y.D., Kameda T. et al. Characteristics of a crater glacier at Ushkovsky Volcano as revealed by the physical properties of ice cores and borehole thermometry // J. Glaciol. 2001. V. 47. № 158. P. 423–432.
20. Simkin T., Siebelt L. Volcanoes of the World. Geoscience Press, 1994. 349 p.
21. Toyama Y., Nishio F., Shiraiwa T. et al. Dating of Ushkovsky Ice Cap in Kamchatka by DC-electrical conductivity measurement method // Proceed. Int. Symp. Atmosph.-Ocean-Cryosph. Interact. in the Sea of Okhotsk. Sapporo, 2001. P. 150–151.

Activity on the Volcanoes of the Northern Group Based on Drilling Data in a Crater Glacier: Ushkovskii Volcano, Kamchatka

Ya. D. Muraviev¹, A. A. Ovsyannikov¹, T. Shiraiwa²

¹Institute of Volcanology and Seismology, Far East Division, Russian Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatskii, 683006, Russia

²Institute of Low Temperature Research, Sapporo, 060–0819, Japan

Long-continued studies in the caldera of Ushkovskii Volcano terminated in June 1998 by drilling a deep borehole in the glacier which fills the crater of the Gorshkov summit cone. A 212-meter ice core was obtained containing 354 beds of volcanic ash. We examine whether these data can be used for paleovolcanic reconstructions for the Northern group of volcanoes.