

СНЕГОНАКОПЛЕНИЕ И СТРОЕНИЕ СНЕЖНОЙ ТОЛЩИ

УДК 551.510

Летопись вулканических событий последних 900 лет в снежно-фирновой толще района станции Восток

© 2012 г. Т.В. Ходжер¹, Л.П. Голобокова¹, Э.Ю. Осипов¹, Н.А. Онищук¹, У.Г. Филиппова¹,
В.Я. Липенков², А.А. Екайкин²

¹Лимнологический институт СО РАН, Иркутск;

²Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург

khodzher@lin.irk.ru

Статья принята к печати 25 июля 2012 г.

Аккумуляция, Антарктида, вулканы, снежно-фирновые керны, станция Восток, сульфаты, тефра.
Accumulation, Antarctic, snow-firn cores, sulfates, tephra, volcanoes, Vostok Station.

Приводятся результаты химического анализа снежно-фирновой толщи района станции Восток по образцам из пяти снежных шурфов и кернов. Детальность отбора проб (каждые 2–3 см) позволила получить хронологию вулканических событий с высокой степенью точности. В интервалах с повышенными концентрациями неморского сульфата и пониженными значениями кислотности идентифицированы сигналы около 30 следов вулканических извержений низкоширотных вулканов на протяжении XIII–XX вв., в том числе глобальных, анализируемых в мировой литературе: Пинатубо (1991 г.), Агунг (1963 г.), Кракатау (1883 г.), Тамбора (1815 г.), неизвестный вулкан (1809 г.), Гамконора (1673 г.), Уайнапутина (1600 г.), Кувае (1453 г.), неизвестный вулкан (1259 г.).

Введение

Ледяные керны полярных районов содержат информацию о вулканических событиях, которая позволяет установить источники поступления вещества в атмосферу, датировать снежно-фирново-ледяную толщу, рассчитывать скорость аккумуляции снега за соответствующие периоды. Исследования химического состава, формы и характера поверхности частиц тефры (вулканического пепла), а также вулканического стекла (застывшей лавы) в ледовых кернах Арктики и Антарктики дают возможность восстановить условия извержения вулканов [5, 10].

Исторически документированные вулканические события в антарктических кернах отдельных районов Антарктиды идентифицированы по данным электропроводности, концентрациям ионов, составу тефры [3, 7, 8, 12, 18, 22]. Наиболее продолжительная вулканическая стратиграфия для голоцена за последние 45 тыс. лет с максимально высоким разрешением (до 1,5 лет) получена для района станции Конкордия, вблизи которой участниками Европейского проекта EPICA (European Project of Ice Coring in Antarctica) пробурена скважина глубиной 3260 м. По матери-

алам этой скважины получены данные об изменении температуры в Антарктиде за 800 тыс. лет [6].

Станция Восток расположена в центральной части Восточной Антарктиды (78°27' ю.ш., 106°52' в.д., 3490 м над ур. моря, среднегодовая температура –55,5 °С) в 5000 км от действующих вулканов Южных Сандвичевых островов – наиболее частого источника локального «вулканического шума». По кернам этого региона можно получить наиболее четкие глобальные вулканические сигналы, так как он значительно (около 1300 км от побережья моря, что на 560 км дальше, чем станция Конкордия) удалён от океана – источника морских сульфатов. Район станции Восток характеризуется минимальной ветровой активностью (среднегодовая скорость ветра 5 м/с), которая сильно искажает вулканический сигнал, а также низкой скоростью аккумуляции снега. В настоящее время годовое снегонакопление в этом районе составляет около 2 г/см² (что соответствует около 7 см в снежном эквиваленте). За последние 200 лет скорость накопления снега изменялась от 1,5 до 3 г/см² год [2]. В этом районе нет таяния снега, что способствует лучшему качеству химического сигнала. Ледяной керн скважины на станции Восток может слу-

жить эталоном глобальных природных изменений в последние 420 тыс. лет [18].

На станции Восток в глубинных слоях обнаружено более 20 прослоев тефры [5, 11, 15–17]. В керне скважины 5Г в интервале 103–2586 м найдено 15 видимых прослоев тефры, возраст которых колеблется от 3,5 до 213,7 тыс. лет [5]. Документированные вулканические события последних 200 лет идентифицированы на станции Восток по электропроводности, кислотности, сульфатам и другим ионам [4, 13]. В данной работе приводятся результаты детального химического анализа пяти снежных шурфов и кернов из района станции Восток. Они позволили идентифицировать сигналы около 30 следов отложений вулканических событий позднего голоцена – с XIII по XX в.

Материалы и методы исследований

Образцы снежно-фирновой толщи, охватывающие временной интервал последних 900–1000 лет, получены в пяти точках в окрестностях станции Восток (рис. 1) в ходе сезонных работ российских экспедиций в Антарктиде путём вскрытия снежных шурфов, а также при ручном и механическом бурении. Образцы и керны в замороженном состоянии были перевезены в термоизолированных ящиках авиатранспортом со станции на НЭС «Академик Федоров» и далее морским путём в

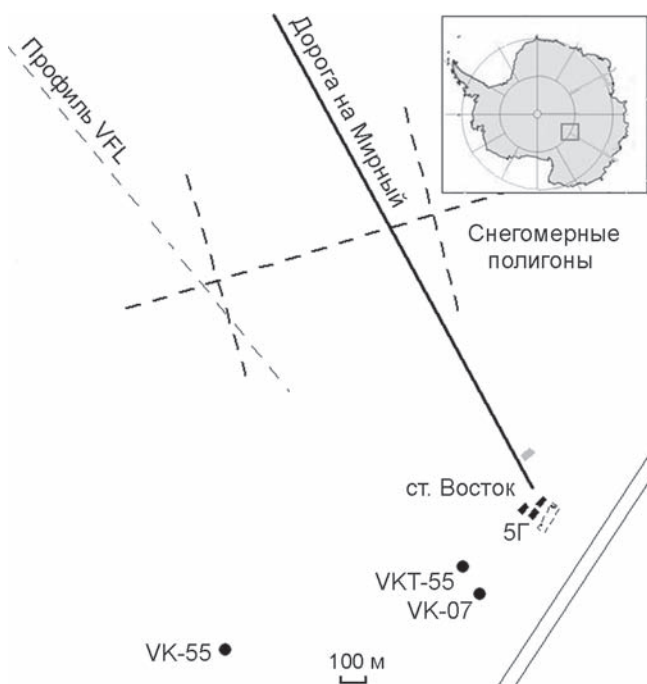


Рис. 1. Схема окрестностей станции Восток (Антарктида) с расположением скважин и шурфов, из которых исследовались образцы

Fig. 1. The scheme of the Vostok Station's vicinities with the location of snow-firn pits and cores mentioned in the paper

г. Санкт-Петербург (ААНИИ), откуда доставлены авиатранспортом в г. Иркутск (ЛИН СО РАН).

Проанализированы следующие образцы:

1) из скважины ручного бурения VK-07 (глубина около 20 м), пробуренной в 2007 г. в 200 м к юго-западу от станции Восток; исследовался интервал керна с глубины 3,8–19,3 м;

2) из скважины ручного бурения VFL (глубина 15 м), пробуренной в 2006 г. в 113 км вверх по линии тока льда от станции Восток; исследовались интервалы керна с глубин 6,7–7,5 и 10,2–10,8 м.

3) из глубокой скважины 5Г, пробуренной на станции Восток в 1990 г.; исследовался интервал керна с глубины 15,5–36,0 м;

4) из скважины ручного бурения VKT-55, пробуренной в 2010 г.; исследовался интервал керна с глубины 2,5–7,8 м;

5) из разреза шурфа VK-55, вскрытого в 2010 г.; исследовался интервал поверхностного слоя снега 0,0–2,0 м (см. рис. 1).

Общее число проанализированных образцов – 3866. Химический анализ образцов керна проводился в аккредитованной лаборатории гидрохимии и химии атмосферы Лимнологического института СО РАН (№ РОСС RU 0001513855). До начала анализа образцы хранились при температуре -20°C , затем разрезались в ламинарном боксе с соблюдением условий стерильности с шагом около 2 см, что примерно соответствует 1/3 слоя современной годовой аккумуляции снега [2]. Внешняя часть образца (1,5–2 см) удалялась, анализировалась только центральная часть керна, которую помещали в полипропиленовые бюксы вместимостью 100 мл. Часть растаявшего образца использовали для измерения величины pH при температуре 25°C . Оставшуюся часть воды фильтровали через мембранные фильтры (0,2 мкм), предварительно промытые деионизированной водой. В фильтрате на приборе ICS-3000 (Dionex, США) определяли содержание катионов (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+} , K^{+}) и анионов (NO_3^{-} , Cl^{-} , SO_4^{2-}). В качестве сравнения при анализе ионов использованы стандартные растворы фирмы Kanto Chemical Co (Япония) и «Ultra Scientific» (США). Полнота определения ионов контролировалась расчётом ошибки ионного баланса [14, 19, 20]. Достоверность применяемых методик подтверждалась участием лаборатории в анализе контрольных образцов по Международным программам «Глобальная Химия Атмосферы» (GAW) под эгидой ВМО и Acid Deposition Monitoring Network East Asia (EANET). Международные калибровки вошли в отчёты ВМО и EANET [21].

Для выявления критерия вулканических событий в снежной воде кернов рассчитывалась средняя концентрация неморского сульфат-иона (nss-SO_4^{2-}), принятая как условное фоновое значение (сплошная линия на рис. 2). Для идентификации наиболее сильных вулканических сигналов использован порог, равный средней фоновой концентрации

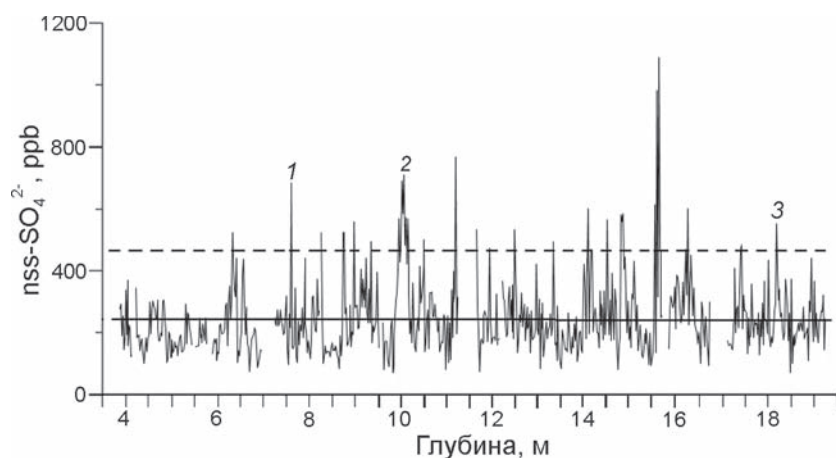


Рис. 2. Критерии идентификации вулканических событий по концентрации неморского сульфат-иона на примере скважины VK-07.

Сплошная линия — средняя величина концентрации неморского сульфат-иона; пунктирная линия — средняя концентрация неморского сульфат-иона плюс два стандартных отклонения; 1 — вулкан Кракатау (1883); 2 — вулкан Тамбора (1815); 3 — вулкан Уайнапутина (1600)

Fig. 2. The criteria of the volcanic events identification by the concentration of non-marine sulfate in the case of the borehole VK-07.

Solid line is an average value of the concentration of non-marine sulfate ion; dashed line is the average concentration of sulfate ion plus two standard deviations; 1 — Krakatau (1883); 2 — Tambora (1815); 3 — Huanaputina (1600)

Таблица 1. Реперные вулканические извержения, использованные для датирования кернов

Номер скважины	Вулкан (год извержения)	Глубина пика SO_4^{2-} , м	Год аккумуляции, н.э.	Период	Средняя скорость аккумуляции, мм воды в год
VK-55 (шурф)	Пинатубо (1991)	1,1	1993	1993–2010	22,7
				< 1993	
VKT-55	Агунг (1963)	2,55	1964	1964–2010	20,4
	Кракатау (1883)	7,13	1884	1884–1963 < 1884	22,1
VK-07	Кракатау (1883)	6,37	1884	1884–2007	19,8
	Тамбора (1815)	10,09	1816	1816–1883	22,5
	Уайнапутина (1600)	18,17	1601	1601–1815 < 1601	17,1 19,0
5Г	Уайнапутина (1600)	17,04	1601	1601–1990	20,4
	Кувае (1452)	23,94	1454	1454–1600	23,6
	Неизвестный (1259)	30,53	1260	1260–1453 < 1260	28,2 25,4

сульфат-иона плюс два стандартных отклонения (показан пунктирной линией на рис. 2). Для каждого вулканического пика рассчитывался суммарный поток неморского сульфата F (кг/км²) по формуле

$$F = \sum Lk,$$

где L — длина образца, относящегося к вулканическому событию (в мм воды); k — разность между концентрацией неморского сульфата в образце и её средним (по керну) значением.

Рассчитанные потоки сульфатов каждого вулканического пика были нормированы по отношению к извержению вулкана Тамбора ($F/F_{\text{Тамбора}}$). Для датирования исследуемых кернов мы использовали несколько реперных вулканических сигналов, установленных ранее в других районах Антарктиды (в скобках при названии вулкана дан год его извержения): Пинатубо (1991), Агунг (1963), Кракатау (1883), Тамбора (1815), Уайнапутина (1600), Кувае (1452), а также извержение неизвестного вулкана в 1259 г. [5, 7, 8, 13]. Выделенные вулканические события

хорошо идентифицируются в сульфатных профилях по высоким пикам концентраций (табл. 1). Согласно опубликованным данным, временная задержка между реальным извержением и аккумуляцией аэрозоля в Антарктиде составляет 1–3 года [9]. Исходя из этих данных, рассчитывался возраст снежно-фирновой толщи между соседними вулканическими событиями. Предполагалось, что в течение всего интересующего нас интервала времени снегонакопление было непрерывным. Если исходить из полученных данных, то верхние 36 м в районе станции Восток были отложены за последнюю 1000 лет.

По нескольким реперным вулканическим событиям, достоверно установленным в различных точках пробоотбора (см. табл. 1), были построены глубинно-возрастные модели снежно-фирновой толщи (рис. 3). С помощью полиномиальных и линейных трендов рассчитан возраст промежуточных вулканических событий и уточнены скорости

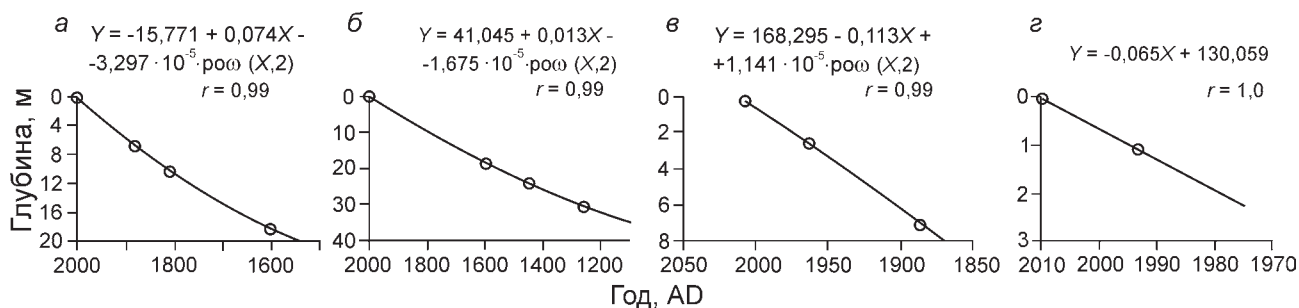


Рис. 3. Глубинно-возрастные модели снежно-фирновой толщи района станции Восток:

а – скважина VK-07; б – скважина 5Г; в – скважина VKT-55; з – шурф VK-55

Fig. 3. Depth-age models of the snow-firn thickness for the area of Vostok Station:

а – VK-07; б – 5G; в – VKT-55; з – VK-55

аккумуляции в районе станции Восток. Скорости аккумуляции снега изменялись в диапазоне от 17 мм (XVII–XVIII вв.) до 28 мм (XIII–XV вв.) воды в год.

Результаты и обсуждение

Значимые трассеры вулканических проявлений – кислотность раствора и содержание сульфат-иона, высокие концентрации которого относительно фоновых величин в ледяных ядрах маркируют захоронения вулканов. Антарктический снег содержит сульфаты и вулканического, и невулканического происхождения. При идентификации вулканических событий в ядрах района станции Восток использовалась летопись вулканических извержений за последние 700 лет [1]. Из неё выбраны вулканы, расположенные южнее 20° с.ш., которые потенциально могли поставлять сульфатный аэрозоль в район Антарктиды. Наиболее крупные вулканические события XX в. – извержения тропических вулканов Агунг (1963) и Пинатубо (1991). Максимальная концентрация сульфата (743 мкг/л) в ядре VKT-55 для вулкана Агунг отмечена на глубине около 2,5 м. Сигнал вулкана Пинатубо хорошо выражен на глубине около 1 м в шурфе VK-55 с максимальной концентрацией 530 мкг/л (рис. 4). Эти два события хорошо прослеживаются и в других антарктических ядрах [12]. Кроме того, мы выдели-

ли два промежуточных события – предположительно следы вулканов Семеру (1996) и Пуеху (1960).

Вулканическая летопись XVII–XIX вв. характеризуется высокой интенсивностью. В этом временном интервале в ядре скважины VK-07 идентифицированы три реперных события – следы извержения вулканов Кракатау (1883), Тамбора (1815) и Уайнапутина (1600) на глубинах соответственно около 6,5, 10 и 18 м. (см. рис. 2). Извержение индонезийского вулкана Кракатау началось в августе 1883 г., однако, согласно данным по другим районам Антарктиды [2], аккумуляция сульфата из атмосферы зафиксирована годом позже – ближе к середине 1884 г. За последние 200 лет извержение вулкана Тамбора в Индонезии было самым крупным. Индекс его вулканической активности составил 7, а индекс запылённости (dustveilindex, DVI) был равен 3000 ед. Следы извержения этого вулкана отмечены и в гренландских ядрах. В данной летописи хорошо выделяется также вулканическое событие неизвестного вулкана в 1809 г., захоронение следов извержения которого определены и в других районах Антарктиды [7, 8, 18, 22]. Третий реперный горизонт, на глубине около 18 м, с концентрацией сульфата 502 мкг/л соответствует извержению перуанского вулкана Уайнапутина (1600). Кроме того, выде-

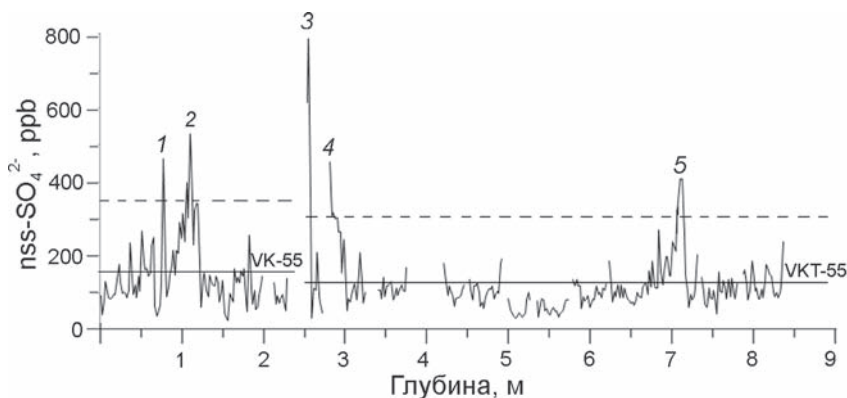


Рис. 4. Вулканические события конца XIX–XX вв. по концентрации $nss-SO_4^{2-}$ (район станции Восток):

1 – Семеру (1996?); 2 – Пинатубо (1991); 3 – Агунг (1963); 4 – Пуеху (1960?); 5 – Кракатау (1883)

Fig. 4. Volcanic events of the late XIX–XX centuries, by the concentration of $nss-SO_4^{2-}$ (area of Vostok Station):

1 – Semeru (1996?); 2 – Pinatubo (1991); 3 – Agung (1963); 4 – Puekhu (1960?); 5 – Krakatau (1883)

Таблица 2. Список вулканических событий за последние 900 лет, район станции Восток, Антарктида

Номер скважины	Вулкан (? – требует подтверждения)	Событие	Год в керне	Продолжительность, годы осадения, годы	Глубина залегания в скважине, м	Концентрация pss-SO_4^{2-} , мкг/л	Поток F , $\text{кг}\cdot\text{км}^{-2}$	$F/F_{\text{Тамбора}}$
VK-55 (шурф)	Семеру (1996)?	V1	1998	0,6	0,78	463	2,4	0,10
	Пинагубо (1991)	V2	1993	4,9	1,10	530	17,8	0,72
VKТ-55	Агунг (1963)	V3	1964	1,1	2,55	743	8,9	0,36
	Пуйсеу (1960)?	V4	1960	3,0	2,83	429	11,6	0,47
	Кракатау (1883)	V5	1884	4,4	6,37	515	10,5	0,42
	Кракатау (1883)	V5	1884	5,6	7,13	409	13,7	0,55
	Макиан (1861)?	V6	1861	1,6	7,65	649	5,5	0,22
	Келут (1848)?	V7	1849	4,4	8,3	494	2,8	0,11
	Тинакула (1840)?	V8	1840	1,5	8,79	497	4,7	0,19
	Косигуина (1835)?	V9	1836	1,9	9,01	544	3,9	0,16
	Мерапи (1832)?	V10	1829	1,1	9,39	484	2,1	0,08
	Тамбора (1815)	V11	1816	5,1	10,09	676	24,8	1,00
	Майон (1814)?	V12	1815	1,3	10,18	548	6,5	0,26
	VK-07	Неизвестный (1809)?	V13	1810	2,4	10,54	471	6,9
Килауа (1790)?		V14	1791	4,8	11,22	767	7,1	0,29
?		V15	1779	1,7	11,66	529	3,3	0,13
Таал (1754)?		V16	1755	1,7	12,49	518	4,4	0,18
Раунг (1730)?		V17	1731	1,5	13,32	485	2,1	0,08
Таал (1716)?		V18	1717	4,9	14,07	578	11,4	0,46
Котопакси (1698)?		V19	1699	6,8	14,47	543	3,3	0,13
Серуа (1692)?		V20	1693	3,8	14,82	578	13,3	0,54
Гамнонора (1673)?		V21	1674	5,3	15,62	1085	22,9	0,92
Лонг Айленд(1660)?		V22	1661	12,4	16,26	565	14,9	0,60
?		V23	1624	9,1	17,44	463	5,1	0,21
5Г		Уайнапутина (1600)	V24	1601	7,0	18,17	502	6,7
	Уайнапутина (1600)	V24	1601	2,8	17,04	443	11,9	0,48
	Гамнонора (1565)?	V25	1566	7,4	18,61	489	24,7	1,00
	?	V26	1529	0,4	20,42	560	3,8	0,15
	?	V27	1510	0,8	21,34	470	3,8	0,15
	Кувае (1452)	V28	1454	5,7	23,94	1266	57,3	2,31
	?	V31	1280	0,4	29,54	714	6,1	0,25
	Неизвестный (1259)	V32	1260	4,5	30,53	1097	43,0	1,73

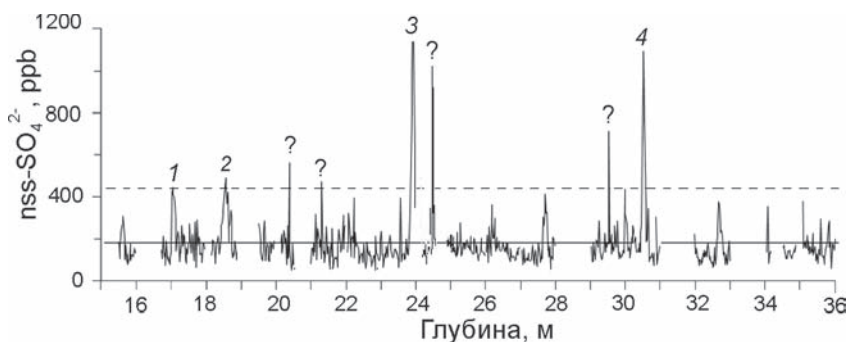


Рис. 5. Вулканические события XIII–XVII вв. скважины 5Г по концентрации nss-SO_4^{2-} (станция Восток):

1 – Уайнапутина (1600); 2 – Гамконора (1565?); 3 – Кувае (1452); 4 – неизвестный (1259)

Fig. 5. Volcanic events of XIII–XVII centuries, hole 5G by the concentration of nss-SO_4^{2-} (Vostok Station):

1 – Huanaputina (1600); 2 – Gamkonora (1565?); 3 – Kuwaе (1452); 4 – Unknown (1259)

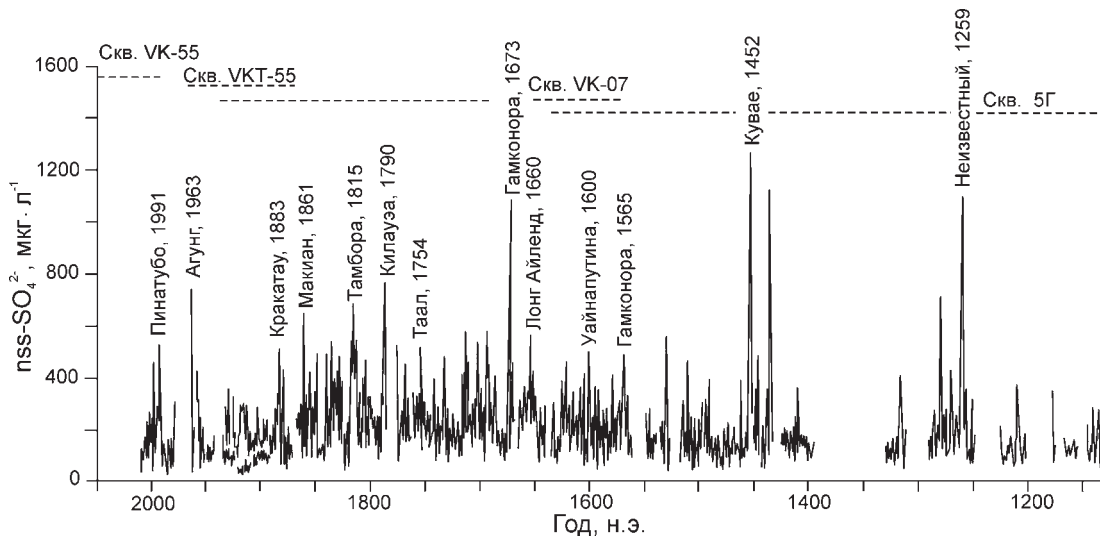


Рис. 6. Сводная вулканическая летопись последних 900 лет из района станции Восток

Fig. 6. The stack volcanic record for the last 900 years (Vostok Station)

лено около 15 промежуточных следов слоёв вулканических событий, условно сопоставленных с исторически известными извержениями. Самый высокий пик сульфата отмечен на глубине около 15,5 м (1085 мкг/л). По возрасту этот пик может соответствовать извержению индонезийского вулкана Гамконора в 1673 г. (рис. 5, 6).

Самый сильный сигнал в сульфатной летописи вулканических проявлений до начала XVII в. – захоронение продуктов извержения тихоокеанского вулкана Кувае (1452). Это – сульфатный пик (1266 мкг/л) в образцах керна скважины 5Г, отобранных с глубины около 24 м (см. рис. 6). Кроме него, в образцах с глубины около 30,5 м обнаружен второй по концентрации пик (1097 мкг/л) неморского сульфата, содержащегося, вероятно, в продуктах извержения неизвестного вулкана 1259 г., ранее выявляемых в других антарктических и даже гренландских кернах [6].

На основании высоких концентраций неморского сульфат-иона в образцах снежно-фирновой толщи из пяти пунктов в районе станции Восток, привязанных к временной шкале, составлена ком-

бинированная вулканическая летопись за последние 900 лет. В табл. 2 показана продолжительность отложений продуктов вулканических извержений. За последние 10 000 лет извержение вулкана Тамбора было одним из самых мощных [13].

Заключение

Анализ сульфатной кривой позволил установить около 30 следов крупных вулканических сигналов последних 900 лет, сравнить их с литературными данными и сопоставить с сигналами исторически документированных следов извержений. Наибольшее число событий характерно для периода XVII–XIX вв., наименьшее – для предшествующего временного интервала. Наиболее сильные сульфатные сигналы проявились в XIII и XV вв. На основе вулканических маркеров установлены глубинно-возрастные модели снежно-фирновой толщи, определены скорости аккумуляции поверхностного 36-метрового слоя снега, которые изменялись в диапазоне от 17 мм (XVII–XVIII вв.) до 28 мм (XIII–XV вв.) воды в год. Нормирование потоков показало, что почти все выявленные нами сигналы вулка-

нических извержений, кроме сигналов вулканов Кувае (1452) и неизвестного (1259), были намного слабее, чем вулкана Тамбора (1815).

Работа поддержана грантом РФФИ № 10-05 93109-НЦНИЛ-а

Литература

1. *Гущенко И.И.* Извержения вулканов мира: Каталог. М.: Наука, 1979. 454 с.
2. *Екайкин А.А., Липенков В.Я., Пети Ж.Р., Массон-Дельмот В.* Пятидесятилетний цикл в изменениях аккумуляции и изотопного состава снега на станции Восток // МГИ. 2003. Вып. 94. С. 163–173
3. *Липенков В.Я., Шиббаев Ю.А., Попов С.В.* Гляцио-геофизические исследования линий тока льда, проходящих через подледниковое озеро Восток // Новосты МПГ 2007/08. 2008. № 14. С. 12–13.
4. *Ходжер Т.В., Голобокова Л.П., Осипов Э.Ю., Артемьева О.В., Масленикова М.М., Липенков В.Я., Шиббаев Ю.А., Белозерова О.Ю., Лихошвай Е.В.* Свидетельства вулканических извержений Тамбора и Кракатау (XIX в.) по данным химического и электронно-микроскопического исследования снежно-фирновых кернов из района станции Восток (Антарктида) // Лёд и Снег. 2011. № 1 (113). С. 105–113.
5. *Basile I., Petit J.R., Tournon S., Grousset F.E., Barkov N.* Volcanic layers in Antarctic (Vostok) ice cores: source identification and atmospheric implications // Journ. of Geophys. Research. 2001. V. 106. № D23. P. 31915–31931.
6. *Castellano E., Becagli S., Hansson M., Hutterli M., Petit J.R., Rampino M.R., Severi M., Steffensen J.P., Traversi R., Udisti R.* Holocene volcanic history as recorded in the sulfate stratigraphy of the European Project for Ice Coring in Antarctica Dome C (EDC96) ice core // Journ. of Geophys. Research. 2005. V. 110. № P. 1–12. 110:006114. doi:10.1029/2004JD005259.
7. *Cole-Dai J., Mosley-Thompson E., Thompson L.G.* Annually resolved southern hemisphere volcanic history from two Antarctic ice cores // Journ. of Geophys. Research. 1997. V. 102. № 14. P. 16761–16771.
8. *Cole-Dai J., Mosley-Thompson E., Wight S.P., Thompson L.G.* A 4100-year record of explosive volcanism from an East Antarctica ice core // Journ. of Geophys. Research. 2000. V. 105. № 19. P. 24431–24441.
9. *Delmas R.J., Legrand M., Arístarain A.J., Zanolini F.* Volcanic deposits in Antarctic snow and ice // Journ. of Geophys. Research. 1985. V. 90. № D7. P. 2901–2920.
10. *Ersoy O., Chinga G., Aydar E., Gourgaud A., Cubukcu H.E., Ulusoy I.* Texture discrimination of volcanic ashes from different fragmentation mechanisms: A case study, Mount Nemrut ash surfaces: Application of extended depth-of-field (focus) algorithm for light and scanning electron microscopy and 3D reconstruction // Micron. 2008. V. 39. № 2. P. 128–136.
11. *Kyle P.R., Palais J., Thomas E.* The Vostok tephra: an important englacial stratigraphic marker? // Antarctic Journ. of the United States. 1984. V. 19. № 5. P. 64–65.
12. *Laluraj C.M., Krishnan K.P., Thamban M., Mohan R., Naik S.S., D'Souza W., Ravindra R., Chaturvedi A.* Origin and characterisation of microparticles in an ice core from the Central Dronning Maud Land, East Antarctica // Environ Monit Assess. 2009. V. 149. P. 377–383. doi:10.1007/s10661-008-0212-y.
13. *Legrand M., Delmas R.J.* A 220-year continuous record of volcanic H₂SO₄ in the Antarctic ice sheet // Nature. 1987. V. 32. № 327. P. 671–676.
14. *Manual for sampling and chemical analysis.* EMEP Cooperative Programme for Monitoring and Evaluation of the Long-range Transmission of Air Pollutants in Europe. NILU: EMEP/CCC-Report 1/95. Reference: 0-7726. EMEP. 1996. 176 p.
15. *Narcisi B., Petit J.R., Delmonte B.* Extended East Antarctic ice-core tephrostratigraphy // Quaternary Science Reviews. 2010. V. 29. № 1–2. P. 21–27.
16. *Palais J., Kyle P., Thompson E., Thomas E.* Correlation of a 3200 year old tephra in ice cores from Vostok and South Pole stations, Antarctica // Geophys. Research Letters. 1987. V. 14. № 8. P. 804–807.
17. *Palais J.M., Kyle P.R., McIntosh W.C., Seward D.* Magmatic and phreatomagmatic volcanic activity at Mt. Takahe, West Antarctica, based on tephra layers in the Byrd ice core and field observations at Mt. Takahe // Journ. of Volcanology and Geothermal Research. 1988. V. 35. P. 295–317.
18. *Petit J.R., Raynaud D., Barnola J.M., Basile I., Chappellaz J., Delmotte M., Legrand M., Lorius C., Pépin L., Ritz C., Jouzel J., Delaygue G., Stievenard M., Barkov N.I., Lipenkov V.Y., Bender M., Davis M., Saltzman E., Kotlyakov V.M.* Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica // Nature. 1999. V. 399. № 6735. P. 429–436.
19. *Product manual for IonPac AG12 Guard Column. IonPac CS12 Analytical Column.* Dionex Corporation. Document № 065003. 2005. 65 p.
20. *Product manual for IonPac AG19, IonPac AS19.* Dionex Corporation. Document № 031132. 2008. 34 p.
21. *Report of the Inter-Laboratory Comparison Project 1998–2011* // www.adorc.gr.jp
22. *Sadler J.P., Grattan J.P.* Volcanoes as agents of past environmental change // Global and Planetary Change. 1999. V. 21. P. 181–196.
23. *The Official Web-Site of Science Activity Centre – Americas, URL* // <http://qasac-americas.org> <http://qasac-americas.org/>
24. *Zhang M.J., Li Z.Q., Xiaol C.D., Qinl D.H., Yang H.A., Kangz J.C.* A continuous 250-year record of volcanic activity from Princess Elizabeth Land, East Antarctica // Antarctic Science. 2002. V. 14. № 1. P. 55–60.

Summary

The results of chemical analyses of snow samples from five pits and cores drilled in the vicinities of Vostok Station, Antarctica, are presented. High resolution (every 2–3 cm, or about three samples per year) ion measurements allowed to compile a new detailed record of volcanic events for the past 900 years. About 30 low latitude volcanic eruptions were identified in core intervals with high content of nonmarine sulphates and decreased values of acidity during XIII–XX centuries. Global ones analysed in the literature were detected in the cores: Pinatubo (1991), Agung (1963), Krakatau (1883), Tambora (1815), unknown (1809), Gamkonora (1673), Huaynaputina (1600), Kuwae (1453), unknown (1259).