

УДК 551.21+551.24

© 1998 г. БРАЙЦЕВА О.А., БАЗАНОВА Л.И., МЕЛЕКЕСЦЕВ И.В.,
СУЛЕРЖИЦКИЙ Л.Д.**КРУПНЕЙШИЕ ГОЛОЦЕНОВЫЕ ИЗВЕРЖЕНИЯ ВУЛКАНА
АВАЧИНСКИЙ НА КАМЧАТКЕ
(этап 7250-3700 ¹⁴С-лет назад)**

Реконструированы хронология, динамика и параметры семи крупнейших извержений андезитового этапа IAV 7250-3700 ¹⁴С-лет назад (л.н.) вулкана Авачинский на Камчатке, начавшего после >2000-летнего периода относительного покоя. Описаны их ювенильные (андезитовая пирокластика) и резургентные продукты, оценен геолого-геоморфологический эффект. Самое мощное извержение (объем продуктов 8-10 км³) было 7150, последующие - 5700 (>= 0,34 км³), 5600 (>=0,4 км³), 5500 (>=1,34 км³), 5000 (>=0,5 км³), 4500 (>1,1 км³), 4000 (>=0,6 км³) ¹⁴С-л.н. Среди изверженных продуктов преобладала тephра, пирокластические потоки имели место лишь при извержениях 5500 и 5000 л.н. Предполагается, что большинство извержений могло давать кислотные пики разной интенсивности в Гренландском ледниковом щите.

LARGE HOLOCENE ERUPTIONS OF AVACHA VOLCANO, KAMCHATKA, IN 7250-3700 ¹⁴C B.P., by Braitseva O.A.*, Bazanova L.I.*, Melekestsev I.V.* and Sulerzhitskii L.D.**. This study is a reconstruction of the chronology, dynamics and parameters for seven largest eruptions of the andesitic phase IAV (7250-3700 ¹⁴C B.P.) on Avacha Volcano, Kamchatka, which began after a period of relative repose lasting more than 2000 years. We describe the juvenile (andesite pyroclastics) and resurgent ejecta and estimate the geologic and geomorphic effect. The largest eruption (discharging 8-10 км³) was in 7150, the others in 5700 (0.34 км³), 5600 (0.4 км³), 5500 (1.34 км³), 5000 (0.5 км³), 4500 (1.1 км³), and 4000 (0.6 км³) ¹⁴C B.P. The ejecta is dominated by tephra, pyroclastic flows occurring during the 5500 and 5000 B.P. eruptions alone. Most eruptions may have produced acid peaks of varying intensity in the Greenland ice shield.

(Received April 14, 1997)

* Institute of Volcanic Geology and Geochemistry, Far East Division, Russian Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683006, Russia

** Geological Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, 109017, Russia

Авачинский вулкан (53°13' N, 159°00' E, 2751 м над уровнем моря) относится к типу Сомма-Везувий. Сомма - позднеплейстоценовый стратовулкан, вершина которого была уничтожена катастрофическим извержением 30 тыс. лет назад (л.н.) с образованием эксплозивно-обвального кратера размером 4x4,5 км [12]. Сейчас там располагается действующий Молодой конус.

Вулкан находится в 30 км от г. Петропавловск-Камчатский, поэтому крайне актуальна оценка связанной с ним вулканической опасности, для чего необходимо располагать сведениями об эруптивной истории вулкана минимум за тысячелетия. Но имеются лишь данные по его извержениям 1737-1991 г. [10]. Первые образцы для радиоуглеродного (¹⁴С) датирования доисторических извержений вулкана Авачинский взяты И.В. Мелекесцевым в 1964 г. По ним получены ¹⁴С-даты для двух голоценовых пирокластических потоков и начала формирования Молодого конуса [3, 13].

Впоследствии нашими коллегами [8], но главным образом авторами этой статьи,

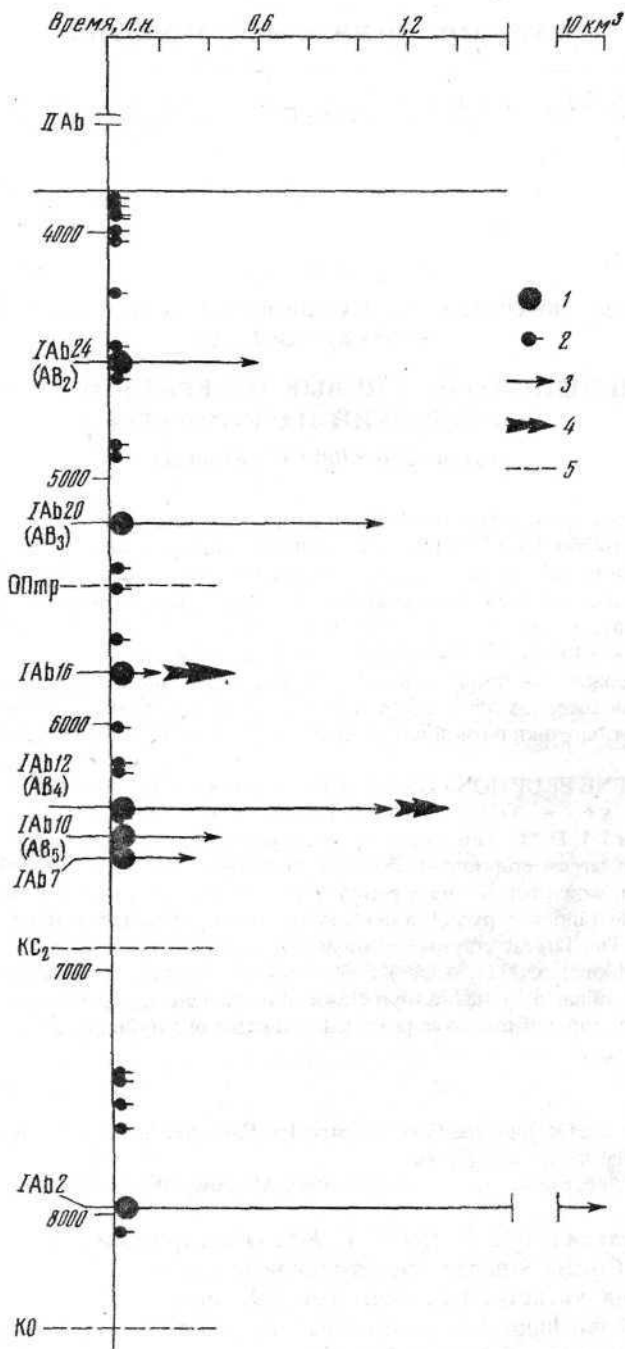


Рис. 1. Реконструкция истории эруптивной активности вулкана Лвачинский в голоцене (андезитовый этап 7250-3700 ¹⁴С-л.н.): / - крупнейшие извержения; 2 - прочие извержения; 3 - тефра; 4 - пирокластические потоки; 5 - транзитные пеплы: ОП тр - Опала, КС₂ - Ксудач, КО - Курильское озеро - Ильинская. В скобках - индексы извержений в прежних публикациях

Крупнейшие извержения андезитового этапа IАв Авачинского вулкана

Индекс извержения	Возраст		Состав продуктов	Минеральная ассоциация (в порядке уменьшения содержания)	Объем продуктов, км ³			H, км	S, 10 ³ км ²	Возраст кислотных пиков в ледниковом щите****
	¹⁴ C**	календарный***			V ₁	V ₂	V ₃			
IAв2	7151±51(2)	BC 6110 (5977) 5875	A	Pl+H+Mt+CPx+B	≥8...10	-	≥3,8... ...4,8	≥38... ...40	BC 5995 (115)	
IAв7	5729±84 (3)	BC 4783 (4545) 4363	A	Pl+CPx+OPx+Mt+H	≥0,34	-	≥0,18	6,9	BC 4558 (26)	
IAв10(AB ₅)*	5610±38 (2)	BC 4520 (4457) 4354	A	Pl+CPx+OPx+Mt+ +Ol+H	≥0,42	-	≥0,22	9,2	BC 4449 (42)	
IAв12(AB ₄)	5489±27 (7)	BC 4360 (4342) 4262	A	Pl+H+OPx+CPx+Mt+ +Ap	≥1,14	0,2	≥0,7	24	BC 4267 (71); 4395 (38)	
IAв16	5011±20 (7)	BC 3910 (3788) 3722	A, AB	Pl+CPx+H+OPx+Mt	≥0,2	0,3	≥0,3	≥5	BC 3793 (30)	
IAв20(AB ₃)	4482±31 (5)	BC 3339 (3261, 3244, 3101) 3034	A	Pl+CPx+H+OPx+Mt	≥1,1	-	≥0,6	≥19	BC 3258 (66)	
IAв24(AB ₂)	4020±49 (3)	BC 2850 (2558, 2530, 2497) 2409	A, AB	Pl+CPx+H+OPx+Mt	≥0,6	-	≥0,34	17	DC 2500 (49)	

Примечание. А – андезин; АБ – андезитобазальт; V₁ – объем тефры, V₂ – отложения пирокластических потоков, V₃ – ювенильного материала в пересчете на плотную породу (DRE-магму); H – высота эруптивной колонны [16]; S – площадь пеплопада по изопаките 1 см, для извержения IAв2 – по изопаките 5 см.

* В скобках – индекс извержения в прежних публикациях.

** В скобках – число образцов для расчета возраста.

*** BC – годы до н.э.; в скобках – принятый возраст извержения; за скобками – доверительный интервал (при 2σ), когда могло произойти извержение.

**** В скобках – содержание SO₄²⁻ (ppb-частей на миллиард).

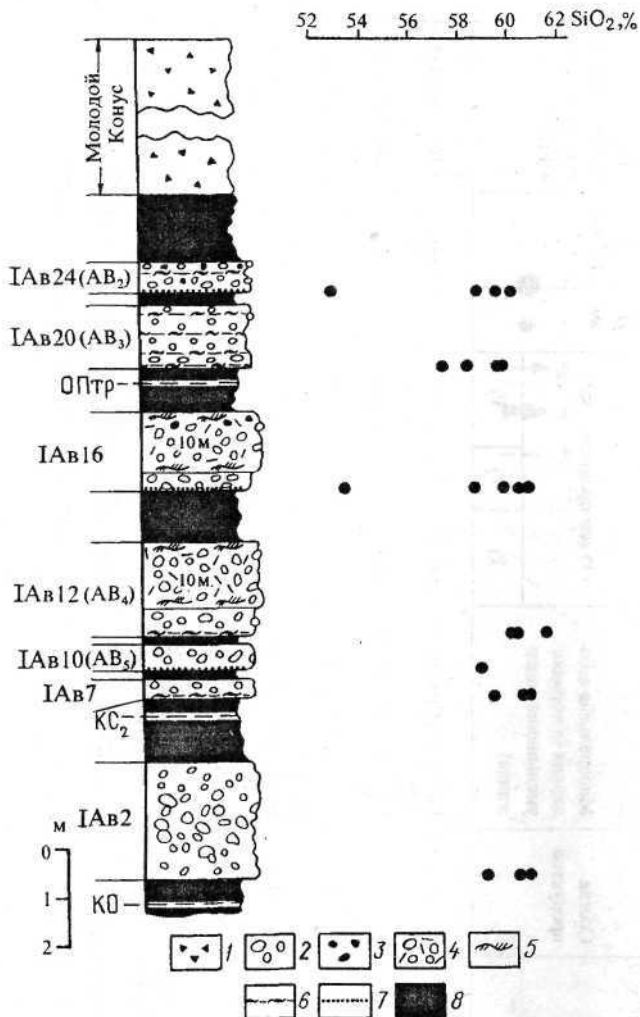


Рис. 2. Схематический сводный разрез пирокластических отложений крупнейших извержений этапа IAв вулкана Авачинский: 1 - пирокластита Молодого конуса; 2, 3 - бомбы и лапилли (2 - пемзы, 3 - шлаков); 4 - пирокластические потоки; 5 - пирокластические волны, связанные с пирокластическими потоками; 6 - отложения приземной пирокластической волны (base surge); 7 - тонкий пепел начальной фазы извержения (opening phase); 8 - прочие отложения почвенно-пирокластического чехла. Остальные обозначения, как на рис. 1

был проведен комплекс детальных геолого-геоморфологических и тифрохронологических исследований на вулкане с широким применением ^{14}C -датирования; описано более 300 разрезов голоценового почвенно-пирокластического чехла (ППЧ) на кольцевых профилях вокруг вулкана. Пирокластические образования (тефра, отложения пирокластических потоков и пирокластических волн) скоррелированы непосредственно в поле путем прямого прослеживания от разреза к разрезу, корреляция заверялась ^{14}C -датированием. Это позволило составить их сводный разрез и выделить в голоценовой эруптивной летописи продукты крупнейших извержений. Для каждого извержения определены комплекс отложений, состав и объем продуктов, проведена реконструкция пирокластических потоков. Тефра конкретных извержений прослежена на десятки и сотни километров для определения зон и осей пеплопада. Объемы тефры подсчитаны по методике работы [24], материала пирокластических

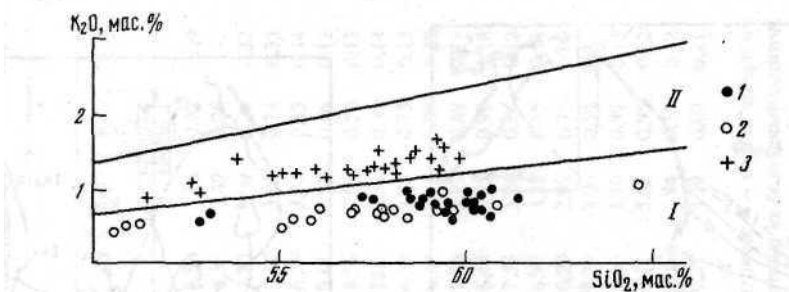


Рис. 3. Классификационная диаграмма для пирокластики крупнейших извержений этапа IAv вулкана Авачинский: 1 - бомбы, лапилли, 2 - вулканический песок. Для сравнения нанесены составы тефры вулкана Корякский (5). I, II - поля соответственно низко- и умеренно-калиевых пород [26]

потоков - на основе карт их реконструкции. Более 140 ^{14}C -дат позволили реконструировать хронологию голоценовой вулканической активности (рис. 1). Установлен возраст всех крупнейших извержений. Радиоуглеродные даты их тефры у вулкана и на значительных удалениях от него показали хорошую сходимость. Для каждого извержения определен ^{14}C - и калиброванный по методике работы [28] возраст.

В голоценовой истории вулкана предшествующими исследователями [8] выделены два этапа: KA_1 (7-3,5 тыс. л.н.) и KA_2 (после 3,5 тыс. л.н.). Авторами настоящей работы эти этапы обозначены IAv и ПАв: IAv - 7250...3700 ^{14}C -л.н. с андезитовым составом продуктов извержений; ПАв - 3500 ^{14}C -л.н. - настоящее время, когда был сформирован андезитбазальтовый Молодой конус. В настоящей работе рассмотрены только крупнейшие извержения андезитового этапа (IAв): шесть извержений с объемом продуктов 0,4...0,5 км³ и одно - $\geq 0,34$ км³ (табл. 1; рис. 1 и 2). Всего для этапа IAv установлено 27 извержений и им присвоены индексы IAv1—IАв27. В публикациях [1, 18, 20] у пяти извержений Авачинского вулкана уже были индексы АВ₁-АВ₅. В связи с новой сквозной индексацией для них далее указаны новые и старые индексы.

Все извержения этапа IAv были эксплозивными. Их продукты - светлые (белые, светло-серые, желтоватые) низкокалиевые пемзовидные андезиты и пемзы с 58-61% SiO_2 (рис. 3) в отличие от умеренно-калиевых вулканитов соседнего Корякского вулкана. Главные породообразующие минералы - плагиоклаз, пироксен, роговая обманка, магнетит. Низкое содержание K_2O и наличие роговой обманки отличают тефру Авачинского вулкана от тефры других вулканов Восточной и Южной Камчатки, что позволяет идентифицировать и коррелировать ее в пределах всего региона.

Извержение IAv1. В конце позднего плейстоцена - начале голоцена в деятельности Авачинского вулкана был период относительного покоя [8] длительностью, по данным авторов, >2000 лет. Вулканическая активность возобновилась ~7250 ^{14}C -л.н. умеренным по силе извержением IAv1. С ним было связано формирование небольшого пирокластического потока и пирокластических волн (pyroclastic surge). Отложения последних - вулканические пески с обломками плотных ювенильных голубоватых роговообманковых андезитов. Возраст углей из пирокластического потока 7270 ± 90 и 7240 ± 14 ^{14}C -лет. Слой маломощной тонкой сизой пирокластики этого извержения в нижней части ППЧ в пределах всего подножия вулкана фиксирует начало его голоценовой активизации.

Извержение IAv2 (~7150 ^{14}C -л.н.) было самым сильным в голоценовой истории вулкана. В публикациях [1, 2, 18, 20] сведения о нем не приводились. Его тефра представлена бомбами и лапилли белых, светло-серых, иногда внутри розоватых, а с поверхности желтых пемзовидных андезитов и пемзы. Есть лапилли и гравий более темных ювенильных андезитов и очень небольшая примесь резургентного материала

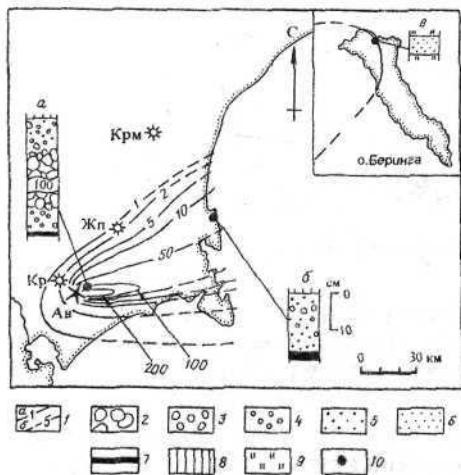


Рис. 4

Рис. 4. Распространение тefры извержения IAv2: 1 - изопачиты, см. (а - установленные, б - предполагаемые); 2-4 - грубая пемзовая тefра (2 - бомбы, 3 - лапилли, 4 - гравий); 5,6 - вулканические пески (5 - грубо-крупнозернистые, 6 - мелкозернистые); 7 - погребенные почвы; 8 - супеси; 9 - торф; 10 - местоположение разрезв. В разрыве колонки - пропущенная мощность, см. Вулканы: Ав - Авачинский, Кр - Корякский, Жп - Жупановский, Крм - Карымский

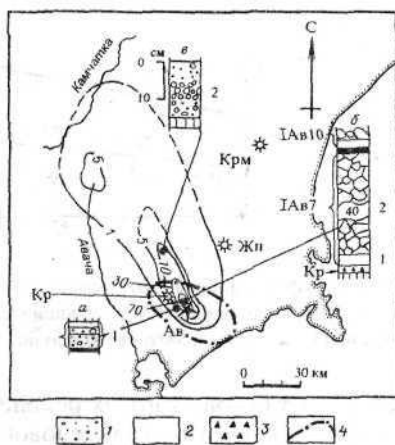


Рис. 5

Рис. 5. Распространение тefры и базисной пирокластической волны извержения IAv7: 1,2 - вулканические пески (/ - мелко-грубозернистые, 2 - тонкозернистые); 3 - гравий шлага; 4 - границы ареала базисной пирокластической волны по изопачите 1 см. Остальные обозначения, как на рис. 4

(обломки лав и измененных пород). Единичны разности пемзы, в которых намечается чередование белых и светло-серых полос. Местами в пачке тefры выражена (рис. 4, разрез а) градационная слоистость (symmetrically graded), что связано с меняющимся режимом эруптивной колонны. Такой характер сортировки сохраняется и в 80 км к СВ от вулкана (устье р. Жупанова; рис. 4, разрез б). Ось пеплопада была направлена на СВ в сторону Командорских островов. Именно с этим извержением можно связать пепел КД-6 (мощностью 5-7 см), который считался [4] пеплом вулкана Шивелуч, чему противоречит низкое содержание в нем K_2O (пирокластика Шивелуча умеренно-калиевая). Нейтронно-активационный анализ, выполненный Ф. Кайлом в Институте технологии и горного дела штата Нью-Мексико, показал в пепле низкое содержание Сг, что тоже резко отличает его от пеплов Шивелуча, обогащенных Сг [21].

По оси пеплопада в 9-10 км преобладают бомбы 4-6 см в диаметре при максимальном размере 20 см, в 21-26 км к СВ - это в основном лапилли с единичными бомбами до 7 см. На Командорских островах (в 500 км к СВ) - мелкозернистый вулканический песок и тонкий пепел. Значительная часть тefры выпала над акваторией океана. Площадь пеплопада по изопачите 5 см ориентировочно оценена в 40 тыс. км². Общий объем тefры $\geq 8 \dots 10$ км³. Ее состав андезитовый (химические анализы пирокластики всех крупнейших извержений см. в табл. 2): в пемзовых бомбах и лапилли вблизи вулкана 59-61% SiO_2 , в пепле Командорских островов 64-65% SiO_2 , из-за обогащения его вулканическим стеклом. Минералогический состав этой тefры и тefры последующих извержений представлен в табл. 1.

Извержение произошло ~ 7150 ¹⁴С-л.н. Его возраст подтвержден почти одинаковыми датами (все даты рассматриваемых извержений приведены в табл. 3) на Авачинском вулкане и Командорских о-вах. Расчетный ¹⁴С-возраст извержения 7151 ± 51 год, калиброванный - ВС 6110 (5977) 5875 лет (в скобках - наиболее вероятный возраст, за скобками - доверительный интервал (при двух 8), когда оно могло быть).

Таблица 2

Состав пирокластики крупнейших извержений этапа IАв Авачинского вулкана

Извержение	Номер образца	Продукт извержения	Удаление от вулкана, км	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅
IАв2	89160/3	1	5–9 (от кратера)	60,66	0,76	19,60	2,35	2,98	0,14	2,07	6,88	3,55	0,92	0,09
	КД-6	2	520 (о-в Беринга)	64,65	0,56	17,94	0,79	2,96	0,13	2,09	6,33	3,49	1,06	–
IАв7	91137/20	1	5–9 (от кратера)	60,77	0,57	17,61	3,19	3,51	0,12	2,93	7,20	3,09	0,78	0,22
	86013/6	2	130 (пос. Шаромы)	59,67	0,99	18,49	0,99	6,26	0,22	2,29	6,17	3,93	0,74	0,35
IАв10	89163/16	1	5–9 (от кратера)	58,78	0,73	20,79	2,88	3,62	0,15	2,44	6,28	3,34	0,85	0,14
	89168/3	2	24 (р. Налачева)	55,87	0,71	20,44	2,56	3,55	0,15	3,36	9,41	3,27	0,56	0,12
	8403/16	2	110 (р-н вулкана Малый Семячик)	50,88	1,04	20,11	5,07	6,24	0,18	4,24	8,56	3,05	0,50	0,13
IАв12	89163/17	1	5–9 (от кратера)	60,23	0,84	18,10	3,03	3,93	0,17	3,29	7,05	2,51	0,72	0,14
	8403/17	2	110 (р-н вулкана Малый Семячик)	57,75	0,88	19,12	4,57	3,84	0,13	3,40	6,58	2,88	0,73	0,13
	80011/12	2	245 (р. Сторож)	59,39	0,70	21,65	2,83	3,81	0,16	3,33	4,37	2,55	0,98	0,22
	18/89	3	–	61,42	0,72	16,67	2,61	4,10	0,11	2,81	7,26	3,27	0,89	0,14
IАв16	8905/3	1	5–9 (от кратера)	60,71	0,74	18,61	3,34	3,57	0,12	1,88	6,44	3,42	0,99	0,18
	16/89	3	–	60,31	0,76	16,76	3,05	4,52	0,16	2,69	7,53	3,26	0,83	0,12
	1089/87	4	–	53,29	0,93	19,00	3,64	4,86	0,16	5,11	8,93	3,28	0,65	0,14
	90314/19	5	–	59,23	0,87	19,50	4,23	3,45	0,18	2,51	6,29	2,99	0,71	0,06
IАв20	89161/8а	1	5–9 (от кратера)	59,68	0,67	18,96	3,00	3,83	0,18	2,59	7,29	3,06	0,59	0,14
	89166/6а	2	20 (Седловинские озера)	55,39	0,83	19,64	3,67	4,31	0,19	3,50	8,65	3,10	0,59	0,13
IАв24	8910/9	1	5–9 (от кратера)	60,08	0,76	18,47	3,51	3,45	0,18	2,05	6,91	3,52	0,95	0,12
	91149/6	1 (шлак)	5–9 (от кратера)	52,82	0,96	18,26	3,81	5,18	0,16	5,28	10,02	2,84	0,55	0,12
	86684/4	2	29 (р. Пиначевская)	58,83	0,60	17,98	0,73	4,76	0,16	3,14	9,21	3,59	0,80	0,21

Примечание. Продукты извержения: 1 – бомбы и лапилли (белая пемза); 2 – тефра; 3 – бомбы и пемзы из пирокластических потоков; 4 – бомба шлака из пирокластического потока; 5 – песок пирокластической волны. Анализы выполнены в ЦХЛ Института вулканологии ДВО РАН и пересчитаны на безводный остаток. Аналитики: Н.А. Соловьева, Л.А. Карташева, Г.П. Новоселцкая, Т.Г. Осетрова, Г.Ф. Ленц и А.М. Округина.

Радиоуглеродные даты пирокластики крупнейших извержений андезитового этапа
IАв Авачинского вулкана

Индекс извержения	Дата	Номер образца	Место взятия	Объект датирования
IАв2	7110±90	ИВАН-161	О-в Беринга	Торф под тефрой
	7170±60	ГИН-8108	Авачинская группа вулканов	Уголь из ПП Корякского вулкана сразу под тефрой
IАв7	5700±150	ИВАН-596	Вулкан Дзендзур	Почва под тефрой
	5700±250	ИВАН-703	Пос. Шаромы	Торф под тефрой
	5750±110	ИВАН-631	Авачинская группа вулканов	Почва под тефрой
IАв10(АВ ₅)	5580±40	ГИН-4430	Кальдера Узон	Торф над тефрой
IАв12(АВ ₄)	5500±200	ГИН-6335	Вулкан Авачинский	Почва над тефрой
	5510±80	ИВАН-305	Вулкан Крашенинникова	Торф над тефрой
	5530±110	ГИН-5266	Кальдера Узон	Почва над тефрой
	5540±50	ИВАН-868	Вулкан Авачинский	Торф над тефрой
	5440±40	ГИН-4428	Кальдера Узон	Торф под тефрой
	5480±80	ГИН-6914	Вулкан Авачинский	Почва под тефрой
IАв16	5520±120	ГИН-6904	То же	То же
	4950±50	ГИН-7135	"	Угли из почвы, вмещающей тефру
	4990±70	ИВАН-563	"	Угли из ПП
	5000±50	ГИН-6373	"	То же
	5010±40	ГИН-713 ²	"	Древесина из ПП
	5030±40	ГИН-6374	"	Угли из ПП

Таблица 3 (окончание)

Индекс извержения	Дата	Номер образца	Место взятия	Объект датирования
	5000±100	ГИН-1055	"	Угли из почвы, вмещающей тефру
	5070±50	ГИН-7136	"	Почва под ПП
	5120±30*	ГИН-7131	"	Угли из ПП
	5140±40*	ГИН-6374	"	То же
	5420±150*	ГИН-6041	"	"
	5480±70*	ГИН-122	"	"
	5555±45*	ГИН-119	"	"
IAв20(AB ₃)	4460±40	ИВАН-1026	"	Почва над тефрой
	4430±120	ГИН-6333	"	Почва под тефрой
	4500±70	ИВАН-605	"	Почва под отложениями пирокластической волны
	4530±90	ИВАН-842	"	Почва под тефрой
	4560±110	ИВАН-856	"	То же
IAв24(AB ₂)	4020±70	ГИН-6058	р. Пиначевская	Торф над тефрой
	4030±80	ИВАН-1030	Вулкан Авачинский	Древесина в тефре
	4000±120	ГИН-6332	Вулкан Корякский	Почва под тефрой

Примечание. В таблицу внесены значения наиболее древних вытяжек из почв и торфа над тефрой и наиболее молодых вытяжек из почв и торфа под ней; ПП – пирокластический поток.

* Задревненные датировки, не использованные для подсчета.

Извержение IАв7 (~5700 ¹⁴С-л.н.) было первым в серии крупных извержений почти после 900-летнего периода покоя (рис. 1). Оно началось с формирования базального слоя пирокластики. Вблизи вулкана отложения мощностью 10-15 см хорошо стратифицированы (рис. 5, разрез а, слой 1): чередуются тонкие и грубые пеплы. Последние содержат как ювенильные андезиты, так и обильные мелкие обломки резургентных эффузивов и измененных пород. Характерна яркая голубая, зелено-голубая, желтая окраска. На большей части подножия отлагались голубоватые мелко- и тонкозернистые пески мощностью 1-6 см. Такие структурные и текстурные особенности, как и характер распространения (рис. 5), типичны для отложений базисной пирокластической волны (base surge) [25] фреатомагматических извержений.

Затем последовал выброс ювенильной тефры. Ось пеплопада была направлена на СЗ (см. рис. 5). В долине р. Камчатка (пос. Шаромы, 130 км от вулкана) мощность пепла 1 см. Площадь пеплопада по изопахите 1 см ~7000 км². Тефра вблизи вулкана, в верховьях р. Седловинка (рис. 5, разрез б, слой 2) - бомбы и лапилли пемзы и пемзовидных андезитов, сахарно-белых, иногда розоватых, с поверхности обычно желтых. Преобладают бомбы, имеющие 4-5 см в поперечнике, много бомб размером 8-10 см, максимальный их размер до 20 см. Бомбы угловатые с резкими гранями и очень плотно уложены. Примесь резургентного материала невелика - это мелкие и крупные (до 8 см) обломки эффузивов и измененных пород. На удалении от вулкана в тефре отмечается градационная слоистость (рис. 5, разрез в, слой 2). Грубая тефра (>1 см) отложилась полосой шириной 15 км и протяженностью 50 км. На большем удалении выпадал тонкий пепел. Имело место вторичное завышение мощности тефры в районе вулкана Бакенинг (рис. 5), где она представлена тонким пеплом с включением вулканического песка. Тефра андезитовая с 59-61% SiO₂ (рис. 2), ее минеральный состав отличается пониженным содержанием роговой обманки.

Возраст извержения определяется тремя датами почвы и торфа, подстилающих тефру на периферии Авачинского вулкана и в пос. Шаромы. Расчетный ¹⁴С-возраст извержения 5729±84 лет, календарный - ВС 4783 (4545) 4363 лет.

Объем продуктов извержения IАв7 принят >=0,34 км³, однако можно рассматривать его в ряду крупнейших извержений, поскольку тефра является прекрасным маркирующим горизонтом для обширного района верхнего течения рек Авача и Камчатка.

Извержение IАв10 (АВ₃) (~5600 ¹⁴С-Л.Н.) началось с выброса серовато-розового тонкого пепла (рис. 6, слой 1), который залегает в основании пачки пирокластики и имеет мощность 1-4 см. Вынос тонкого пепла на начальной стадии плинианских извержений неоднократно отмечен многими исследователями [15, 27 и др.]. Вслед за ними можно полагать, что маломощный базальный слой пепла извержения IАв10, вероятно, регистрирует первую, скоротечную фреатомагматическую фазу (phreatomagmatic opening phase). Этот пепел скорее всего выпадал из эруптивной колонны, сформированной фреатомагматическими эксплозиями, вскрывавшими жерловую пробку.

Потом произошел вынос более грубого материала. Ось пеплопада была направлена на ССВ (рис. 6). Вблизи вулкана (гора Стол, расстояние 7 км) тефра представлена лапилли и бомбами белых пемзовидных андезитов (рис. 6, разрез а, слой 2) размером 3-5 см в поперечнике (максимально до 15 см). В 9-10 км (верховье руч. Ветвистый) в тефре отмечается (рис. 6, разрез б, слой 2) нормальная градационная слоистость (normally graded). С широты вулкана Жупановский (40 км от источника) выпадал грубый пепел - желтый вулканический песок. Пепел прослежен до Кроноцкого озера (180 км от вулкана), где его мощность 1 см. В районе вулканов Карымский и Малый Семячик (100-110 км от источника) - это средне- и крупнозернистый песок, в кальдере Узон и на оз. Кроноцкое - мелкозернистый. Площадь пеплопада по изопахите 1 см равна 9200 км². Объем тефры >=0,4 км³.

Бомбы и лапилли вблизи вулкана андезитовые с ~59% SiO₂. Грубый пепел на удале-

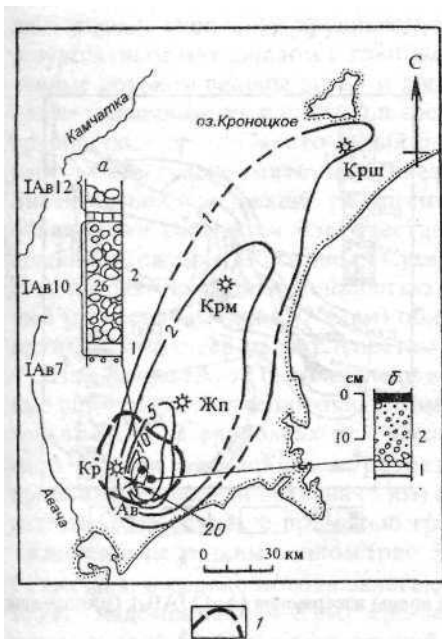


Рис. 6. Распространение тefры извержения IAB10 (AB₃): / - границы распространения тонкого пепла начальной фазы извержения. Крш - вулкан Крашенинникова. Остальные обозначения, как на рис. 4 и 5

нии от вулкана основное (~56% SiO₂), что объясняется относительным обогащением его минералами и обеднением вулканическим стеклом. Вблизи вулканов Карымский и Малый Семячик содержание SiO₂ уменьшается до 51-53% из-за максимального выпадения здесь минеральной составляющей. Вариации состава пепла по простиранию, связанные с золовой гравитационной дифференциацией, отвечают закономерности, полученной для изученных пеплов Камчатки [5]. Для минерального состава тefры, как и для извержения IAB7, характерно пониженное по сравнению с продуктами других извержений содержание роговой обманки. Присутствуют редкие мелкие зерна оливина.

Возраст извержения оценен на основании ¹⁴C-датировки почвы 5580 ± 40 над его тefрой и возраста более раннего извержения IAB7 - 5729 ± 24 лет. Расчетный его ¹⁴C-возраст - 5610 ± 38 лет, календарный - BC 4520 (4457) 4354 лет. Эти данные уточняют возраст извержения в работе [2].

Извержение IAB12 (AB₄) (5500 ¹⁴C-л.н.) - последнее и самое сильное из трех сближенных во времени крупных извержений середины голоцена. Его продукты представлены тefрой, отложениями пирокластических потоков и пирокластических волн (рис. 7 и 8).

Извержение началось как фреатомагматическое с формированием базисной пирокластической волны, чьи отложения залегают непосредственно на погребенной почве. Вблизи вулкана (верховья р. Сухая Елизовская и оврага Широкий) они имеют мощность 10-20 см и хорошо стратифицированы: плохо сортированные зеленоватые и серовато-желтые вулканические пески с примесью гравия измененных пород, эффузивов и пемзы чередуются с розовато-серыми тонкими пеплами, иногда внутри тонкослоистыми (рис. 7, разрез а). В 9-10 км от вулкана отложения базисной пирокластической волны представлены зеленовато-серыми тонкозернистыми песками мощностью 1-5 см в основании пачки тefры (рис. 7, разрезы б и в, слой 1). Местами они имеют линзовидную или косую слоистость, подчеркнутую как незначительными изменениями крупности, так и контрастной окраской тонких слоев: различные оттенки светло-серого, голубого, желтого, розового, кремового цветов.

Плинианская деятельность ознаменовалась мощным выносом тefры. Ось пепло-

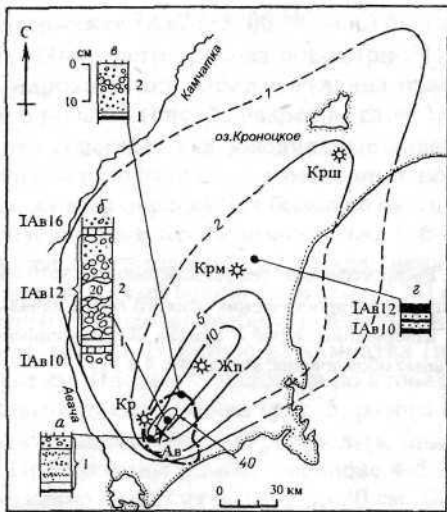


Рис. 7

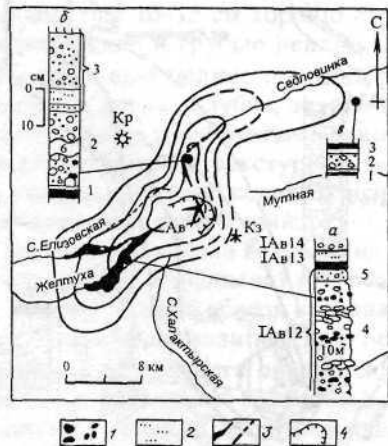


Рис. 8

Рис. 7. Распространение тефры и базовой пирокластической волны извержения IAV12 (AV₄). Обозначения, как на рис. 4–6

Рис. 8. Распространение пирокластических потоков и изопахиты отложений пирокластических волн извержения IAV12 (AV₃): 1 - бомбы и лапилли резургентных пород; 2 - тонко-мелкозернистый вулканический песок; 3 - пирокластические потоки (а - реконструированные, б - предполагаемые); 4 - гребень соммы. Пирокластические потоки на разрезе показаны вне масштаба, мощность их отложений - в м. Остальные обозначения, как на рис. 4 и 5

пада была ориентирована на СВ (рис. 7). Тефра вблизи вулкана - лапилли и бомбы белой и светло-серой (с поверхности желтой) пемзы и пемзовидных андезитов (рис. 7, разрез б, слой 2) с максимальным размером до 10-12 см в поперечнике. Резургентный материал может составлять до 10%. Отличительная особенность тефры - ее плохая сортированность: в слое лапилли, бомб и гравия есть существенная примесь зелено-вато-серого, часто грязно-желтого и охристого грубого и тонкого пепла, что связано с существенной фреатической составляющей и на этой стадии извержения. На расстоянии 25 км от вулкана (долина р. Налычева) в тефре отмечена четкая симметричная градационная слоистость (рис. 7, разрез в, слой 2).

Далее 40 км от вулкана выпадал только грубый пепел, повсеместно представленный желтым вулканическим песком. Два желтых вулканических песка извержений IAV10 и IAV12, разделенные маломощной почвой, служат хорошими маркерами в пределах всей Восточной вулканической зоны (рис. 7, разрез г). На расстоянии 200 км (район оз. Кроноцкое) грубый пепел начинает сменяться тонким, а на р. Сторож (245 км от вулкана) это уже желтый тонкий пепел. Пепел этого извержения мощностью 0,5 см обнаружен в торфянике яра Черный в низовьях р. Камчатка в 400 км от вулкана.

По изопахите 1 см площадь пеплопада 27 600 км². Объем тефры 1,14 км³. Высота эруптивной колонны, определенная К.М. Бурсиком [16], 24 км.

Затем произошло формирование пирокластических потоков, которые прошли по долинам р. Желтуха и оврага Широкий на расстоянии 15-16 км от вулкана (рис. 8). Видимая мощность отложений потока в долине р. Желтуха изменяется от 20 м в верховьях до 5-6 м - в 15 км; подошва их ниже уреза реки (рис. 8, разрез а, слой 4). Отложения потока содержат обломки светло-серого пемзовидного андезита и пемзы, в значительных количествах присутствует резургентный материал - эффузивы и измененные породы. Обломочный материал распределен неравномерно: отмечаются

линзовидные скопления крупных (до 20 см) пемзовых бомб и участки, обогащенные резургентным материалом с глыбами до 1 м; иногда в таких скоплениях есть захваченные потоком валуны до 1,5 м в диаметре. Количество резургентного материала в целом увеличивается в нижней и средней частях потока, где отложения уплотнены и приобретают грязно-желто-серый цвет; в верхней части преобладает менее уплотненный ювенильный материал светло-серого (с розоватым оттенком) цвета. Значительное содержание резургентного материала, придающее потоку "грязный" облик, тоже указывает на существенную роль фреатических процессов и на этой стадии извержения. В долине р. Сухая Елизовская в дистальной части пирокластического потока отложения мощностью 20-40 см содержат преимущественно резургентный материал - мелкие (2-5 см) обломки эффузивов и измененных пород в грязно-сером, розовато-сером и желтоватом заполнителе.

Извержение IАВ12 было первым в голоцене, когда возникали мощные и протяженные пирокластические потоки. С ними связано формирование отложений пирокластических волн. В верховьях рек Сухая Елизовская и Седловинка (рис. 8, разрез б, слой 3) они замещают в разрезе отложения пирокластического потока и представлены вблизи вулкана (5 км) стратифицированными светло-серыми песками, в отдельных прослоях с примесью гравия и мелких лапилли пемзы, а на удалении - маломощным тонким пеплом (рис. 8, разрез в, слой 3). В долине р. Желтуха, в 15 км от вулкана, в кровле потока залегают отложения волны пеплового облака (ash cloud surge) - маломощный (4-8 см) серо-желтый песчаный и алевритовый материал (рис. 8, разрез а, слой 5). Объем отложений пирокластических потоков и пирокластических волн ~0,2 км³.

Бомбы и лапилли вблизи вулкана и пемза пирокластических потоков - низкокальциевые андезиты с 60-61,5% SiO₂. Грубый пепел в районе вулканов Карымский и Малый Семячик основнее (56-58% SiO₂), а тонкий пепел в 245 км (р. Сторож), обогащенный вулканическим стеклом, снова по составу (59% SiO₂) приближается к пемзовым бомбам. Среди породообразующих минералов в отличие от извержений IАВ7 и IАВ10 МНОГО роговой обманки.

Возраст извержения определялся ¹⁴C-датированием торфа и погребенных почв, подстилающих и перекрывающих тефру. Характерны не только хорошая сходимость дат над и под слоем тефры, но и их совпадение в разрезах на Авачинском вулкане и в районе кальдеры Узон. Расчетный ¹⁴C-возраст извержения 5489 ± 27 лет, календарный - ВС 4360 (4342) 4262 лет.

Извержение IАВ16 (~5000 ¹⁴C-л.н.) началось с выброса тонкого пепла мощностью 1-4 см светло-желтого (иногда с сероватым оттенком) цвета и местами стратифицированного (рис. 9, разрез а, слой 1). По-видимому, его природа также связана с фреатомагматическими процессами на начальной стадии извержения. Затем отлагалась грубая тефра. Ось пеплопада была направлена на ВЮВ в сторону устья р. Налачева. По оси пеплопада тефра представлена лапилли и бомбами (часто со значительной примесью гравия) белой и светло-серой (внутри иногда розовой, а с поверхности желтой) плотной пемзы и пемзовидных андезитов. Максимальный размер бомб в 10 км от вулкана 10-15 см. Местами отмечается (рис. 9, разрез а, слой 2) обратная градационная слоистость (reversely graded). По обе стороны от оси пеплопада тефра плохо сортирована смесь (из бомб, лапилли, охристо-желтого грубого и тонкого пепла). Не исключено, что в ходе извержения имела существенное значение фреатическая составляющая. Объем тефры 5>= 0,2 км³.

Сформировавшиеся позднее пирокластические потоки прошли по всем крупным долинам рек на склонах вулкана. На северном подножии (верховья рек Седловинка, Малая Седловинка, Мутная) отложения потоков почти полностью уничтожены эрозией, однако их фрагменты прослежены авторами на расстоянии 5-7 км от кратера. В пределах южного подножия пирокластические потоки заполняли долины рек Желтуха, Сухая Елизовская и Сухая Халактырская, на расстоянии до 16-17 км от вулкана (рис. 10). Мощность отложений изменяется от 20-30 м в верховьях рек до

хой сортированностью тефры указывает на существенную роль фреатических процессов в течение всего извержения.

Пирокластические потоки подстилаются отложениями приземной пирокластической волны (ground surge) мощностью 10-35 см. В долине р. Желтуха, в овраге Широкий и в верховьях р. Сухая Елизовская (рис. 10, разрезы *б* и *в*, слой 3) они слоисты: чередуются пески разной крупности (от тонко- до крупнозернистых) и цвета (светло-серых, голубовато-серых, желтых, розовых, кремовых). К верхней части пачки тяготеют песчаные прослои, обогащенные гравием с лапилли пемзы и щебнем серых эффузивов. Внутри некоторых прослоев видна параллельная, линзовидная и косая слоистость. Часто встречаются мелкие угли.

Отложения волны пеплового облака залегают как на поверхности потоков, так и на прилегающих участках. Это слоистые светло-серые, розовато-серые, иногда зеленоватые пески разной крупности. В отдельных прослоях есть гравий и единичные мелкие лапилли пемзы (рис. 10, разрез *г*, слой 5). Мощность отложений 20-30 см (максимум 2 м). В верховьях рек Сухая Елизовская и Седловинка в разрезе выделяются две пачки этих отложений разных порций пирокластических потоков. Они разделены слоем тонкого розоватого пепла мощностью 1-2 см, который выпал из пеплового облака на заключительной стадии формирования первой порции пирокластического потока. Отложения волны пеплового облака часто содержат мелкие угли. На удалении от пирокластических потоков они представлены обычно маломощным (1-4 см) тонким материалом (цвет от розоватого до зелено-желтого и желтого) с рассеянным вулканическим песком. На водоразделе рек Мутная и Мутнушка эти отложения залегают на грубой тефре в краевой части зоны пеплопада (рис. 9, разрез *б*, слой 5). Суммарный объем отложений пирокластических потоков и пирокластических волн $0,3 \text{ км}^3$.

Продукты извержения отвечают в целом андезитам: в бомбах и лапилли из тефры и пирокластических потоков и в отложениях приземной пирокластической волны $58-61\% \text{ SiO}_2$. Однако в ювенильных шлаках пирокластических потоков $-53\% \text{ SiO}_2$. Существование ювенильных продуктов разного состава и наличие полосчатых пемз можно рассматривать как свидетельство смешения расплавов в магматическом очаге.

Возраст определяли главным образом по углам из пирокластических потоков. Даты по ним отличаются большим разбросом, что можно объяснять как разным индивидуальным возрастом обугленной древесины, так и задревнением там датировок углей [20, 29]. Самые молодые даты для углей из пирокластических потоков хорошо согласуются с датами для подстигающей их погребенной почвы и с датами углей из почвы, вмещающей тефру. Они и были взяты для оценки возраста: расчетный ^{14}C -возраст извержения 5011 ± 20 лет, календарный - BC 3910 (3788) 3722 лет.

Извержение IAв20 (AB), (~4500 ^{14}C -л.н.) было фреатоматгматическим. Оно началось с базисных пирокластических волн, отложения которых распространены повсеместно в пределах подножия вулкана и залегают прямо на погребенной почве (рис. 11, разрезы *а* и *б*, слой 1а), имея хорошо выраженную слоистость: чередуются тонкие и грубые пеплы мощностью 1-7 см. Последние местами с гравием и мелкими лапилли плотных голубовато-серых андезитов, реже - пемз. Иногда в самых грубых прослоях есть примесь тонкого пепла. В некоторых разрезах видна дробная параллельная слоистость внутри прослоев. Цвет отложений светло-серый, яркий голубовато-серый, в основании нередко бывает прослой (0,5—1 см) ярко-желтого тонкого или грубого пепла. Мощность отложений базисной пирокластической волны в среднем 10 см в 10 км от вулкана и 1 см - в 20-28 км. В пределах восточного подножия отложений базисной пирокластической волны перекрыты пачкой пирокластики с отчетливой стратификацией: чередуются до четырех горизонтов грубой тефры и тонкие отложения базисной пирокластической волны (рис. 11, разрез *б*). Нижний (мощность 10-15 см в 10 км от вулкана) горизонт - это лапилли размером 1-3 см (но есть и отдельные бомбы до 5-6 см) белых пемзовидных андезитов. Два средних горизонта (*2б* и *2в*) мощностью 50-80 см - гравий и грубозернистый песок с лапилли (редко бомбами) светло-серых и белых пористых пемзовидных андезитов и голубовато-серых, плотных, часто угло-

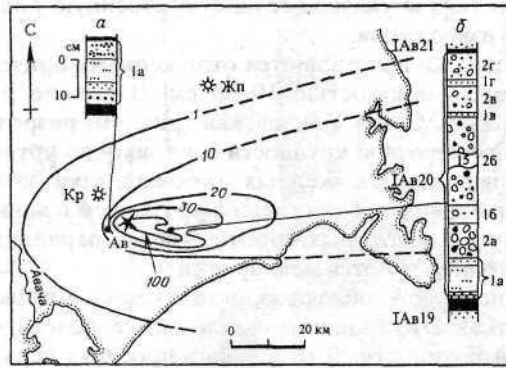


Рис. 11. Распространение тефры извержения IAv20 (AB₃). Обозначения, как на рис. 4 и 8

ватых андезитов. Велика примесь резургентного материала - эффузивов в желтой "рубашке" и измененных пород, что придает отложениям пестрый, часто грязно-желтый цвет. Каждый из средних горизонтов может быть грубо стратифицированным. Верхний горизонт (2 г, мощность 10-15 см) - те же отложения, но в зелено-желтом тонком пепле. Типичны плохая сортировка тефры большинства горизонтов (от тонкого пепла или песка до бомб) и высокое содержание резургентного материала. Отложения базисной пирокластической волны мощностью 1-4 см, разделяющие горизонты тефры (рис. 11, разрез б, слои 1б-1 г), - желтовато-зеленовато-серые, голубовато- и зеленовато-серые (часто с землистым оттенком) плохо сортированные тонко- и мелкозернистые уплотненные пески с грубым песком и единичным гравием.

Тефра выпадала в восточном направлении, оси пеплопадов отдельных выбросов были близки. Это свидетельствует о кратковременности извержения. Общий объем тефры был 1,1 км³. Можно полагать, что пепел с датой под ним 4790 ± 210 л.н. именно этого извержения (мелко- и тонкозернистый серый песок мощностью 0,5 см) залегает в торфянике на Командорских островах между пеплами КД-5 и КД-6 [4]. Возможно, с тем же извержением связан близкий по возрасту маломощный (0,5 см) тонкий пепел с роговой обманкой в торфянике кальдеры Узон.

Бомбы и лапилли андезитовые с 58-60% SiO₂. Грубый пепел на удалении 25 км от вулкана-более основной (SiO₂).

Расчетный ¹⁴C-возраст извержения 4482 + 31 лет, календарный-BC 3339 (3261, 3244, 3101) 3034 лет. Этот возраст точнее, чем в работе [2].

Извержение IAv24 (AB₂) (~4000 ¹⁴C-л.н.) завершает ряд крупнейших извержений андезитового этапа. Оно началось с выброса тонкого пепла серого цвета с розовым, голубым или зеленым оттенком мощностью 1-5 см, залегающего в основании пачки его пирокластики в долине р. Желтуха и в единичных разрезах южного подножия Корякского вулкана (рис. 12, разрезы б и в, слой 1а), а на остальной территории обычно не фиксирующегося. По аналогии с работами [15, 27] можно полагать, что этот пепел, вероятно, свидетельствует о фреатомагматической первой фазе извержения. Его перекрывают два горизонта грубой тефры (рис. 12, разрезы а и б, слои 2а и 2б), разделенные отложениями пирокластической волны (слой 1б). В тефре ювенильный материал представлен тремя разновидностями: 1) белой, розовой или серой пемзой и пемзовидными андезитами; 2) темно-серыми пористыми и плотными шлаками андезитобазальтового состава; 3) разнообразными полосчатыми разностями с преобладанием светлых или темно-серых полос, линз, пятен. Резургентный материал - эффузивы и измененные породы, часто охристого и кирпично-красного цветов. Характерная особенность тефры - присутствие многочисленных ксенолитов ультраосновного состава, которые давно привлекали внимание многих исследователей [6, 7 и др.]. Однако чаще всего ксенолиты находили на поверхности плато, в руслах водото-

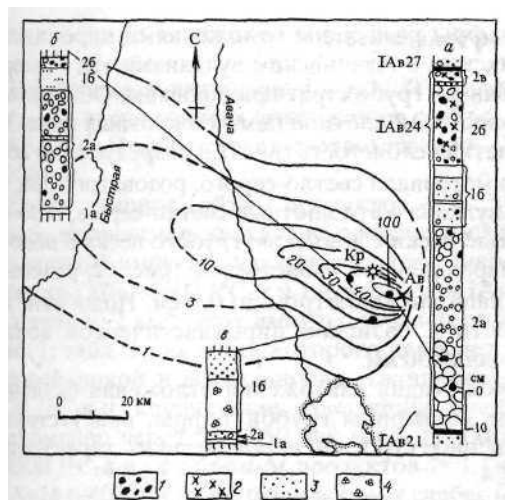


Рис. 12. Распространение тефры извержения IAv24 (AB₂): 1 - бомбы и лапилли ювенильных шлаков; 2 - ксенолиты ультраосновного состава; 3 - мелкосреднезернистый вулканический песок; 4 - аккреционные лапилли. Остальные обозначения, как на рис. 4, 5 и 8

ков или в осыпях, а их стратиграфическое положение оставалось неясным. Тефрохронологические исследования позволили однозначно установить их приуроченность к тефре извержения IAv15 (~5200 ¹⁴C), отложениям пирокластического потока извержения IAv16 (~5000 ¹⁴C), тефре извержений IAv24 (~4000 ¹⁴C) и IAv26 (~3800 ¹⁴C), а также тефре извержений Молодого конуса (~3200 и 800 ¹⁴C-л.н.). Особенно обогащена ксенолитами тефра извержения IAv24: они присутствуют в ней повсеместно, достигают вблизи вулкана 40-50 см в поперечнике и служат одним из ярких отличительных признаков пирокластики этого извержения. Ксенолиты представлены чаще гарцбургитами, подчиненное положение занимают клинопироксениты, редко встречается амфиболовое габбро [7].

Оба горизонта грубой тефры стратифицированы (рис. 12, разрез *a*). Горизонт 2а в 5 км от вулкана имеет мощность 80 см и обычно характеризуется прямой градационной слоистостью. Иногда в его основании преобладают плотно уложенные бомбы и лапилли белой, внутри розовой пемзы до 20-40 см в поперечнике, средняя часть - мелкообломочная с лапилли серой, иногда тонко полосчатой пемзы, верхняя содержит лапилли и бомбы до 7 см в поперечнике белой и серой пемзы, полосчатой пемзы и плотных пемзовидных андезитов. В нижней части горизонта темно-серые андезитобазальтовые шлаки и ксенолиты ультраосновных пород присутствуют главным образом в виде единичных лапилли, редко - бомб до 7 см в диаметре. Резургентный материал приурочен преимущественно к его подошве.

Горизонт 2б насыщен обломками шлаков и ультраосновными включениями. Для него характерна обратная градационная слоистость. Вверху - это лапилли и бомбы белой пемзы (до 20-40 см в поперечнике), темные шлаки и полосчатые разности (до 15 см), многочисленные ультраосновные включения размером до 20-40 см. К основанию слоя крупность материала уменьшается и в его подошве это уже вулканический песок и гравий пемзы и шлака. Как правило, пемза и шлак содержатся в равных количествах, однако в отдельных случаях каждая из разностей может преобладать, составляя до 70% от общего объема материала. В 5 км от вулкана мощность горизонта достигает 70 см. В единичных разрезах на нем залегает самостоятельный (до 5 см) слой гравия и лапилли шлака с небольшим содержанием пемзы, ксенолитов ультраосновных пород и обломков резургентных эффузивов. Этот слой отделен от верхнего горизонта тефры маломощным (1 см) грубым пеплом (рис. 12, разрез *a*, слой 2в).

Ось пеплопада была направлена на ЗСЗ. Тефра с лапилли размером 1 см прослежена на расстояние 50 км. Пепел мощностью 4 см отмечен в разрезах в долине р. Быстрая в 90 км от вулкана. По изопаките 1 см площадь пеплопада ~9000 км², объем тефры ≥ 0,6 км³.

Вблизи вулкана горизонты грубой тефры разделены отложениями пирокластической волны. На перевале между Корякским и Авачинским вулканами эти отложения мощностью 15-40 см плохо сортированы и грубо стратифицированы. Обычно это гравий и лапилли белой и серой тонкополосчатой плотной пемзы и плотных шлаков с примесью грубого пепла. Иногда видна четкая слоистость (рис. 12, разрез *a*, слой 16) — чередование прослоев грубого и тонкого материала светло-серого, розоватого или зеленовато-серого цветов. На удалении от вулкана — это плотные светло-серые, сизо-серые, зеленоватые мелко- и тонкозернистые пески с примесью грубого песка в подошве или кровле слоя, местами с тонкой параллельной слоистостью (рис. 12, разрез *b*, слой 16). Присутствуют аккреционные лапилли диаметром до 0,5 см. Подобный характер отложений позволяет их отнести к базисной пирокластической волне. Мощность этих отложений 2 см на расстоянии 30 км.

В отличие от тонкого пепла начальной стадии извержения отложения базисной пирокластической волны, разделяющие горизонты грубой тефры, присутствуют фактически повсеместно, поэтому трехчленное строение пирокластики — характерная особенность отложений извержения IАв24.

Бомбы и лапилли белой плазмы андезитовые (59-60% SiO₂), а шлаков — андезитобазальтовые (53% SiO₂). Грубый пепел вдали от вулкана — андезитовый (59% SiO₂). Минеральный состав пирокластики см. в табл. 1.

Расчетный ¹⁴C-возраст извержения 4020 ± 49 лет, календарный — ВС 2850 (2558, 2530, 2497) 2409 лет.

Извержение IАв24 — последнее крупнейшее извержение андезитового этапа IАв, но на нем вулканическая активность здесь не прекратилась. До начала формирования андезитобазальтового Молодого Конуса выявлено и датировано еще восемь слабых и умеренных по силе эксплозивных извержений: IАв25 — I-II(?)Ав32. Последнее умеренное извержение IАв27 (~3700 ¹⁴C-л.н.), вероятно, можно считать завершающим андезитовый этап.

Крупнейшие извержения Авачинского вулкана и Гренландский ледниковый щит. Объем продуктов трех из семи извержений ->= 0,4..0,6 км³, двух ->= 1,1..1,3 км³ и одного ->= 8... 10 км³. Объем пирокластики последнего значительно превосходил объем материала всех исторических извержений вулканов Камчатки, приближаясь к объему пирокластики кальдерообразующих [11, 19] и субкальдерных [9] голоценовых извержений полуострова. Объем продуктов остальных извержений сопоставим с объемами пирокластики извержений вулканов Ксудач 1907 г, Безымянный 1955—1956 гг., Шивелуч 1964 г. — соответственно 1,5-2; 1,8 и 0,6-0,8 км³ [14, 17]. Высоты эруптивных колонн, реконструированные для двух извержений (24 и 17 км), сходны с высотами колонн извержений вулканов Ксудач 1907 г. (до 22 км) и 236 г. н.э. (23 км) [22], Катмаи 1912г. (17-26 км) [23].

В Гренландском ледниковом щите извержения вулканов Ксудач 1907 г., Безымянный 1955-1956 гг., Шивелуч 1964 г. дали умеренные кислотные пики [22, 31]. Исходя из высот эруптивных колонн и объемов продуктов, предполагается, что извержения Авачинского вулкана тоже могли оставить след в летописи кислотных пиков. Наименьшую вероятность зафиксироваться в ледниковом щите имели извержения IАв7 и IАв10 с объемом тефры >= 0,34.. 0,42 км³. Более реально представить, что там нашли отражение извержения IАв12 и IАв20 с объемами тефры > 1 км³. Вряд ли стоило бы искать там следы извержения IАв16 (объем тефры 0,2 км³). Однако присутствие андезитобазальтов в пирокластике последнего и извержения IАв24 повышает их шансы в этом плане, поскольку андезитобазальтовая магма Авачинского вулкана [16] могла поставлять в атмосферу значительное количество серы. Извержение IАв2 с объемом тефры 8... 10 км³, несомненно, оказало существенное влияние на состояние атмосферы, и ему должен соответствовать свой кислотный пик в разрезе Гренландского ледникового щита. С учетом всех оговорок авторы сочли возможным привести в табл. 1 возраст предполагаемых кислотных пиков из работы [31], которые могут ассоциироваться с извержениями Авачинского вулкана.

Обсуждение результатов

В голоцене, в интервале 7250-3700 ¹⁴С-л.н., на Авачинском вулкане было шесть крупных эксплозивных извержений с объемом продуктов $\geq 0,4...0,5 \text{ км}^3$ и одно-
 $\approx 0,34 \text{ км}^3$. Их ¹⁴С-возраст соответственно ~ 7150 , ~ 5700 , ~ 5600 , ~ 5500 , ~ 5000 , ~ 4500 , ~ 4000 л.н.

Самое мощное (объем продуктов $\geq 8...10 \text{ км}^3$) извержение IАв2 приурочено к началу активизации вулкана в голоцене после более чем 2000-летнего периода покоя. Следующий импульс вулканической активности представлен серией сближенных во времени (5700-5500 ¹⁴С-л.н.) извержений IАв7, IАв10, IАв12 с суммарным объемом продуктов $\sim 2 \text{ км}^3$. Этот импульс отделен от извержения IАв2 интервалом в 1430 лет (рис. 1; табл. 1), на часть которого непосредственно перед извержением IАв7 падает полный покой в деятельности Авачинского вулкана в течение -870 лет. После 5500 ¹⁴С-л.н. крупнейшие извержения распределяются во времени относительно равномерно через 550-650 лет (рис. 1). Из них самое сильное - извержение IАв20 (~ 4500 ¹⁴С-л.н.) с объемом продуктов $\geq 1,1 \text{ км}^3$. Извержения IАв16 (~ 5000 ¹⁴С-л.н.) и IАв24 (~ 4000 ¹⁴С-л.н.) были в 2 раза слабее (объем продуктов $\geq 0,5$ и $\geq 0,6 \text{ км}^3$).

Все рассмотренные извержения этапа IАв в фазе кульминации были плининанскими. Высоты эруптивных колонн извержений IАв24 и IАв12 соответственно 17 и 24 км. У большинства извержений продукты представлены главным образом тефрой: бомбами и лапили вблизи вулкана, грубым и тонким пеплом на удалении от него. Только во время извержений IАв12 (~ 5500 ¹⁴С-л.н.) и IАв16 (~ 5000 ¹⁴С-л.н.) формировались пирокластические потоки. Они распространялись главным образом по долинам сухих рек южного склона вулкана - Сухая Халактырская, Сухая Елязовская и Желтуха. При объеме их отложений 0,2-0,3 км³ потоки достигали расстояния 15-17 км. С отложениями пирокластических потоков парагенетически были связаны отложения приземных пирокластических волн и волн пеплового облака, хорошо диагностирующиеся только вблизи пирокластических потоков. На удалении от последних в разрезах выделяются лишь маломощные тонкие отложения пирокластических волн без подразделения на генетические типы.

Тефра покрывала площади в $n \cdot 10^2 - n \cdot 10^4 \text{ км}^2$ (по изопакхите 1 см). Оси пеплопадов были чаще направлены на В и СВ. реже - на ЗСЗ и ни разу на юг (рис. 13). Пеплы извержений IАв2 (~ 7150 ¹⁴С-л.н., и IАв20 (~ 4500 ¹⁴С-л.н.) выпали на Командорских островах (500 км от вулкана), а пепел извержения IАв12 (~ 5500 ¹⁴С-л.н.) проследен на 400 км от источника до широтного отрезка долины р. Камчатка. Датированные прослой тефры крупнейших извержений Авачинского вулкана - прекрасные маркиранты и временные реперы. Особенно это справедливо для тефры извержений IАв7, IАв10, IАв12 и IАв24, поскольку она отложилась на значительной части территории Камчатки, тогда как тефра извержений IАв20 и IАв2 выпала преимущественно над океаном. Отличительные особенности авачинской тефры - низкое содержание К₂О и присутствие роговой обманки.

Большинство крупнейших извержений несут следы фреатомагматических процессов. На это указывают наличие отложений базисной пирокластической волны, плохая сортированность тефры, аккреционные лапилли, сильное обогащение отложений пирокластических потоков (часто и тефры) резургентным материалом. Иногда они начинались прямо с базисных пирокластических волн (рис. 2), отложения которых установлены для извержений IАв7, IАв12 и IАв20. Скорее всего тонкий пепел в основании пирокластики извержений IАв10, IАв16 и IАв24 также имеет фреатомагматическую природу (opening phase). Базисные пирокластические волны неоднократно были и в ходе извержения IАв20. Возможно, их отложения описаны также в средней части пачки пирокластики извержения IАв24.

Таким образом, спусковым механизмом большинства извержений служило взаимодействие магматического расплава с водой, вызывавшего фреатомагматические эксплозии. Неслучайно, по-видимому, формирование базисной пирокластической волны и вынос тонкого пепла чередуются между собой от извержения к извержению (рис. 2).

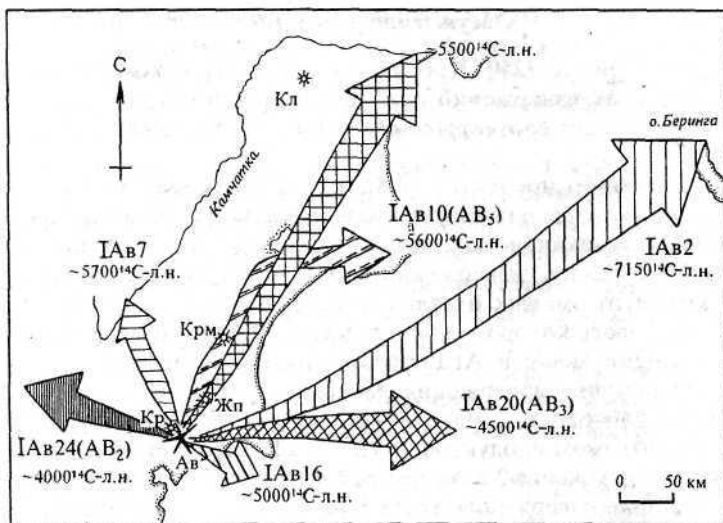


Рис. 13. Направление осей пеплопадов крупнейших извержений Авачинского вулкана (андезитовый этап). Вулканы: Ав - Авачинский, Кр - Корякский, Жп - Жупановский, Крм - Карымский, Кл - Ключевой

Можно предположить, что фреатомагматические взрывы происходили в приповерхностных условиях (тонкий пепел) и при подъеме расплава на поверхность и контакте с озерной водой (базисная пирокластическая волна).

Последовательность событий в ходе извержений IAv2, IAv7 и IAv10 была простой. Первое было чисто плинианским и поставляло только тефру. Два следующих начались либо с формирования базисной пирокластической волны, либо с выноса тонкого пепла, за которыми следовал единовременный выброс грубой тефры. У последних двух извержений этапа такая последовательность событий имела место неоднократно (дважды для IAv24 и четырежды для IAv20), придавая им ритмичный характер. В случаях, когда возникали пирокластические потоки (извержения IAv12 и IAv16), ход извержений был однотипным: формирование базисной пирокластической волны или вынос тонкого пепла, выброс грубой тефры и на заключительной стадии — возникновение пирокластических потоков (рис. 2).

Продукты извержений в целом отвечают низкокалиевым андезитам с 57,5-61,5% SiO₂ (рис. 3). Состав их на протяжении всего этапа оставался практически неизменным. Обращают на себя внимание два извержения: IAv16 (~5000 ¹⁴C-л.н.) и IAv24 (~4000 ¹⁴C-л.н.). В пирокластических потоках извержения IAv16 и в тефре извержения IAv24 наряду с пемзами и пемзовидными андезитами присутствуют темные шлаки андезитобазальтового состава (53% SiO₂), а также полосчатые разности пемз. Можно полагать вслед за автором работы [30], что присутствие в одном слое ювенильного материала разного состава и наличие гетеротакситовых пемз свидетельствуют о процессах смешения магматических расплавов в очаге. Таким образом, уже с ~5000 ¹⁴C-л.н. появились первые свидетельства инъекции магмы основного состава в существовавший очаг андезитовой магмы. Эти же извержения выделяются наличием ксенолитов ультраосновных пород.

Какова была морфология кратерной зоны в течение этапа IAv, ответить точно невозможно, так как она полностью погребена под выросшим над ней позднее активным Молодым конусом вулкана Авачинский.

Можно полагать, что аналогии прежде всего следует искать с вулканом Шивелуч. Оба вулкана сближают частые мощные плинианские извержения с выносом значительных объемов тефры и формированием пирокластических потоков, а также

сходство их ювенильных продуктов, представленных пемзовидными андезитами и пемзой. Не исключено, что, как и там, извержения на этапе IАв происходили из обширного кратера, где неоднократно возникали экструзивные купола, которые разрушались в ходе последующих извержений. Но были и заметные различия в их деятельности: существенная фреатическая составляющая для извержений Авачинского вулкана и отсутствие у него крупных обломочных лавин, типичных для Шивелуча. Фреатические и фреатомагматические взрывы можно объяснить наличием в авачинском кратере озер, а отсутствие обломочных лавин - более слабым развитием там экструзивного вулканизма.

Плинианские извержения андезитового этапа IАв Авачинского вулкана представляли существенную угрозу для прилегающих к нему территорий в радиусе до 30 км от выпадения мощной тефры, пирокластических потоков и ирокластических волн. Однако сейчас учет и анализ этих явлений при оценке вулканической опасности для городов Петропавловск-Камчатский и Елизово не актуален: плинианские извержения остались для Авачинского вулкана в прошлом. Начиная с 3500 ¹⁴С-л.н. действует андезитобазальтовый Молодой конус, и рассмотрение динамики именно его активности, типа, параметров и характера извержений следует положить в основу связанной с ним оценки будущей опасности.

Авторы благодарят М.Ю. Пузанкова и А.В. Курбатова за помощь при проведении полевых работ, а также М.М. Певзнер и Н.И. Флоренскую за обработку образцов для радиоуглеродного датирования.

Исследования выполнены при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Брайцева О.А., Мелекесцев И.В., Пономарева В.В. и др.* Возраст действующих вулканов Курило-Камчатской области // Вулканология и сейсмология. 1994. № 4-5. С. 5-32.
2. *Брайцева О.А., Сулержицкий Л.Д., Пономарева В.В. и др.* Геохронология крупнейших эксплозивных извержений Камчатки в голоцене и их отражение в Гренландском ледниковом щите // Докл. РАН. 1997. Т. 352. № 4. С. 516-518.
3. Камчатка, Курильские и Командорские острова / Под ред. Лучицкого И.В. М.: Наука, 1974. 439 с.
4. *Кирьянов В.Ю., Егорова И.А., Литасова С.Н.* Вулканические пеплы на о. Беринга (Командорские острова) от голоценовых извержений Камчатки // Вулканология и сейсмология. 1986. № 6. С. 18-28.
5. *Кирьянов В.Ю., Соловьева Н.А.* Изменения вещественного состава пеплов в результате гравитационной эоловой дифференциации // Вулканология и сейсмология. 1990. № 4. С. 10-19.
6. *Колосков А.В., Вольнец О.Н., Пополитов Э.И.* Минералогия и геохимия ультраосновных включений в четвертичных вулканитах Камчатки // Мантийные ксенолиты и проблема ультраосновных магм. Новосибирск: Наука, 1983. С. 85-95.
7. *Колосков А.В., Хотин М.Ю.* Включения ультраосновного состава в лавах современных вулканов Камчатки // Включения в вулканических породах Курило-Камчатской островной дуги. М: Наука, 1978. С. 36-66.
8. *Масуренков Ю.П., Егорова И.А., Пузанков М.Ю. и др.* Вулкан Авачинский // Действующие вулканы Камчатки. Т. 2. М: Наука, 1991. С. 246-273.
9. *Мелекесцев И.В., Брайцева О.А., Базанова Л.И. и др.* Особый тип катастрофических эксплозивных извержений - голоценовые субкальдерные извержения Хангар, Ходуткинский "маар", Бараний Амфитеатр (Камчатка) // Вулканология и сейсмология. 1996. № 2. С. 3-24.
10. *Мелекесцев И.В., Брайцева О.А., Двигало В.П., Базанова Л.И.* Исторические извержения Авачинского вулкана на Камчатке (попытка современной интерпретации и классификации

- для долгосрочного прогноза типа и параметров будущего извержения). Ч. 1 // Вулканология и сейсмология. 1993. № 6. С. 13-27. Ч. 2 // Вулканология и сейсмология. 1994. № 2. С. 3-22.
11. *Мелекесцев И.В., Брайцева О.А., Пономарева В.В., Сулержицкий Л.Д.* Катастрофические кальдерообразующие извержения вулкана Ксудач в голоцене // Вулканология и сейсмология. 1995. № 4-5. С. 28-53.
 12. *Мелекесцев И.В., Литасова С.Н., Сулержицкий Л.Д.* О возрасте и масштабе катастрофических извержений направленного взрыва вулкана Авачинский (Камчатка) в позднем плейстоцене // Вулканология и сейсмология. 1991. № 2. С. 3—12.
 13. *Мелекесцев И.В., Краевая Т.С., Брайцева О.А.* Рельеф и отложения молодых вулканических районов Камчатки. М.: Наука, 1970. 104 с.
 14. *Мелекесцев И.В., Сулержицкий Л.Д.* Вулкан Ксудач (Камчатка) за последние 10 тыс. лет // Вулканология и сейсмология. 1987. № 4. С. 28-39.
 15. *Barheri F., Cioni R., Rosi M, et al.* Magmatic and phreatomagmatic phases in explosive eruptions of Vesuvius as deduced by grain-size and component analysis of the pyroclastic deposits // J. Volcan. Geotherm. Res. 1989. V. 38. № 3/4. P. 287-307.
 16. *Bazanov L.I., Braiiseva O.A., Melekestsev I.V. et al.* Explosive eruptions of Kamchatka: ash clouds of the most recent eruptions of Avachinskiy and Ksudach volcanoes // Abstracts of AGU Fall Meeting. 1995.
 17. *Bogoyavlenskaya G.E., Braiiseva O.A., Melekestsev I.V. et al.* Catastrophic eruptions of the directed blast type at Mount St. Helens, Bezymyanny and Shivluch volcanoes // J. geodynamics. 1985. № 3. P. 189-218.
 18. *Braitseva O.A., Melekestsev I.V., Ponomareva V.V. et al.* Tephra of the largest prehistoric Holocene volcanic eruptions in Kamchatka // Quaternary Internal. 1992. v. 13/14. P. 177-180.
 19. *Braitseva O.A., Melekestsev I.V., Ponomareva V.V. et al.* The Caldera - Forming eruption of Ksudach volcano about Cal. AD 240, the greatest explosive event of our era in Kamchatka // J. Volcan. Geotherm. Res. 1996. V. 70/1-2. P. 49-66.
 20. *Braitseva O.A., Melekestsev I.V., Ponomareva V.V., Sulerzhitsky L.D.* The ages of calderas, large explosive craters and active volcanoes in the Kuril-Kamchatka region, Russia // Bull. volcanol. 1995. V. 57/6. P. 383-402.
 21. *Braitseva O.A., Ponomareva V.V., Sulerzhitsky L.D. et al.* Holocene keymarker tephra layers in Kamchatka, Russia // Quaternary Res. 1997. V. 47. P. 125-139.
 22. *Bursik K.M., Melekestsev I.V., Braitseva O.A.* Most recent fall deposits of Ksudach volcano, Kamchatka // Geophys. Res. Lett. 1993. V. 20. № 17. P. 1815-1818.
 23. *Fierstein J., Hildreth W.* The plinian eruption of 1912 at Novarupta, Katmai National Park, Alaska // Bull. volcanol. 1992. V. 54. P. 646-684.
 24. *Fierstein J., Nathenson M.* Another look at the calculation of fallout tephra volumes // Bull. volcanol. 1992. V. 54. P. 156-167.
 25. *Fisher R.V., Waters A.S.* Buse surge bed forms in maar volcanoes // Amer. Federal. Sci. 1970. V. 268. P. 157-180.
 26. *Gill F.* Orogenic Andesites and Plate Tectonics. Berlin: Springer-Verlag, 1981. 390 p.
 27. *Sigurdsson H., Carey S.N., Cornell W., Pescatore T.* The eruption of Vesuvius in A.D. 79 // Nat. Geograph. Res. 1985. № 1. P. 332-387.
 28. *Stuiver M., Reimer P.J.* Extended ¹⁴C data base and revised CALIB 3.0 ¹⁴C age calibration program // Radiocarbon 1993. V. 35. № 1. P. 215-230.
 29. *Sulerzhitsky L.D.* Radiocarbon dating of volcanoes // Bull, volcanol. 1970. V. 35. P. 85-94.
 30. *Volynets O.N.* Mixed lavas. Relationship of the melts forming these lavas // Bull, volcanol. 1979. V. 42. № 1-4. P. 233-242.
 31. *Zielinski G.A., Mayewsky P.A., Meeker L.D. et al.* Record of volcanism since 7000 B.C. from GISP2 Greenland Ice Core and implications for the volcanoclimatic system // Science. 1994. V. 264. P. 948-952.

Институт вулканической геологии
и геохимии ДВО РАН,

Геологический институт РАН,
Москва

Поступила в редакцию
14.04.1997