

УДК 551.21(571.66)

КАТАСТРОФИЧЕСКИЕ ПЛИНИАНСКИЕ ИЗВЕРЖЕНИЯ НАЧАЛЬНОЙ ФАЗЫ ФОРМИРОВАНИЯ МОЛОДОГО КОНУСА ВУЛКАНА АВАЧИНСКИЙ (КАМЧАТКА)

© 2003 г. Л. И. Базанова¹, О. А. Брайцева¹, М. Ю. Пузанков¹, Л. Д. Сулержицкий²

¹ Институт вулканической геологии и геохимии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006

² Геологический институт РАН, Москва, 109017

Поступила в редакцию 30.10.2002 г.

Рассмотрены два сближенных во времени катастрофических плинианских извержения (ПАВ₁ - 3500 и ПАВ₃ - 3280 ¹⁴С лет назад) Авачинского вулкана, положивших начало деятельности его Молодого конуса. Изучена стратиграфия продуктов извержений, реконструированы их хронология и параметры, оценено воздействие на природную среду. Среди изверженных продуктов в обоих случаях преобладала тефра объемом соответственно >3 и >1.1 км³. Высоты эруптивных колонн достигали 21-28 км. Пепел извержения ПАВ₁ прослежен на 300 км к СВ от вулкана, площадь пеплопада по изопахите 1 см - около 50000 км². Оба извержения сопровождалась пирокластическими потоками, пирокластическими волнами и катастрофическими лахарами. Состав ювенильной пирокластике андезибазальтовый. По общему объему продуктов (>3.6 км³ для ПАВ₁ и > 1.21 км³ - ПАВ₃) эти извержения относятся к крупнейшим за всю эруптивную историю Молодого конуса.

Плинианские извержения с базальтовым составом продуктов достаточно редки и индивидуальны. Они известны на вулканах Фудзи (1707 г.), Япония [25], Таравера (1886 г.), Новая Зеландия [26], Этна (122 г. до н.э.), Италия [17], Масайя - 20000 лет назад (л.н.) и 6500 л.н., Никарагуа [27]. Выявление и изучение новых примеров плинианских извержений с продуктами основного состава может значительно дополнить существующие представления об этом вулканическом феномене. В этом плане большой интерес представляют катастрофические извержения Авачинского вулкана, связанные с началом формирования его Молодого конуса. Изучение крупнейших извержений Авачинского вулкана, особенно на последних этапах его деятельности, крайне актуально и в связи с необходимостью оценки вулканической опасности для городов Петропавловск и Елизово, которые расположены на расстоянии соответственно 26 и 30 км от вулкана [1,2].

Авачинский вулкан (53°15.3' N, 158°49.8' E, 2751 м над уровнем моря) относится к типу Сомма-Везувий (рис. 1). Сомма - это сохранившаяся часть позднеплейстоценового вулкана, вершина которого уничтожена катастрофическим извержением около 30 тыс. л.н. с образованием обширного кратера размером 4 x 4.5 км [12]. В этом кратере сейчас располагается действующий Молодой конус. Его возраст 3500 ¹⁴С лет, что установлено датированием отложений, связанных с началом формирования конуса [4, 5, 11, 15]. В настоящей статье рассмотрены два извержения, которые от-

крывают историю его активности и являются крупнейшими за все время его существования.

В голоценовой истории Авачинского вулкана ранее были выделены два этапа [3, 11]. Первый этап (IАв, 7250-3500 ¹⁴С л.н. - по уточненным данным) характеризуется андезитовым составом продуктов. Второй этап (ПАВ, начался 3500 ¹⁴С л.н.) связан с деятельностью Молодого конуса, продукты которого отвечают андезибазальтам. Первый этап обозначен индексом IАв, второй - индексом ПАВ и внутри каждого из них извержения нумеруются от более древних к более молодым.

Некоторые моменты предьистории Молодого конуса. Крупнейшие извержения андезитового этапа IАв были рассмотрены в [3]. Первые очевидные свидетельства инъекции магмы основного состава в существовавший андезитовый очаг появились 5000 ¹⁴С л.н.: в отложениях пирокластических потоков извержения IАв16 наряду с пемзами присутствуют темные шлаки андезибазальтового состава и гетеротакситовые пемзы. В последующее время существенная доля ювенильных шлаков основного состава отмечена в тефре извержения 4000 ¹⁴С л.н. (IАв24), здесь же присутствуют многочисленные ксенолиты ультраосновного состава [3]. Извержение IАв24 было последним, описанным в [3]. Последующие извержения конца этапа IАв там не рассматривались, так как они не были включены в разряд крупнейших. Однако в настоящей работе на них следует кратко остановиться.

За извержением 4000 ¹⁴С л.н. в конце этапа IАв по уточненным, по сравнению с [3], данным произошло 10 извержений (IАв25 - IАв34) (рис. 2А,



Рис. 1. Авачинский вулкан. Вид с юго-запада. Фото А.В. Сокоренко.

Б), причем большинство из них были слабыми. Сильным было извержение IAv27 (3795 ± 39 ¹⁴С л.н.) с объемом продуктов >0.4 км³. Во время этого извержения в последний раз на этапе IAv наряду с пеплопадами формировались пирокластические потоки. Извержение IAv29 (3750 ± 250 ¹⁴С л.н.) поставляло только тефру (рис. 3А), ее объем >0.06 км³. Ювенильная составляющая тефры двух указанных извержений представлена как белой пемзой (SiO_2 58-59%) и ее полосчатыми разностями, так и плотными серыми, коричневато-серыми, реже черными, шлаками (SiO_2 55-56%) (рис. 2В). Доля ювенильных андезитов уменьшается во втором извержении. В тефре извержения IAv27 единичны мелкие ксенолиты ультрабазитов.

В конце этапа IAv вулкан находился в состоянии относительного покоя в течение 300-350 лет. Этому интервалу в разрезах отвечает пачка погребенных почв, включающая маломощные прослой тефры пяти слабых эруптивных событий (рис. 2А, 3Б). Большинство из них приходится на столетие непосредственно перед началом формирования Молодого конуса (рис. 2Б). Пеплопады слабых извержений захватывали в основном узкие сектора на склонах и ближайшем подножии вулкана, объемы тефры варьировали в пределах $n \times 10^{-2}$ - $n \times 10^{-4}$ км³. Тефра этих извержений - грубый и тонкий пепел, иногда с примесью мелких лапилли ювенильных темных шлаков или пемзы; окраска пеплов - от светло- и голубовато-серой до темно-серой, часто с желтым оттенком.

Судя по характеру материала, извержения были фреатомагматическими.

Стратиграфия продуктов извержений начала этапа формирования Молодого конуса (ПАВ₁-ПАВ₂). Извержение ПАВ₁ (~ 3500 ¹⁴С л.н.) открывает активизацию вулкана в начале этапа ПАВ (рис. 2). Именно с этим извержением связан маркирующий прослой тефры АВ₁ выделенный и описанный ранее в работах [4, 5, 15, 16]. Продукты извержения включают тефру (air-fall deposits), отложения пирокластических потоков (pyroclastic flow) и пирокластических волн (pyroclastic surge).

Отложения пеплопадов (тефра). Тефра начальной стадии извержения (ТрпО) установлена в единичных разрезах (рис. 4. 7- здесь и далее жирным курсивом даны номера разрезов на рис. 4, 9) только в непосредственной близости от вулкана. Это преимущественно тонкий пепел светло-серого и розоватого цвета мощностью 2 см с дробной слоистостью вблизи подошвы. Ось пеплопада была направлена на ВСВ.

Отложения начальной фазы извержения перекрыты отчетливо стратифицированной пачкой пирокластики (рис. 3А), в которой выделяется 3 горизонта тефры. Наиболее представительные ее разрезы сосредоточены в 5-10 км на северном и северо-северо-восточном подножиях вулкана, что объясняется направлением осей пеплопадов именно в этих направлениях (рис. 4-6). Характер отложений всех трех горизонтов тефры сходен: ювенильный материал представлен темно-серыми,

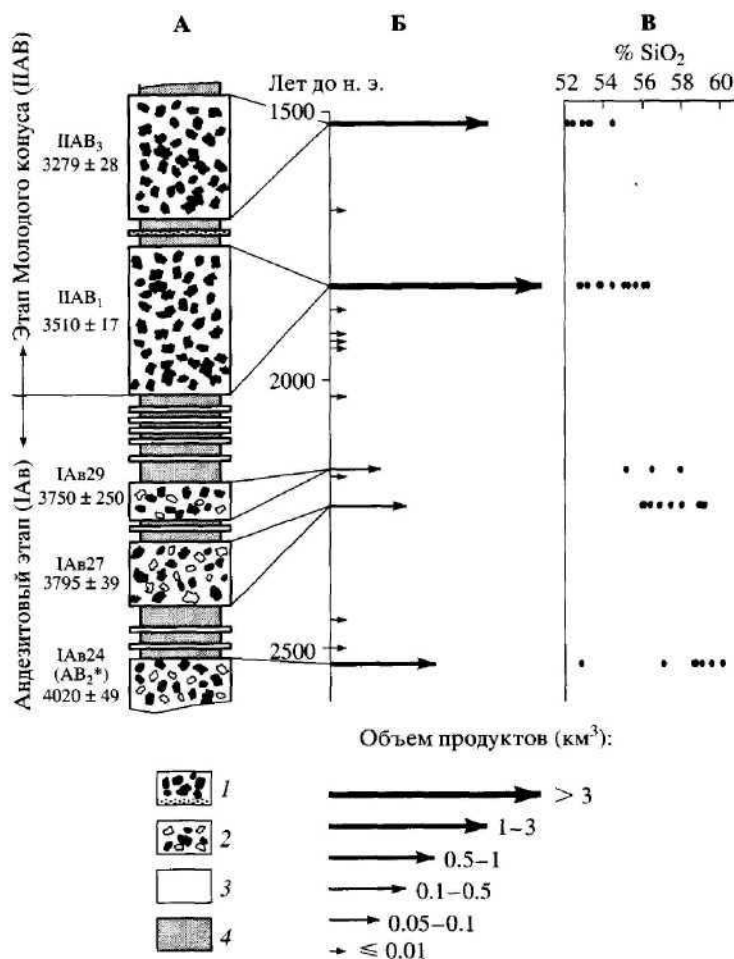


Рис. 2. Реконструкция эруптивной активности Авачинского вулкана в интервале ~3280-4000 С л.н. **А** - фрагмент схематического сводного разреза почвенно-пирокластического чехла в районе вулкана Авачинский (вне масштаба). 1-3 - продукты извержений: / - этапа Молодого конуса; 2-3 - андезитового этапа (2 - сильных и умеренных, 3 - слабых); 4 - погребенная почва. Слева - индексы извержений (* - индекс по [6,16]) и средние значения радиоуглеродного возраста. **Б** - эруптивная активность в календарном времени. **В** - фигуративные точки составов ювенильной пирокластики в пересчете на безводный остаток.

почти черными, реже коричневыми плотными шлаками, часто с видимыми крупными фенокристаллами роговой обманки. Резургентные обломки - серые и голубовато-серые, иногда стекловатые, эффузивы и ярко-охристые или кирпично-красные измененные породы.

Нижний горизонт тефры ТрН1 мощностью 50 см на расстоянии 7 км от вулкана по оси пеплопада (рис. 3Б) - это сыпучий темно-серый, преимущественно грубый вулканический песок и гравий с примесью лапилли и бомб черного шлака размером от 1-2 до 5-6 см. Отмечаются рассеянные редкие лапилли коричневого хрупкого шлака, а в верхней половине слоя - единичные гравий и лапилли белой пемзы. Обломки резургентных эффузи-

вов, в т.ч. измененных пород, преобладают в гравийных разностях тефры. Количество и размер лапилли и бомб варьируют в пределах слоя, что создает своего рода градационные ритмы, связанные с пульсациями эруптивной колонны. В каждом ритме снизу вверх увеличивается доля грубого материала и его размер. По мере удаления от оси пеплопада мощность тефры в разрезах уменьшается и градационная ритмичность представлена не столь четко - она выражается в обогащении грубым материалом средней части слоя или его подошвы. Местами горизонт тефры ТрН1 разделяется на две части прослоем плотного вулканического песка зеленовато-серого цвета (рис. 3Г).

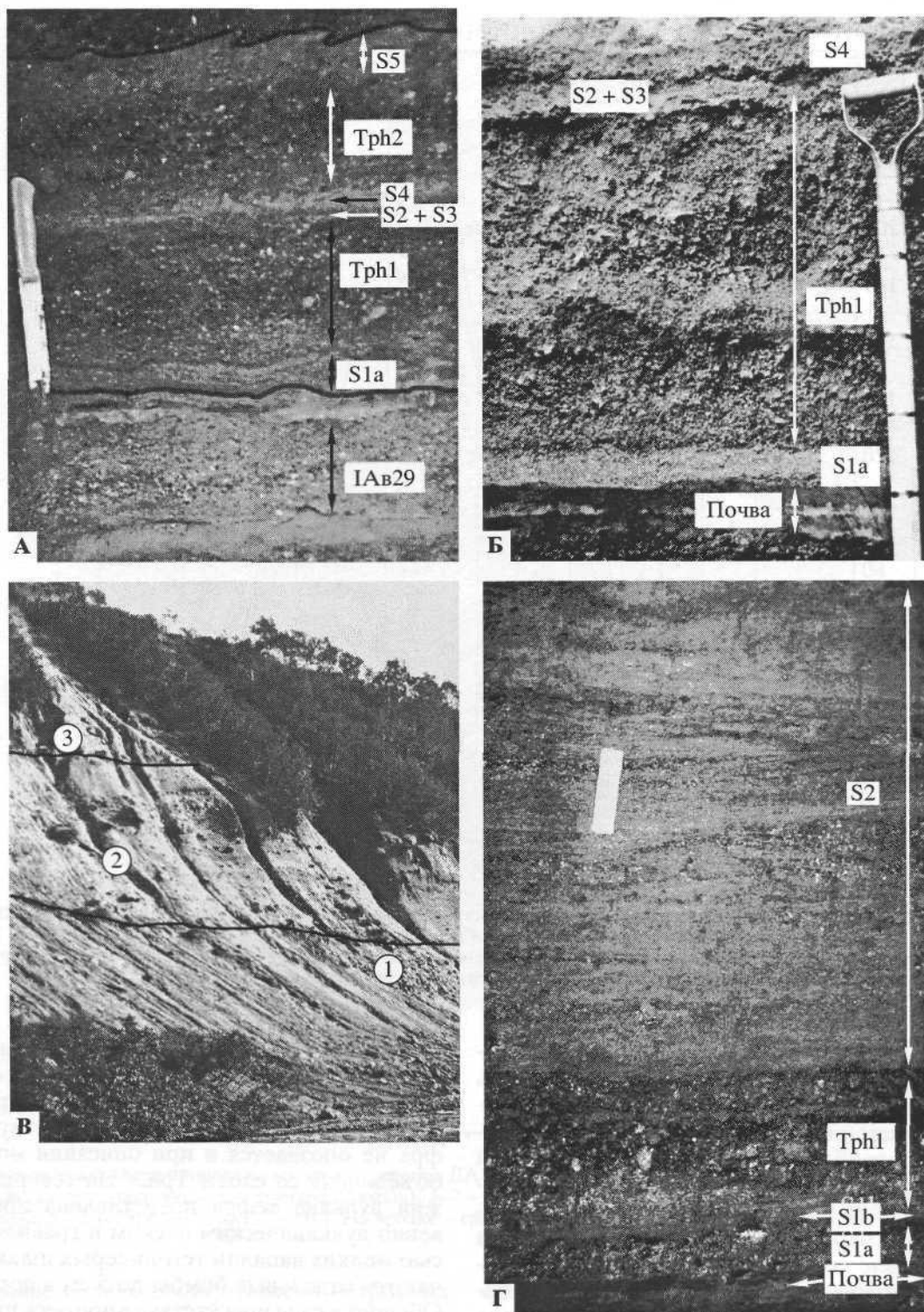


Рис. 3. Извержение ПАВ. А - стратифицированная пачка пирокластики ПАВ₁, залегающая через погребенную почву на горизонте тефры (IAB29) одного из финальных извержений андезитового этапа. 9 км к В СВ от вулкана. Длина ножа - 25 см. Б - тефра и отложения пирокластических волн в 7 км к ССВ от вулкана (деталь разреза 6 на рис. 4). Погребенная почва (внизу) с прослоем светлого пепла отвечает периоду относительного покоя в конце этапа IAB. Деление на ручке лопаты - 10 см. Фото Л.Д. Сулержицкого. В - отложения пирокластических потоков в левом борту долины р. Желтуха, связанных с извержениями андезитового этапа (1) и этапа Молодого конуса (2 - ПАВ₂, 3 - ПАВ₃). 9 км от вулкана. Фото Л.Д. Сулержицкого. Г - косая и параллельная слоистость в отложениях пирокластических волн S2 (деталь разреза 3 на рис. 4). 5 км к 3 от вулкана. Масштабная линейка - 10 см. Фото А.В. Сокоренко.

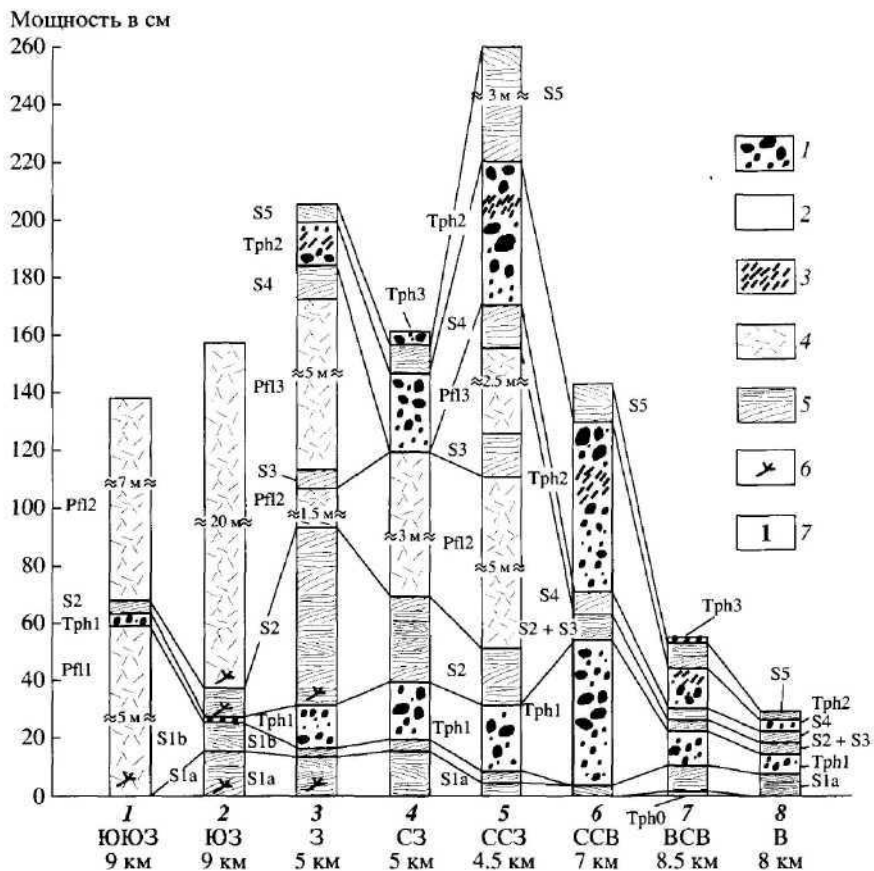


Рис. 4. Извержение ПАВ, Стратиграфия и корреляция пирокластических отложений по круговому профилю вокруг вулкана: 7, 2 - тефра: 1 - бомбы, лапилли, вулканический гравий и песок черных шлаков; 2 - тонкий пепел; 3 - зоны, обогащенные обломками измененных пород; 4 - отложения пирокластических потоков; 5 - отложения пирокластических волн; 6 - угли; 7 - номера представительных разрезов (местоположение - см. рис. 6).

Средний горизонт тефры Трh2 в 7 км от источника по оси пеплопада (рис. 4.6) имеет мощность 60-80 см. В горизонте выделяются два ритма с обратной градиационной стратификацией - в их нижней части преобладает грубый вулканический песок и гравий с примесью лапилли, в верхней существенную роль играют лапилли и вулканические бомбы размером 3-7 см, отдельные до 13 см ближе к кровле горизонта. Отличительная особенность слоя Трh2 - обогащение его верхней части обломками измененных пород ярко-желтого и охристого цвета размером от гравия до 1-2 см в диаметре. Эта зона мощностью от 4 до 17 см отчетливо фиксируется в обнажениях и является своеобразным маркером при корреляции разрезов (рис. 4). Ось пеплопада Трh2 была направлена на ССВ. Эта тефра присутствует также в разрезах северо-западного и западного участков подножия и выклинивается в пределах южного и юго-восточного участков.

Верхний горизонт тефры Трh3 описан в ограниченном количестве разрезов, там, где он отделен от горизонта Трh2 отложениями слоя S5 (рис. 4.4, 7). В других случаях, где слой S5 отсутствует, эта тефра не опознается и при описании может быть объединена со слоем Трh2. На северном подножии вулкана тефра представлена преимущественно вулканическим песком и гравием с примесью мелких лапилли темно-серых шлаков; встречаются отдельные бомбы до 5 см в поперечнике. Обычно в слое присутствует примесь пылеватого материала. Резургентные обломки, как правило, имеют размерность гравия, хотя встречаются отдельные до 10 см. Мощность слоя тефры составляет от 2 до 8 см в 5-9 км от вулкана.

Тефра извержения ПАВ₁ прослежена на расстоянии около 300 км [4]. Ось пеплопада в целом была ориентирована на северо-восток (рис. 5), причем направления распространения пеплов отдельных выбросов были очень близки между со-

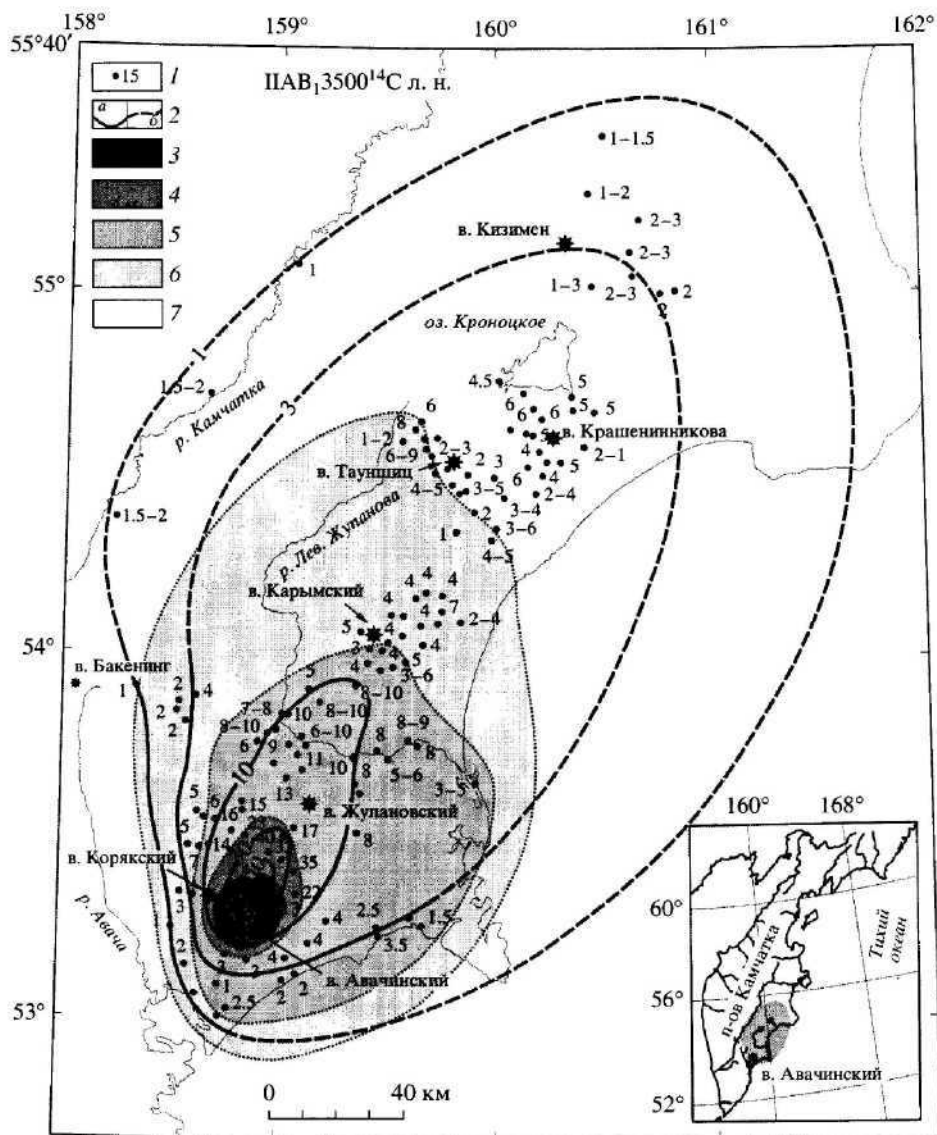


Рис. 5. Распространение пеплопада во время извержения ПАВ: 1 - точки наблюдения и мощности тефры, см; 2 - изопакиты, см (а - установленные, б - предполагаемые); 3-7 - ареалы тефры разной максимальной крупности, мм: 3 - >10; 4-10-2; 5 - 2-0.25; 6 - 0.25-0.1; 7 - <0.1. На врезке - границы пеплопада по изопаките 1 см.

бой. Пепловое облако было отнесено ветром на восток в сторону Командорских островов, где тонкий пепел (КД-4 в [7]) отложился слоем мощностью 0.3-0.5 см (расстояние 500 км от источника). В 24 км от вулкана по оси пеплопада еще фиксируются два основных горизонта тефры - Trh1 и Trh2 (грубозернистый вулканический песок и гравий), разделенные сантиметровым прослоем тонкого пепла, связанного с surge S4 (см. ниже). На большем удалении тефра залегает как единый

слой темно-серого песка, часто с вторичной охристо-бурой пятнистой окраской. В 45 км от центра извержения - это уже среднезернистый вулканический песок, а в районе вулканов Карымский и Малый Семячик (90-110 км) преобладает мелкозернистый вулканический песок. На расстоянии более 165 км от вулкана выпадал светло-серый (часто сизовато-серый, иногда палевый) тонкий пепел. В долине р. Камчатки, на периферии пеплового облака, тонкий пепел отмечен в торфяни-

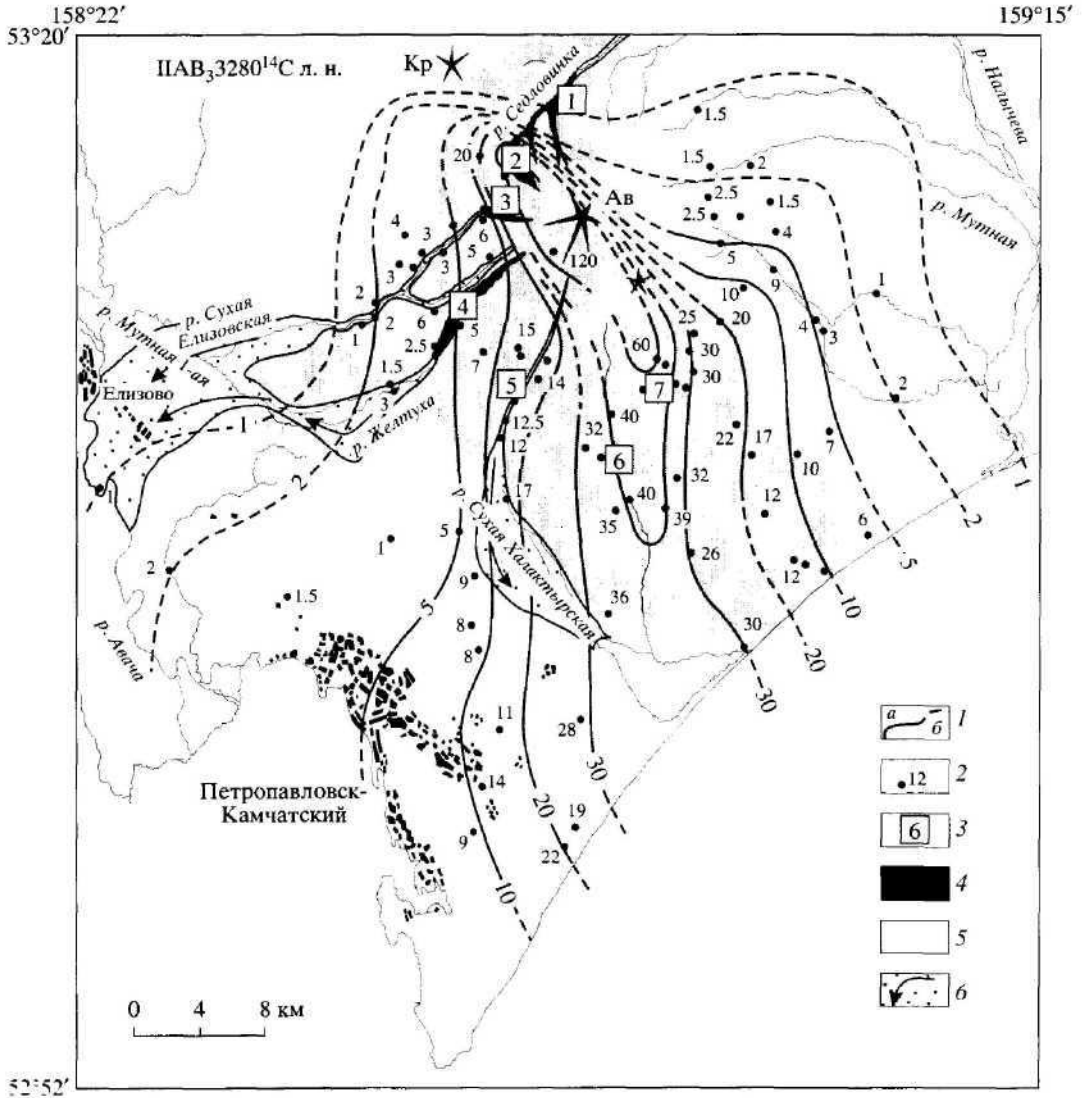


Рис. 7. Распространение отложений, связанных с извержением ПАВ₃; 1 - изопахиты тефры (см): установленные (а), предполагаемые (б); 2 - точки наблюдения и мощности тефры в см; 3 - местоположение представительных разрезов и их номера на рис. 9; 4 - пирокластические потоки; 5 - область распространения пирокластических волн; 6 - лахары и направления их движения. Вулканы: АВ - Авачинский, Кр - Корякский.

Отложения всех пирокластических потоков однотипны по структуре, текстуре и составу. Обычно они массивны, плохо сортированы, часто уплотнены до образования черепитчатой отдельности, а в подошве и кровле единиц - более рыхлые. Представлены отложения песчано-гравелистым материалом с примесью алевропелита и с включением более крупных обломков. Цвет отложений серый или землисто-серый, иногда с легким розоватым или сиреневым оттенком. Это позволяет визуально отличать их от желтых (часто

ярко-охристых) отложений пирокластических потоков предыдущего андезитового этапа IАв.

Ювенильный материал в потоках представлен темно-серыми, почти черными, плотными, реже слабопористыми шлаками. Бомбы не превышают 10-20 см и тяготеют к верхним частям единиц. Вблизи подошвы отмечаются редкие лапилли белой пемзы и единичные бомбы полосчатых шлаков. Резургентный материал - измененные породы ярко-охристой, кирпично-бурой окраски и серые или светло-серые эффузивы — хаотично рассеян в

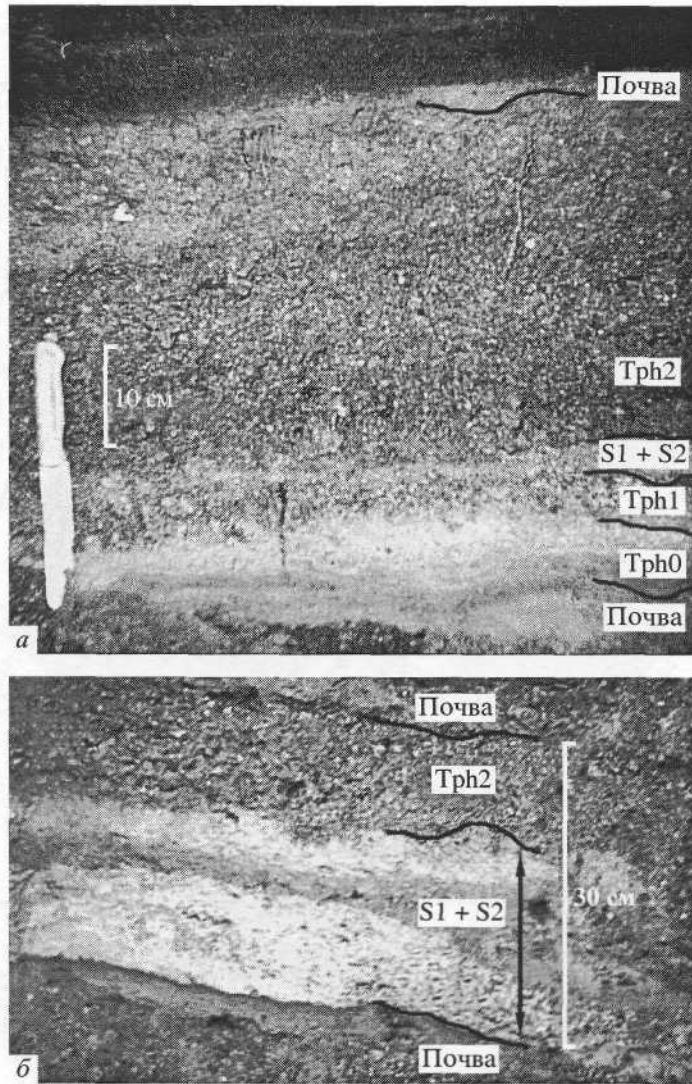


Рис. 8. Извержение ПАВ₃. Тефра и отложения пирокластических волн в 15 км к ЮЮВ (а) и в 9 км к ЮЮЗ (б) от вулкана.

заполнителя или образует гнездовые скопления и линзы. В средней части единиц иногда прослеживается скопление резургентных глыб до 0.5-2 м в поперечнике в виде прерывистого грубообломочного горизонта мощностью от 2 до 4-6 м. В основании пирокластических потоков во множестве рассеяны остатки обугленной и полуобугленной древесины. Отмечаются редкие фумарольные ходы.

Отложения пирокластических волн (pyroclastic surge). Отложения пирокластических волн распространены на площади 850 км² с наибольшим удалением от кратера на 25-28 км в СВ направлении (рис. 6). В границах этой зоны выявлены пять горизонтов пирокластических волн, обозначенных индексами S1-S5. Отложения S1 отвечают начальной фазе извержения и подразделяются, в свою очередь, на два слоя Sla и S1b.

Отложения Sla залегают непосредственно на погребенной почве там, где тефра Trph0 отсутствует (рис. 4). Слой Sla представляет собой surge начальной фазы извержения, причем, судя по характеру отложений, можно предполагать, что это базисная волна (base surge) первых фреатомагматических эксплозий. Пирокластика отложилась на площади не менее 700 км² (рис. 6). В разрезах северо-восточного подножия вулкана на расстоянии 8-10 км от кратера (верховья рек Мутной и Каменистой) - это пачка тонкостратифицированных вулканических песков мощностью 7-9 см, в которой выделяется до 9 отдельных прослоев: чередуются зеленовато-серые тонкие и темно-серые, более грубые, вулканические пески. Слоистость в пачке параллельная, реже слабоволнистая (рис. 3А). Отмечается тенденция увеличения крупности материала вверх по разрезу, где в гру-

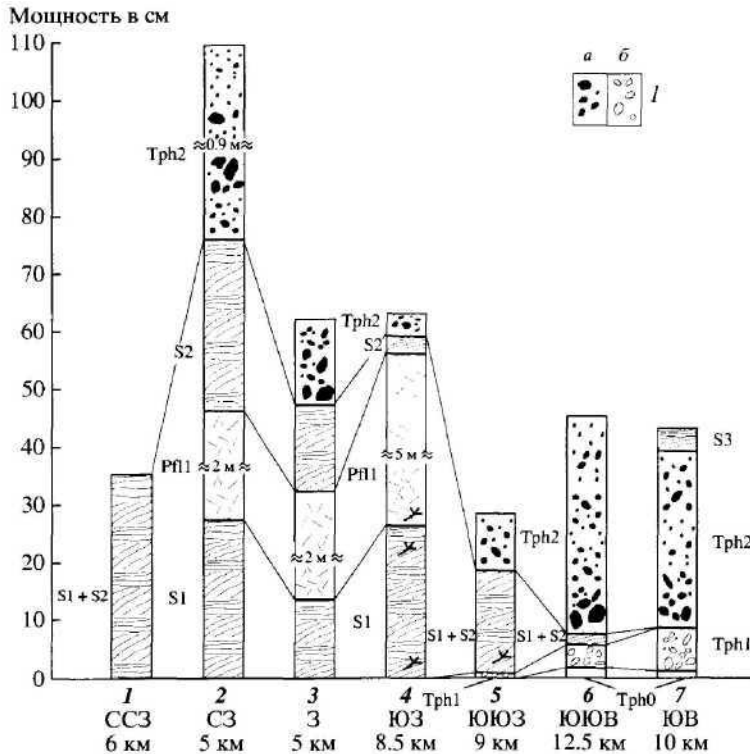


Рис. 9. Извержение ПAV₃. Стратиграфия и корреляция пирокластических отложений по круговому профилю вокруг вулкана: 1 - тефра (а - черные шлаки; б - коричневые шлаки). Прочие обозн. см. рис. 4. Номера разрезов соответствуют таковым на рис. 7.

бых прослоях присутствует примесь гравия и мелких лапилли черного и коричневого шлака.

На остальной территории подножия отложения S1a - преимущественно мелко- и среднезернистые серые, голубовато-серые или темно-серые вулканические пески мощностью 1-5 см. Отмечается слабая стратификация отложений. По мере приближения к вулкану увеличивается доля грубого песка и гравия с единичными лапилли темных шлаков (рис. 3Г). В пирокластике содержатся рассеянные мелкие фрагменты обугленной древесины. Горизонт перекрывается либо тефрой Tph1, либо слоем S1b (рис. 4).

Отложения S1b мощностью 1-10 см прослежены в разрезах от ЮЗ до СЗ подножий вулкана (рис. 4.2-5). Они перекрывают здесь слой S1a и подстилают горизонт тефры Tph1 (рис. 3Г). Это светло-серые (иногда с голубоватым или зеленовато-серым оттенком) вулканические пески от тонко- до среднезернистых; крупность уменьшается от подошвы к кровле слоя, внутри которого проявлена тонкая параллельная или косая слоистость. В юго-восточном направлении слой S1b коррелируется с отложениями Pfl1 (рис. 4.1, 2) и трактуется нами как пирокластическая волна (ру-

roclastic surge), связанная с формированием этого пирокластического потока.

Горизонты S2-S5 запечатлены в разрезах как в непосредственном контакте с пирокластическими потоками, так и на удалении от них и служат хорошими реперами при корреляции разрезов (рис. 4). Наиболее наглядно строение отложений пирокластических волн и их место в общей стратиграфической последовательности продуктов извержения можно видеть в 4-5 км от вулкана в верховьях рек Сухая Елизовская и Седловинка (разрезы 3,5 на рис. 4,6), где зафиксированы и их наибольшие мощности. Горизонт S2 здесь перекрывает слой тефры Tph1 и подстилает отложения Pfl2. В большинстве разрезов он делится на две части. В нижней, мощностью 6-30 см, представленной серыми или зеленовато-серыми грубыми вулканическими песками, слоистость едва намечается редкими линзовидными прослоями, обогащенными гравием и лапилли. В верхней части, мощностью 15-60 см (рис. 3Г), проявлена отчетливая слоистость - от прерывистой субпараллельной до косой. Это преимущественно землисто-серые разномерные вулканические пески с различной долей гравия и лапилли в отдельных прослоях.

В единичных случаях в кровле горизонта S2 отмечается слой серого тонкого пепла мощностью до 5-10 см. Суммарная максимальная мощность отложений S2 составляет 60-80 см. В них нередки мелкие остатки обугленной древесины.

Отложения S2 подстилают пирокластический поток P12 и в долинах сухих рек южного подножия вулкана - Сухой Халактырской, Желтухи, оврага Широкий (рис. 4.7, 2, 6). Это сыпучие серые, с голубоватым или розоватым оттенком разнзернистые вулканические пески, массивные, реже неяснослоистые; иногда они содержат незначительную примесь гравия или тонкого пепла. В отложениях присутствуют многочисленные остатки обугленной древесины. Мощность слоя варьирует от 5 до 40 см.

Горизонт S3 подстилает отложения пирокластического потока P13 (рис. 4.3, 5). Отложения S3 во многом сходны с таковыми горизонта S2. Слоистость в них выражена чередованием вулканических песков разной крупности и степени сортировки. Окраска материала меняется от чистой серой и голубовато-серой до землистой и зеленовато-серой. Мощность отложений S3 вблизи вулкана 5-25 см. Общая площадь распространения отложений S2 + S3 (рис. 6) 210 км².

Слой S4 залегают на отложениях пирокластического потока P13 и перекрывается тефрой Trh2 (рис. 4.3, 5). Обычно он делится на две примерно одинаковые по мощности части. Нижняя - это стратифицированные темно- или землисто-серые грубые вулканические пески, иногда с примесью тонкого пепла и гравия в основании; здесь же отмечены единичные (баллистические) бомбы шлака до 13 см. В верхней половине происходит резкая смена крупности материала: здесь преобладает тонкослоистый пылеватый пепел светло-серого, голубовато-серого, розового цвета с аккреционными лапилли до 0.8 см в диаметре; к кровле крупность материала постепенно увеличивается до вулканического песка, иногда с рассеянным редким гравием. Описанная верхняя часть горизонта всегда хорошо различима в разрезах и четко прослеживается по простиранию. Мощность горизонта S4 в 4-5 км от вулкана в западном и северном секторах 10-15 см. Площадь, захваченная пирокластикой S4 (рис. 6), около 600 км².

Соотношение вышеописанных горизонтов S2, S3 и S4 с отложениями пирокластических потоков, особенности строения и характер материала позволяют идентифицировать слои S2 и S3 как приземную волну (ground surge), а слой S4 как волну пеплового облака (ash cloud surge). Однако такая идентификация возможна только в тех случаях, когда эти горизонты находятся в тесной стратиграфической ассоциации с отложениями пирокластических потоков, являясь как бы неотъемлемыми частями этих эруптивных единиц

(рис. 4.1-5). На удалении от пирокластических потоков между горизонтами тефры Trh1 и Trh2 фиксируется пачка отложений пирокластических волн, внутри которой по характерным особенностям достаточно уверенно выделяется верхняя часть слоя S4 (рис. 3А, Б, 4.6-8). Остальная часть отложений трактуется как единая пачка S2 + S3, так как критерии для их разделения здесь отсутствуют.

Отложения горизонта S5 распространены на западном склоне вулкана и на его северо-восточном подножии на площади 250 км² (рис. 6). Они или разделяют горизонты тефры Trh2 и Trh3, или венчают разрез (рис. 4.3-8). В верховьях р. Седловинка мощность слоя достигает 3 м (рис. 4.5), хотя обычно не превышает 10-25 см. В отложениях отмечается прерывистая параллельная или косая слоистость, выраженная чередованием прослоев материала разной крупности. Преобладают зеленовато-серые или оливково-желтые грубые вулканические пески с примесью гравия и лапилли; присутствие значительного количества резургентных обломков отличает эти отложения от таковых слоев S2-S4.

Извержение ПАВ₃ (~3280 °C л.н.). Извержения ПАВ₁ и ПАВ₃ разделены периодом относительного покоя, запечатленного погребенной почвой. В почве фиксируются следы только одного извержения ПАВ₂ (рис. 2) в виде отложений пирокластической волны (светло-серый или оливково-серый тонкий пепел с аккреционными лапилли) и перекрывающей их маломощной тефры (грубые вулканические пески и гравий).

Продукты извержения ПАВ₃ по набору генетических типов, последовательности в разрезах и облику в целом сходны с отложениями извержения ПАВ₁ и представлены тефрой, отложениями пирокластических потоков и пирокластических волн. Среди обломочного материала преобладают темные плотные ювенильные шлаки.

Отложения пеплопадов включают три горизонта тефры. Главная ось пеплопада была направлена на юго-восток, затем пепловые тучи мигрировали к югу и следовали далее над акваторией океана (рис. 7).

Тефра начальной фазы извержения (Trh0) описана на юго-юго-востоке от вулкана и прослежена к югу на расстоянии 30 км. Ось пеплопада проходила над долиной ручья Козельский. Здесь тефра представлена преимущественно тонким уплотненным пеплом мощностью 1-2 см на расстоянии 12-15 км от кратера (рис. 8а, 9.6, 7).

Тефра Trh1 (рис. 8а) отлагалась преимущественно в ЮЮВ секторе подножия вулкана и имеет мощность 8 см на расстоянии 10 км от кратера по оси пеплопада (рис. 9.7). Здесь преобладают лапилли светло-коричневых с поверхности, а внутри темных, плотных ювенильных шлаков. Светло-серые или коричневые хрупкие разности единичны. Среди

Таблица 1. Объемы продуктов извержений ПАВ₁ и ПАВ₃ (км³)

Индекс извержения	Тефра		Отл-ния пирокл. потоков	Отложения пирокластических волн					Общий объем	DRE*
	Trh0	Всего		S1	S2 + S3	S4	S5	Всего		
ПАВ ₁	0.0004	≥3.0	0.4	0.04	0.06	0.03	0.07	0.2	≥3.6	≥1.97
ПАВ ₃	0.005	>1.1	0.05					0.06	>1.21	>0.65

* Эквивалентный общий объем в пересчете на плотную породу.

гравия и мелких лапилли много резургентного материала. Окраска слоя охристо-коричневая. Тефра Trh1 отчетливо идентифицируется там, где она перекрыта слоем S1 + S2 (рис. 8а, 9.6), или там, где отличается своим коричневым цветом от темно-серой тефры слоя Trh2 (рис. 9.7).

Тефра Trh2 - главная составляющая отложений пеплопадов (рис. 8, 9). Ареал ее распространения прослежен до берега океана (рис. 7). Мощность тефры в осевой зоне пеплопада составляет 50-90 см в 5-10 км от кратера. Вблизи источника преобладают гравий и лапилли плотных темных шлаков, встречаются бомбы до 15 см в поперечнике. Другие разности ювенильных пород немногочисленны: это полосчатые или осветленные до серого, бежевого, коричневого цвета плотные или пористые шлаки, очень редко пемза; единичны бомбы обволакивания, ядро которых сложено пемзой. Обращает внимание обилие резургентного материала, особенно в верхней части слоя, что буквально повторяет облик тефры Trh2 извержения ПАВ. Отмечены мелкие ксенолиты ультрабазитов. Отложения неясностратифицированы: наиболее крупные обломки сосредоточены то в центре то в подошве или кровле слоя. Окраска тефры темно-серая, иногда охристо-серая или бурая.

Отложения пирокластических потоков сходны с таковыми извержения ПАВ₁, почти совпадают с ними в единых границах (рис. 6,7), однако уступают им по масштабам распространения, занимая площадь около 10 км². Наибольшую протяженность (не менее 8 км) (рис. 7) и мощность до 10 м они имеют в долине р. Желтуха (рис. 3В, 9.4), установлены также в верховьях рек Сухая Елизаветская и Седловинка (рис. 9.2, 3) и на перевале между Авачинским и Корякским вулканами. Эти отложения легко идентифицируются там, где они отделяются от пирокластики извержения ПАВ₁ погребенной почвой.

Надежно установлена одна единица пирокластического потока - Pfl. Это рыхлые (иногда сильно уплотненные в подошве), преимущественно мелко-обломочные песчано-гравийные отложения; обломки ювенильных шлаков не превышают 10 см в поперечнике. Единично встречаются мелкие лапилли пемзы. Примесь резургентного материала довольно велика среди гравия и лапилли, присутствуют хаотично рассеянные глыбы измененных

эффузивов до 60-80 см в поперечнике. Отложения потока имеют землисто-серый цвет, иногда с ярко-оливковым оттенком. Близ подошвы нередки фрагменты обугленных стволов деревьев до 15 см в диаметре.

Отложения пирокластических волн. Выделено три горизонта отложений пирокластических волн, распространенных на площади 600 км². Два из них, S1 и S2, обычно фиксируются в непосредственном контакте с пирокластическими потоками (рис. 9.2-4) и идентифицируются, соответственно, как ground surge и ash cloud surge. Они представлены стратифицированными пачками вулканических пеплов разной крупности: чередуются прослой тонких пеплов и грубых вулканических песков с примесью гравия и мелких лапилли шлаков, часто обогащенных измененными породами. Тонкие пеплы, как правило, массивные, уплотненные, вплоть до образования тонкой плитчатости, иногда проявлена внутренняя дробная горизонтальная слоистость; отложения содержат аккреционные лапилли до 1 см. Окраска тонких пеплов светло-серая, голубоватая, палевая, розовая, мощность - от первых см до 15 см. Прослой грубых пеплов обычно стратифицированы - слоистость прерывистая, параллельная, линзовидная, реже косая; окраска пеплов зеленовато-серая, мощность от первых см до 12 м. Отложения S1 содержат в подошве остатки обугленной древесины.

На удалении от пирокластических потоков вышеописанные отложения представлены единым стратифицированным горизонтом S1 + S2 (рис. 8, 9.1, 5, 6).

Отложения S3 отмечены в единичных разрезах в 10 км к ЮВ от вулкана, где они с четким контактом перекрывают тефру Trh2 (рис. 9.7). Это зеленовато-серые неяснослоистые преимущественно тонкие пеплы, которые содержат аккреционные лапилли. Мощность слоя не превышает 4 см.

Объемы. Объемы продуктов извержений ПАВ₁ и ПАВ₃ даны в табл. 1. Объемы тефры и отложений пирокластических волн подсчитаны по методике [18]. Для тефры ПАВ₃ получено минимальное значение объема (1.1 км³), ограниченного изопакхитами, замыкающимися на суше (рис. 7). Точно определить контуры всей зоны пеплопада невозможно, учитывая, что значительная его часть приходилась на океанскую акваторию. По ориен-

тировочным оценкам объем тефры ПАВ₃ мог приближаться к 1.6-2 км³.

Пирокластические потоки извержений ПАВ₁ и ПАВ₃, по данным реконструкции, охватывали площади ~40 и 10 км² соответственно (рис. 6, 7). Суммарный объем отложений пирокластических потоков можно оценить в 0.4 км³ (ПАВ₁) и 0.05 км³ (ПАВ₃) при средней мощности отложений 3-15 м на разных расстояниях от вулкана.

Общие объемы продуктов этих извержений составили соответственно >3.6 и >1.21 км³ (табл. 1), и отвечают диапазону объемов известных плининских извержений 0.17-100 км³ [25].

Для слабых извержений андезитового этапа IАв (рис. 2Б) рассчитаны минимальные объемы тефры (0.0007-0.01 км³) по [19]. Тот же порядок значений получен при оценке конечных объемов с привлечением ориентировочных данных за пределами установленных изопахит 0.5-1 см.

Вещественный состав продуктов извержений ПАВ₁, ПАВ₃. Ювенильный материал продуктов извержений относится к высокоглиноземистым породам нормальной щелочности с натриевой специализацией ($\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} > 4$) [8]. На классификационных диаграммах [9, 20] (рис. 10) большая часть их фигуративных точек попадает в поля умереннокалиевой и толеитовой серий. Преобладают продукты с андезибазальтовым составом. На фоне пирокластики и лав большинства прочих голоценовых извержений Авачинского вулкана андезибазальты рассматриваемых извержений - выделяются повышенными FeO*/MgO (рис. 10).

Бомбы и лапилли обоих извержений сложены амфиболсодержащими двупироксеновыми микропористыми андезибазальтами. Вкрапленники, составляющие до 35% объема породы, представлены плагиоклазом, моноклинным и ромбическим пироксенами, магнетитом и роговой обманкой. Всегда преобладает плагиоклаз, среди темноцветных вкрапленников - клинопироксен. Отличительная особенность андезибазальтов извержений ПАВ₁ и ПАВ₃, выделяющая их среди большинства прочих, близких по содержанию кремнезема лав Авачинского вулкана, - это наличие как крупных вкрапленников, так и мелких удлиненных кристалликов свежей роговой обманки. Своеобразие петрографического облика андезибазальтов пирокластических потоков дополняется и характерной тонкомикрولитовой структурой основной массы. В небольших объемах аналогичные породы появляются уже в ювенильном материале пирокластических потоков поздних извержений андезитового (IАв) этапа [3].

В ювенильной пирокластике ПАВ_{1,3} в качестве примеси присутствуют редкие лапилли андезитовых пемз. По-видимому, они либо представляют апикальную часть зонального вулканического оча-

га, либо в ходе извержения имело место вовлечение материала из остаточного расплава.

Ксеногенный обломочный материал представлен породами плейстоценовой постройки Авачинского вулкана и позднплейстоценовых - раннеголоценовых экструзий, погребенных под современным шлаколавовым конусом. Кроме того, встречаются и редкие базит-гипербазитовые включения, неоднократно отмеченные в продуктах многих других извержений Авачинского вулкана [3, 10].

Лахары. Лахары, связанные с началом формирования Молодого конуса, прошли практически по всем долинам сухих рек - Сухая Елизовская, Желтуха, Сухая Халактырская, Мутная. Как правило, их отложения подстилают или перекрывают пирокластические потоки в их дистальных частях. Максимальная мощность лахаров достигает 6-10 м в 7-10 км от кратера в долине р. Мутная. На периферии вулкана отложения лахаров являются составляющей обширных вулканогенно-пролювиальных равнин его подножия, образованных конусами выноса сухих рек [13]. Лахары, спускавшиеся по долинам Сухой Елизовской и Желтухи, сливаясь, перекрывали территорию современного города Елизово и его аэропорта (рис. 6, 7), но они никогда не затрагивали возвышенность, на которой ныне расположен г. Петропавловск-Камчатский. Протяженность лахаров была 30-35 км.

Площадь, охваченная лахарами, составляла, судя по их реконструкции (рис. 6, 7), ~300 км² для извержения ПАВ₁ и ~140 км² для извержения ПАВ₃, а объем перемещенного лахарами материала соответственно - не менее 1.5 и 0.7 км³.

Возраст. Возраст извержения ПАВ₁ определялся ¹⁴C датированием погребенных почв, подстилающих и перекрывающих тефру, а также по углям из пирокластических потоков (табл. 2, 3). Обращает на себя внимание хорошая сходимость датировок, полученных по разному материалу вблизи Авачинского вулкана, а также их сходство с датировками на значительном удалении от него - в долине р. Камчатка и в кальдере Узон. Среднее значение ¹⁴C возраста и калиброванный возраст рассчитывались по программе [22]. Средний возраст извержения определялся по датам для пирокластики и составил 3510 ± 17 лет, календарный - ВС 1885 (1877, 1840, 1827, 1795, 1782) 1745 лет (в скобках - наиболее вероятные значения возраста, за скобками - доверительный интервал при 2σ). Эти значения практически совпадают с возрастом извержения (3512 ± 18), приведенным в [6, 16]. Хорошо видно (табл. 2, 3), что отдельно подсчитанные средние возраста для пирокластики и отложений лахаров практически совпадают.

Возраст извержения ПАВ₃ определен по датам для почвы и торфа над и под слоем тефры и для

КАТАСТРОФИЧЕСКИЕ ПЛИНИАНСКИЕ ИЗВЕРЖЕНИЯ

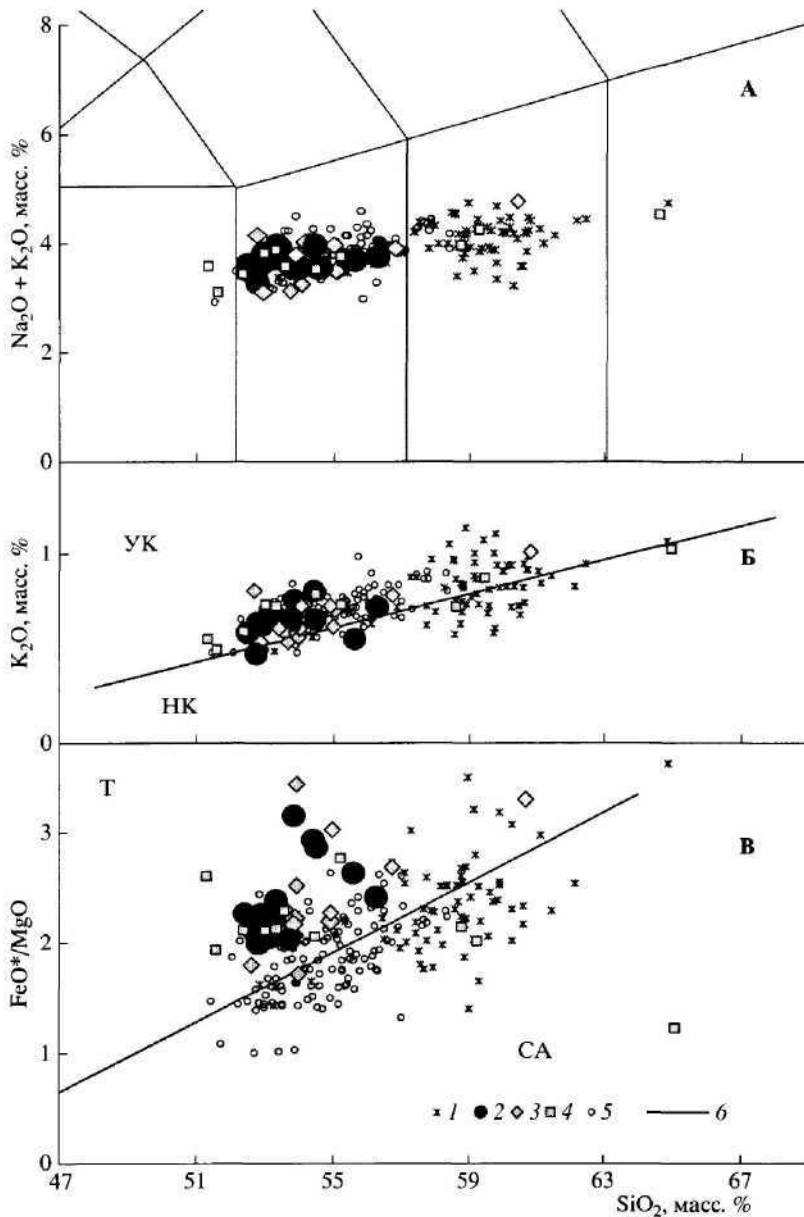


Рис 10. Классификационные диаграммы для продуктов голоценовых извержений Авачинского вулкана. А - фрагмент диаграммы "сумма щелочей-кремнезем" (TAS) [9]. Б - диаграмма K_2O-SiO_2 [9]. В - диаграмма Миаширо [20]. Составы продуктов: / - андезитовый этап IAB; 2-4 - извержения IAB₁, IAB₂ (2 - бомбы, лапилли; 3 - вулканические гравий и песок; 4 - пеплы на удалении от вулкана); 5 - прочие извержения Молодого конуса; 6 - дискриминантные линии. Поля серий: НК - низкокалиевая, УК - умереннокалиевая, Т - толеитовая, СА - известковощелочная.

углей из пирокластических потоков (табл. 2, 3). Средний ^{14}C возраст извержения 3279 ± 28 лет, календарный - ВС 1678 (1523) 1463 лет. Возраст, определенный по датам для пирокластики, имеет хорошую сходимость в пределах ошибки со средним возрастом для отложений лахаров (табл. 2,3).

Радиоуглеродные даты для пирокластики и лахаров извержения IAB₂ (табл. 2,3) хорошо согласуются с его приуроченностью к временному интервалу, разделяющему два вышеописанных извержения. Средний ^{14}C возраст извержения 3380 ± 100 лет, календарный - ВС 1921 (1685) 1434 лет.

Таблица 2. Радиоуглеродные даты для определения возраста пирокластических отложений и лахаров, связанных с извержениями начального этапа формирования Молодого конуса Авачинского вулкана

Индекс извержения	Дата	№ образца	Материал для датирования	Место взятия
ПАВ ₃	3300 ± 40	ГИН-8520	Почва под лахаром	г. Елизово
	3320 ± 40	ГИН-7756	Торф под лахаром	р. Авача
	3310 ± 31 – среднее для лахаров			
	3300 ± 80	ГИН-6929	Почва над тефрой	Вулкан Авачинский
	3270 ± 40	ГИН-6896	Угли из ПП	То же
	3280 ± 40	ГИН-6897	То же	»
ПАВ ₂	3310 ± 150	ГИН-8789	Торф под тефрой	»
	3279 ± 28 – среднее для пирокластики			
ПАВ ₂	3380 ± 40	ГИН-7483	Древесина из лахара	р. Авача
	3370 ± 50	ИВАН-870а	Древесина из почвы под лахаром	То же
ПАВ ₁	3380 ± 100	ГИН-7284	Угли из почвы под тефрой	Вулкан Корякский
	3440 ± 50	ГИН-7760	Торф над лахаром	р. Авача
	3480 ± 40	ГИН-7761	Древесина из торфа над лахаром	То же
	3480 ± 50	ГИН-8519	Почва над лахаром	г. Елизово
	3530 ± 60	ИВАН-870	То же	То же
	3570 ± 40	ГИН-7488	Торф под лахаром	р. Авача
	3502 ± 22 – среднее для лахаров			
	3440 ± 50	ИВАН-708	Торф над тефрой	пос. Шаромы
	3470 ± 120	ИВАН-294	Почва над тефрой	Кальдера Узон
	3450 ± 40	ГИН-7125	Древесина из ПП	Вулкан Авачинский
	3510 ± 50	ГИН-7128	То же	То же
	3460 ± 40	ГИН-7134	Угли из ПП	»
	3510 ± 100	ИВАН-815	То же	»
	3570 ± 40	ГИН-6056	»	»
3580 ± 70	ГИН-7130	Почва под ПП	»	
3560 ± 50	ГИН-6361	Почва под тефрой	»	
3580 ± 90	ИВАН-843	То же	»	
3570 ± 60	ИВАН-385	Торф под тефрой	р. Камчатка	
3510 ± 17 – среднее для пирокластики				

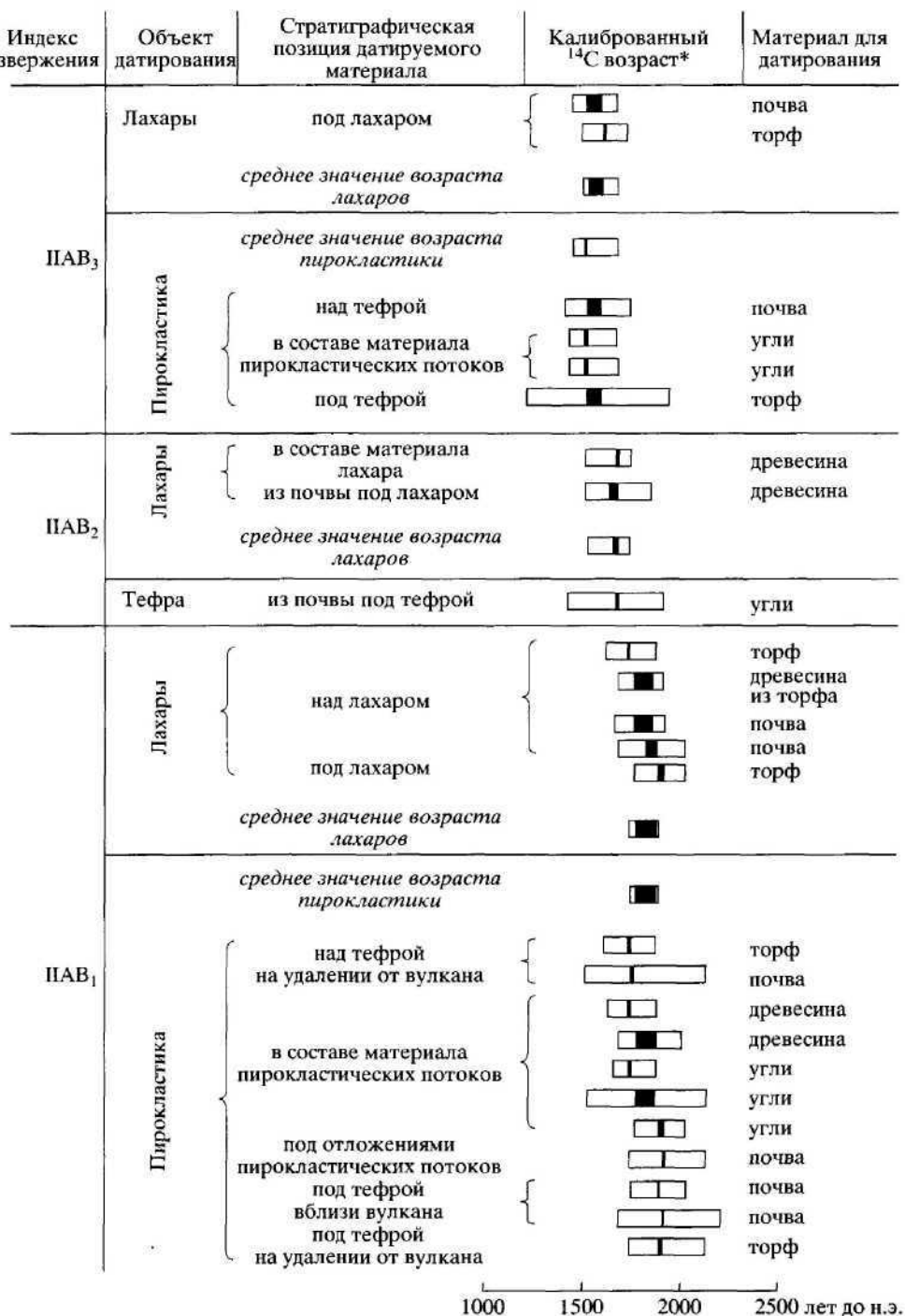
Примечание. В таблицу внесены значения наиболее древних вытязек из почв и торфа над тефрой и наиболее молодых вытязек из почв и торфа под ней; ПП – пирокластический поток. Даты даны в той же последовательности, что в табл. 3.

Общая характеристика хода извержений. Ход извержений можно восстановить по последовательности отложений на сводном разрезе (рис. 11). В развитии событий отмечаются многие черты сходства обоих извержений. Начальная фаза и в том, и в другом случае ознаменовалась выбросом тонкого пепла TrpO, указывающего на продувку-открытие жерла (opening phase). События продолжились, в случае *извержения ПАВ₁*, формированием базисной волны (base surge) и пирокластического потока Pfl1, который прошел по долине р. Сухая Халактырская. Его длина 5 км, мощность отложений 5 м в 9 км от вулкана. Пепловое

облако оторвалось от потока и перемещалось в западном и северо-западном направлении.

В дальнейшем извержение вступило в собственно плингианскую фазу. Она включала два мощных выброса тефры (Trp1 и Trp2), разделенных эпизодом формирования пирокластических потоков (Pfl2, Pfl3) и связанных с ними пирокластических волн S2-S4 (рис. 11). Высота эруптивной колонны составляла 21–28 км [14]. Тефра распространялась в СВ направлении, и оси пеплопадов для всех выбросов были очень близки. Изменения ее мощности и крупности показаны на рис. 5. Пепел этого извержения прослежен на террито-

Таблица 3. Возраст отложений, связанных с извержениями начала этапа формирования Молодого конуса Авачинского вулкана



Примечание. *Белые прямоугольники - диапазон календарных дат, полученных для радиоуглеродных датировок табл. 2 по методике [22]; залито черным - доверительный интервал при 25.

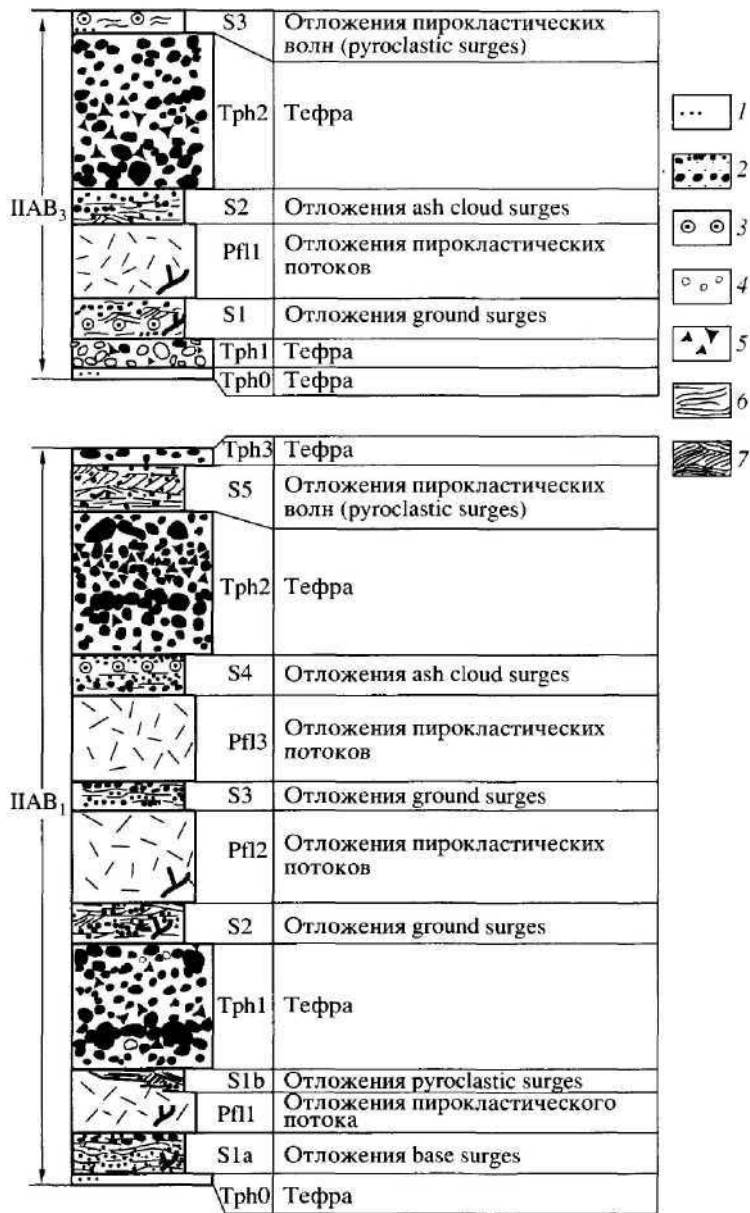


Рис. 11. Последовательность отложений в ходе извержений ПAB₁ и ПAB₃: 1-2 - вулканические пески (1 - тонко-мелкозернистые; 2 - разнозернистые с примесью гравия и лапилли); 3 - аккреционные лапилли; 4 - пемза; 5 - обломки резургентных пород; 6-7 - слоистость (6 - параллельная линзовидная или слабоволнистая; 7 - косая). Прочие обозначения см. рис. 4, 9.

рии полуострова в ископаемом состоянии более чем на 250 км к северо-востоку от вулкана и выделен ранее как маркирующий горизонт AB₁ [4, 5, 15, 16]. На периферии пеплового облака тонкий пепел выпадал на Командорских островах (мощность слоя 0.3-0.5 см) и в долине р. Камчат-

ки (мощность 1-2 см). Площадь пеплопада по изопакхите 1 см - 47600 км². Объем тефры 3 км³.

Пирокластические потоки Pfl2 заполнили большинство долин сухих рек - Седловинка, Сухая Елизовская, Желтуха, Сухая Халактырская, Мутная и оврага Широкий (рис. 6). Длина их дости-

Таблица 4. Катастрофические извержения, связанные с началом этапа формирования Молодого конуса Авачинского вулкана

Индекс извержения	Возраст		Состав продуктов	Минеральная ассоциация (в порядке уменьшения содержания)	Объем продуктов, км ³					H, км	S, 10 ³ км ²	VEI
	¹⁴ C*	календарный**			V ₁	V ₂	V ₃	V ₄	V ₅			
ПАВ ₁	3510 ± 17 (11)	BC 1885 (1877, 1840, 1827, 1795, 1782) 1745	АБ	Pl + CPx + Opx + + Mt + Hb	≥3.0	0.4	0.2	≥3.6	≥1.97	21–28	47.6	5
ПАВ ₃	3279 ± 28 (4)	BC 1678 (1523) 1463	АБ	Pl + CPx + Opx + + Mt + Hb	>1.1	0.05	0.06	>1.21	>0.65	25		5

Примечание. АБ – андезитбазальт; Объемы: V₁ – тефры, V₂ – отложенный пирокластических потоков, V₃ – отложенный пирокластических волн, V₄ – общий объем, V₅ – эквивалентный общий объем продуктов в пересчете на плотную породу (DRE); H – высота эруптивной колонны (для ПАВ₁ по [14]); S – площадь пеплопада по изопаките 1 см; VEI – индекс эксплозивности [21]. * В скобках – число дат для расчета возраста. ** BC – годы до н.э.; в скобках – принятый возраст извержения, за скобками – доверительный интервал (при 2σ), когда могло произойти извержение.

гала 10–12 км, максимальная мощность отложений составляла 10–20 м. Пирокластические потоки Pfl3 имели более скромные размеры и прошли по долинам рек Сухая Елизовская, Седловинка и Мутная. Их длина 3–6 км, мощность 2–8 м. Отложения ground surge S2 и S3 тяготели к области распространения пирокластических потоков, а пепловые облака (ash cloud surge S4) были снесены ветром к северо-востоку (рис. 6). Объемы отложений см. табл. 1. Извержение закончилось формированием пирокластической волны S5 и отложением малоомощного слоя тефры Trp3.

Существенную роль в ходе всего извержения играли фреатомагматические процессы. На это указывает наличие отложений base surge, значительная примесь резургентного материала в тефре (Trp1, Trp2), в отложениях пирокластических потоков и пирокластических волн (S5), наличие аккреционных лапилли (S4).

Во время **извержения ПАВ₃** за открытием канала (Trp0) последовал выброс тефры (Trp1), а затем формирование пирокластических потоков Pfl1 и связанных с ними пирокластических волн (ground surge и ash cloud surge – S1, S2) (рис. 11). Пирокластические потоки прошли по долинам сухих рек – Седловинка, Сухая Елизовская, Желтуха (рис. 7), однако, они имели меньшую протяженность (6–8 км) и объем (табл. 1). Мощность отложений не более 10 м. Отложения пирокластических волн тяготеют к пирокластическим потокам, но часть пепловых облаков сносилась ветром к юго-востоку (рис. 7).

Кульминационная стадия извержения представлена формированием мощных отложений тефры (Trp2). Высота эруптивной колонны составляла ~25 км (данные А.В. Курбатова, устное сообщение). Тефра распространялась в юго-восточном направлении (рис. 7); ее мощность на побережье океана достигала 30 см, а далее пепел выпадал над

его акваторией. Объем тефры не менее 1.1 км³. Завершилось извержение формированием пирокластической волны S3.

Для извержения ПАВ₃ фреатомагматическая составляющая была очень велика: прослой тефры обогащены резургентным материалом, а в отложениях всех пирокластических волн (S1–S3) содержатся аккреционные лапилли.

Главные характеристики двух рассмотренных извержений суммированы в табл. 4. Они произошли ~3500 и 3280 ¹⁴C л.н. Состав ювенильных продуктов отвечал андезитбазальтам. Общий объем изверженного материала, наибольшая часть которого приходилась на долю тефры, составлял >3.6 км³ (ПАВ₁) и >1.21 км³ (ПАВ₃). Высота эруптивной колонны достигала 21–28 км. По VEI = 5 [21] эти извержения относятся к плинианским. Масштабы вышеописанных пеплопадов сопоставимы с масштабами других известных плинианских извержений (рис. 12). Индексы рассеяния тефры (D по [23]) – 34000 км² (ПАВ₁) и 17000 км² (ПАВ₃) не только отвечают таковым для плинианских извержений (>500 км² [25]), но и превышают эти значения для многих из них [24]. По своим параметрам и особенностям продуктов оба рассмотренных извержения классифицируются как плинианские и могут дополнить существующий каталог подобных крупнейших событий [25], в том числе и список извержений с продуктами основного состава [17, 25–27].

Влияние на природную среду. Катастрофические извержения ПАВ₁, ПАВ₃ явились настоящей природной катастрофой на Камчатке. С ними были связаны интенсивные пеплопады, формировались пирокластические потоки и пирокластические волны. Пирокластические потоки проходили по долинам сухих рек на расстояния до 14 км. Воздействие пирокластических волн сказывалось на расстоянии до 20 км от кратера. Тефра составля-

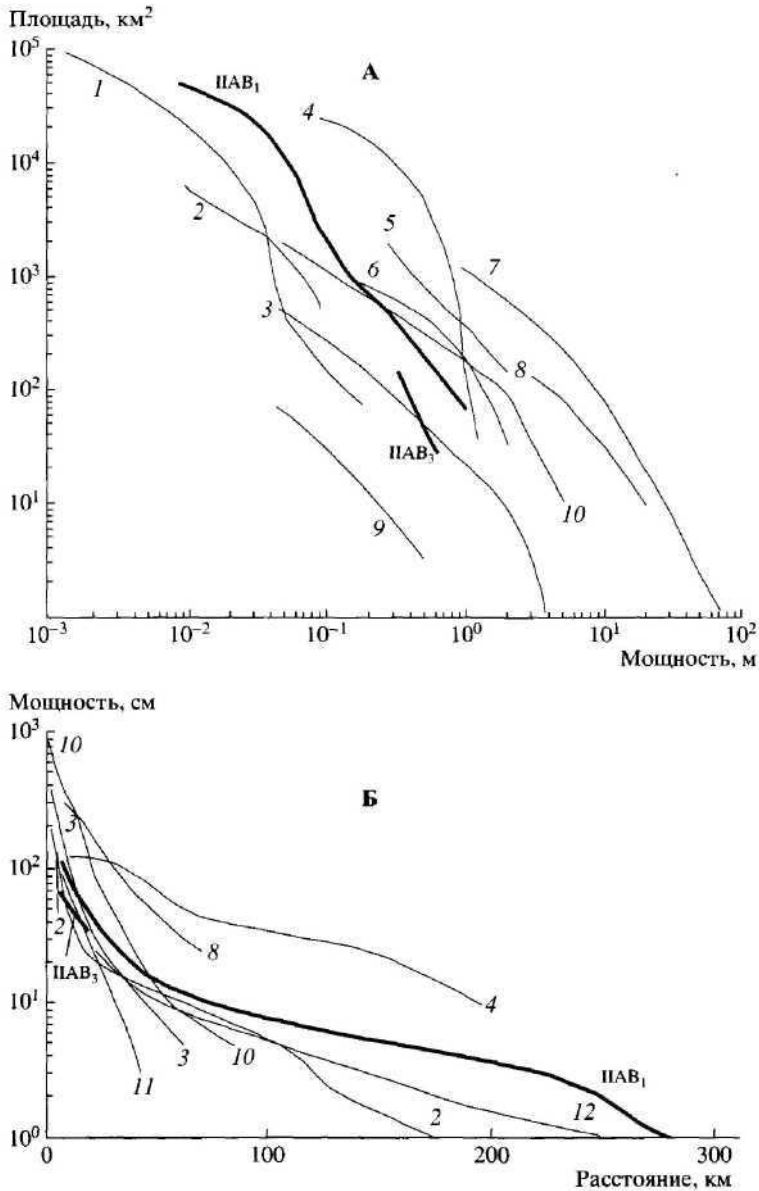


Рис. 12. Параметрические диаграммы для извержений ПАВ₁ и ПАВ₃. А - соотношение мощностей тефры, обозначенных изопахитами (рис. 5, 7), и контурных ими площадей пеллопадов. Прочие плинианские извержения: 1-8 - по [27] (1 - Сент-Хеленс, 18 мая 1980 г.; 2 - Аскья, 1875 г.; 3 - Асама, 1783 г.; 4 - Санта-Мария, 1902 г.; 5 - Фого, 1563 г.; 6 - Масайя, 6500 л.н.; 7 - Масайя, 20000 л.н.; 8 - Везувий, 79 г. н.э.); 9 - Везувий, 3360 ¹⁴С л.н. [24]; 10 - Фудзи, 1707 г. [25]. Б - изменение мощности тефры с удалением от центра извержения по оси пеллопада. Кривые прочих извержений даны по [25]. 2, 3, 4, 8, 10 - см. рис. 12А; 11 - Таравера, 1886 г.; 12 - Гекла, 1104 г.

ла главную часть продуктов обоих извержений, и объем ее в сумме превысил 4 км³. С рассматриваемыми извержениями были связаны наиболее мощные лахары за всю историю Молодого конуса. Минимальной зоной полного уничтожения всего живого можно считать области распространения

пирокластических потоков и лахаров площадью ~350 км². Эта зона была еще больше за счет действия пирокластических волн и выпадения мощной тефры. В результате погребения растительности, лесных пожаров и химического заражения почв и вод образовалась пустыня на площади

~800 км². Там, где мощность тефры составила 20-40 см (~2000 км² - ПАВ, и ~300 км² на суше - ПАВ₃), имело место полное усыхание березняков и кедрового стланника. На территории площадью ~20000 км² (ПАВ₁) с мощностью тефры 5-20 см произошло поражение древесной и почти полное уничтожение тундрово-луговой растительности. В процессе извержений существенно изменились морфология вулкана и рельеф окружающей местности: внутри соммы начал расти Молодой конус, часть сухих рек изменили русла. При максимальных масштабах возможных негативных последствий от таких извержений, только низкая вероятность подобных событий в ближайшие 100-200 лет снижает угрозу от опасных явлений [2].

Положение Авачинского вулкана в высоких широтах северного полушария, большой объем извергнутых продуктов андезитбазальтового состава, значительные высоты эруптивных колонн позволяют полагать, что эти извержения могли быть причиной краткосрочного изменения климата и найти отражение в кислотных пиках Гренландского ледникового щита, как это предполагалось (для извержения ПАВ₁) в [6].

Авторы выражают искреннюю благодарность И.В. Мелекесцеву за ценные замечания и пожелания, О.В. Дирксену и Ю.Н. Шуваловой за помощь, оказанную при подготовке статьи.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Базанова Л.И., Брайцева О.А., Иванов Б.В., Мелекесцев И.В. Декадный вулкан Авачинский на Камчатке // Вестник ДВО РАН. 1999. № 3. С. 126-135.
2. Базанова Л.И., Брайцева О.А., Мелекесцев И.В., Пузанков М.Ю. Потенциальная опасность от извержений Авачинского вулкана // Геодинамика и вулканизм Курило-Камчатской островодужной системы. Петропавловск-Камчатский: 2001. С. 390-407.
3. 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) // Вулканология и сейсмология. 1998. № 1. С. 3-24.
4. Брайцева О.А., Мелекесцев И.В., Пономарева В.В. и др. Сильные и катастрофические эксплозивные извержения на Камчатке за последние 10 тысяч лет // Геодинамика и вулканизм Курило-Камчатской островодужной системы. Петропавловск-Камчатский. 2001. С. 235-252.
5. 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.
6. 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.
7. Кирьянов В.Ю., Егорова И.А., Литасова С.Н. Вулканические пеплы на о-ве Беринга (Командорские острова) от голоценовых извержений Камчатки // Вулканология и сейсмология. 1986. № 6. С. 18-28.
8. Классификация и номенклатура магматических горных пород // Под ред. Гоньшакова В.И. М.: Наука, 1981. 160 с
9. Классификация магматических (изверженных) пород и словарь терминов. Рекомендации Подкомиссии по систематике изверженных пород Международного союза геологических наук. М.: Недра, 1997. 248 с.
10. Колосков А.В. Ультрасосновые включения и вулканы как саморегулирующаяся геологическая система. М.: Научный мир, 1999. 224 с.
11. Масуренков Ю.П., Егорова И.А., Пузанков М.Ю. и др. Вулкан Авачинский // Действующие вулканы Камчатки. Т. 2. М.: Наука, 1991. С. 246-273.
12. Мелекесцев И.В., Литасова С.Н., Сулержицкий Л.Д. О возрасте и масштабе катастрофических извержений типа направленного взрыва вулкана Авачинский (Камчатка) в позднем плейстоцене // Вулканология и сейсмология. 1991. № 2. С. 3-11.
13. Мелекесцев И.В., Сулержицкий Л.Д., Базанова Л.И. и др. Катастрофические голоценовые лавхары Авачинского и Корякского вулканов на Камчатке // Вулканология и сейсмология. 1995. № 4-5. С. 172-181.
14. Bazanova L. /., Braitseva 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.
15. Braitseva O.A., Melekestsev I.V., Ponomareva V.V., Sulzerzhitsky L.D. Ages of calderas, large explosive craters and active volcanoes in the Kuril-Kamchatka region, Russia // Bull. Volcanol. 1995. V. 57/6. P. 383-402.
16. Braitseva O. A., Ponomareva V.V., Sulzerzhitsky L.D. et al. Holocene Key-marker tephra layers in Kamchatka, Russia // Quaternary Res. 1997. V. 47. P. 125-139.
17. Coltelli M., Del Carbo P., Vezzoli L. Discovery of a plinian basaltic eruption of Roman age at Etna volcano, Italy // Geology. 1998. V. 26. № 12. P. 1095-1098.
18. Fierstein J., Nathenson M. Another look at the calculation of fallout tephra volumes // Bull. Volcanol. 1992. V. 54. P.156-167.
19. Legros F. Minimum volume of a tephra fallout deposit estimated from a single isopach // J. Volcan. Geotherm. Res. 2000. V. 96. P. 25-32.
20. Miyashiro A. Volcanic rock series in island arcs and active continental margins // Amer. J. Sci. 1974. V. 274. P. 321-355.
21. Newhall C.G., Self S. The volcanic explosivity index (VEI): an estimate of explosive magnitude for historical volcanism // J. Geophys. Res. 1982. V. 87. P. 1231-1238.
22. Stuiver hi., Reimer P.J., Bard E. et al. INTCAL 98 Radiocarbon age calibration 24,000-0 cal B.P. // Radiocarbon. 1998. V. 40. № 3. P. 1041-1083.

23. *Walker G.P.L.* Explosive volcanic eruptions - a new classification scheme // *Geol. Rundsch.* 1973. V. 62. P. 431-446.
24. *Walker G.P.L.* The Taupo pumice: product of the most powerful known (ultraplinian) eruption? // *J. Volcan. Geotherm. Res.* 1980. V. 8. P. 69-94.
25. *Walker G.P.L.* Plinian eruptions and their products // *Bull. Volcanol.* 1981. V. 44. № 2. P. 223-240.
26. *Walker G.P.L., Self S., Wilson L.* Tarawera 1886, New Zealand - a basaltic plinian fissure eruption // *J. Volcan. Geotherm. Res.* 1984. V. 21. P. 61-78.
27. *Williams S.N.* Plinian airfall deposits of basaltic composition // *Geology.* 1983. V. 11. № 4. P. 211-214.

Catastrophic Plinian-type Eruptions During the Initial Phase of the Formation of the Young Cone. Avachinsky Volcano, Kamchatka

L. I. Bazanova¹, O. A. Braitseva¹, M. Yu. Puzankov¹, L. D. Sulerzhitsky²

¹*Institute of Volcanic Geology and Geochemistry, Far East Division, Russian Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatskii, 683006, Russia*

²*Geological Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, 109017, Russia*

This paper discusses two catastrophic Plinian-type eruptions which occurred close enough in time (IIA₁ 3500 and IIAV₃ - 3280 ¹⁴C yrs B.P.) on Avacha Volcano and initiated the activity of its Young Cone. We studied the stratigraphy of the ejecta, reconstructed their chronology and parameters, assessed their environmental impact. The ejecta of both of these eruptions were dominated by tephra whose volume is >3 and >1.1 km³, respectively. The eruptive columns rose as high as 21-28 km. The IIAV₁ ash layer can be followed for 300 km northeast of the volcano, the ashfall area enclosed within the 1 cm isopach being about 50000 km². Both eruptions were accompanied by pyroclastic flows, surges, and catastrophic lahars. The juvenile pyroclastics is basaltic andesite. By the values of total discharge volume (>3.6 km³ for IIAV₁ and >1.21 km³ for IIAV₃), these eruptions must be among the largest to have occurred during the eruptive history of the Young Cone.