

УДК 551.21

ИСТОРИЧЕСКИЕ ИЗВЕРЖЕНИЯ ВУЛКАНА ЧИКУРАЧКИ (О. ПАРАМУШИР, КУРИЛЬСКИЕ ОСТРОВА)

© 2003 г. А. Б. Белоусов¹, М. Г. Белоусова¹, С. Ю. Гришин², П. В. Крестов²

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

²Институт биологии и почвоведения, ДВО РАН, Владивосток, 690022

Поступила в редакцию 23.07.2002 г.

Проанализирована динамика исторических извержений вулкана Чикурачки. Показано, что для этого вулкана характерны как слабые вулкано-стромболианские (интервал годы-десятилетия), так и мощные плинианские (интервал 100-200 лет) извержения базальтовой магмы (50-54% SiO₂). Изучены отложения тефры и восстановлены параметры плинианских стадий извержений 1853 и 1986 гг., значения которых оказались очень близки: минимальный объем изверженной магмы составил соответственно 0.03 и 0.04 км³, расход магмы для обоих извержений составлял 5 × 10⁶ кг/с, высоты эруптивных колонн-около 13-14 км при скорости ветра 35-40 и 15 м/с, продолжительность плинианских стадий 5 и 7 ч. Приведены сведения о морфологии постройки вулкана и строении почвенно-пирокластического чехла района. Описано состояние кратера вулкана летом 2000 г. Сделан вывод о том, что высокие, сильно нагруженные пирокластикой облака плинианских извержений являются главным фактором риска, связанным с вулканом Чикурачки.

ВВЕДЕНИЕ

Преимущественно базальтовый стратовулкан Чикурачки (1816 м)- третий по высоте вулкан Курильских островов и самая высокая точка о. Парамушир (рис. 1). Чикурачки является одним из наиболее активных вулканов Курильской дуги. Имеются сведения о его извержениях в 1853-1859, 1958, 1961, 1964, 1973, 1986, 2002 гг. [3,4,6,13,29]*.

Несмотря на существование ряда статей, посвященных вулкану Чикурачки, составить целостное представление о характере его активности довольно трудно, так как многие публикации представляют изложение отрывочных сведений об отдельных извержениях, полученных от местного населения. Дополнительные сложности связаны с тем, что некоторые из этих статей опубликованы в малотиражных, редких изданиях. Цель предлагаемой работы - представить по возможности полную характеристику современной активности вулкана Чикурачки. Для этого мы проанализировали все имеющиеся описания исторических извержений вулкана, а также изучили строение почвенно-пирокластического чехла района, сконцентрировав внимание на отложениях базальтовой тефры сильных эксплозивных извержений 1853 и 1986 гг.

Морфология постройки вулкана. Г.С. Горшков [3] впервые отметил, что постройка вулкана Чикурачки состоит из древнего лавового основа-

ния, вероятно, плейстоценового возраста и, почти полностью перекрывшего его, молодого, преимущественно пирокластического конуса (рис. 2). Основание, диаметром до 9 км, сложено мощными потоками лавы, высокие, крутые фронтальные части которых на СВ подножье вулкана образуют уступы на отметках 100-200 м, а на СЗ формируют ряд мысов на побережье Охотского моря. Самый

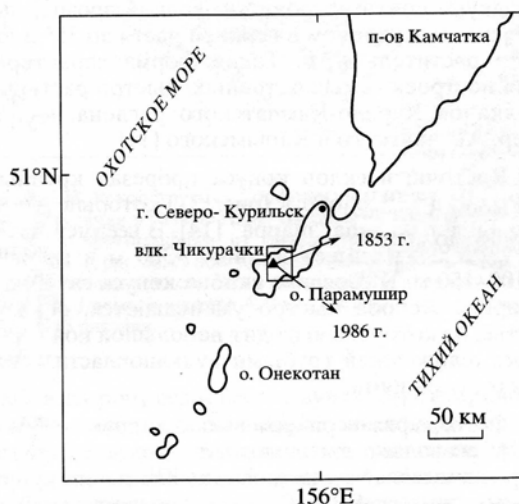


Рис. 1. Схема островов Северных Курил и положение вулкана Чикурачки. Стрелками показано направление осей пеплопадов 1853 и 1986 гг. Прямоугольником показан район рис. 8А, Б.

Извержение 2002 г. началось, когда эта работа уже была подготовлена к сдаче в печать. Поэтому мы приводим только краткую, предварительную информацию об извержении.



Рис. 2. Вулкан Чикурачки. Вид с востока с расстояния 5.6 км. Восточный склон вулкана прорезан крупной радиальной рывтиной. На северном склоне вулкана (справа) выступ древнего основания (отметка 1056.8 м). К югу от вулкана Чикурачки (слева) - вулкан Татаринова.

верхний выступ основания образует крупный участок скалистого рельефа на северном склоне вулкана (гипсометрическая отметка 1056.8 м).

Молодой правильный конус вулкана имеет гладкую, почти нетронутую водной эрозией поверхность с уклоном в верхней части до 35° и лишен растительности. Такая форма характерна для построек самых активных, быстро растущих вулканов Курило-Камчатского региона, например, Авачинского и Карымского [11].

Восточный склон конуса прорезан крупным радиальным желобом (рис. 2), который имеет морфологию типа "шарра" [14]. В верхней части конуса желоб имеет ширину ~ 300 м и глубину 100-150 м. К середине склона конуса глубина и ширина желоба быстро уменьшаются, образуя устье, из которого выходит небольшой конус выноса, сложенный грубыми вулканокластическими отложениями.

Фотография вершины вулкана, приведенная в [17], позволяет предположить, что похожий по строению желоб существовал на ЮВ склоне конуса до извержения 1986 г. Вероятно, по нему спулся лавовый поток 1853(?) г. (см. далее "Структура конуса")- В ходе извержения 1986 г. этот желоб был полностью заполнен новым мощным лавовым потоком. На СВ склоне вулкана просматривается

еще один небольшой узкий желоб, находящийся, вероятно, на начальном этапе формирования.

Желоба с аналогичной морфологией существуют на склонах многих стратовулканов; классическим примером служит вулкан Ключевской [14]. Наличие их у вулкана свидетельствует о том, что во время извержений центрального кратера образуются разнообразные гравитационные потоки (пирокластические и лахаровые), эродирующие склоны вулканической постройки.

Кратер. На вершине вулкана расположен кратер диаметром ~ 450 м. Кромка кратера имеет самую высокую отметку в северной части и плавно понижается к югу. Первое описание кратера относится к 1953 г., когда он имел форму воронки глубиной 200 м, считая от северной кромки кратера, и 50 м, считая от ЮВ кромки [3]. В центральной части кратера располагался небольшой внутренний кратер, с юга ограниченный низким валом пирокластиков в форме полукольца (рис. 3а). Основные морфологические черты воронки большого кратера, вероятно, были сформированы сильным эксплозивным извержением 1853 г., а внутренний кратер образовался в результате последующего слабого извержения, которое продолжалось до 1859 г.

В ходе извержения 1958 г. в СЗ части дна кратера сформировалась новая бокка в форме колодца

диаметром ~70 м и глубиной несколько десятков метров [18] (рис. 3б). Анализ опубликованных фотографий кратера и описаний извержений показывает, что активность вулкана в 1958-1973 гг. была сосредоточена только в этой бокке. Остальная часть кратера не менялась, не считая незначительного заполнения пирокластикой.

Существенные изменения в строении кратера произошли во время сильного извержения вулкана в 1986 г. Данных о морфологии кратера после этого извержения не опубликовано, поэтому мы опишем его подробно таким, каким увидели во время нашего посещения летом 2000 г.

Состояние кратера 6 августа 2000 г. Кратер представляет собой пологую впадину, широко открытую на ЮВ (рис. 3в). Дно кратера покрыто грубообломочным красноватым шлаком. В ЮВ части кратера расположен исток мощного лавового потока 1986 г., который выходит на ЮВ склон вулкана. В истоке лавы образовалась система крупных трещин растяжения, перпендикулярных направлению течения потока. При вытекании последних порций лавы (и/или при опускании магматической колонны в конце извержения) дно кратера несколько осело по системе концентрических трещин; проходящих вдоль его кромки. По этим трещинам наблюдается слабое парение. В центральной части кратера, которая лишь незначительно ниже самой низкой части его ЮВ бровки, фумарол нет; здесь расположен небольшой снежник.

В Ю-ЮЗ части кратера находится колодцеобразная бокка диаметром ~50 м, из которой бесшумно выделяются белые клубы удушливых газов. Стенки бокки субвертикальные, сложены слоями светло-серой лавы. Глубина колодца у южной стенки ~15 м, где видно дно, заваленное крупными глыбами. Северная стенка бокки - нависающая; глубина здесь больше, и дно не просматривается из-за выделяющегося газа.

На дне бокки и вокруг нее (особенно у ее западного края) сосредоточены самые активные фумаролы кратера с сильным запахом сероводорода. Фумаролы на дне бокки недоступны, а вокруг бокки много площадок с рассеянным парением с максимальной температурой 80°C.

Вокруг бокки разбросано много крупных (до 2-3 м), угловатых блоков плотной, светло-серой лавы, внешне сходной с лавой, обнажающейся в стенках бокки. Некоторые из блоков сложены красноватой окисленной или желтоватой гидротермально измененной лавой. Блоки были выброшены взрывом (несколькими взрывами?), сформировавшим бокку. Выброшенный материал резко отличается от черных шлаковидных базальтовых бомб 1986 г., обильно покрывающих привершинные склоны вулкана. Взрывы, сформировавшие бокку, были косыми, направленными на юг - юго-за-

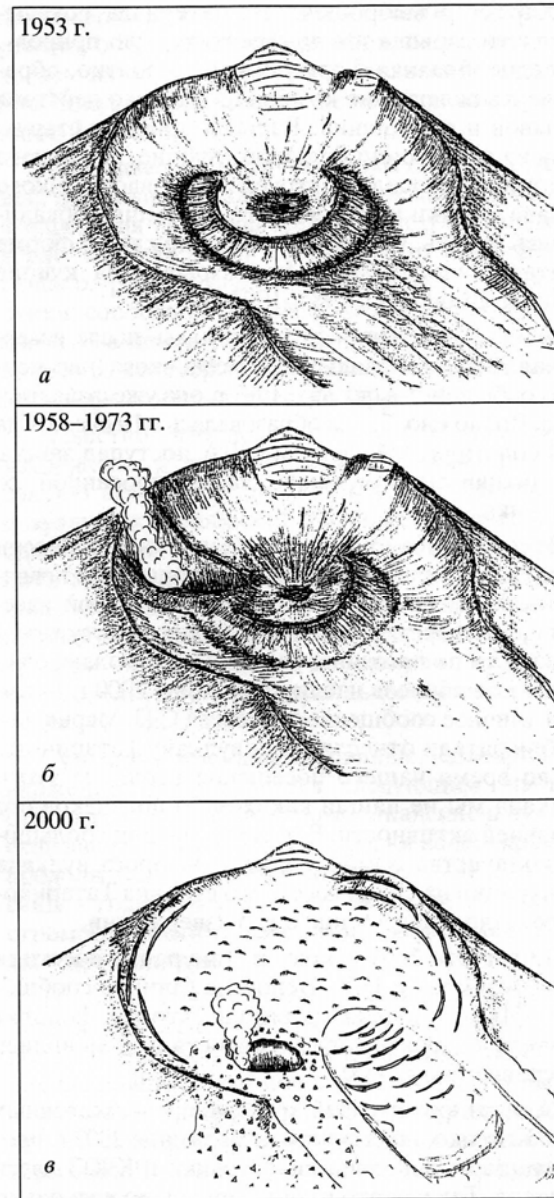


Рис. 3. Реконструкция морфологии кратера вулкана Чикурачки в разные годы, составленная по описаниям и фотографиям из литературных источников (табл. I, рис. 3а, б) и по наблюдениям авторов (рис. 3в). Пояснения в тексте. Вид с юга с высоты птичьего полета. Диаметр кратера 450 м - дает примерный масштаб рисунка.

пад, в сторону седловины с вулканом Татаринова, которая вся покрыта выброшенными по баллистическим траекториям блоками диаметром до 1 м и изрыта воронками от их падения. Конвективное облако взрывов было снесено ветром на восток где у подножия вулкана вдоль узкой полосы на поверхности шлака 1986 г. выпали редкие, отдельные угловатые обломки плотной, светло-серой лавы достигающие 3 см на расстоянии 5 км от вулкана.

Характер выброшенного материала показывает, что взрывы имели фреатическую природу. Колодцеобразная форма бокки, вероятно, образовалась вследствие комбинированного действия взрывов и обрушений. Взрывы дробили старую лаву на достаточно большой глубине, после чего обломки выносились струей газов вдоль узкого канала, стенки которого затем частично обваливались внутрь. Формирование похожих по форме кратеров происходило при взрывах на куполе вулкана Шивелуч в 1984—1993 гг. [2].

Бокка, очевидно, сформировалась после извержения 1986 г. По данным А. Овсянникова (письменное сообщение), в октябре 1997 г. она уже существовала. Возможно, бокка образовалась в 1995 г., когда от Геологической службы США поступал запрос об активизации вулкана, зафиксированной со спутника.

Не исключено, что из бокки эпизодически происходили слабые выбросы, которые, как правило, оставались незамеченными из-за малой населенности территории острова и частом отсутствии видимости по погодным условиям. Возможно, один из таких выбросов наблюдался 4 мая 2000 г. около 12 ч. (личное сообщение охотоведа С.П. Маршука). Наблюдатели отнесли его к вулкану Татаринова, но во время нашего посещения вершины этого вулкана мы не нашли каких-либо признаков его недавней активности. Вероятно, падение большого количества бомб от косога выброса вулкана Чикурачки на склон соседнего вулкана Татаринова создало впечатление о его извержении.

13 августа 2001 г. кратер Чикурачки посетили Т.Г. Чурикова и И.А. Белоусов (личное сообщение). Их наблюдения показали, что морфология кратера и характер его активности не изменились по сравнению с 2000 г.

Анализ фотографий кратера, предоставленных Л.В. Котенко, показал, что извержение 2002 г. происходило из вышеописанной бокки в ЮЮЗ части кратера. Так как это извержение было несколько сильнее, чем предшествовавшие отдельные эксплозии, оно могло значительно изменить облик бокки. Морфология других частей кратера не изменилась.

Наши наблюдения показывают, что, в отличие от извержений 1958-1973 и 2002 гг., извержение 1986 г. полностью изменило форму дна кратера (например, значительно уменьшило его глубину). Вероятно, оно происходило не из отдельной бокки, а из открытого жерла, занимавшего существенную часть полости кратера Чикурачки.

Структура молодого конуса. Имеющиеся наблюдения позволяют изучить только самую верхнюю часть разреза постройки вулкана. Строение конуса видно в высоких (до 100 м), обрывистых стенках, ограничивающих широкую верхнюю часть восточной рывины, и в обрыве северной стенки

кратера. Верхняя часть конуса сложена многочисленными толстыми (метры, десятки метров) слоями грубообломочного базальтового шлака кирпично-красного цвета. Красный оттенок имеет и вся верхняя половина конуса вулкана, что обусловлено интенсивным окислением слагающей его тефры. Это свидетельствует о том, что тефра отложена мощными эксплозивными извержениями, когда большие массы грубой базальтовой пирокластики накапливались очень быстро, сохраняя высокую температуру, что способствовало их интенсивному окислению после отложения.

Кроме слоев грубого шлака в строении конуса участвуют также базальтовые лавовые потоки: несколько тонких потоков обнажается в верхней части восточной рывины, в разрезе северной стенки кратера и в обрывистых стенках внутрикратерной бокки. Два мощных потока лавы излились на ЮВ склон конуса в 1853(?) г. и 1986 г. В настоящее время крутой, сильно засыпанный шлаком фронт потока 1853(?) г. виден несколько ниже фронта лавового потока 1986 г. (примерные гипсометрические отметки соответственно 400 и 600 м). Морфология лавовых потоков свидетельствует о большой вязкости лавы этих извержений. Потоки, обнажающиеся в стенках кратера, были менее вязкими.

Строение молодого конуса Чикурачки говорит о его преимущественном формировании в ходе мощных, базальтовых эксплозивных извержений вершинного кратера. Отсутствие в разрезах конуса заметного объема тонкослоистых отложений мелкозернистой неокисленной пирокластики показывает, что слабые эксплозивные извержения, аналогичные наблюдавшимся на вулкане в 1958-1973 гг. и 2002 г., практически не участвовали в построении конуса. Существенную роль в формировании конуса вулкана играла также эффузивная деятельность. Признаков побочных извержений вулкана не найдено.

Исторические извержения Чикурачки. Исторический период для вулкана Чикурачки формально начинается с 1711 г., когда остров Парамушир был присоединен к России. Однако в течение трех последующих веков большая часть данных об активности вулкана пришлась на вторую половину двадцатого столетия. Для предшествующего периода имеются только сведения о дате сильного извержения 15 декабря 1853 г. и дальнейшей слабой активности вулкана до 1859 г. Некоторые источники указывают еще сильное извержение 1793 г., но достоверно неизвестно, было ли это извержение Чикурачки или другого вулкана о. Парамушир [3]. Такое неравномерное распределение сведений об активности вулкана за исторический период, скорее всего, не отражает реальное состояние вулкана. Можно с большой вероятностью предположить, что извержения вулкана, аналогичные его слабым извержениям середины XX - начала XXI в.,

ИСТОРИЧЕСКИЕ ИЗВЕРЖЕНИЯ ВУЛКАНА ЧИКУРАЧКИ

происходили в исторический период и раньше, но или не были замечены, или из-за своей незначительности не нашли отражения в письменных источниках. Некоторые сведения об активности вулкана могли остаться неизвестными в связи с тем, что с 1875 по 1945 г. Курильские острова находились под юрисдикцией Японии.

Опубликованы описания извержений вулкана 1958, 1961, 1964, 1973, 1986, 2002 г. (табл. 1). Их анализ, а также данные, полученные при изучении постройки вулкана и почвенно-пирокластического чехла района (приведены ниже), показывают, что извержения происходили только в вершинном кратере и имели преимущественно магматический характер. Выделено четыре типа вулканической активности Чикурачки:

1. Стромболианские выбросы.
2. Вулканские выбросы.
3. Плинианская деятельность.
4. Эффузивная деятельность.

Эти четыре типа в различных комбинациях и пропорциях составляли извержения, названные нами по наиболее характерной активности вулканско-стромболианскими (1958, 1961, 1964, 1973, 2002 г.) и плинианскими (1853 и 1986 гг.) извержениями. Между извержениями вулкан находился в состоянии слабой фумарольной деятельности. Вероятно, эпизодически (в 1967, 1995 и 2000 г.) в кратере происходили отдельные слабые взрывы (вулканские?, фреатические?), когда поступала неподтвержденная информация об активности вулкана ([1]; запрос Геологической службы США, 1995 г.; устное сообщение СП. Маршук, 2000 г.).

Вулканско-стромболианские извержения. Извержения Чикурачки, развивающиеся по вулканско-стромболианскому сценарию, происходили наиболее часто. Это относительно слабые извержения 1958, 1961, 1964, 1973 и 2002 г. (табл. 1). Извержения 1958-1973 гг. были сосредоточены в одной и той же небольшой бокке, расположенной в СЗ части кратера (см. раздел "Кратер" и рис. 3). Извержения продолжались от нескольких дней до нескольких недель и состояли из частых стромболианских и вулканских выбросов. Высота эруптивной тучи была, как правило, менее 500 м, изредка достигая 3 км над кратером. Аналогичным по характеру было и извержение 2002 г. [29].

Отложенный в кратере пирокластический материал был представлен пеплом и небольшими бомбами. За пределами кратера выпадал только пепел. Максимальная толщина пепла, отложенного в ходе одного извержения на склонах конуса вулкана, не превышала нескольких сантиметров, а за его пределами - нескольких миллиметров. Зимние и весенние извержения (1961 и 1964 г.) сопровождались небольшими лахарами, вызванными таянием снежного покрова в кратере вулкана. Объем изверженной тefры был оценен только

для извержения 1973 г. - в 0.003-0.004 км³ [5]. Вероятно, объемы изверженной пирокластики в ходе других вулканско-стромболианских извержений Чикурачки имели тот же порядок и не превышали 0.01 км³.

Наблюдавшееся при некоторых выбросах свечение, шлаковидный характер пирокластики и витая морфология бомб свидетельствуют о преимущественно магматической природе этих извержений. Однако, ряд признаков (колодцеобразная форма бокки; сообщения о выпадении очень тонкого, похожего на цемент, красноватого пепла) указывает на то, что некоторые из вулканских взрывов могли иметь фреатомагматический характер.

Известно, что после сильного плинианского извержения в декабре 1853 г. вулкан проявлял слабую активность до 1859 г. [3, 4]. Каких-либо визуальных наблюдений и отложений этого периода не сохранилось, поэтому однозначно определить тип активности невозможно. Вероятно, это было слабое вулканско-стромболианское извержение (или серия извержений), в ходе которого в кратере сформировался небольшой внутренний кратер, окруженный полукольцевым валом пирокластики (рис. 3а).

Суммируя имеющиеся данные, сценарий извержений представляется следующим: частые, относительно слабые стромболианские и вулканские выбросы из небольшой бокки на дне кратера; продолжительность извержений дни - недели - месяцы - годы (?); период покоя между вулканско-стромболианскими извержениями составляет годы - десятилетия.

Ни одно из исторических вулканско-стромболианских извержений Чикурачки не сопровождалось эффузивной деятельностью. Но так как излияния лавовых потоков в целом характерны для этого типа извержений, можно предположить, что и в сценарий вулканско-стромболианских извержений Чикурачки может входить эффузивная деятельность.

Плинианские извержения. Плинианские извержения за исторический период происходили дважды - в 1853 и 1986 г. За исключением даты, каких-либо материалов наблюдений сильного извержения вулкана 15 декабря 1853 г. не сохранилось [3, 7, 8, 15]. По-видимому, в конце этого извержения на ЮВ склон вулкана излился мощный лавовый поток, исток которого был позднее засыпан шлаком слабого вулканско-стромболианского извержения, продолжавшегося до 1859 г. [4].

Извержение 1986 г. было изучено А.А. Овсянниковым и Я.Д. Муравьевым [13]. Имеющиеся данные наблюдений показывают, что извержение состояло из трех стадий: докульминационной, кульминационной и посткульминационной. На докульминационной стадии 19-20 ноября происходили относительно слабые вулканско-стромболианские

Таблица 1. Сведения об исторических извержениях вулкана Чикурачки по литературным данным. Типы извержений, высоты эруптивных облаков и объемы изверженных продуктов приведены по первоисточнику. Предложенные в нашей статье типы извержений обозначены шрифтом: жирный - плинин-ские извержения, обычный - вулканско-стромболианские, курсив - непроверенные сообщения об активности вулкана. Высоты эруптивных облаков по первоисточнику даны относительно кратера (1816м); новые данные о высотах эруптивных колонн плининских извержений и объемах изверженной тефры приведены в табл. 4.

Дата (начало-конец)	Тип извержения	Высота колонны	Краткая характеристика	Кратер	Продукты извержения, объем	Состав SiO ₂ , %	Ссылка
15.12.1853	-	-	Сильное извержение	-	Грубая тефра 1 км³, лавовый поток(?)	54.3	Дитмар, 1901; Горшков, 1954; Горшков, 1967
1853-1859	-	-	Слабое извержение	Формирование внут- реннего кратера	-	-	
26-27.5.1958	Стромболианское	0.5 км	Слабые пепловые взрывы с интервалом 3-10 мин, свечение кратера	Образование СЗ бок-ки: колодца размером 75 x 50 м и глубиной 5-50 м	Пористые шлаки, крученые бомбы и пепел	52-53	Шилов и Воронова, 1962
2.5-7.8.1961	Стромболианское	0.3-0.4 км	Вспышки в кратере и пепловые выбросы с интервалом 2-3 мин	Извержение из СЗ бокки	Тонкий пепел и лахары	50.1	Федорченко и Шилов, 1963
1—28.2.1964	-	2.5 км	Выбросы пепла и бомб, свечение кратера	-	Пепел, лахары	52.8	Абдурахманов и Федорченко, 1976
<i>1967</i>	<i>Непроверенные данные</i>	-	-	-	-	-	Абдурахманов и Федорченко, 1976
6—20.9.1973 (4-28.9.1973)	Вулканское или стромболианское	1-3 км	Пепловые выбросы	Извержение из СЗ бокки диаметром 30-40 м	Пепел 0.004 км ³	52.4	Грабков, 1974; Кирсанов и др., 1975
19-25.11.1986	Сильное эксплозивно-эффузивное извержение	2-9 км	Пепловая туча, выбро- сы раскаленного мате- риала на высоту 1 км, пирокластические потoki, излияние лавы		Грубая тефра ~0.1 км³, пирокластичес- кий поток, лавовый поток 0.018 км³	51-53	Овсянников и Муравьев, 1992; Smithsonian, 1986
<i>1995</i>	<i>Непроверенные данные</i>	-	<i>Зарегистрировано из космоса</i>	-	-	-	Запрос Геологи- ческой службы США, 1995
<i>4.5.2000</i>	<i>Непроверенные данные</i>	-	<i>Слабый выброс вулкана Татаринова (?)</i>	-	-	-	Устное сообщение СП. Маршук, 2000
25.1-(?)4.2002	-	0.15-0.3 км	Газовые и пепловые взрывы	Извержение из Ю-ЮЗ бокки	Пепел	-	SEAN, 2002

пепловые выбросы высотой до 3 км. Кульминационная стадия извержения (определена нами как плинианская - см. ниже) наблюдалась во второй половине 20 - первых часах 21 ноября. Максимальная абсолютная высота эруптивной колонны по спутниковым данным и наблюдениям пилотов самолетов достигала 10.5-11 км (SEAN, 1986). Спутниковые изображения показывают для этого периода извержения распространение пепло-вого шлейфа на ВСВ на расстояние до 400 км от вулкана. В ходе кульминационной стадии образовался небольшой пирокластический поток, который спустился по восточному склону вулкана.

На посткульминационной стадии 21-25 ноября произошло излияние лавового потока объемом 0.018 км³. В этот период над кратером до высоты 4.8 км поднималась парогазовая колонна с примесью мелкой пирокластики. Вероятно, излияние лавы сопровождалось эксплозивной (вулканско-стромболианской?) деятельностью.

Данные визуальных наблюдений плинианских извержений Чикурачки фактически ограничены одним извержением 1986 г. Кроме того, собственно плинианская стадия этого извержения пришлось на темное время суток, и о ней имеется очень мало сведений. Для получения количественных данных о динамике плинианских стадий извержений 1853 и 1986 г. мы изучили их пирокластические отложения.

Пирокластика плинианских стадий извержений 1853 и 1986 г. Пирокластика плинианских стадий извержений 1853 и 1986 г. представлена преимущественно тефрой, которая, благодаря широкому распространению и большой толщине, хорошо сохранилась в разрезах почвенно-пирокластического чехла. Необходимо подчеркнуть, что в этом разделе мы рассматриваем только тефру плинианских стадий. Тефра докульминационных и посткульминационных стадий из-за своего малого объема в разрезах не сохранилась. В отложениях 1986 г. небольшой объем принадлежит также пирокластическому потоку.

Тефра. Отложения тефры 1853 и 1986 г. очень похожи и будут описаны совместно. В самой ближней к кратеру зоне (менее 4 км), на крутых склонах конуса вулкана, тефра извержений была переотложена и поэтому нами не изучалась. За пределами конуса отложения хорошо сохранились, за исключением самой верхней части каждого слоя (около 10% толщины), которая имела волнистую слоистость и интерпретирована как тефра, многократно переотложенная ветром.

Отложения состоят исключительно из ювенильного материала, представленного грубым пеплом и лапилли базальтового шлака (табл. 2,3, рис. 4). Частицы шлака изометричной формы, с комковатой поверхностью. Объемный вес отдельных лапилли базальта составляет 1.1-1.9 г/см³

Таблица 2. Таблица химического состава, объемного веса и пористости базальта тефры плинианских извержений вулкана Чикурачки. Рентгеноспектральный анализ выполнен в лаборатории института GEOMAR (Германия). Образцы древней тефры 1 и 2 отобраны из разреза 0 (рис. 13 и 14). Для объемного веса и пористости в скобках приведены средние значения

Элемент	Единица	Древняя		Тефра	
		тефра 1	тефра 2	1853 г.	1986 г.
SiO ₂	%	50.39	51.52	54.28	52.56
TiO ₂	%	0.80	0.76	0.80	0.82
Al ₂ O ₃	%	21.09	21.36	19.55	19.55
Fe ₂ O ₃	%	9.66	8.81	8.71	9.56
MnO	%	0.17	0.17	0.19	0.19
MgO	%	3.64	3.14	2.79	3.31
CaO	%	10.68	10.71	9.35	10.17
Na ₂ O	%	2.21	2.34	2.80	2.57
K ₂ O	%	0.60	0.65	0.89	0.69
P ₂ O ₅	%	0.16	0.16	0.21	0.19
Co	ppm	35	32	29	32
Cr	ppm	21	<18	<18	<18
Ni	ppm	9	4	<2	<2
V	ppm	285	235	225	283
Zn	ppm	68	61	76	83
Ce	ppm	52	<10	<10	<10
La	ppm	<14	<14	<14	<14
Nb	ppm	<2	3	<2	2
Ga	ppm	14	15	18	18
Pb	ppm	9	13	12	8
Pr	ppm	<4	<4	4	<4
Rb	ppm	14	16	16	14
Ba	ppm	181	195	230	180
Sr	ppm	516	535	503	496
Th	ppm	<4	6	<4	<4
Y	ppm	22	20	27	26
Zr	ppm	59	57	73	62
Сумма	%	99.54	99.74	99.70	99.73
H ₂ O	%	0.41	0.25	0.16	0.13
CO ₂	%	0.06	0.03	0.02	0
Объемный вес	г/см ³	—	1.21-1.68 (147)	1.13-1.89 (1-5)	1.34-1.92 (1.63)
Пористость	%	—	40-56.8 (47.5)	32.5-60.0 (46)	31.4-52.1 (41.7)

(в среднем 1.5-1.6 г/см³); пористость 30-60% (в среднем около 45%). Поры в базальте двух типов: мелкие (0.1-0.01), округлые и крупные (1-5 мм), неправильной формы. Распределение частиц по пористости одномодальное. Пористость определя-

Таблица 3. Гранулометрические характеристики отложений плинианских стадий извержений вулкана Чикурачки. Медианный диаметр и сортировка по Inman (1952); измерены в ϕ единицах, где $\phi = -\lg_2$ (мм). Образцы древней тefры отобраны из четырех разновозрастных слоев, включая тefру 1 и 2 из разреза 0 (рис. 13 и 14)

	Древняя тefра(1+2)	Тefра		Пирокластический поток, 1986 г.
		1853 г.	1986 г.	
Количество образцов	4	3	7	2
Расстояние от кратера (км)	5.4-6.7	5.4-8.8	5.5-19.3	4.1-4.2
Лапилли: 64—2 мм, %	84.9-96.5	91.6-97.5	4.8-70.4	54.2-56.9
Грубо и мелкозернистый пепел: 2 - 0.063	3.2-14.9	2.1-7.7	29.4-95.2	32.4-34.7
Тонкозернистый пепел: <0.063 мм, %	0.2-0.5	0.2-0.7	0-0.7	10.7-11.3
Медианный диаметр, ϕ	-3.2-4(-2.5)	-3.5-4(-2.8)	-2-4(-0.5)	-1.6-4(-1-75)
Сортировка, ϕ	1-1.4	0.9-1.2	0.4-2	3.6-3.8

лась по методике Houghton & Wilson [24] и Hoblitt & Harmon [23] (см. приложение).

Гистограммы гранулометрического состава одномодальны (рис. 5). Отложения хорошо сортированы; на графике сортировка/медианный диаметр они занимают область, характерную для тefры (рис. 6). Тefра 1853 г. несколько грубее и лучше сортирована, чем тefра 1986 г. Высокая пористость ювенильного материала и хорошая сортировка тefры свидетельствуют о чисто магматической природе извержений.



Рис. 4. Соотношение лапилли (64 - 2 мм), грубо- и мелкозернистого пепла (2 - 0.063 мм) и тонкозернистого пепла (<0.063 мм) в отложениях пирокластике плинианских стадий извержений вулкана Чикурачки. Образцы древней тefры отобраны из четырех разновозрастных слоев, включая тefру 1 и 2 из разреза 0 (рис. 13 и 14).

Тefра каждого извержения образует один массивный слой без видимых признаков градационной слоистости (рис. 7). Следовательно, их плинианские фазы протекали без существенных пульсаций: резко начинались и также резко заканчивались. Это, а также практически полное отсутствие в тefре обломков старых пород указывает на то, что в процессе извержений не происходило существенного расширения и (или) изменения геометрии подводящего канала вулкана.

Изопахиты и изоплеты тefры каждого извержения образуют сильно вытянутые эллипсы: 1853 г. на СВ и 1986 г. на ЮВ (рис. 8, табл. 4). Это свидетельствует о том, что во время плинианских стадий обоих извержений ветер был сильным и его направление существенно не менялось. Последнее косвенно указывает также на то, что плинианские стадии были непродолжительными (условно менее суток).

Параметры отложений сведены в табл. 4. Методика определения параметров дана в приложении. Толщина слоя тefры каждого извержения и максимальный размер ее частиц уменьшается экспоненциально с удалением от вулкана (рис. 9-12). Если максимальная экстраполированная толщина слоя тefры в источнике (T_0) и скорости ее уменьшения (b_i и κ_i) у обоих извержений имеют близкие значения, то экстраполированный максимальный размер тefры в источнике (M_0) и зависимости максимального размера частиц тefры от расстояния (b_c и κ_c) существенно различны. В ближней к вулкану зоне скорость уменьшения размера частиц тefры с расстоянием (κ_c) у отложений 1853 г. существенно выше, а в дальней зоне ниже, чем у тefры 1986 г. С этим связано существование для отложений 1853 г. двух значений максимального экстраполированного размера частиц тefры M_0 и M_1 и скоростей их уменьшения κ_c и κ_{c1} и b_c b_{c1} для ближней и дальней зон соответственно (табл. 4). Различия в значениях слишком большие и, вероятно, не могут быть вызваны

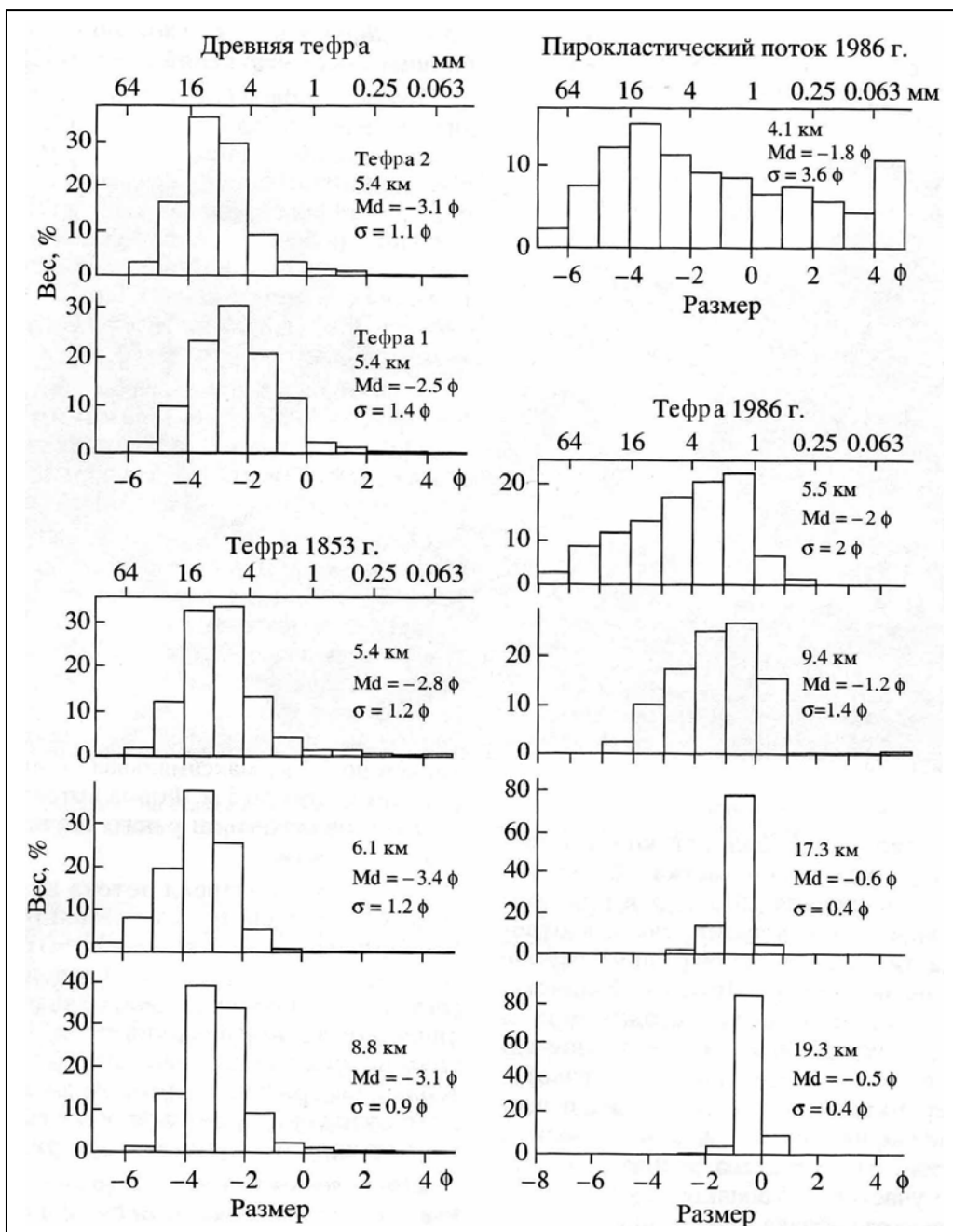


Рис. 5. Примеры гистограмм гранулометрического состава пирокластике плинианских стадий извержений вулкана Чикурачки. На гистограммах указано расстояние от точки опробования до кратера, а также Md - медианный диаметр, σ - сортировка (параметры по [25]). На горизонтальных осях показано соотношение между фи-единицами и миллиметрами. Образцы 1853 и 1986 г. отобраны примерно вдоль осей пеллопадов. Образцы древней тефры отобраны из разреза 0 (рис. 13 и 14); их положение относительно осей соответствующих пеллопадов неизвестно.

ошибками в построении изоплет в связи с недостатком данных. Интересно, что значения M_0 1986 г. и M_1 1853 г. почти одинаковы. Это, при учете близости других параметров извержений, позволяет предположить, что нашими исследованиями у тефры 1986 г. был выявлен только участок, соответствующий дальней зоне графика максимального размера 1853 г. В ближней, неисследованной зоне 1986 г. может также наблюдаться быстрое уменьшение размера частиц тефры с

расстоянием. Более близкое к вулкану положение предполагаемого перегиба графика может быть связано с более слабым ветром во время извержения 1986 г.

Аналогичный излом на кривых размер/расстояние известен для тефры еще нескольких извержений, например вулканов Фого А, Аскья-С и D, Фонтана Лапилли [28], где он объясняется быстрым увеличением размера частиц вблизи вулкана или за счет транспортировки их пирокластичес-

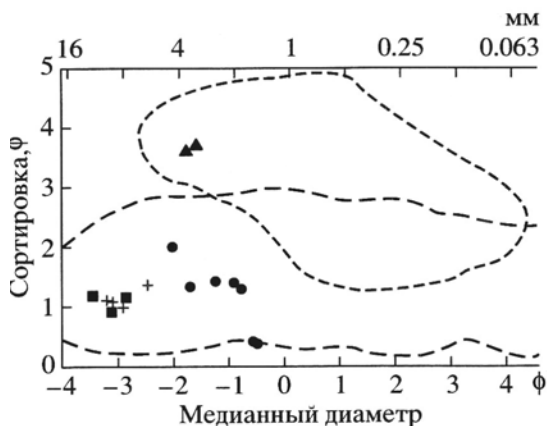


Рис. 6. Соотношение между сортировкой и медианным диаметром (параметры по [25]) для пирокластических плининских стадий извержений вулкана Чикурачки. Пунктир - область пирокластических потоков, штриховая линия - область тефры [31]. На горизонтальных осях показано соотношение между фи-единицами и миллиметрами.

кими потоками (волнами), баллистикой или выпадением из вертикального участка облака извержения. Для извержения 1853 г. эти причины представляются маловероятными, так как отложений пирокластических потоков и волн в районе измерений мы не наблюдали. При этом баллистические отложения плининских извержений имеют, как правило, радиальное распределение вокруг кратера (отсутствующее в нашем случае), а для влияния вертикального участка облака извержения излом графика происходит на слишком большом расстоянии от вулкана, так как влияние вертикального участка наблюдается на удалениях менее 30% от высоты облака извержения [19] - т.е. для 1853 г. должно быть ближе 4 км, а не в 9 км от кратера (рис. 10, 12). Выяснение причин такого поведения максимального размера частиц тефры 1853 г. требует специального изучения. Оно может быть связано, например, с различием формы и/или плотности у крупных и мелких частиц тефры этого извержения.

Существенно большая вытянутость изопахит и изоплет (табл. 4) и большее значение половинного расстояния максимального размера частиц (b_c) у тефры 1853 г. (для 1853 г. рассматривается только дальняя зона - b_{c1}) связаны с очень сильным ветром во время этого извержения (см. гл. Реконструкция и Приложение). Значения $b_c > 3$ и соотношения скоростей уменьшения максимального размера частиц тефры и толщины ее

слоя (b_c/b_1) для обоих отложений характерны для плининских извержений в целом [28].

Объемы тефры (табл. 4) подсчитаны по методике Fierstein & Nathenson [21]. Островное положение вулкана, а также отсутствие дорог и труднопроходимые заросли не позволили изучить отложения тефры в дальней зоне. Это, а также сама методика подсчета, накладывают некоторые ограничения на точность определения объемов отложений (см. приложение). Полученные объемы изверженной тефры следует рассматривать как минимальные.

Характеристики отложений позволяют классифицировать извержения 1853 и 1986 г. как плининские [28,32]. В классе плининских извержений они относятся к относительно слабым, находясь близко к границе с субплининской активностью.

Отложения пирокластического потока 1986 г. Пирокластический поток, спустившийся по восточной рытвине и распространившийся по склону вулкана на расстояние 4.5 км до отметки около 150 м, имеет объем не более 0.005 км³. Осевая часть потока ограничена бортовыми валами. В нижней части склона вулкана поток делится на несколько языков, имеющих крутые борта и фронт. Ширина языков до 20 м; максимальная толщина во фронтальных частях до 5 м. Форма потока свидетельствует о существовании у него значительного предела текучести.

По составу материал потока аналогичен тефре и представлен шлаком базальтового состава. Максимальные обломки (до 30 см) сконцентрированы на его поверхности. Гранулометрический состав потока полимодален, со значительным количеством тонкой фракции (табл. 3, рис. 5). Материал потока значительно хуже сортирован, чем тефра; на графике сортировка/медианный диаметр отложения занимают область, характерную для пирокластических потоков (рис. 6).

На поверхности потока шлак имеет черный цвет, а на глубине более 20 см он интенсивно окислен до кирпично-красного цвета, т.е. окисление шлака произошло уже после остановки потока. Там, где материал потока был в контакте с кустарником ольхового стланника, произошло обугливание древесины. Все это, а также встречающиеся следы фумарол доказывают высокую температуру и газонасыщенность пирокластического потока в момент отложения.

Приведенные характеристики свидетельствуют о том, что это настоящий пирокластический поток, вероятно, образовавшийся в результате частичного обрушения эруптивной колонны, а не тефра, накапливавшаяся в процессе извержения на склонах конуса и спустившаяся в виде шлаковой лавины. Отсутствие обнажений препятствует установлению точного стратиграфического взаимоотношения потока и тефры для этого изверже-



Рис. 7. Тефра плинианской стадии извержения 1986 г. Ручей протекает вдоль основания слоя. Длина лопаты 1 м. Ось пещлопада, 5.5 км от кратера. Обратите внимание на отсутствие градационной слоистости.

ния. Имеющиеся данные показывают, что поток был отложен в конце плинианской стадии 1986 г.

Лахары. Извержения 1853 и 1986 г. происходили в зимнее время. Отложение больших объемов горячей пирокластики на покрытые снегом склоны вулкана привело к тому, что часть ее была субсинхронно переотложена лахарами. Отложения лахаров 1853 г. залегают широким плащом у восточного подножия вулкана в районе оз. Чистое (т. 33, 55, 20 на рис. 8в), а отложения лахаров 1986 г. просматриваются в виде двух узких языков на восточном склоне вулкана. Отложения лахаров везде перекрыты тефрой 1986 г.; отсутствие обнажений не позволило провести их изучение. Имеющиеся данные показывают, что объемы и расходы лахаров были относительно небольшими.

Реконструкция параметров плинианских стадий извержений 1853 и 1986 гг. Мы реконструировали параметры плинианских стадий извержений 1853 и 1986 г., основываясь на количественных характеристиках их тефры (табл. 4). Методика реконструкции и теоретические аспекты проблемы изложены в работах [20,34]. Пояснения по определению параметров извержений приведены в Приложении. При реконструкции параметров извержения 1986 г. учитывались также данные визуальных наблюдений А.А. Овсянникова и Я.Д. Муравьева [13].

Извержение 1853 г. Плинианская стадия извержения началась резким увеличением расхода магмы до 5×10^6 кг/с. Эруптивная колонна извержения быстро поднялась до максимальной высоты ~13 км, где сила ЮЗ ветра достигала 40 м/с. Параметры извержения оставались постоянными в течение 5 ч, т.е. до того момента, когда расход магмы резко снизился, и извержение прекратилось или перешло в иную форму, не фиксируемую в разрезах тефры (эффузивная и/или слабая эксплозивная деятельность).

Извержение 1986 г. На докульминационной вулканско-стромболианской стадии извержения 19-20 ноября происходило постепенное разрушение пробки, закупоривавшей верхнюю часть вулканического канала. Вечером 20 ноября началось резкое увеличение расхода магмы до 5×10^6 кг/с, и извержение перешло в плинианскую стадию. Эруптивная колонна быстро поднялась до своей максимальной высоты около 13-14 км, где сила СЗ ветра достигала 15 м/с. Параметры извержения оставались постоянными в течение 6-7 ч. В конце плинианской стадии эруптивная колонна была перегружена пирокластикой, и часть ее обрушилась, образовав небольшой пирокластический поток. Плинианская стадия завершилась утром 21 ноября резким снижением расхода магмы. На посткульминационной стадии, продолжавшейся до 25 ноября, извержение приняло форму эффузивной деятель-

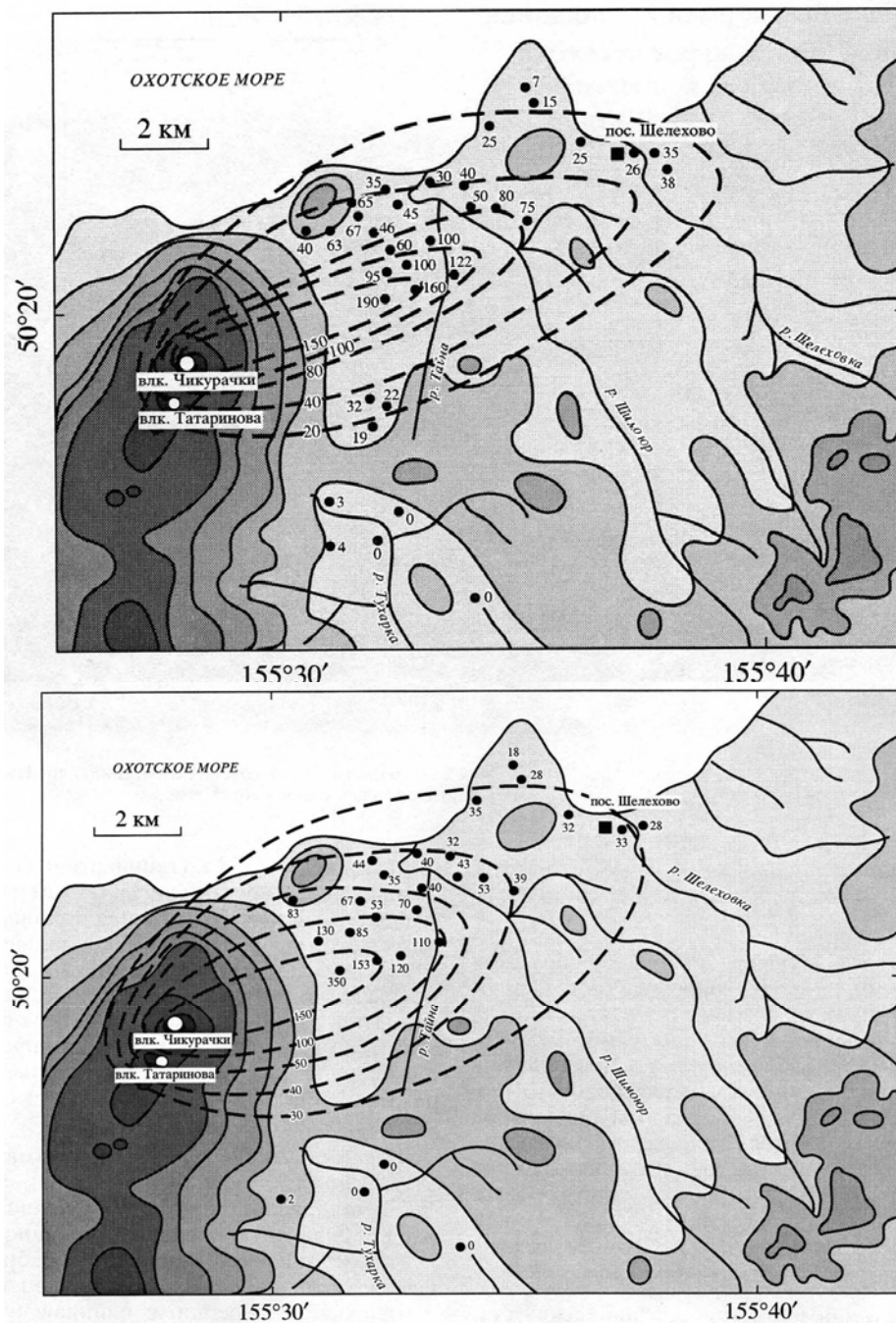


Рис. 8. Изопахиты (линии равной толщины слоя) и изоплеты (линии равного максимального размера частиц) тephры плинских стадий извержений вулкана Чикурачки. Изопахиты: а- 1853 г.; б- 1886 г. Изоплеты: б— 1853 г.; г- 1886 г. Квадратами обозначены поселки; треугольниками - точки, для которых приведены стратиграфические разрезы на рис. 14. Максимальный размер частиц тephры определялся как среднее значение максимальных размеров 10 самых крупных частиц, найденных на участке 5 x 5 м. "Выпадение" значений в некоторых точках, вероятно, объясняется ветровым перераспределением тephры.

ности, сопровождаемой вулканско-стромболианскими (?) выбросами. Полученные параметры плинской фазы не противоречат имеющимся дан-

ными визуальных наблюдений и спутниковой информации (табл. 1 и 4). Несколько заниженная высота облака извержения по спутниковым дан-

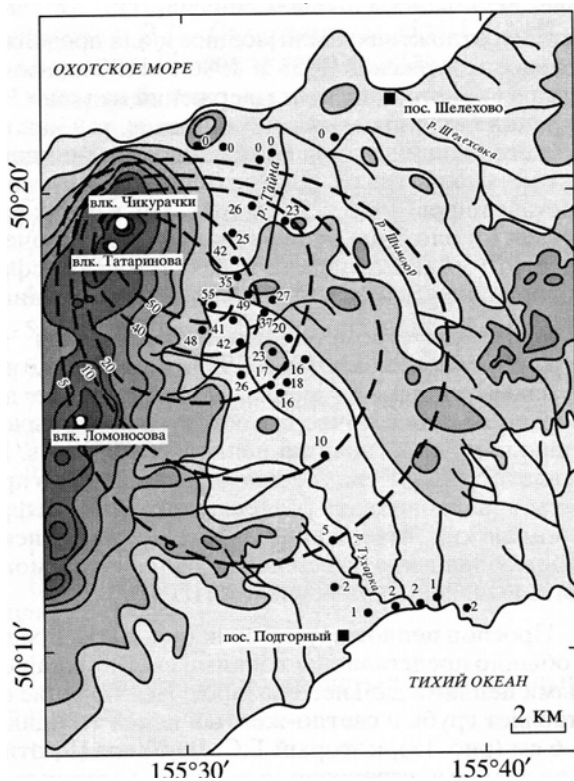
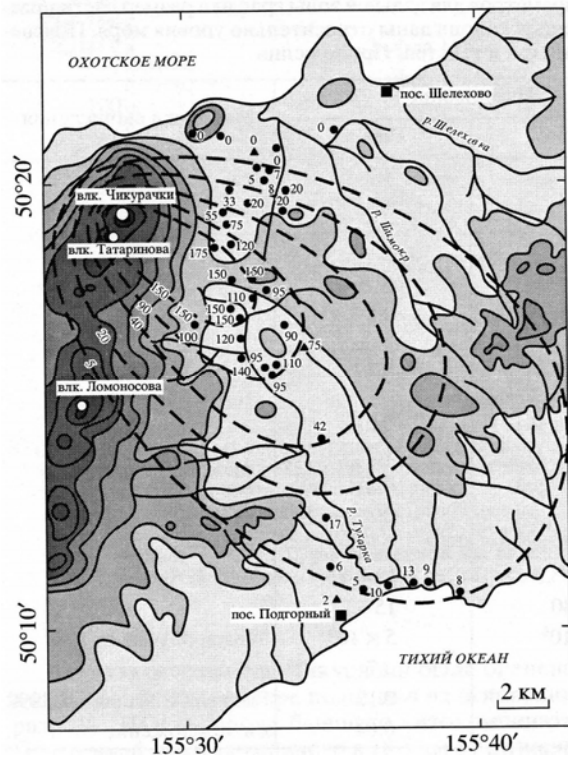


Рис. 8. Окончание.

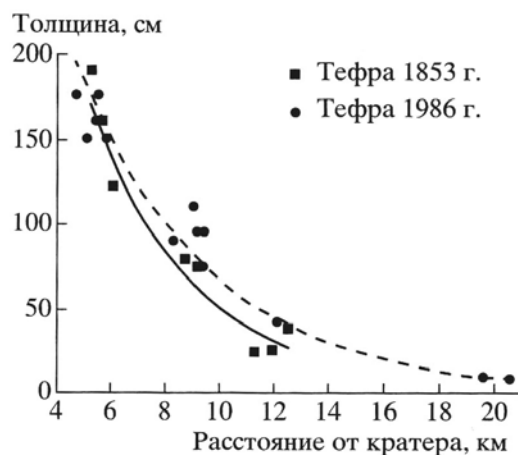


Рис. 9. Изменение толщины слоев тефры плинианских стадий извержений 1853 и 1986 г. вдоль осей пеплопадов при удалении от кратера.

ным и показаниям пилотов может быть связана с тем, что эти наблюдения были сделаны в то время, когда высота эруптивной колонны не была максимальной.

Изучение тефры и выполненная реконструкция параметров эруптивных колонн показали большое сходство плинианских стадий извержений 1853 и 1986 г. Плинианская стадия извержения 1853 г. была несколько короче по продолжительности, чем плинианская стадия 1986 г.

Суммируя полученные данные, сценарий плинианских извержений вулкана Чикурачки следующий: докульминационная стадия - открытие жерла - частые, относительно слабые стромболианские и вулканские выбросы (сутки); кульминационная стадия - мощная плинианская деятельность, иногда небольшие пирокластические потоки (часы); посткульминационная стадия - излияние лавы и стромболианско-вулканские выбросы (сутки - месяцы?).

Строение почвенно-пирокластического чехла.

Почвенно-пирокластический чехол (ППЧ) хорошо развит в окрестностях вулкана. Разрезы состоят из многочисленных черных, темно-серых (часто бурых из-за ожелезнения фунтовыми водами) слоев базальтовой тефры толщиной 5-20 см, иногда до 2.5 м, разделенных тонкими прослоями слабогумусированных почв и супесей (рис. 13 и 14). Тефра представлена шлаковидными, хорошо сортированными пеплами и лапилли (рис. 4,5; табл. 3). Близкое сходство этих слоев с тефрой вулкана 1853 и 1986 г., залегающей в самой верхней части ППЧ, говорит о том, что они также были отложены базальтовыми плинианскими извержениями вулкана Чикурачки.

Некоторые слои базальтовой тефры в ППЧ грубее и/или толще, чем тефра 1853 и 1986 г. на оси пеплопада на таком же расстоянии от вулкана. В разрезе точки 0 на расстоянии 5.4 км к СВ от

Таблица 4. Характеристики отложений тефры и реконструированные параметры плинианских стадий извержений 1853 и 1986 г. Для тефры 1853 г. в скобках даны значения параметров для дальней зоны графика размер частиц/расстояние (соответственно $M_1, b_c, k_{cl}, b_{cl}/b_r$). Высоты эруптивных колонн даны относительно уровня моря. Пояснения по определению параметров и методике реконструкции см. в тексте и Приложении

Характеристики тефры	Извержение		Методика вычисления
	1853 г.	1986 г.	
T_0 : максимальная экстраполированная мощность тефры в кратере, м	3.0	4.2	Pyle, 1989
b_r : значение $A^{1/2}$, при котором T_0 уменьшается в 2 раза, км	2.3	2.8	»
k_r : наклон графика на рис. 11	-0.33	-0.26	»
M_0 : максимальный экстраполированный размер обломков в кратере, см	35 (10)	9.8	»
b_c : значение $A^{1/2}$, при котором M_0 уменьшается в 2 раза, км	1.9(5.2)	3.2	»
k_c : наклон графика на рис. 12	-0.37 (-0.13)	-0.21	»
b_c/b_r	0.8 (2.3)	1.2	»
a_r : "эллиптичность" изопахит	0.3	0.5	»
a_c : "эллиптичность" изоплет	0.4	0.8	»
<i>Характеристики извержений</i>			
H_c : макс. высота колонны, км	13-13.5	13-14	Carey & Sparks, 1986
V : скорость ветра, м/с	35-40	15	»
Расход магмы, кг/с	5×10^6	5×10^6	Wilson & Walker, 1987
Продолжительность извержения, ч	5	6.7	см. приложение
V : объем изверженной тефры, км ³	0.09	0.12	Fierstein & Nathenson, 1992
V_{DRE} : объем изверженной магмы, км ³	0.03	0.04	см. приложение

вулкана (рис. 13) вскрывается 2 слоя грубых ла-пилли толщиной 1 и 2.5 м; в разрезе точки 75 к ЮВ от вулкана на расстоянии 9.4 км вскрывается слой грубой тефры толщиной около 1 м (по положению в разрезе - выше пепла вулкана Татарина XVII(?) в. - эта тефра может принадлежать предполагаемому извержению вулкана Чикурачки 1793 г.). Доисторические плинианские извержения, оставив-

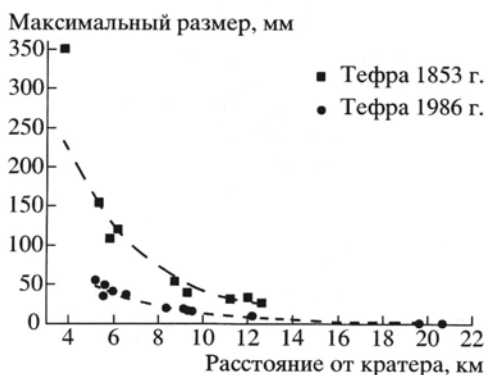


Рис. 10. Изменение максимального размера частиц тефры плинианских стадий извержений 1853 и 1986 г. вдоль осей пеплопадов при удалении от кратера.

шие эти отложения, были мощнее и/или продолжительнее извержений 1853 и 1986 г. По-видимому, одно из доисторических извержений вулкана Чикурачки было чрезвычайно мощным, так как ручей, стекающий с горы Каменник и впадающий в р. Тайна напротив оз. Чистое (район точек с мощностью тефры 1986 г. 20 см (рис. 8в), в своих верховьях (около 7 км от вулкана) размывает очень грубую (бомбы и лапилли) базальтовую тефру, которую не удалось найти в коренном залегании.

Вулканско-стромболианские извержения Чикурачки, такие как в 1958-1973 гг. и 2002 г., выбрасывают объемы пепла, недостаточные для формирования в почве самостоятельных, выдержанных по простирацию пепловых прослоев. Их пеплы образуют тонкие линзы и рассеянную примесь в палеопочвах, разделяющих слои тефры плинианских извержений. Поэтому вулканско-стромболианские извержения вулкана не могут быть выявлены при изучении ППЧ.

Прослои пеплов других вулканов в ППЧ редки и обычно представлены тонкими светлоокрашенными пеплами дальнего разноса. Исключение составляет грубый светло-желтый пепел толщиной 2-6 см (рис. 13), который Г.С. Горшков [3] отнес к последнему извержению вулкана Татарина в конце XVII в.

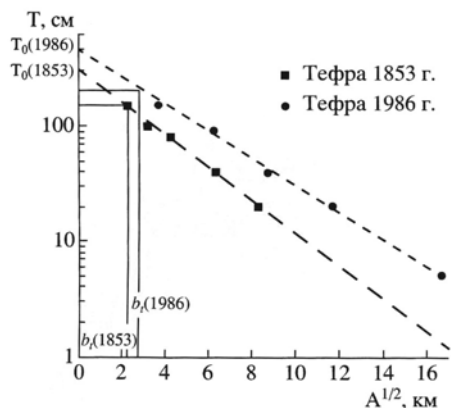


Рис. 11. Зависимость толщины слоя тefры плинианских стадий извержений 1853 и 1986 г. от квадратного корня из площади соответствующей изопахиты. Показано определение максимальной экстраполированной толщины слоя тefры в источнике (кратере) - T_0 , и b_A - значение $A^{1/2}$, где T_0 уменьшается в два раза. Пояснения по определению параметров см. в Приложении.

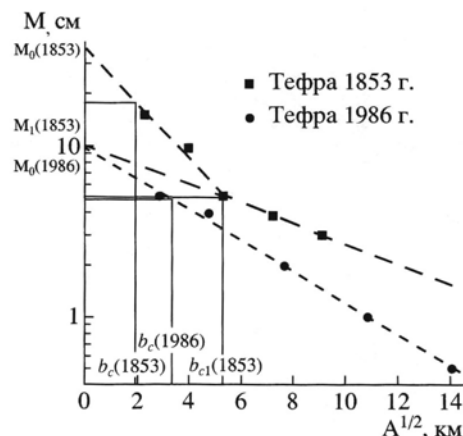


Рис. 12. Зависимость максимального размера обломков тefры плинианских стадий извержений 1853 и 1986 г. от квадратного корня из площади соответствующей изопахиты. Показано определение максимального экстраполированного размера частиц тefры в источнике (кратере) - M_0 , и b_c - значение $A^{1/2}$, где M_0 уменьшается в два раза. Для тefры 1853 г. показаны также соответствующие параметры для дальнейшей зоны графика (соответственно M_1 и b_{c1}). Пояснения по определению параметров см. в Приложении.

Частота пеплопадов Чикурачки была оценена в юго-восточном секторе подножья на основании разреза ППЧ в районе бывшего китокombината Подгорный, расположенного в 18.5 км от вулкана (рис. 8). Датирование образцов палеопочв было выполнено Л.Д. Сулержицким (ГИН РАН). В разрезе (рис. 14) сверху вниз залегают:

1. Дернина 9 см, содержащая в верхней части прослой черного среднезернистого базальтового пепла 1986 г. около 2 см.
2. Почва 13 см (нижняя часть: $1460 \pm 150 C^{14}$ лет).
3. Мелкие лапилли черного шлака 9 см.
4. Почва 6 см ($2260 \pm 120 C^{14}$ лет).
5. Мелкие лапилли черного шлака 5-6 см.
6. Почва 7 см ($2750 \pm 150 C^{14}$ лет).
7. Мелкие лапилли черного шлака 9 см.
8. Почва 4 см.
9. Мелкие лапилли черного шлака 4 см.
10. Почва 5 см.
11. Белый пепел 1 см.
12. Средне-крупнозернистый черный пепел (шлак) 2-3 см.
13. Почва 3 см.
14. Средне-крупнозернистый черный пепел (шлак) 2 см.
15. Почва 5 см.
16. Крупнозернистый черный пепел (шлак) 1-1.5 см.

17. Почва с плохо выраженными прослоями пеплов 35 см (верхняя часть: $3980 \pm 120 C^{14}$ лет).

18. Желтый пепел 9 см.

Черные пеплы и лапилли шлака этого разреза, очевидно, принадлежат вулкану Чикурачки -единственному источнику мощных базальтовых извержений в этой части острова Парамушир. Следовательно, за 4000 лет в юго-восточном секторе вулкана было 8 значительных пеплопадов, из которых пеплопад 1986 г. был самым слабым, т.е. средний интервал между пеплопадами от плинианских извержений Чикурачки в этом секторе составляет 500 лет. Суммируя наблюдения разрезов ППЧ в разных секторах подножья вулкана, можем заключить, что в течение последних нескольких тысяч лет интервал между плинианскими извержениями вулкана Чикурачки составлял не более 200 лет. Это выше, чем частота в 600-800 лет, оцененная Г.С. Горшковым [3], так как он сделал свои заключения, основываясь на ППЧ только в узком секторе к СВ от вулкана, и не учел того, что отложения каждого такого извержения, как правило, образуют эллипс в направлении преобладавшего во время извержения ветра. Таким образом, интервал в 133 года между двумя последними плинианскими извержениями 1853 и 1986 г. представляется для вулкана Чикурачки обычным.

Вулканическая опасность. Район вулкана не населен; дороги и другие наземные коммуникации отсутствуют. Туристы и охотники посещают вулкан крайне редко. Ближайшие поселки Шеле-



Рис. 13. Разрез почвенно-пирокластического чехла в т. 0 в 5.4 км к СВ от кратера Чикурачки; положение разреза отмечено на рис. 8в.

хово и Подгорный находятся на расстояниях соответственно 11 и 18.5 км от вулкана; постоянного населения в них в настоящее время нет (сезонно проживают несколько десятков рыбаков и работники маяка). Единственный населенный пункт острова Парамушир - г. Северо-Курильск с населением около 3.5 тыс. человек - находится на расстоянии 60 км к СВ от вулкана и отделен от него горными хребтами Вернадского и Левинсон-Лессинга. В такой ситуации вулканско-стромболианские извержения вулкана Чикурачки не представляют опасности; в г. Северо-Курильске возможно лишь незначительное выпадение пепла.

Серьезная опасность связана только с плининскими извержениями вулкана. Их высокие, сильно нагруженные пирокластикой облака являются главным фактором риска. В случае извержения наибольшей опасности подвергаются самолеты местных и многочисленных международных авиалиний, проходящих около о. Парамушир [10]. Некоторый ущерб может быть нанесен г. Северо-Курильску, при ЮЗ ветре там возможно выпадение пепла толщиной до нескольких сантиметров. Например, отложение большого количества пепла, содержащего много токсичных веществ, сделает невозможным водоснабжение города, которое осуществляется из открытого водоема. Разрезы ППЧ северо-восточного подножья вулкана показывают (рис. 13,14), что вдоль направления на г. Северо-Ку-

рильск пеплопады плининских извержений происходили очень часто.

Отложение больших объемов тефры во время плининских извержений оказывает резко негативное воздействие на растительный и животный мир вокруг вулкана [22]. Пеплопады извержений 1853 и 1986 г. привели к полной гибели растительности вдоль осей пеплопада на расстояниях до 10 км от вулкана, где выпало более 1 м тефры (рис. 9). Последствия пеплопада 1853 г. хорошо видны до настоящего времени, т.е. для полного восстановления растительности требуется срок, превышающий 150 лет. Человеку, попавшему в такой сильный пеплопад, с большой долей вероятности, грозит смертельная опасность.

В случае какого-либо строительства в районе вулкана необходимо учитывать, что выпадение даже небольшого количества пепла, вследствие его высокого объемного веса, оказывает большую нагрузку на кровлю строений и может привести к ее обрушению. Так, в результате извержения 1986 г. на оси пеплопада, на расстоянии 7 км от вулкана, слой тефры толщиной 1.2 м раздавил охотничий домик с очень прочной кровлей, рассчитанной на многометровый слой снега.

Лахары, образующиеся при плининских извержениях Чикурачки в зимний период, способны распространяться по долинам рек Тайна и Тухар-

ка до их устьев. Лавовые и пирокластические потоки представляют опасность только в ближней к вулкану, редко посещаемой зоне (менее 5 км от кратера).

Обсуждение результатов. Полученные данные показывают, что для вулкана Чикурачки характерны как вулканско-стромболианские, так и плинианские извержения. Если вулканско-стромболианская деятельность обычна для базальтовых вулканов, то во всем мире известно только несколько примеров плинианских извержений базальтовой магмы [27, 33]. Уникальность вулкана Чикурачки состоит в том, что у него такие извержения происходят регулярно и с большой частотой. Среди базальтовых вулканов Курило-Камчатской дуги похожий на Чикурачки режим деятельности имеет вулкан Ключевской. Однако его пароксизмальные извержения, такие как 1945 и 1994 г. [12, 14], несколько слабее и могут быть классифицированы как субплинианские.

Теоретические работы показывают, что необходимыми условиями для плинианской деятельности являются большой расход магмы с высоким газосодержанием, а также такой режим извержения, при котором не происходит раздельного от расплава подъема газовой фазы [16]. Последнему способствует высокая вязкость магмы (пузырьки газа не могут быстро всплывать). Эти условия, как правило, выполняются при извержении магм кислого состава. Вероятно, в некоторых случаях эти условия могут реализовываться и при извержении базальтовой магмы. Например, магма вулкана Чикурачки 1853 и 1986 г. подобно кислой магме, имела достаточно большую вязкость, что видно по морфологии лавовых потоков.

Большая часть имеющейся сейчас информации о динамике и механизме плинианских извержений была получена при изучении отложений тефры кислого состава. Тефра базальтовых плинианских извержений встречается очень редко и практически не изучена, поэтому мы знаем об этих извержениях очень мало. Уникальный вулкан Чикурачки предоставляет возможность восполнить этот пробел.

Выводы. 1. Для вулкана Чикурачки характерны как слабые вулканско-стромболианские (интервал годы - десятилетия), так и мощные плинианские (интервал 100-200 лет) извержения базальтовой магмы.

2. Извержения 1853 и 1986 г. имели близкие параметры и относятся к плинианскому типу.

3. Молодой конус вулкана Чикурачки сформирован преимущественно в ходе мощных плинианских извержений базальтовой магмы. Существенную роль в формировании конуса играет также эффузивная деятельность.

4. Высокие, сильно нагруженные пирокластической облака плинианских извержений являются

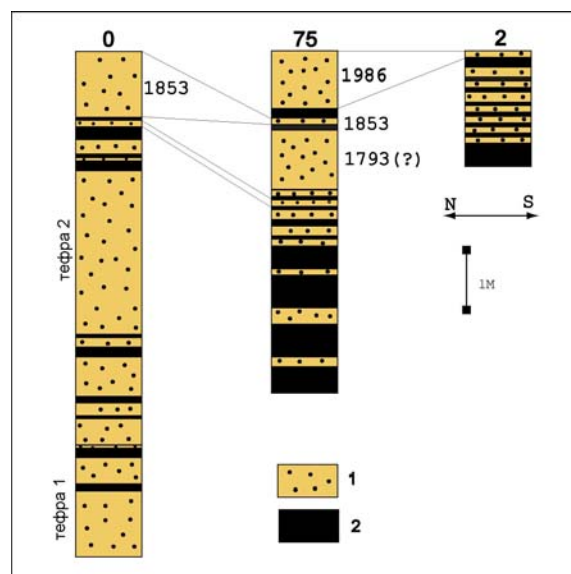


Рис. 14. Примеры стратиграфических колонок района вулкана Чикурачки. Показаны слои грубых лапил-ли базальтового состава, отложенные плинианскими извержениями Чикурачки (1) и стрелкой показан грубый пепел кислого состава вулкана Татаринова XVII (?) в. Слои тефры разделены нерасчлененными слоями палеопочв и супесей, содержащих редкие, невыдержанные тонкие прослои и линзы пеплов вулканско-стромболианских извержений, а также пеплы дальнего разноса других вулканов (2). Тефра 1 и 2 - это слои древней тефры, химический и гранулометрический состав которых показан в табл. 2 и 3 и на рис. 5. Разрез 0 находится на расстоянии 5.4 км к СВ от кратера; разрез 75 - на расстоянии 9.4 км к ЮВ от кратера, разрез 2 - на расстоянии 18.5 км (номера 0, 75 и 2 соответствуют мощности тефры 1986 г. в см). Положение разрезов см. рис. 8в. Фото разреза 0 - на рис. 13.

главным фактором риска, связанным с вулканом Чикурачки.

Исследования выполнены при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и фонда Гумбольдта (Германия). Авторы признательны Т.Г. Чуриковой и И.А. Белоусову за помощь при проведении полевых работ, Л.В. Котенко за фотографии извержения Чикурачки 2002 г., а также Л.Д. Сулержицкому за радиоуглеродное датирование образцов почвы.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Определение объемного веса частиц тефры (базальтового шлака) и вычисление коэффициента их пористости (вспененности) производилось по методике, предложенной в [23, 24]. Использовалась фракция тефры размером более 10 мм. Определялась плотность отдельных частиц тефры: 10-30 частиц в образце. Для удаления влаги тефры

выдерживалась 12 ч в сушильном шкафу при температуре 40-50°C. После охлаждения частицы со всех сторон опрыскивались раствором силиконового масла. Использовался готовый раствор силиконового масла марки Camp Dry, продающийся в туристических магазинах в аэрозольной упаковке и используемый для придания тканям и текстилю гидрофобных свойств (пленка силиконового масла препятствует проникновению воды в поры породы при взвешивании образца в воде; пленка очень тонкая, и ее вес не влияет на результаты измерений). После покрытия тефра вновь высушивалась около 12 ч при температуре 40-50°. Для определения объемного веса производилось взвешивание частицы тефры на воздухе и в воде. Схема установки приведена в [23]. Расчет объемного веса производился по формуле

$$\rho(\text{г/см}^3) = \rho_{\text{вода}} \cdot W/W - W_1,$$

где W - вес образца в воздухе, W₁ - вес образца в воде, т.к. $\rho_{\text{вода}} = 1$, то $\rho = W/W - W_1$.

Коэффициент пористости

$$\text{VES} (\%) = 100 \cdot (2.8 - W)/2.8,$$

где 2.8 г/см³ – объемный вес (плотность) базальта с нулевой пористостью.

Вычисление T₀, b_c, k_t, M₀, b_c, k_c, α_t, α_c и объёма изверженной тефры и магмы.

T₀ и k_t определяются по графику T/A^{1/2} (рис. 11), где T - толщина тефры в логарифмическом масштабе, A - площадь, ограниченная изопакитой этой толщины [28]. Если этот график имеет вид прямой линии, то толщина тефры убывает экспоненциально с удалением от вулкана.

T₀ - максимальная экстраполированная толщина слоя тефры в источнике (кратере) – определяется путем продления прямой графика в область, где A^{1/2} = 0. b_t - значение A^{1/2}, где T₀ уменьшается в два раза. Эта величина наглядно характеризует скорость уменьшения толщины тефры с расстоянием от источника. k_t – наклон графика T/A^{1/2} - вычисляется по формуле:

$$-k_t = [\ln T_2 - \ln T_1] / [(A_2)^{1/2} - (A_1)^{1/2}]$$

M₀ и k_c определяются по графику M/A^{1/2} (рис. 12), где M - максимальный размер тефры в логарифмическом масштабе, A - площадь, ограниченная изоплетой этой толщины. Если этот график имеет вид прямой линии, то размер частиц тефры убывает экспоненциально с удалением от вулкана.

M₀ - максимальный экстраполированный размер частиц тефры в источнике (кратере) – определяется

путем продления прямой графика M/A^{1/2} в область, где A^{1/2} = 0. b_c - значение A^{1/2}, где M уменьшается в два раза. Эта величина наглядно характеризует скорость уменьшения максимального размера частиц тефры с расстоянием от источника. k_c – наклон графика M/A^{1/2} - вычисляется по формуле:

$$-k_c = [\ln M_2 - \ln M_1] / [(A_2)^{1/2} - (A_1)^{1/2}]$$

α_t и α_c - определяется как отношение длин малой (Y) и большой (X) осей эллипсов изопакит и изоплет соответственно, и характеризует их “эллиптичность”, т.е. степень вытянутости. Так как изопакиты и изоплеты не образуют идеальных эллипсов, берутся средние значения Y и X.

Вычисление объёма изверженной тефры производилось по формуле: V = 2T₀/k_t² [21].

Известно, что этот метод, как и другие методы подсчета, основанные на измерении толщины отложенной тефры, как правило, дает заниженные оценки. Это происходит из-за того, что невозможно точно подсчитать объем (обычно, значительный) тонкой тефры, выпадающей на больших расстояниях от вулкана. Толщина слоя пепла в дальней зоне менее нескольких мм; он не сохраняется в разрезах и не поддается измерению. Простая экстраполяция прямой графика T/A^{1/2} в область нулевой толщины тефры, которая используется при вычислении, занижает объем, так как известно, что во многих случаях в дальней зоне происходит выполаживание графика (скорость уменьшения толщины тефры замедляется). Оценки показывают, что реальный объем изверженной магмы может в несколько раз превышать вычисленный [21, 26]. Поэтому, указанные в табл. 4 объемы, а также вычисленные на их основе продолжительности извержений (см. ниже) следует рассматривать как минимальные. Пересчет на объем и вес изверженной магмы (ρ = 2.8 г/см³) осуществлялся исходя из объемного веса отложений (слоя) тефры 1 г/см³ [13].

Вычисление высоты эруптивной колонны и скорости ветра. Максимальная высота колонны во время извержения находит свое отражение в отложенной тефре в единственном параметре - максимальном расстоянии от кратера (измеренном в направлении, перпендикулярном оси пеплопада), на котором выпадали частицы тефры какого-либо определенного размера и плотности. Если известно еще и максимальное расстояние, на котором частицы этого же размера и плотности выпадали на оси пеплопада, то можно определить скорость ветра во время извержения, т.е. высота колонны и скорость ветра могут быть определены, если построена хотя бы одна изоплета отложенной извержением тефры [20].

Мы использовали методику [20], которая для исторических извержений дает параметры колонн и

скорости ветра, хорошо согласующиеся с данными наблюдений. Необходимые расстояния снимались с карты изоплет (рис. 12) и откладывались на графике из работы [20] (рис. 16, с. 121). В случае извержения 1853 г. мы использовали диаметр частиц тефры 2.7 см (расстояния: 2.7 км поперек ветра, 12 км по ветру), 5.3 см (1.9, 10 км) и 10.7 см (0.5 и 7 км). В случае извержения 1986 г. мы использовали диаметр 2.7 см (расстояния: 3.7 км поперек ветра, 7 км по ветру) и 5.3 см (1.3 и 4.5 км). Объемный вес частиц тефры (базальтового шлака) во всех случаях считался 1.5 г/см^3 (не путать с объемным весом слоя тефры, который меньше за счет промежутков между частицами).

Вычисление расхода магмы и продолжительности плининанской стадии извержения. Для определения расхода магмы использовался график из работы [34], где построена зависимость гидравлического размера частиц тефры (произведения диаметра на плотность частицы) от расстояния поперек оси пеплопада, на котором они выпадают при различных расходах магмы. Использовались те же исходные данные, что и при определении высоты колонны. Для определения продолжительности плининанских стадий вес изверженной магмы делился на величину ее расхода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абдурахманов А.М., Федорченко В.М.* О вулканической активности на Курильских островах в 1973 г. и о некоторых не зафиксированных ранее извержениях. Вулканы Курильской островной дуги и острова Сахалин // Тр. СахКНИИ. 1976. Вып. 48. С. 114-118.
2. *Белусов А.Б., Белоусова М.Г., Жданова Е.Ю.* Активность Северной группы вулканов Камчатки в 1990-1992 гг. // Вулканология и сейсмология. 1996. № 2. С. 25-33.
3. *Горшков Г.С.* Вулканы острова Парамушир и их состояние летом 1953 г. // Бюл. вулканол. станций. 1954. №22. С. 9-29.
4. *Горшков Г.С.* Вулканизм Курильской островной дуги. М: Наука, 1967. 287 с.
5. *Грабков В.К.* Об извержении вулкана Чикурачки на острове Парамушир в сентябре 1973 г. // Тез. докл. 8-ой конференции молодых ученых и специалистов СахКНИИ. Южно-Сахалинск: 1974. С. 9-10.
6. *Гущенко И.М.* Извержения вулканов мира. М.: Наука, 1979. 476 с.
7. *Дитмар К.* Поездки и пребывание в Камчатке в 1851-1855 гг. Ч. 1. СПб. 1901.
8. *Дорошин Я.* О некоторых вулканах, их извержениях и землетрясениях в бывших американских владениях России // Зап. СПб. Мин. об-ва. 1870. II серия. Ч. 5.
9. *Курсанов И.Т., Хренов А.М., Вакин Е.Л.* Действующие вулканы Камчатки и Курильских островов в 1973 г. // Бюл. вулканол. станций. 1975. №51. С. 3-18.
10. *Кирьянов В.Ю.* Вулканические пеплы Камчатки как источник потенциальной опасности для пассажирских линий // Вулканология и сейсмология. 1992. №3. С. 16-36.
11. *Мелекесцев И.В., Брайцева О.А., Пономарева В.В., Сулержицкий Л.Д.* Возраст и динамика формирования действующих вулканов Курило-Камчатской области // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1990. № 4. С. 17-31.
12. *Озеров А.Ю., Карпов Г.А., Дроздин В.А. и др.* Динамика извержения Ключевского вулкана 7 сентября - 2 октября 1994 г. (Камчатка) // Вулканология и сейсмология. 1996. № 5. С. 3-16.
13. *Овсянников А.А., Муравьев Я.Д.* Извержение вулкана Чикурачки в 1986 г. // Вулканология и сейсмология. 1992. № 5-6. С. 3-21.
14. *Пийп Б.И.* Ключевская сопка и ее извержения в 1944-45 гг. и в прошлом // Тр. Лаб. Вулканологии. 1956. Вып. 11.311 с.
15. *Римский-Корсаков В.* Случаи и заметки на винтовой шхуне "Восток" // Морской Сборник. 1858. Т. 38. № 12.
16. *Слезин Ю.Б.* Динамика дисперсионного режима вулканических извержений. Условие неустойчивости расхода и природа катастрофических эксплозивных извержений // Вулканология и сейсмология. 1984. № 1. С. 23-25.
17. *Федорченко В.И., Шилов В.Н.* Извержение вулкана Чикурачки (о-в Парамушир) в 1961 г. // Бюл. вулканол. станций. 1963. № 34. С. 36-43.
18. *Шилов В.Н., Воронова Л.Г.* Состояние действующих вулканов северной группы Курильских островов летом 1959 г. и некоторые сведения об извержении вулкана Чикурачки в мае 1958 г. // Тр. СахКНИИ. 1962. Вып. 12. С. 114-126.
19. *Bonadonna C, Ernst G.G.J., Sparks R.S.J.* Thickness variations and volume estimates of tephra fall deposits: the importance of particle Reynolds number // J. Volcanol. and Geotherm. Res. 1998. V. 81. P. 173-187.
20. *Carey S., Sparks R.S.J.* Quantitative models of the fall out and dispersal of tephra from volcanic eruption columns // Bull. Volcanol. 1986. V. 48. P. 109-125.
21. *Fierstein J., Nathenson M.* Another look at the calculation of fallout tephra volumes // Bull. Volcanol. 1992. V. 54. P. 156-167.
22. *Grishin S.Yu., Moral R., Krestov P.V., Verkholat V.P.* The succession follows catastrophic eruption of Ksudach volcano (Kamchatka, 1907) // Vegetation. 1996. 127 p.
23. *Hoblitt R.P., Harmon R.S.* Bimodal density distribution of cryptodome dacite from the 1980 eruption of Mount St. Helens, Washington // Bull. Volcanol. 1993. V. 55. P. 421-437.
24. *Houghton B.F., Wilson C.J.N.* A vesicularity index for pyroclastic deposits // Bull. Volcanol. 1989. V. 51. p. 451-462.

25. *Inman D.L.* Measures for describing the size distribution of sediments // *J. Sed. Petrol.* 1952. V. 22. P. 125-145.
26. *Legros F.* Minimum volume of a tephra fallout deposit estimated from a single isopach // *J. Volcanol. and Geotherm. Res.* 2000. V. 96. P. 25-32.
27. *Lirer L., Pescatore T., Booth B., Walker G.P.L.* Two plinian pumice-fall deposits from Somma-Vesuvius, Italy // *Geol. Soc. Am. Bull.* 1973. V. 84. P. 759-772.
28. *Pyle D.* The thickness, volume and grainsize of tephra fall deposits // *Bull. Volcanol.* 1989. V. 51. P. 1-15.
29. *SEAN Bulletin.* 1986. V. 11. P. 11-12.
30. *SEAN Bulletin.* 2002.
31. *Walker G.P.L.* Grain-size characteristics of pyroclastic deposits // *J. Geol.* 1971. V. 79. P. 696-714.
32. *Walker G.P.L.* Explosive volcanic eruptions - a new classification scheme // *Geol. Rundsch.* 1973. V. 62. P. 431-46.
33. *Williams S.* Plinian airfall deposits of basaltic composition // *Geology.* 1983. V. 11. P. 211-214.
34. *Wilson L., Walker G.P.L.* Explosive volcanic eruptions - VI. Ejecta dispersal in plinian eruptions: the control of eruption conditions and atmospheric properties // *Geophys. J. R. astr. Soc.* 1987. V. 89. P. 657-679.

Historical Eruptions of Chikurachki Volcano. Paramushir I., Kuriles

A. B. Belousov¹, M. G. Belousova¹, S. Yu. Grishin², P. V. Krestov²

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

² *Institute of Biology and Soil Science, Far East Division, Russian Academy of Sciences, Vladivostok, 690022, Russia*

The dynamics of historical eruptions for Chikurachki Volcano has been analyzed. It is shown that these were either weak Strombolian-type eruptions (at intervals of a few years to a few tens of years) or powerful Plinian-type eruptions (at intervals of 100-200 years) discharging basaltic magma (50-54% SiO₂). We have studied the tephra deposits and determined the parameters of the 1853 and 1986 Plinian-type eruption phases whose values have turned out to be similar: the minimum volume of erupted magma was 0.03 and 0.04 km³, respectively, the magma discharge was 5 x 10⁶ kg/s for both eruption types, the eruptive column height was about 13—14 km for wind velocities of 35-40 and 15 m/s, the Plinian-type phases lasting 5 and 7 hours. Information is provided on the morphology of the volcanic edifice and the structure of the soil-pyroclastic cover in the area. The condition of the crater in the summer of 2000 is described. It is concluded that high, pyroclastics-charged clouds of Plinian-type eruptions are the leading risk factor associated with Chikurachki Volcano.