

УДК 551.21.03

РИТМИКА ИЗВЕРЖЕНИЙ КЛЮЧЕВСКОГО ВУЛКАНА И ВОПРОСЫ ПРОГНОЗА ЕГО АКТИВНОСТИ

©2005 В. В. Иванов¹, Г. П. Пономарев^{1,2}¹ Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006, vivanov@kcs.iks.ru² Камчатский Государственный Университет, Петропавловск-Камчатский, 683032

Исследовались особенности активного вулканического процесса на гигантском базальтовом вулкане Ключевской (Камчатка) в XX веке и его нового цикла активности, начавшегося в 1995 г. Цели работы: изучение ритмики в извержениях; выделение фаз нового цикла активности и оценка текущего состояния магматической питающей системы вулкана; выдача прогнозов и оценка их оправдываемости. Исследовались параметры: длительность извержений и временной интервал между ними, интенсивность вулканического дрожания, высота и характер вулканических выбросов, длина лавовых и грязевых потоков по видео, - фото, - и визуальным данным, глубина и диаметр вершинного кратера вулкана. Показано, что извержения Ключевского группируются в серии, состоящие из сравнительно близких по времени событий. Серии разделены относительно длительными интервалами покоя. Используя введенные Ф. Перре и П.И. Токаревым понятия циклов активности, впервые рассчитаны временные границы для распределений: а) между извержениями в серии - от 3 до 15 мес.; б) между сериями - от 3 до 8.5 лет; в) длительностей циклов - от 0.8 до 2.6 лет и от 6 до 18 лет. Для текущего цикла активности, начавшегося в 1995 г., выделены следующие фазы: покоя (1995 - 1997 гг.), подготовки новой серии извержений (с 1997 г.), первое извержение (март 2003 - январь 2004 г.) и второе извержение (январь-апрель 2005 г.). Сделанный прогноз развития извержения 2003 г. оправдался по массам изверженных продуктов и длительности извержений. Вулканическая опасность оказалась заниженной. Сделан вывод, что питающий канал вулкана сейчас представляет собой «проточную систему», и текущий цикл активности вулкана не завершился. Прогнозные оценки (на 20 июня 2005 г.): начало нового вершинного извержения с излияниями лавовых потоков ожидается в интервале июль 2005 г. - август 2006 г.; вероятность побочного извержения в ближайшие десятилетия оценивается как малая.

Посвящается 70-летию Камчатской
вулканологической станции

ВВЕДЕНИЕ

Ключевской вулкан, будучи достаточно молодым (~7.5 тыс. лет), является самым высоким вулканом Европы и Азии (около 4750 м над ур. моря) и извергает в среднем 60 млн. т. базальтов в год (Поляк, Мелекесцев, 1981). Это составляет около половины от массы вулканических продуктов, ежегодно выносимых на дневную поверхность всеми действующими вулканами Курило - Камчатской островной дуги (около 70 вулканов). Для него типичными являются разнообразные извержения в вершинном кратере (рис. 1, 2), а также побочные (эксцентричные) извержения с образованием многочисленных шлаковых конусов на его склонах.

Достаточно полные визуальные данные об активности этого вулкана имеются, начиная с 1920 г. Сейсмологические наблюдения на вулкане ведутся с 1946

г., а с 1978 г. - и геодезические. Изучению Ключевского вулкана, механизма его магматической деятельности, цикличности и прогнозу извержений посвящено значительное количество работ. Б.И. Пийп впервые обнаружил, что извержения Ключевского вулкана образуют серии (группы) быстро следующих друг за другом извержений, разделенных сравнительно длительными паузами. Он назвал эти серии эруптивными циклами и показал, что побочные извержения есть неотъемлемая часть этих серий. На завершающей фазе серий нередко происходят вершинные пароксизмальные извержения наивысшей силы, при которых активизируется весь главный кратер вулкана (Пийп, 1956; Пийп, 1958). В работах (Гарбузова, Сторчеус, 2004; Гонтовая и др., 2004; Горельчик, Федотов и др., 1988; Хренов и др. 1991) утверждается, что в переходном слое от коры к мантии и в нижних частях земной коры под Ключевским вулканом на глубинах 40-25 км располагается



Рис. 1. Типичный вид стромболианско - вулканского извержения в вершинном кратере Ключевского вулкана в начале 2005 г. Лавовые потоки изливаются из кратера по Крестовскому желобу и взаимодействуют со льдом с образованием мощных фреатических взрывов на северо-западном склоне вулкана. 6 марта 2005 г. Фото Ю.В. Демянчука.

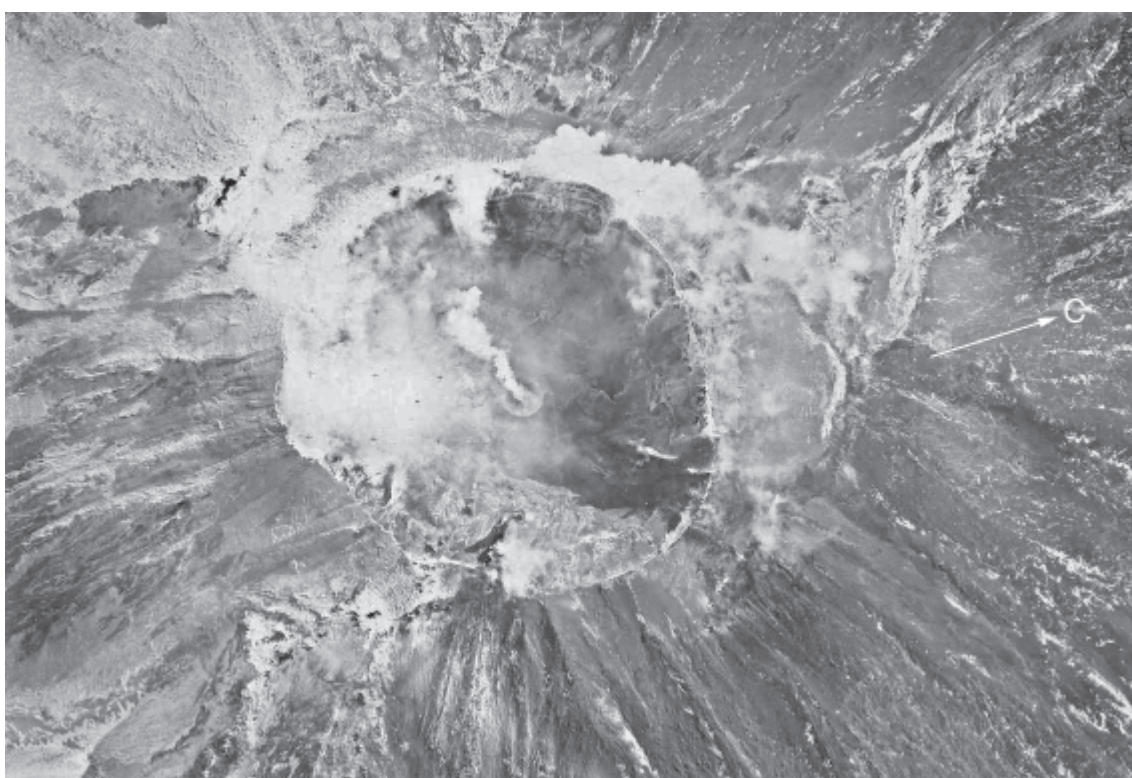


Рис. 2. Вершинный кратер Ключевского вулкана 4 апреля 1993 г. По данным В.Н. Двигало, диаметр кратера ~ 500 м, глубина ~ 190 м. Эрозивно-тектонический Крестовский желоб распространяется в ССЗ направлении от кромки кратера в правый верхний угол снимка. В центре кратера вырос шлаковый конус. Конус идентифицируется по наличию небольшого кратера на его вершине диаметром ~ 50 м, из которого выходит струя пара. Фото Н.П. Смелова.

область промежуточных магматических очагов, в которых накапливается и дифференцируется основная и ультраосновная магма и находится вероятный источник эксцентрических извержений. Изучению цикличности и прогнозу извержений Ключевского вулкана посвящены работы (Жданова, Рудаков, 1994; Кирсанов и др., 1973; Токарев 1979; Токарев, 1988, Хренов и др., 1991, Широков, 1985). В работе (Gusev et al., 2003) показано наличие фрактальной структуры в извержениях Камчатки за последние 10 000 лет, что позволяет надеяться на наличие самоподобия в извержениях и Ключевского вулкана. В работе (Кирсанов и др., 1973) была подробно проанализирована деятельность вулкана за 51 год (1920 - 1970); за этот период произошло 22 извержения, 8 из которых были побочными. Побочные извержения внутри цикла происходили незакономерно, но, как правило, его заканчивали (Кирсанов и др., 1973). В этой работе впервые обнаружено увеличение со временем абсолютных отметок побочных прорывов (1932 - 1970 гг.) и было предсказано начало нового эруптивного цикла вулкана и его следующее побочное извержение (1973+-1 год). Очередное вершинное извержение вулкана началось в 1972 г., а побочное – в 1974 г., т.е. этот прогноз оправдался по времени.

После извержения 1 октября 1994 г. вулкан пришел в состояние покоя, т.е. закончился его предыдущий цикл активности, а с 1995 г. начался следующий цикл, который продолжается и в настоящее время (определение циклов активности см. далее). С 1995 г. вулкан не извергался в течение 8.5 лет. В марте 2003 - январе 2004 гг. на вулкане произошло первое вершинное стромболианско - вулканское извержение нового цикла активности. В мае 2003 г. был дан прогноз развития этого извержения. В январе 2005 г. началось второе вершинное извержение (см. рис. 1), которое закончилось в апреле 2005 г. Возникает необходимость оценки дальнейшего поведения Ключевского вулкана и его ареальной зоны шлаковых конусов, а также более полного изучения ряда аспектов механизма его деятельности, в частности, природы циклов активности, связи вершинных и побочных извержений, а также оправдываемости прогнозов. Поэтому одной из целей настоящей работы является построение некоторой статистической модели, описывающей серии вулканических извержений на вулкане Ключевской. Это позволит оценить текущее состояние вулкана и прогнозировать его поведение в будущем. Мы также будем исследовать развитие текущего цикла активности вулкана и предложим некоторое физическое объяснение природы циклов. На важность изучения механизма вулканических извержений, как основы их прогноза, неоднократно обращал внимание в своих работах П.И. Токарев (Токарев, 1977).

ПРОГНОЗЫ ИЗВЕРЖЕНИЙ КЛЮЧЕВСКОГО ВУЛКАНА И ИХ ОПРАВДЫВАЕМОСТЬ

Методики прогнозирования извержений вулканов, в частности Ключевского вулкана, разработали П.И. Токарев по повторяемости извержений (Токарев, 1979, 1988) и В.А. Широков (Широков, 1988). Методика В.А. Широкова основана на связи извержений с фазами лунного приливного цикла 18.61 года. В работе Н.А. Жаринова и Ю.В. Демянчука сделана оценка эффективности этой методики для интервала с ноября 1990 г. по май 2001 г. (Жаринов, Демянчук, 2001). В активные фазы попали два произошедших извержения (1993 г. и 1994 г.). К настоящему моменту с ноября 1987 г. по июнь 2005 г. из пяти извержений четыре попали в активные фазы: 1987 г., 1989 г., 1993 г., 1994 г. и 2003 г. Извержение в январе-апреле 2005 г. попало в паузу, т.е. имел место пропуск цели. Кроме того, была одна активная фаза, в которую не попало ни одно извержение. Заметим, что вероятность непопадания в эту фазу была $P=0.63$. Этим подтверждается значимое влияние лунного приливного цикла на деятельность Ключевского вулкана.

19 мая 2003 г. В.В. Ивановым было выдано прогнозное сообщение «*О начале магматического извержения на вулкане Ключевской в 2003 г. Прогноз развития извержения*», которое было передано в Камчатское отделение Федерального центра прогнозирования землетрясений (КОФЦПЗ) и опубликовано в мае 2003 г. в камчатской газете «Вести». В этом сообщении анализировались следующие данные: состояние кратера вулкана после окончания предыдущего извержения, данные об уровне вулканического дрожания (за период с 1 января 2002 г. по 18 мая 2003 г.) и данные визуальных наблюдений, начиная с 1997 г. На этом основании было констатировано, что с конца марта 2003 г. произошел переход вулкана из преимущественно парогазовой активности в состояние извержения. Было оценено состояние магматического очага вулкана и предложен механизм продвижения магмы в канале вулкана.

В прогнозном сообщении от 19 мая 2003 г. оценивались следующие параметры извержения 2003 г.: продолжительность извержения, масса изверженных продуктов, характер будущей активности, время заполнения кратера, возможная вулканическая опасность для этого и последующих извержений. Прогнозные оценки базировались на следующих предпосылках: 1) магма в очаге вулкана генерируется постоянно с темпом 60 млн. тонн в год (Поляк, Мелекесцев, 1981); 2) в результате сильного эксплозивного извержения 1 октября 1994 г. произошла значительная дегазация магмы в очаге и опустошение питающего канала вулкана вплоть до значительных глубин; 3) начиная с 1995 г. образующаяся в очаге магма тратилась на заполнение питающего канала, в результате чего уровень магмы в канале постепенно повышался и достиг к марту 2003 г. дна вершинного кратера вулкана; 4) состояние очага к началу извержения квазистационарное, и значительное избыточное давление магмы в верхней части канала вулкана (у дна кратера) отсутствует; 5) к началу извержения 2003 г. магма достигла

дна глубокого кратера (глубина более 500 м), что свидетельствовало о недостаточно высоком уровне стояния магмы в канале и сравнительно невысоком абсолютном гидростатическом давлении магмы в магматическом очаге, что значительно снижает вероятность образования побочного прорыва. Надежными данными о параметрах вершинного кратера вулкана на дату прогноза 19 мая 2003 г. мы не располагали. На основании устного сообщения В.Н. Двигало, кратер принимался цилиндрическим с диаметром 700 м, глубиной 600 м, что давало его объем 0.24 км³. Прогнозные оценки и их оправдываемость сведены в таблицу.

Оправдываемость прогнозных оценок по состоянию на июнь 2005 г. рассчитывалась на основании более поздних и более корректных данных о размерах кратера вулкана, которые были получены В.Н. Двигало в результате предварительной обработки данных плановой фотосъемки кратера за 2000 г. По этим данным ориентировочные размеры кратера до начала извержения 2003 г. можно было оценить следующими величинами: диаметр – 700 м, глубина от верхней кромки кратера – 450 м, от уровня Крестовского желоба – 320 м, диаметр дна кратера - 200 м. Если принять кратер в виде усеченного конуса, то его объем до уровня Крестовского желоба оценивается нами в 0.04 км³. Объем кратера до верхней кромки оценивается при этом величиной чуть больше 0.05 км³. В результате чисто эксплозивного извержения 2003 г. внутри вершинного кратера вырос шлаковый конус. На фотографии, сделанной альпинистом с кромки кратера в августе 2004 г., видно (рис. 7), что основание конуса достигло уровня Крестовского желоба. Поэтому в качестве нулевого приближения мы полагаем, что шлаковый конус заполнил собой вершинный кратер Ключевского вулкана до уровня Крестовского желоба, т.е. объем изверженных рыхлых продуктов составил примерно 0.04 км³, что при плотности 1.8 т/м³ дает около

70 млн. т. Заполнение вершинного кратера вулканическими продуктами примерно до уровня Крестовского желоба подтверждается также тем, что вскоре после начала следующего эксплозивно-эффузивного извержения вулкана (январь – апрель 2005 г.) по этому желобу начала изливаться лава. Данные эти предварительные и, мы надеемся, в дальнейшем они будут уточнены.

Оправдываемость прогнозов. Из таблицы следует, что оценки продолжительности извержения, его характера, массы изверженного материала и вулканической опасности оправдались. Оценка времени заполнения кратера продуктами извержения оказалась заниженной (7 лет по сравнению с реальным 1 год). Расхождение вызвано в несколько раз завышенной оценкой объема кратера, которая была принята в прогнозе (0.24 км³), по сравнению с реальным объемом (0.04 км³). Заполнение вершинного кратера вулканическими продуктами за один год привело к значительному возрастанию опасности во время следующих вершинных извержений вулкана. Последовавшее за первым второе вершинное извержение в январе–апреле 2005 г. уже сопровождалось не только выпадениями пепла и бомб, но также излияниями по Крестовскому желобу лавовых и опасных грязевых потоков на внешние склоны вулкана.

ЦИКЛЫ АКТИВНОСТИ КЛЮЧЕВСКОГО ВУЛКАНА И ОЦЕНКИ ИХ ПАРАМЕТРОВ

Для целей прогноза извержений Ключевского вулкана необходимо знать частотные распределения таких величин, как длительность извержений, интервал между ними и т.д. Для решения этой задачи мы располагаем достаточно полными данными за промежуток времени с 1920 г. по июнь 2005 г. Кроме того, нам придется использовать ряд терминов.

Таблица. Оправдываемость прогноза развития извержения Ключевского вулкана в 2003 г.

Параметр	Прогнозная оценка на 19 мая 2003 г.	Реализация прогноза
Продолжительность извержения	1-2 года	0.85 года (оправдался)
Характер извержения	эффузивно-эксплозивное, преимущественно эффузивное	оправдался
Масса изверженных продуктов М	60 млн. тонн/год, за 1-2 года M = 60- 120 млн. т	70 млн. тонн (оценка ориентировочная, оправдался)
Время заполнения кратера продуктами извержения	7 лет	1 год (не оправдался)
Вулканическая опасность для:		
а) авиалиний	маловероятно	оправдался
б) населенных пунктов	неопасно	оправдался
в) для людей на склонах вулкана	от вулканических бомб	оправдался

Терминология в вулканологии пока окончательно не сформировалась, и часто разные авторы понимают под одним и тем же термином разные понятия. Нередко определений терминов в статьях не приводится, поэтому во избежание недоразумений дадим определения используемых нами терминов. Сразу же после введения каждого термина будем давать имеющие к нему отношение частотные распределения.

Извержение вулкана. По П.И. Токареву – это состояние вулкана, когда магматические продукты выходят на поверхность Земли (Токарев, 1977). Извержение обычно представляет собой серию близких по времени этапов, в частности, эпизодов излияний лавы и/или периодов вулканской и/или стромболианской активности, отдельных взрывов и т.д. Заметим, что извержение может включать любой набор этапов, происшедших в любой временной последовательности. Этапы слабой и сильной фумарольной (т.н. парогазовой) активности мы не относим к извержению. Извержения могут быть как в вершинном кратере, так и побочные. По П.И. Токареву, этапы относятся к одному извержению, если продолжительность пауз между ними меньше длительности соответствующих этапов (Токарев, 1977). На рис. 3 показано частотное распределение продолжительности извержений Ключевского вулкана за временной интервал 1944 - 1968 гг. Продолжительность извержений в этот период менялась в очень широком диапазоне, от двух до 19-ти мес., распределение было явно несимметричным с максимумом, соответствующим 6 мес.

Вулканический цикл. Согласно П.И. Токареву, вулканический цикл - это состояние вулкана между концами двух смежных извержений, а его продолжительность - это *период вулканического цикла* (Токарев, 1971; 1977). Вулканический цикл делится П.И. Токаревым на четыре фазы: фазу I –покоя, фазу II-подготовки извержения, фазу III – извержения и фазу IV -

релаксации напряжений. Каждая фаза, в частности, извержение, состоит из ряда этапов. Вулканические циклы последовательно сменяют друг друга во времени. На рис. 4 показано построенное нами распределение периодов вулканического цикла для Ключевского вулкана за 24- летний интервал наблюдений с 1945 по 1968 гг. Исходные данные взяты из работы (Кирсанов и др., 1973). Видно, что величины периодов вулканического цикла не являются постоянными, а распределены в диапазоне от шести до 31 мес. с явно выраженным максимумом, относящимся к 16 мес. Таким образом, наиболее вероятная продолжительность вулканического цикла была около 16 мес. Повторяемость состояний вулкана, вероятно, вызвана двумя процессами: а) накоплением вещества и энергии в магматическом очаге на этапах покоя и подготовки извержения и б) расхода их во время извержения. При этом, как правило, имеет место группирование по времени отдельных фаз активности в одно извержение, т.е. расход вещества и энергии происходит в течение ограниченного времени. Из ограниченности энергии в системе следует наличие сравнительно длительных пауз между извержениями. Заметим, что во время пауз может отмечаться фумарольная (парогазовая) активность.

Продолжительность извержения составляла от 20 до 80% продолжительности вулканического цикла, в среднем 45%.

Серии извержений. Б.И. Пийп предполагал, что извержения Ключевского вулкана группируются в серии относительно частых во времени событий, которые он называл эруптивным циклом (Пийп, 1956, 1958). Однако в то время для обоснованных оценок данных было мало. На рис. 5 показано распределение длительности пауз между извержениями Ключевского вулкана для более полной выборки с 1944 по 1968 гг. Для удобства оно изображено на двух графиках: для относительно коротких (от 0 до 24 мес.) интервалов (а) и для относительно

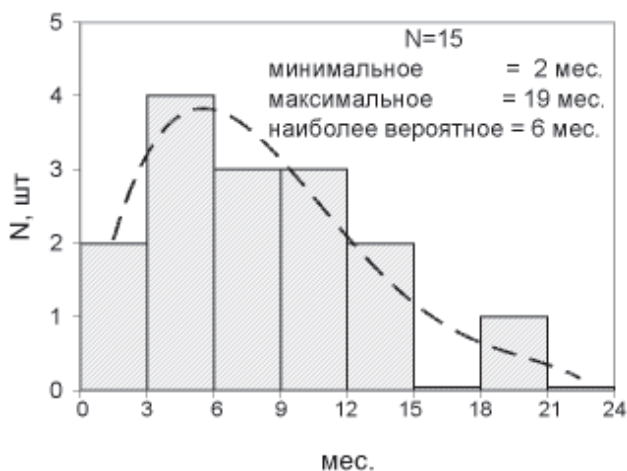


Рис. 3. Частотное распределение продолжительности извержений Ключевского вулкана.

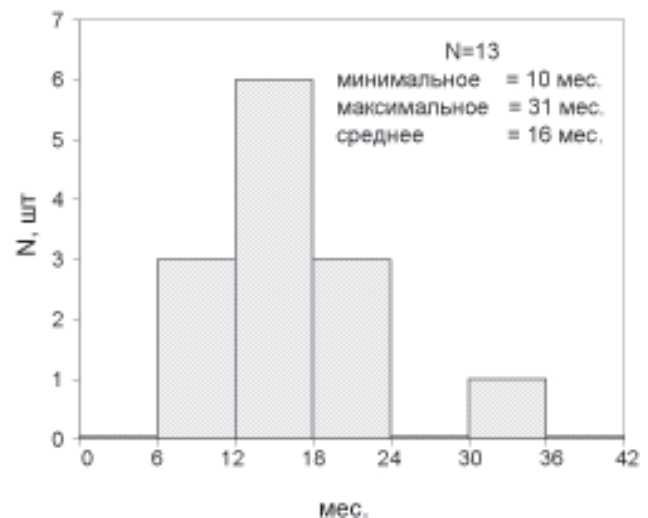


Рис. 4. Частотное распределение периода вулканических циклов для Ключевского вулкана за временной интервал 1945-1968 гг.

длинных (от 2 до 10 лет) интервалов времени (б). На рисунке видно, что длительности пауз между извержениями разбиваются на два несмежных распределения, одно - в диапазоне от трех до 15 мес., а другое - в интервале от 3 до 8.5 лет. Первое соответствует паузам между извержениями в серии, а второе - паузам между извержениями, принадлежащими к разным сериям. Это доказывает факт группирования извержений Ключевского вулкана. Извержений в группе (серии) бывает от четырех до 12 (Жданова, Рудаков, 1994), длятся серии от 2.5 до 18 лет, в среднем 9 лет. Группирование извержений в серию при примерно постоянной интенсивности потока событий приводит к тому, что серии оказываются разделены сравнительно длительными паузами. Это делает логичным следующее определение.

Цикл активности. Под циклом активности будем понимать состояние вулкана между концами двух серий извержений, а его продолжительность – *периодом цикла активности* (по П.И. Токареву) (Токарев, 1971, 1977). Заметим, что Б.И. Пийп серию извержений, быстро следующих друг за другом, называл эруптивным циклом (Пийп, 1956; 1958), который представляет собой только часть нашего цикла активности.

Для цикла активности можно определить все те же четыре фазы, что выделены П.И. Токаревым для вулканического цикла: покоя, подготовки, самой серии извержений и релаксации. Таким образом, мы видим, что цикл активности вулкана Ключевской подобен вулканическому циклу, только на больших временных масштабах. В частности, перед первым извержением в серии имеются свои более длительные фазы покоя и подготовки (накопления вещества и энергии).

На рис. 6 показано частотное распределение величин периодов циклов активности Ключевского вулкана за промежуток с 1920 по 2004 гт. Периоды циклов активности соответствовали диапазону от 6 до 18 лет со средним

значением, относящимся к 11-12 годам. Распределение примерно равномерное в интервале 6...18 лет. Заметим, что серии извержений занимают по времени от 35 до 80 % величины периода цикла активности.

Таким образом, для Ключевского вулкана величина периода цикла активности – от 6 до 18 лет, а величина периода вулканического цикла - от 0.5 до 2.6 лет, т.е. разница между ними примерно 7 раз.

Отсюда мы можем сформулировать критерий объединения этапов активности в одно извержение и критерий объединения извержений в один эруптивный цикл. *Под извержением Ключевского вулкана мы понимаем любую временную последовательность любых из набора следующих этапов активности: вулканической и/или стромболианской и/или субплинианской и/или извержений побочных кратеров, если интервал между указанными этапами не превышает трех месяцев. В противном случае мы полагаем, что эти этапы относятся к разным извержениям. Если после окончания извержения пауза продолжается более 1.5 лет, то мы считаем, что серия извержений текущего цикла активности завершилась. Вместе с ней завершился и цикл активности. В противном случае мы полагаем, что оба извержения относятся к одному циклу активности.*

Понятие эруптивный цикл, введенное Б.И. Пийпом, идет от понимания цикла в смысле закономерной последовательности тесно следующих друг за другом во времени извержений вулкана. Здесь подчеркивается связанность извержений в этой серии. Понятие цикл извержения и цикл активности, введенное П.И. Токаревым, идет от понятия кругооборота, когда действующий вулкан рассматривается как термодинамическая система, которая многократно возвращается в свое исходное состояние (за период цикла) (см. определения цикла в (Ожегов ... , 1986). Мы полагаем, что введение П.И. Токаревым и ранее Перре

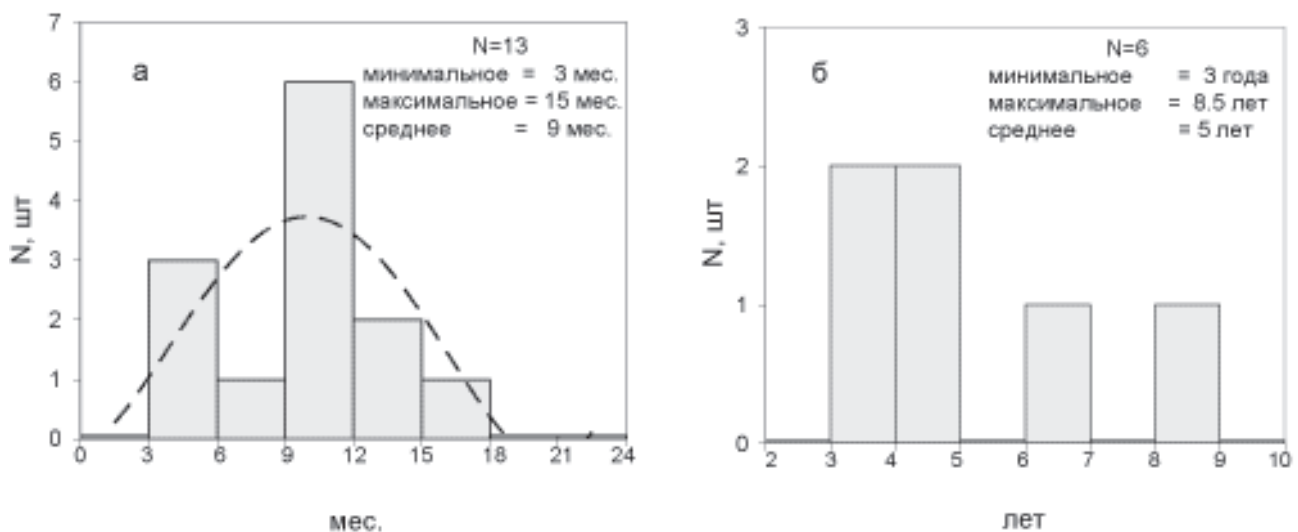


Рис. 5. Частотное распределение продолжительности пауз между извержениями Ключевского вулкана в двух временных диапазонах: а) от 0 до 2 лет (0 – 24 мес.) и б) от 2 до 10 лет.

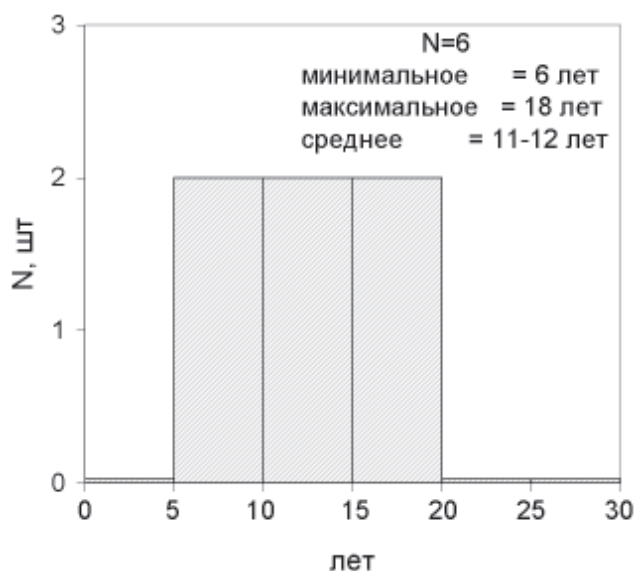


Рис. 6. Частотное распределение периода циклов активности Ключевского вулкана за временной интервал с 1920 по 2004 гг.

понятия цикла активности с разбиением его на фазы способствует более полному пониманию всего *вулканического процесса*, а не только одной его эруптивной фазы. Поэтому мы считаем использование этого термина полезным.

Приведем сводку основных параметров активности Ключевского вулкана.

1. Во временном интервале 1939 г. – июнь 2005 г. выделяется 6 полных циклов активности и один неполный (текущий).

2. В среднем на Ключевском вулкане происходит одно извержение в два года (за 29 лет с 1930 г по 1968 г., произошло 13 извержений). Извержения занимают примерно одну треть часть всего времени наблюдения, что указывает на беспрецедентно высокий уровень вулканической активности.

3. Фаза извержения по времени занимает от 20 до 80 % периода вулканического цикла.

4. Серии извержений занимают по времени от 35 до 80 % периода цикла активности.

Отметим кратко, что мы исследовали сравнительно короткопериодную цикличность в извержениях Ключевского вулкана в диапазоне до 20 лет. В литературе описываются более продолжительные циклы активности, образующие по периодам циклов целую иерархию, от исторических до голоценовых и плейстоцен-четвертичных. Эта циклическая активность нередко захватывает всю Землю в целом (Баренбаум и др., 2004; Еремин и др., 2002; Кожемяка, 2001; Мелекесцев и др. 2003а; Мелекесцев и др. 2003б). Можно предположить, что более длительные циклы активности не просто накладываются на короткопериодные, но и могут модулировать последние (нелинейное взаимодействие).

О побочных извержениях в ареальной зоне шлаковых конусов Ключевского вулкана. До 1932 года

эти извержения происходили лишь эпизодически (Пийп, 1956, 1958). С 1932 по 1990 гг. наблюдались тенденции увеличения абсолютной высоты побочных прорывов и приближения места прорывов к вершинному кратеру вулкана. Напротив, в течение этого времени наблюдалась тенденция уменьшения массы изверженного вулканического материала при этих извержениях. После 1990 г. побочные извержения прекратились и в течение 15 лет их не было, что необычно для предыдущего 59-летнего интервала.

НОВЫЙ ЦИКЛ АКТИВНОСТИ КЛЮЧЕВСКОГО ВУЛКАНА

В сентябре 1994 г. на вулкане произошло эксплозивно-эффузивное вершинное извержение, завершившееся 1 октября пароксизмальным вершинным извержением, которое А.Ю. Озеров назвал субплинианским (пепла ~ 0.05 км³ и лавы 0.02-0.04 км³) (Озеров и др., 1996). После этого извержений не было в течение 8.5 лет. С октября 1994 г. и до конца этого года происходила фаза релаксации, в течение которой постепенно уменьшалась интенсивность фумарольной деятельности и происходила просадка вершинного кратера. На этом основании мы полагаем, что предпоследний цикл активности вулкана закончился к концу 1994 г. Январь 1995 г. следует считать началом следующего цикла активности, который продолжается до настоящего времени.

Первое извержение нового цикла активности началось в марте 2003 г., оно было вершинным, чисто эксплозивным, вулканско-стромболианского типа и продолжалось более 8 месяцев, по январь 2004 г. За один год извержения в вершинном кратере вырос новый шлаковый конус объемом около 0.04 км³. Вершина конуса достигла кромки вершинного кратера Ключевского вулкана, а основание конуса достигло уровня кромки Крестовского желоба, расположенного примерно на 300 м выше отметки дна кратера в 2000 г. (рис. 7). После чего создались условия для излияния лавовых потоков на внешний склон вулкана и образования там вторичных лахаров и фреатических взрывов (см. рис. 1). Это было для нас неожиданностью, поскольку ранее мы принимали объем кратера до начала извержения - 0.23 км³, хотя реально он составил 0.04 км³. Ошибка была вызвана отсутствием сведений о размерах кратера перед извержением 2003 г. (В.В. Иванов, доклад на вулканологическом семинаре 21 февраля 2005 г.).

11 января 2005 г., примерно через год после окончания предыдущего извержения, началось *второе вершинное эксплозивно-эффузивное извержение* Ключевского вулкана с излияниями лавовых потоков как в вершинный кратер, так и на внешний склон вулкана; цикл его активности продолжился. К началу апреля 2005 г. это второе извержение, вероятно, также закончилось. Оно продолжалось около трех месяцев.

Для изучения процесса подготовки и развития нового цикла активности Ключевского вулкана мы исследовали следующие исходные данные:

1) распределение во времени средних за сутки величин отношений амплитуды к периоду $(A/T)_{\text{ср}}$ вулканического дрожания (ВД) на радиотелеметрической сейсмостанции «Цирк» ($D=9$ км); 2) результаты визуальных наблюдений из пос. Ключи, включающие такие характеристики, как: фумарольная деятельность, парогазовые выбросы, газовые продувки, газопепловые выбросы, излияния лавы, выбросы бомб, фонтанирование лавы, (последние два явления видны только в темное время суток). Данные пп. 1) и 2) взяты из оперативных бюллетеней с.ст. «Ключи» КОМСПГС РАН, сбор данных проведен Ю.В. Карпухиной и Н.И. Реуговой; 3) видео и фотосъемки фумарол и облаков извержения, которые были любезно предоставлены Ю.В. Демянчуком; 4) устные сообщения В.Н. Двигало о размерах и заполнении вершинного кратера шлаковыми конусами.

При интерпретации данных вулканического дрожания мы использовали подход, опубликованный в работе (Иванов, 1988), где исследовано отношение мощности вулканического дрожания $W_{\text{вд}}$ к тепловой мощности эруптивных (фума-рольных) струй Q для двух

вершинных извержений Ключевского вулкана в 1984-1985 гг. и 1985-1986 гг. Эти интервалы включали как стромболианские, так и вулканские этапы извержения, а также парогазовые этапы. Показано, что отношение $W_{\text{вд}}/Q$ для стромболианских (магматических) извержений на один - два порядка больше, чем для парогазовых или пеплогазовых (вероятно, в большей мере фреатических) извержений. Из наблюдений следует, что в 1998-2002 гг. в процессе подготовки настоящего цикла активности высоты подъема и, соответственно, величина тепловой мощности вулканических струй менялись, но не очень сильно. Поэтому в нулевом приближении резкое изменение среднего значения отношения амплитуды к периоду $(A/T)_{\text{ср}}$ вулканического дрожания будем интерпретировать как смену режима течения магмы и типа извержения. Напротив, плавные изменения отношения $(A/T)_{\text{ср}}$ ВД будем связывать с изменением величины тепловой мощности вулканических струй без изменения типа активности. В качестве порогового значения, разделяющего эпизодическое движение магмы в канале от его непрерывного движения при извержении, мы принимаем $A/T_{\text{ср}}=0.7$ км/с (на с/ст. «Цирк»).

Основные фазы активности вершинного кратера Ключевского вулкана за период с 1995 по май 2005 г. После окончания извержения 1 октября 1994 г. началась



Рис. 7. Вершинный кратер Ключевского вулкана 29 июля 2004 г. Внутри виден новый шлаковый конус, образовавшийся в период извержения май 2003 - январь 2004 г. Фото альпиниста, передано Ю.В. Демянчуком.

фаза релаксации, относящаяся к предыдущему циклу активности, которая продолжалась до конца 1994 г. В течение этой фазы происходила смена парогозовой активности на фумарольную и постепенное опускание дна вершинного кратера.

На рис. 8. показано распределение во времени средних за сутки величин отношений амплитуды к периоду вулканического дрожания (A/T)_{ср} на вулкане Ключевской за период с 1 января 2002 г. по 24 мая 2005 г., а также основные выделенные нами фазы подготовки и развития нового цикла активности. Заметим, что величины A/T _{ср} более 8 мкм/с на графике ограничены из-за выхода за пределы динамического диапазона радиотелеметрической сейсмической аппаратуры.

В новом цикле активности выделены следующие фазы:

I. Фаза покоя. 1995 – 1997 гг. Характеризовалась отсутствием заметной из пос. Ключи фумарольной деятельности или вулканического дрожания, наличием глубокого вершинного кратера (к 2000 г., по устному сообщению В.Н. Двигало, его диаметр был около 700 м и глубина ~ 450 м). Отмечались рои вулканических землетрясений.

II. Фаза подготовки новой серии извержений. Происходила с 1998 г. по 21 марта 2003 г. Была преимущественно парогозовой. В течение этой фазы отмечалось постепенное увеличение высот подъема и длин парогозовых шлейфов, а также возрастание частоты происходящих время от времени пеплогазовых взрывов в вершинном кратере. Сопровождалась постепенным увеличением уровня вулканического дрожания (рис. 8). На завершающем этапе этой фазы 24 декабря 2002 г. в вершинном кратере произошло первое вулканическое извержение, которое продолжалось более получаса. Пеплогазовый шлейф этого извержения поднимался на высоту около 4 км над вершиной вулкана.

III. Фаза первого вершинного извержения. Состояла из двух этапов: вулканического и вулканико-стромболианского, излияния лавовых потоков не отмечено.

Вулканический этап. 22 марта – 17 мая 2003 г. Отмечалась пеплогазовая эмиссия и пепловые взрывы, сопровождавшиеся взрывными вулканическими землетрясениями. Свечения вершинного кратера не отмечено. С начала этой фазы уровень вулканического дрожания был достаточно высоким. Поэтому началом магматического извержения 2003 г. (с выбросом ювенильных продуктов) мы считаем 22 марта 2003 г.

Вулканико-стромболианский этап. 18 мая 2003 г. – конец января 2004 г. По сейсмологическим данным продолжался около 8 мес. (рис. 8). 18 мая 2003 г. впервые была отмечена подсветка вершинного кратера (наблюдения Ю.В. Демянчука и Н.А. На-пыловой). В темное время суток часто отмечалось свечение вершинного кратера, иногда пепловые эмиссии и взрывы. Вулканическое дрожание достигало наивысшей интенсивности за время извержения.

В течение первого извержения уровень дрожания постепенно увеличивался, однако неустойчиво. Всплески дрожания чередовались с его спадами, что визуально воспринималось как переход на вулканическую или даже на парогозовую активность.

19 мая 2003 г. – дан официальный прогноз развития извержения 2003 г. и нового цикла активности вулкана (В.В.Иванов).

В конце января 2004 г. первое чисто эксплозивное извержение закончилось. Его продолжительность составила около 10 мес. По окончании извержения внутри вершинного кратера вырос шлаковый конус высотой около 300 м и объемом около 0.04 км³, вершина его достигла уровня Крестовского желоба (рис. 7).

IV. Фаза относительного покоя. Февраль – декабрь 2004 г. Отмечались слабая фумарольная активность и очень редко слабое вулканическое дрожание (рис. 8).

V. Фаза второго вершинного извержения. 11 января – 3 апреля 2005 г. (продолжительность – 2.7 мес). Извержение было вулканико-стромболианским и началось практически одновременно с извержением вулкана Безымянный. Вулканические и стромболианские взрывы происходили на вершине образовавшегося в 2003 г. внутрикратерного шлакового конуса. Из основания конуса отмечались излияния лавы как внутрь главного кратера вулкана, так и на внешний склон вулкана в Крестовский желоб. 23-24 марта 2005 г. на вулкане происходило очень мощное пепловое извержение и одновременно стромболианская деятельность вершинного кратера. Последнее регистрировалось на фото в ночное время из пос. Ключи (Ю.В. Демянчук). В пос. Ключи отмечались сильные пеплопады. Интересно, что, несмотря на наличие мощной вулканической деятельности, уровень вулканического дрожания был наивысшим, начиная с марта 2003 г. Мы полагаем, что это была смешанная вулканико-стромболианская деятельность, которую неоднократно ранее наблюдали на Ключевском вулкане [Пийп, 1956, 1958].

VII. Фаза относительного покоя. Началась с апреля 2005 г. и продолжается до настоящего времени (июнь 2005 г.) в течение двух месяцев. Если эта пауза продолжится более трех месяцев, то можно будет говорить о завершении второго извержения.

Основные особенности подготовки и начала нового цикла активности Ключевского вулкана и возможный механизм движения магмы в его питающем канале. Подготовка и начало развития нового эруптивного цикла имеют следующие особенности:

1. Длительный перерыв в извержениях после пароксизмального взрывного извержения 1 октября 1994 г. Длительная (в течение трех лет, с 1995 по 1997 гг.) фаза полного покоя вулкана. После 1 октября 1994 г. извержений на вулкане не было в течение 8.5 лет. В результате извержения, вероятно, произошел сброс избыточного давления в магматическом очаге Ключевского вулкана, а также опустошение апикальной части питающего канала в постройке вулкана. Поэтому

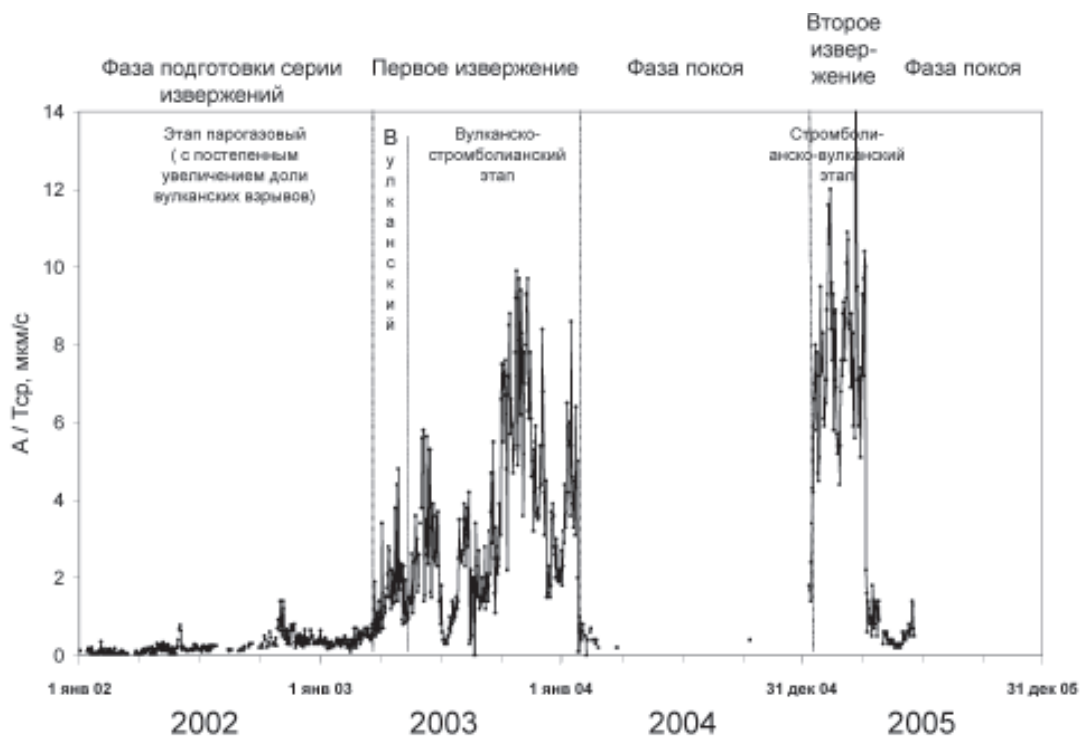


Рис. 8. Распределение во времени средних за сутки величин отношений амплитуды к периоду вулканического дрожания (A/T) ср на сейсмостанции «Цирк» с 1 января 2002 г. по 20 июня 2005 г. с указанием фаз текущего цикла активности и отдельных этапов в пределах фаз. Отсутствие данных в 2004 г. означает, что вулканическое дрожание не выделялось на фоне океанических микросейсм.

предыдущий цикл активности вулкана закончился - на восстановление давления в очаге необходимо было значительное время. Б.И. Пийп (Пийп, 1956, 1958) писал, что цикл эруптивной активности часто завершается такими пароксизмальными извержениями.

2. К 1995 г. дно вершинного кратера значительно просело. Можно предположить, что после этого извержения питающая система в теле вулкана, представляющая собой взаимосвязанную группу даек и силлов, образующих как бы сеть в жерловой части вулканической постройки (Шеймович, Патока, 1989), была в верхней части, возможно, частично опустошена, что привело к увеличению размеров кратера. Подобный процесс в значительно больших масштабах произошел в кратерной части вулкана Плоский Толбачик (Двигало и др., 1984).

3. Новый цикл активности вулкана уже включил два вершинных (в основном, стромболианско-вулканических) извержения продолжительностью 10 мес. и 2.7 мес., разделенных периодом покоя в 12 мес. Как следует из рис. 3 - 5, эти параметры типичны для Ключевского вулкана.

4. Новый цикл активности предварялся длительной, в течение более 5 лет (с 1998 до марта 2003 гг.), парогозовой фазой подготовки. В течение этой фазы происходило нарастание вулканической и сейсмической активности и увеличение доли вулканической активности. Можно предложить следующий механизм этих явлений.

Если допустить приток магмы в очаг, то после окончания извержения 1 октября 1994 г. начала формироваться новая питающая система с остыванием расплава и притоком новых порций его с отделением летучих.

Часть даек системы, вероятно, застывала, не достигая дна вершинного кратера. Об этом свидетельствуют результаты моделирования, опубликованные в работах (Михайлова-Филиппова, 1994; Федотов, Михайлова-Филиппова, 1994). Один из фрагментов апикальной части питающей системы показан на рис. 9. Большое количество выбрасываемого во время парогозовой фазы пара, вероятно, было связано с взаимодействием отделяющихся флюидов с горизонтами льда, захороненными в толще шлаков в кратере вулкана. Подобные многочисленные прослои захороненного льда были встречены при бурении в ареальной Толбачинской зоне.

Таким образом, с 1998 г. по март 2003 г. происходило формирование питающей системы в привершинной части вулкана. Однако продвижение магмы в канале вулкана к поверхности Земли было прерывистым и, вероятно, каждый раз происходило по новой дайке.

5. Резкое возрастание уровня вулканического дрожания с марта 2003 г. Мы полагаем, что с этого времени началось первое извержение, под которым мы понимаем не прерывистое, а непрерывное движение магмы по питающему каналу. Пульсации давления в двухфазном потоке (расплав-газ или твердые частички -



Рис. 9. Некк на вершине Ключевского вулкана. 1 апреля 1993 г. Фото Н.П. Смелова.

газ) генерировали вулканическое дрожание максимальной интенсивности (Иванов, 1988). Начальная двухмесячная фаза первого извержения была вулканической. Вероятно, в это время на дневную поверхность поступали первые, достаточно вязкие порции магмы, в течение длительного времени находившиеся в питающей системе, и поэтому заметно остывшие. Повышенная вязкость магмы и приводила к вулканическому типу извержения.

6. Последняя особенность заключалась в отсутствии следующих фаз : а) релаксации после извержения 2003 г., б) подготовки извержения 2004 г. и релаксации после него (рис. 8). В этом заключается принципиальное отличие от первого извержения настоящего цикла, которое предварялось длительной 6 -летней подготовкой. Это свидетельствует о том, что, начиная с мая 2003 г., магма относительно свободно перемещается в питающем канале вулкана. Есть две возможные причины этого : а) улучшение проводимости системы из-за поступления в нее новых порций расплава; б) достаточное избыточное давление в магматическом очаге, из-за чего магма сравнительно быстро достигает поверхности кратера, не успевая охладиться в канале.

Полученные данные позволяют объяснить физическую природу группы (серии) извержений одного цикла активности. По нашему мнению, в нем группируются близкие по времени извержения, происходящие по единой обновленной системе даек в питающем канале вулкана. В противоположность этому после длительного перерыва в извержениях требуется значительное время на создание новой питающей

системы, и поэтому возникает длительная фаза покоя вулкана и медленного нарастания парагазовой активности.

ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ МАГМАТИЧЕСКОЙ ПИТАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ КЛЮЧЕВСКОГО ВУЛКАНА

На основании изложенного мы полагаем, что в настоящее время (на 20 июня 2005 г.) состояние магматической питающей системы на Ключевском вулкане характеризуется следующими условиями :

1. Магматический очаг вулкана насыщен магмой и летучими и находится примерно в квазистационарном состоянии. Центральный питающий канал вулкана в результате предыдущих двух извержений обновлен и не представляет серьезной преграды для продвижения в нем магмы. Поэтому условия выхода магмы на дневную поверхность теперь, вероятно, определяются только нарастанием избыточного давления магмы в очаге (мы полагаем, что она генерируется непрерывно) и региональными тектоническими напряжениями. Это благоприятствует продолжению текущего цикла активности. Мы полагаем, что циклы активности Ключевского вулкана имеют типичные особенности, рассмотренные выше (рис. 3-8).

2. Следовательно, при последующих извержениях цикла активности магма будет подниматься по центральному каналу достаточно быстро и будет иметь сравнительно высокую температуру и невысокую вязкость, что благоприятно для извержений

стромболианского или вулканско-стромболианского типов.

3. В результате многочисленных извержений в ареальной зоне Ключевского вулкана в 1932-1988 гг. и внедрений в нее больших количеств магмы, растягивающие напряжения в этой зоне, вероятно, в значительной степени релаксированы. Поэтому на длительное время там отсутствуют благоприятные условия для подъема магмы по трещинам. Разрядка будет происходить в результате вершинных извержений.

ПРОГНОЗ РАЗВИТИЯ ТЕКУЩЕГО ЦИКЛА АКТИВНОСТИ

Если основывать прогнозные оценки на полученных выше данных о параметрах вулканических циклов Ключевского вулкана и механизме его деятельности, то можно прийти к следующим заключениям (прогнозные оценки даны 20 июня 2005 г.):

1. Ожидаемая продолжительность настоящего цикла эруптивной активности вулкана - от 2.5 до 18 лет, т.е. цикл закончится в интервале август 2005 - 2021 гг. После окончания второго извержения в апреле 2005 г. и вплоть до настоящего времени вулкан находится в покое. Согласно введенному выше критерию (продолжительность паузы должна превышать 1.5 года), у нас пока нет оснований считать, что настоящий цикл активности закончился. Мы ожидаем продолжения этого цикла.

2. Учитывая распределение пауз и длительностей извержений, новое извержение вулкана ожидается в интервале июль 2005-август 2006 гг. Ожидаемая продолжительность будущих извержений - от двух месяцев до 1.5 лет, наиболее вероятная - 6 мес.

3. Ожидаемый характер будущих извержений - типичные слабые вершинные, преимущественно стромболианские, вулканско-стромболианские с излияниями лавовых потоков как в вершинный кратер, так и на внешний склон, образованием лахаров и фреатических взрывов как на склоне, так и в вершинном кратере вулкана.

Учитывая отсутствие условий для подъема магмы по трещинам в ареальной зоне Ключевского вулкана, мы полагаем, что вероятность побочного извержения в ближайшие десятилетия там мала.

4. Лахары и вторичные фреатические взрывы, образующиеся от таяния льда и, в меньшей степени, снега при излиянии лавовых потоков во время вершинных извержений, могут представлять опасность для лиц, находящихся у подножия вулкана. Пепловые облака могут быть опасны для авиации.

Авторы выражают благодарность Ю.В. Демянчуку, Н.П. Смелову за видео- и фотоматериалы, М.В. Демянчук, И.К. Скрипко, Н.А. Напыловой, О.А. Напыловой, Ю.В. Карпухиной, Н.И. Реутовой за обработку сейсмологических данных, В.Н. Двигало за предоставление данных о параметрах вершинного

кратера Ключевского, С.А. Хубуная и А.А. Овсянникову за советы и ряд полезных замечаний. Особая благодарность В.А. Широкову и Т.П. Кирсановой за редактирование статьи.

Список литературы

Баренбаум А.А., Хаин В.Е., Ясаманов Н.А. Крупномасштабные тектонические циклы: интерпретация с позиций галактической концепции // Вестник Московского ун-та. Сер.4. Гео-логия.2004. №3. С. 3-16.

Гонтовая Л.И., Хренов А.П., Степанова М.Ю., Сеников С.Л. Глубинная модель литосферы в районе Ключевской группы вулканов (Камчатка) // Вулканология и сейсмология. 2004. №3. С. 3—11.

Горельчик В.И., Гарбузова В.Т., Сторчеус А.В. Глубинные вулканические процессы под Ключевским вулканом по сейсмологическим данным // Вулканология и сейсмология. 2004. №6. С. 21—34.

Двигало В.Н., Чирков А.М., Федотов С.А. Новая вершинная кальдера Плоского Толбачика // Большое трещинное Толбачинское извержение (Камчатка 1975-1976). Гл. II. М.: Наука, 1984. С. 75-84.

Еремин Н.И., Дергачев А.Л., Позднякова Н.В., Сергеева Н. Е. Эпохи вулканогенного колчеданного рудообразования в истории Земли // Геология рудных месторождений. 2002. Т. 44. № 4. С. 259-275.

Жаринов Н.А., Демянчук Ю.В. Состояние вулканов Шивелуч и Ключевской в 1999 г., долгосрочный прогноз их деятельности // Вулканология и сейсмология. 2001. № 2. С. 30-38.

Жданова Е.Ю., Рудаков В.П. Проявления ритмичности в эруптивной деятельности вулканов Ключевской группы и Шивелуча (Камчатка) // Вулканология и сейсмология, 1994. № 3. С. 20-34.

Иванов В.В. О сопоставлении тепловой мощности эруптивных струй и вулканического дрожания для извержений разных типов // Вулканология и сейсмология. 1988. № 5. С. 53-63.

Кирсанов И.Т., Пономарев Г.П., Штейнберг Г.С. Некоторые закономерности извержений Ключевского вулкана // Бюл. вулканол. станций. 1973. № 49. С. 93-98.

Кожмяка Н.Н. Четвертичные полигенные вулканы Камчатки : масштабы вулканизма, баланс вещества, динамика интенсивности и продуктивности в отдельных типах построек, вулканических зонах и по региону в целом // Вулканология и сейсмология. 2001. № 5. С. 3-21.

Мелекесцев И.В., Брайцева О.А., Пономарева В.В. и др. 0-650 гг. - этап сильнейшего природного катастрофизма нашей эры на Камчатке // Вулканология и сейсмология. 2003. № 6. С. 3-23.

Мелекесцев И.В., Брайцева О.А., Пономарева В.В. и др. Эндеогенные катастрофы в голоцене на Камчатке и Курильских островах // ДАН. 2003. Т. 389. № 5. С. 662-665.

Михайлова-Филлипова М.И. Теплообмен потока магмы со стенками трещины- дайки: математическая

- модель и алгоритм расчета // Вулканология и сейсмология. 1994. № 6. С. 17-23.
- Ожегов С.И.* Словарь русского языка. М.: Русский язык, 1986. 797 с.
- 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.
- Пийп Б.И.* Ключевская сопка и ее извержения в 1944-1945 гг. и в прошлом. // Тр. Лаб. вулканологии АН СССР. Вып. 11. М.: Изд-во АН СССР. 1956. 307 с.
- Пийп Б.И.* Особенности извержений Ключевского вулкана // Тр. Лаб. вулканологии АН СССР, Вып. 13. М.: Изд-во АН СССР. 1958. С. 99-119.
- Поляк Б.Г., Мелекесцев И.В.* Продуктивность вулканических аппаратов // Вулканология и сейсмология. 1981. № 5. С. 22—37.
- Токарев П.И.* О некоторых закономерностях вулканического процесса // ДАН СССР. 1971. Т. 199. С. 422 - 425.
- Токарев П.И.* Некоторые закономерности вулканического процесса // Магмообразование и его отражение в вулканическом процессе. М.: Наука, 1977. С. 25—40.
- Токарев П.И.* Долгосрочный прогноз извержений вулканов // Вулканология и сейсмология. 1979. № 3. С. 77—90.
- Токарев П.И.* Количественная характеристика и повторяемость вулканических извержений // Вулканология и сейсмология. 1986. № 6. С. 110-118.
- Токарев П.И.* Прогноз побочных извержений вулкана Ключевской // Вулканология и сейсмология. 1988. № 6. С. 47—61.
- Федотов С.А., Хренов А.П., Жаринов Н.А.* Ключевской вулкан, его деятельность в 1932-1986 гг. и возможное развитие) // Вулканология и сейсмология. 1987. № 4. С. 3-16.
- Федотов С.А., Жаринов Н.А., Горельчик В.И.* Деформации и землетрясения Ключевского вулкана, модель его деятельности // Вулканология и сейсмология. 1988. № 2. С. 3-42.
- Федотов С.А., Михайлова - Филлипова М.И.* Течение магм в дайках разной мощности (по данным математического моделирования при вязкости, зависящей от температуры) // Вулканология и сейсмология. 1994. № 6. С. 24-43.
- Хренов А.П., Двигало В.Н., Курсанов И.Т. и др.* Вулкан Ключевской // Действующие вулканы Камчатки. Т.1, Гл. 6. М.: Наука, 1991. С. 106-153.
- Широков В.А.* Некоторые вопросы методики комплексного прогноза побочных извержений вулкана Ключевской (Камчатка) // Вулканология и сейсмология. 1985. № 6. С. 48-57.
- Шеймович В.С., Патока М.Г.* Геологическое строение зон активного кайнозойского вулканизма. М.: Недра, 1989. 204 с.
- Gusev A.A., Ponomareva V.V., Braitseva V.V. et al.,* (2003). Great explosive eruptions on Kamchatka during the last 10,000 years: Self-similar irregularity of the output of volcanic products // Journal of Geophysical Research, Vol. 108, No. B2, 2126, doi: 10. 1029/2001 JB000312, 2003.

KLYUCHEVSKOY VOLCANO: CYCLES AND FORECAST OF THE ACTIVITY

V. V. Ivanov¹, G. P. Ponomaryov^{1,2}

¹ *Institute of Volcanology and Seismology, Piip boulevard, 9, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683006, Russia*

² *Kamchatka State University, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683032*

The 70-th anniversary of the Kluychi
volcano observatory are dedicated

We studied some features of the active volcano process in a case of the giant basaltic Klyuchevskoy volcano (Kamchatka) in XX century and peculiarities of its new active cycle started in 1995. Our research work was focused on: analysis of eruption rhythmicity; distinguishing of the new cycle's active phases, the assessment of the current condition of the volcano magmatic feeding system; forecasts issue and their proving to be correct. The following parameters were used as a base: intensity of the volcanic tremor; the height and the character of the volcanic plumes; the length of the lava and mud flows according to the video, photo and visual data; the depth and the diameter of the summit crater; eruption's duration and inter-eruption temporal intervals. We proved that the Klyuchevskoy volcano eruptions are grouped into series of events with relatively short time intervals between them. The series are separated by relatively long periods of rest. For Klyuchevskoy volcano for the first time we have calculated the time limits for the probability distributions: a) between the eruptions in a serie from 3 to 15 months; b) between the series from 3 to 8.5 years; c) duration of the two cycles from 0.8 to 2.6 years (volcanic one) and from 6 to 18 years (activity one). We used the term of the volcanic activity cycle introduced by F. Perret (1924) and P. I. Tokarev (1971). For the current activity cycle started in 1995 we distinguished the phases: of rest (1995 - 1997), of the preparation for the new series of eruption (since 1997 till February 2003), the first eruption (since March, 2003 till January, 2004) and the second eruption (since January till April, 2005). Scenario of the Klyuchevskoy 2003 eruption has been successfully predicted: the volume of erupted products and duration of the eruption is supposed to be correct, although the predicted volcanic hazard was lower than real one. We have drawn a conclusions that the volcano feeding channel is supposed to be as so-called "free-penetratable" system and its current active cycle is not yet completed. On 2005, June 20 forecast estimations are as following: the beginning of the new summit eruption accompanied by the lava flows is expected to start between 2005, June and 2006, August. The probability of the flank eruption in the nearest decades is estimated as low.