

УДК 551.21

ВУЛКАНИЧЕСКАЯ И МАГМАТИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ВУЛКАНА КЛЮЧЕВСКОЙ В ЯНВАРЕ 1994 – ИЮНЕ 2009 гг. И ПРОГНОЗ ЕГО АКТИВНОСТИ

В.В. Иванов

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006; e-mail: victor@kscnet.ru

Формулировка проблемы и постановка задачи

Вулкан Ключевской – один из самых активных вулканов мира [12, 14, 23, 24], наблюдения на котором ведутся в течение многих десятилетий. Статистические характеристики параметров его активности освещены в работах [3, 6, 7, 8, 9, 12, 14, 15, 21, 22, 23, 26], однако сейчас объем данных значительно увеличился, что позволяет сделать такой анализ более представительным. В результате мы приблизимся к лучшему пониманию магматической и вулканической активности вулкана, связи ее с тектоникой, землетрясениями, извержениями других вулканов Камчатки и мира. На этом можно будет базировать методы прогноза извержений. Для этого требуются длинные однородные ряды наблюдений и формализованные процедуры выделения активных фаз и извержений.

После извержения 7 сентября - 2 октября 1994 г., завершившегося пароксизмальной фазой 1 октября [11], вулкан Ключевской в течение трех месяцев находился в фазе релаксации. В феврале 1995 г. он перешел в состояние периодических активизаций, которые характеризовались фумарольной (парогазовой) деятельностью, наличием слабого вулканического дрожания и вулканических землетрясений. Таким образом, в феврале 1995 г. закончился предыдущий и начался текущий цикл активности, который продолжается и в настоящее время в течение около 14 лет [8, 9]. За это время на вулкане произошло четыре вершинных извержения. Побочных извержений на вулкане не было. Последнее извержение этой серии завершилось в середине января 2009 г., но активизация продолжается. В настоящей работе решаются следующие задачи: 1) сбор данных об активности вулкана на временном интервале январь 1994 г. - март 2009 г.; 2) определение процедур выделения его активных фаз и исследование их статистических характеристик; 3) заключения о механизме активизаций и извержений вулкана Ключевской; 4) прогнозные оценки дальнейшего его поведения.

Обзор исследований повторяемости извержений вулкана Ключевской

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 вулканических продуктов в год [14]. Это составляет около половины массы продуктов, ежегодно выносимых на дневную поверхность всеми действующими вулканами Курило-Камчатской островной дуги (около 70 вулканов). Для него типичными являются разнообразные извержения вершинного кратера, а также побочные (эксцентричные) извержения с образованием многочисленных шлаковых конусов на его склонах (рис. 1). В работах [2, 23, 24] утверждается, что в переходном слое от коры к мантии и в нижних частях земной коры под Ключевским вулканом на глубинах 40-25 км располагается область промежуточных магматических очагов, в которых накапливается и дифференцируется магма и находится вероятный источник для эксцентричных извержений.

Визуальные данные об активности этого вулкана имеются начиная с 1920 г.; после открытия в 1935 г. Камчатской вулканологической станции в пос. Ключи детальность их значительно улучшилась. Сейсмологические наблюдения на вулкане ведутся с 1946 г., а с 1978 г. - и геодезические. Изучению Ключевского вулкана,



Рис. 1. Ключевской вулкан и поле шлаковых конусов и лавовых потоков его побочных извержений. 24 декабря 2008 г., вид с северо-востока. Фото Ю.В. Демянчука.

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 [12,

13]. Однако в то время объем данных был недостаточен для обоснованных статистических выводов.

П.И. Токарев ввел определение понятия «*вулканический цикл*», который включает две фазы - покоя и активности. Фаза активности состоит из фазы подготовки извержения, самого извержения и фазы релаксации после него [15-19]. Вслед за Перре (Perret) он ввел определение более длиннопериодного «*цикла активности вулкана*» как интервала времени от конца предыдущей серии извержений до конца следующей серии. Изучению цикличности и прогнозу извержений Ключевского вулкана посвящены работы [4, 10, 17, 19, 21, 24]. В работе [26] 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 [10] была подробно проанализирована деятельность Ключевского вулкана за 51 год (1920-1970 гг.); за этот период произошло 22 извержения, 8 из которых были побочными. Побочные извержения укладывались в циклы с периодом 18.6 лет, и, как правило, их заканчивали. 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 плюс-минус 1 год). Очередное вершинное извержение вулкана началось в 1972 г., а побочное - в 1974 г., т.е. этот прогноз оправдался по времени. Ранее прогноз этого извержения был сделан В.А. Широковым [20]. В работе [7] исследовался ряд параметров активности Ключевского вулкана, было показано, что на временном интервале 1920-2005 гг. извержения Ключевского группируются в серии, состоящие из сравнительно близких по времени событий. Серии разделены относительно длительными интервалами покоя. Впервые рассчитаны временные границы для распределений: а) между извержениями в серии - от 3 до 15 мес.; б) между сериями извержений - от 3 до 8.5 лет; в) длительностей циклов - от 0.8 до 2.6 лет (вулканических) и от 6 до 18 лет (циклов активности). Средняя длительность цикла активности Ключевского вулкана составила 11-12 лет, что близко к периоду солнечной цикличности. Этот вопрос был детально рассмотрен в работе [1].

Исходные данные для анализа параметров активности вулкана Ключевской

На временном интервале январь 1995 г.- март 2009 г. исследовались параметры: а) ежесуточные величины отношения средних амплитуд к периоду вулканического дрожания (ВД) $(A/T)_{\text{ср.}}$ и количеству (N) вулканических землетрясений IV-типа на сейсмостанции «Цирк» (расстояние от вершины вулкана $\Delta = 8.8$ км); б) визуальные качественные характеристики активности: фумарольная и парогазовая деятельности (ФД и ПГД), газопепловые выбросы (ГПВ), свечение в вершинном кратере, выбросы бомб и излияния лавовых потоков; в) насыщенность пеплом и высоты подъема вулканических облаков по фото-, видео- и визуальным данным, сведения об изменении размеров вершинного кратера вулкана и т.д. Исходные данные брались из следующих источников: 1) сейсмологические и визуальные данные наблюдений из оперативных сейсмологических бюллетеней с с/ст. «Ключи» КФ ГС РАН, а также с сайта КФ ГС РАН <http://emsd.iks.ru/~ssl/monitoring/main.htm> ; 2) режимные фото- и видеоданные, любезно предоставленные начальником Камчатской вулканостанции им. Ф.Ю. Левинсона-Лессинга Ю.В. Демянчуком; 3) материалы наблюдений автора во время извержений вулкана Ключевской в 2003, 2005, 2007 и 2008 гг.

Основные термины и методика выделения фаз активности вулкана Ключевской

«**Активизация**» - это факт превышения параметрами вулканической активности некоторых пороговых значений. По нашему мнению, два основных параметра характеризуют вулканическую и магматическую активности Ключевского вулкана: продолжительность вулканического дрожания (DT) (в часах в сутки) и N_{IV} - ежесуточное количество взрывных вулканических землетрясений IV типа с $A/T_{\text{max}} > 0.5$ мкм/с. Приняты пороговые значения $DT_{\text{пор.}} = 1$ ч/сутки и $N_{\text{пор.}} = 30$ в сутки (для сейсмостанции «Цирк») и 1 ч/сутки и $N_{\text{пор.}} = 10$ в сутки (для сейсмостанций «Зеленая», «Подкова» и «Логонов», расположенных у подножия Ключевского вулкана). Полагается, что имеет место активизация, если хотя бы один из параметров активности превышает величину своего порогового значения. На временной оси активизации образуют некоторые области. Согласно критерию, предложенному П.И. Токаревым [18], две области принадлежат одной активизации, если пауза между ними не превышает 1/3 средней продолжительности этих областей. В противном случае эти активные области полагаются относящимся к разным активизациям. Амплитуды вулканического дрожания в разные годы давались по разным сейсмостанциям, расположенным у подножия Ключевского вулкана, однако в последнее время все они приводятся к одной сейсмостанции «Цирк», используя соответствующие коэффициенты перехода. Нами использовались следующие формулы для перехода: $(A/T)_{\text{Цирк}} = 2x(A/T)_{\text{Пдк}}$, $(A/T)_{\text{Цирк}} = 2x(A/T)_{\text{Злн}}$, $(A/T)_{\text{Цирк}} = 2.5x(A/T)_{\text{Лог}}$.

Во время активизаций на Ключевском вулкане отмечается фумарольная и более сильная парогазовая деятельность, а также извержения. Однако лишь немногие активизации заканчиваются извержениями. Заметим, что наблюдение парогазовой активности на вулкане сильно затруднено прозрачностью образующихся при этом фумарольных струй и облаков, особенно в летнее время [5]. Вот почему, если на вулкане отмечаются многочисленные (взрывные) землетрясения IV типа, то обычно вулкан визуально воспринимается как спокойный или в режиме слабой фумарольной деятельности. Заметить в этом случае облака парогазовых взрывов можно только в моменты увеличения относительной влажности атмосферы, когда вершину вулкана начинают затягивать метеорологические облака (рис. 2 и 3). При появлении примеси пепла в вулканических шлейфах эта проблема автоматически снимается. Несомненно, при парогазовой активности выносятся значительное количество вулканического тепла

и, вероятно, ювенильной воды и др. компонентов. Однако исторически сложилось, что наличие парогазовой активности обычно не считалось извержением. Мы также придерживаемся этой традиции.

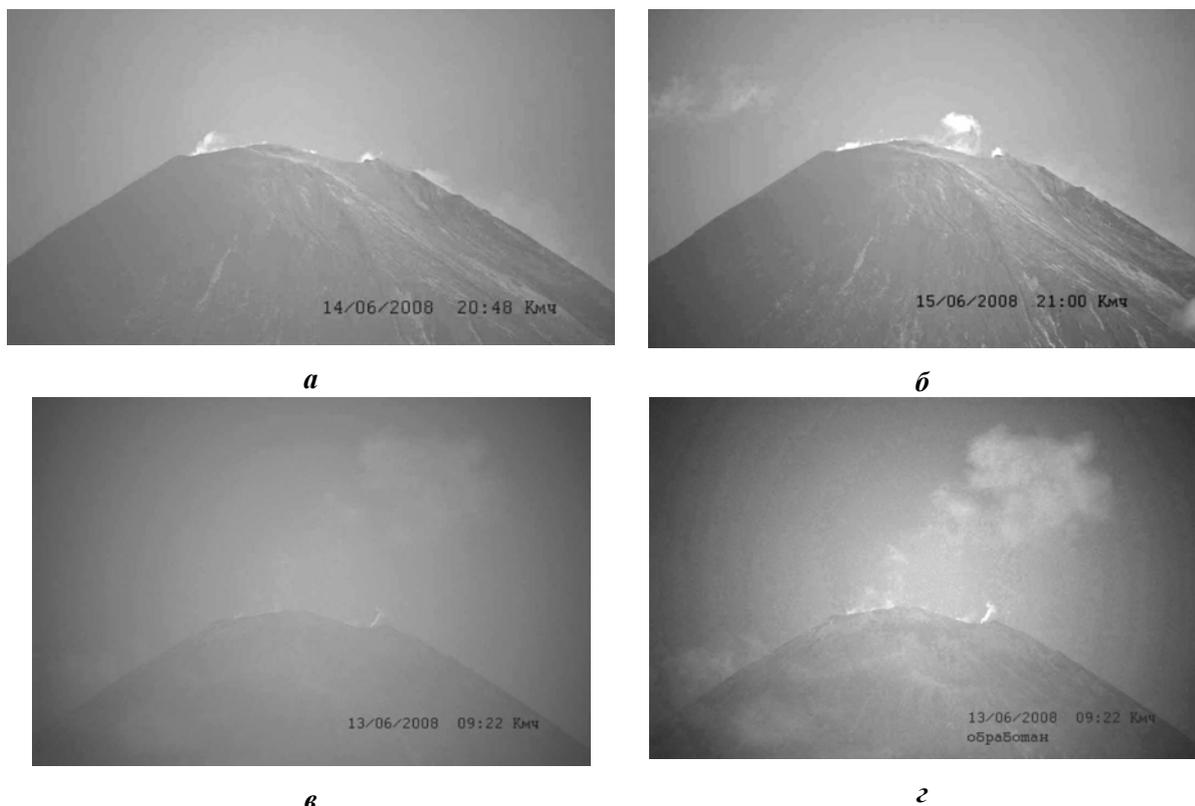


Рис. 2. Парогазовые шлейфы вулкана Ключевской 13-15 июня 2008 г.: обычный вид шлейфов (а и б), при увеличении влажности атмосферы (отмечается воздушная дымка) (а), фото (в) после поднятия его контраста для выделения фумарольного облака (г). На сейсмограммах отмечалось около 80 вулканических землетрясений IV типа в сутки. Вид из пос. Ключи, фото автора.



Рис. 3. Парогазовый шлейф вулкана Ключевской 15 июня 2008 г. при высокой относительной влажности атмосферы, когда вершину вулкана начинают затягивать метеорологические облака. Фото автора

«Начало извержения» – факт устойчивого появления на поверхности земли определенно «ювенильных» продуктов: примеси пепла в вулканических облаках (ГПВ) и/или выбросов раскаленных продуктов из активного кратера или излияния лав. Обычно это сопровождается появлением свечения (СВ), раскаленных бомб (Б), фонтанированием (ФЛ) или излиянием лавы (ЛП). Таким образом, наличие мощной парогазовой деятельности в вершинном кратере в соответствии с введенными нами определениями, не свидетельствует о начале извержения вулкана, а только об его активизации. Это в большей степени свидетельство глубинного магматического процесса, который имеет место в питающем канале вулкана Ключевской.

ческого процесса, который имеет место в питающем канале вулкана Ключевской.

«Окончание извержения» - это прекращение устойчивого поступления указанных продуктов на поверхность Земли. Критерий объединения двух областей во время извержения в одно извержение мы используем такой же, как и для активизаций (см. выше).

Пример выделения основных фаз активности вулкана Ключевской на трехлетнем интервале (июль 2006 г. – июнь 2009 г.)

Покажем, как выделяются активизации и извержения на трехлетнем временном интервале с 01.07.2006 по 3.07.2009, используя для этого ежесуточные значения параметров сейсмического режима по сейсмостанции «Цирк». За это время произошло два вершинных извержения. На рис. 4а показаны графики продолжительности вулканического дрожания (DT/ВД) и количество взрывных вулканических землетрясений IV типа (N_{IV}), что позволяет выделять временные границы активизаций. На рис. 4 б изображены значения средних отношений амплитуд к периоду для вулканического дрожания (A/T_{cp}), что вместе с данными визуальных наблюдений дает возможность выделять интервалы извержений.

Проанализируем рис. 4. За три года отмечено семь кратковременных (одни - двое суток) активизаций, обозначенных арабскими цифрами, а также три продолжительных активизации.

Первая активизация имела место с 30 декабря 2006 г. по 5 сентября 2007 г. и продолжалась 8.2 месяцев (мес.) (рис. 4). Она началась со значительного увеличения ежесуточного количества землетрясений IV типа, а также увеличения продолжительности вулканического дрожания (предвестники), затем произошло стромболианско-вулканское вершинное извержение с излиянием лавовых потоков (рис. 4б), после чего наступила релаксация, выразившаяся в снижении амплитуды вулканического дрожания и частоты событий IV типа. После этого в течение еще полутора месяцев сохранялось слабое вулканическое дрожание в течение 24 часов в сутки. Извержение продолжалось с 18 марта по 15 июля 2007 г. в течение 4 мес. и заняло около 43 % времени активизации. Подготовка извержения длилась около 3 мес.

Вторая активизация продолжалась в течение 2.4 мес. - с 21 сентября по 6 декабря 2007 г. Вулканическое дрожание при этом было слабым, однако отмечалось большое количество событий IV типа (до 300 в сутки). Извержения при этом не было. Визуально вулкан был спокоен или в состоянии фумарольной деятельности. Мы полагаем, что во время этой активизации в недрах Ключевского вулкана происходил мощный интрузивный процесс.

Третья активизация началась 3 июня 2008 г. и продолжается до настоящего времени (на 3 июля 2009 г.) в течение уже 13 мес. Она началась с увеличения продолжительности вулканического дрожания и ежесуточного количества взрывных событий IV типа (до 400 событий в сутки). Затем произошло вершинное стромболианско-вулканское извержение с излиянием лавовых потоков, после чего наступила фаза релаксации. Извержение продолжалось 3.5 мес. с 30 сентября 2008 г. по 17 января 2009 г. Фаза подготовки длилась также около 3 мес.

Сводка данных об активизациях и извержениях вулкана Ключевской за 15-летний интервал (январь 1994 г. – март 2009 г.)

Из-за ограниченного объема статьи здесь не приводится полная таблица сведений обо всех активизациях вулкана за 15 лет, а только результирующая часть.

1. Общая длительность интервала анализа 15.2 года, но были пропуски, суммарная длительность которых составила 2 года. За это время отмечено 40 активизаций, из них: 35 - кратковременных (от 0.05 до 12 мес., в основном от 0.05 до 2 мес.) и не связанных с извержениями; 5 - продолжительных (от 7.5 мес. до 26.5 мес.)

активизаций, которые включали в себя по одному извержению. Первое извержение из пяти относится к предыдущему циклу активности.

2. Четыре последних извержения: апрель 2003 - февраль 2004, январь - апрель 2005 г., март-июль 2007 г. и сентябрь 2008 - январь 2009 г. образуют группу с интервалом между извержениями от одного до двух лет. От извержения предыдущего цикла активности (сентябрь - начало октября 1994 г.) эта группа отделена паузой в 8.5 лет.

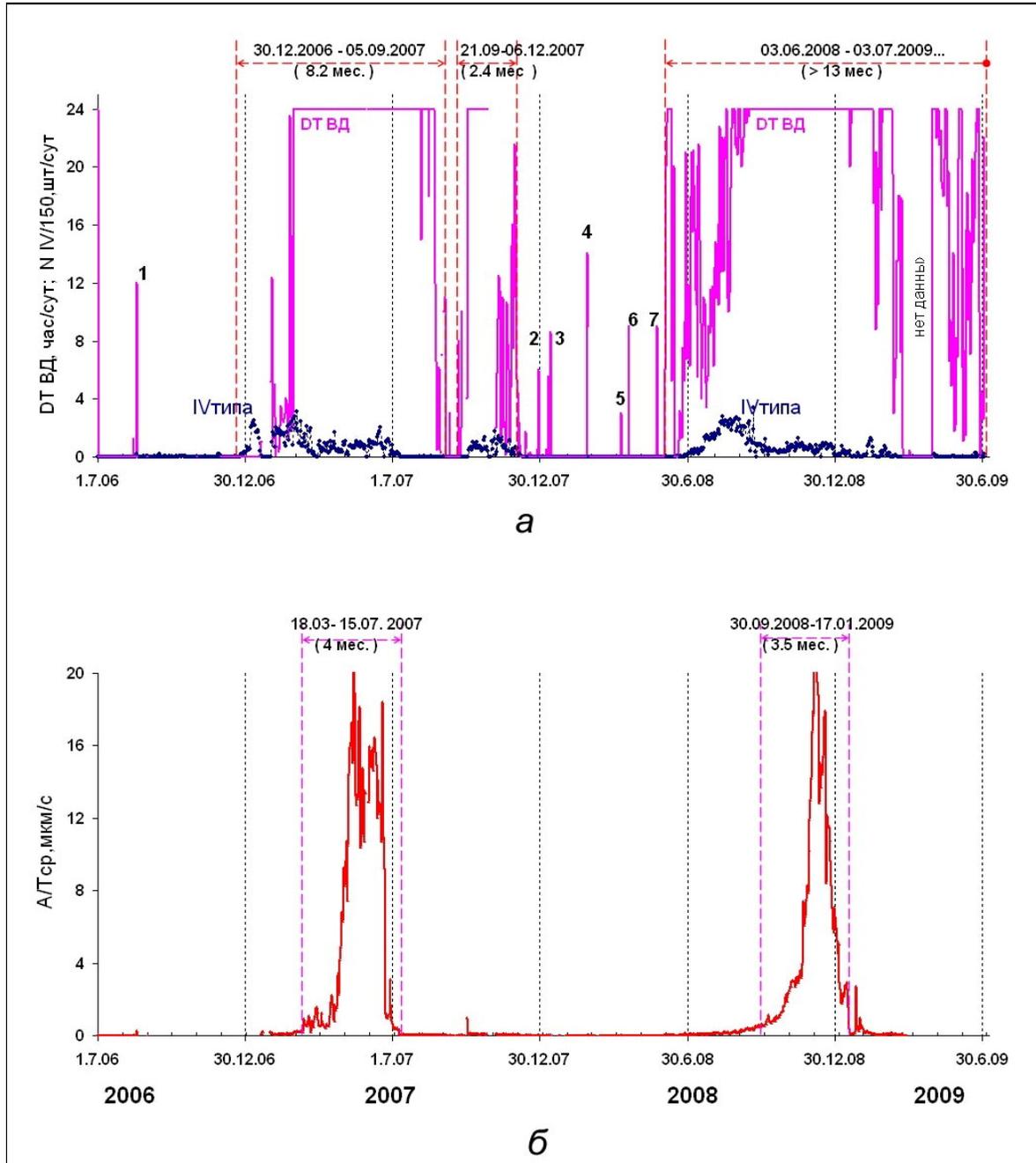


Рис. 4. Выделенные активизации (временные границы трех продолжительных и цифрами - семи кратковременных активизаций) и извержения (временные границы и продолжительность двух извержений) вулкана Ключевской на трехлетнем интервале с 1.07. 2006 г. по 03.07. 2009 г. по ежесуточным данным с сейсмостанции «Цирк» ($\Delta=8.8$ км): а) - продолжительность вулканического дрожания (DT ВД) и количество взрывных вулканических землетрясений IV типа (NIV), б) - значения средних отношений амплитуд к периоду для вулканического дрожания (A/Tcp).

3. Новый цикл активности начался в феврале 1995 г., включал паузу 8.5 лет и серию из 4 извержений. Длительность его к настоящему времени (на начало июля 2009 г.) составила 14.5 года.

Частотное распределение для продолжительности всех активизаций в первом приближении непрерывное и не разделяется на длиннопериодные и короткопериодные, т.е. активизации, связанные с извержениями, есть часть единого интрузивного процесса, только это самые мощные его проявления.

Если предположить, что активизации связаны с поступлением магмы в тело вулкана, то отсюда можно заключить: а) в тело вулкана часто и постоянно внедряются интрузии; б) основная масса интрузий затвердевает и магма не достигает поверхности земли, что сопровождается парогазовой активностью, многочисленными взрывными землетрясениями IV типа и ВД; в) активизации только в редких случаях завершаются извержениями. Это подтверждается данными о строении эродированных магматических аппаратов (рис. 5) [25].

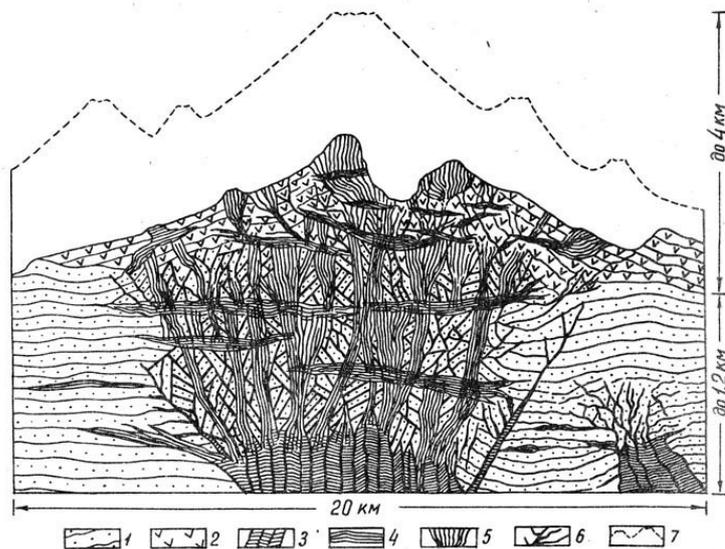


Рис. 5. Разрез палеовулкана с интрузивно-дайковым типом питающей системы: 1- породы фундамента вулкана; 2- эффузивно-пирокластические фации постройки; 3 - интрузии глубинной зоны; 4 - силлы; 5- дайковые интрузии (комплексы параллельных даек); 6 – дайки; 7 – контур наземной вулканической постройки (реконструкция) (из работы [25], С. 24).

Прогноз следующего извержения вулкана Ключевской

Два обстоятельства свидетельствуют в пользу продолжения серии извержений текущего цикла активности, который к настоящему моменту включает в себя четыре последних извержения.

1) В прошлом длительности циклов активности Ключевского варьировали от 6 до 18 лет, в них происходили серии, состоящие из 4-12 извержений. К настоящему времени длительность цикла составила 14.5 года, что меньше максимально наблюдавшейся. В текущей серии произошло пока 4 извержения, а максимально происходило до 12 событий.

2) Профиль вершинного кратера в настоящее время имеет выпуклую форму, что резко отличает его от профиля в августе 1998 г. после сильного вершинного извержения 7 сентября - 1 октября 1994 г. (рис. 6). Сейчас вулкан выше примерно на 20 м, чем в 1998 г. В 1998 г. профиль был ниже примерно на 50 м относительно кромки

центрального кратера вулкана. *Это свидетельствует о сохранении в настоящее время высокого давления магмы в магматической питающей системе вулкана.*

Это указывает, что серия извержений текущего цикла активности пока не завершилась и в ней возможно, по крайней мере, еще одно извержение. По многолетним данным интервалы повторяемости между извержениями в серии вулкана Ключевской составляли от 3 до 15 мес. *На этом основании извержение ожидается во временном интервале (июль 2010 - июль 2011 г.), наиболее вероятно (январь 2010 г.- январь 2011 г.).** Эти оценки противоречат долгосрочным прогнозам извержений вулкана Ключевской, которые основаны на периодичности извержений с периодом 18.6 лет [3, 21].

Ожидаются также многочисленные активизации, не связанные с извержениями. Начавшаяся 3 июня 2008 г. активизация продолжается уже в течение 13 мес., хотя последнее извержение закончилось примерно полгода назад.



Рис. 6. Вид вершинной части Ключевского вулкана: в августе 1998 г. после сильного вершинного извержения 1 октября 1994 г. (а) и в марте 2009 г. (б - белой кривой изображен профиль кратера вулкана в 1998 г.). Фото Ю.В. Демянчука из пос. Ключи ($\Delta = 32$ км).

Полученные результаты

На 15-летнем временном интервале с января 1994 г. по март 2009 г. проведен статистический анализ параметров активности вулкана Ключевской. Показано следующее:

1. Выделено 40 активных фаз (активизаций) вулкана, что по продолжительности составило около 68 % от всего времени наблюдений.

2. Из них 35 активизаций были без извержений и 5 - с извержениями. Связанные с извержениями активизации продолжались в несколько раз дольше тех, в пределах которых извержений не было. Продолжительность активизаций составила: от 7.5 до 26.5 мес. для связанных с извержениями и от 0.05 до 12 мес. (в основном от 0.05 до 2 мес.) для не связанных с извержениями.

3. Если предположить, что активизации отражают интрузивные процессы в теле вулкана, то это будет указывать на то, что в основном магма в интрузиях застывает в теле вулкана, не достигая поверхности земли. Только для весьма немногих активизаций имело место продолжительное движение магмы на поверхность земли при извержениях.

* От редакции: новое извержение вулкана Ключевской началось 18 сентября 2009 г.

4. За 15 лет произошло 5 вершинных извержений вулкана, продолжавшихся от одного до девяти месяцев; суммарная продолжительность их составила 1.7 лет или около 13% от всего времени наблюдений. Приведенные выше сведения указывают на очень высокую активность Ключевского вулкана, сравнимую на Камчатке только с активностью вулканов Шивелуч и Карымский.

5. Четыре последних извержения вулкана (2003-2004 гг., 2005 г., 2007 г. и 2008-2009 гг.) группируются в серию относительно быстро следующих друг за другом событий (с интервалом от 1 до 2 лет). Текущая серия от предыдущей серии, завершившейся извержением 2 октября 1994 г., была отделена сравнительно длительным интервалом около 8.5 лет.

6. Все четыре извержения текущей серии предварялись (с упреждением от одной недели до 9 мес.) увеличением ежесуточного количества вулканических землетрясений IV типа и нарастанием амплитуды и продолжительности вулканического дрожания, выраженной в часах в сутки.

7. Выданные автором в 2005-2008 гг. прогнозные оценки продолженности текущей серии извержений [6-9] успешно оправдались. Однако оценки времени начала извержений и их продолжительности не всегда попадали в прогнозируемые интервалы, что было вызвано недостаточным объемом использованных данных. Несмотря на ошибки в прогнозируемых параметрах, по нашему мнению, выданные в 2005-2008 гг. прогнозы способствовали более полному изучению вулканической и магматической активности вулкана Ключевской.

8. Длительности периодов циклов активности Ключевского вулкана в 1920- 2008 гг. составляли от 6 до 18 лет, в серии происходило от 4 до 12 извержений. К настоящему времени (3 июля 2009 г.) длительность периода текущего вулканического цикла составляет 14.5 лет и пока не достигла максимально наблюдавшейся длительности. В цикле произошло всего 4 извержения. Профиль прикратерной части вулкана не провален, а имеет выпуклую форму, что свидетельствует о сохранении высокого избыточного давления магмы в магматической питающей системе вулкана. Следовательно, текущая серия вскоре продолжится. Следующее извержение ожидается во временном интервале (июль 2010 - июль 2011 г.); наиболее вероятно в интервале (январь 2010 г.- январь 2011 г.).

Ожидаются также активизации вулкана Ключевской без извержений, которые будут сопровождаться фумарольной (парогазовой) деятельностью, слабым вулканическим дрожанием и землетрясениями IV типа.

Полученные результаты могут быть полезны для более полного понимания механизма деятельности Ключевского вулкана и для прогнозирования его будущих извержений.

Список литературы

1. *Абдурахманов А.А., Фирстов П.П., Широков В.А.* Возможная связь вулканических извержений с 11-летней цикличностью солнечной активности // Бюлл. вулканол. ст. 1976. № 52. С. 3-10.
2. *Гонтовая Л.И., Хренов А.П., Степанова М.Ю., Сеньюков С.Л.* Глубинная модель литосферы в районе Ключевской группы вулканов (Камчатка) // Вулканология и сейсмология. 2004. № 3. С. 3 - 11.
3. *Жаринов Н.А., Демянчук Ю.В.* Извержение вершинного кратера вулкана Ключевской (Камчатка) в феврале-июле 2007 г. // Материалы ежегодн. конф., посвященной дню вулканолога. 27 - 29 марта 2008. Петропавловск - Камчатский: ИВиС ДВО РАН С. 81-89.

4. *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.
5. *Иванов В.В.* Об облаках парогазовых извержений и фумарол // Вулканология и сейсмология. 1988. № 4. С. 37-50.
6. *Иванов В.В., Пономарев Г.П.* О цикличности в деятельности Ключевского вулкана и прогнозе развития текущего цикла его активности // Тезисы конференции, посвященной 70-летию Камчатской вулканостанции. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 1-10 сентября 2005 г.
7. *Иванов В.В., Пономарев Г.П.* Ритмика извержений Ключевского вулкана и вопросы прогноза его активности // Вестник «Краунц» № 2(6). 2005. С. 48-61
8. *Иванов В.В.* Новый эруптивный цикл Ключевского вулкана и прогноз его развития (за период 2003-2005 гг. и далее // Материалы ежегодн. конф., посвященной Дню вулканолога. 30 марта -1 апреля 2005. Петропавловск - Камчатский: ИВиС ДВО РАН, С. 87-95.
9. *Иванов В.В.* Текущий цикл активности Ключевского вулкана 1995-2008 гг.: развитие по сейсмологическим, фото-, видео и визуальным данным // Материалы ежегодн. конф., посвященной дню вулканолога 27-29 марта 2008. Петропавловск - Камчатский: ИВиС ДВО РАН, С.100-109.
10. *Кирсанов И.Т., Пономарев Г.П., Штейнберг Г.С.* Некоторые закономерности извержений Ключевского вулкана // Бюл. вулканол. ст. 1973. № 49. С. 93-98.
11. *Озеров А.Ю., Карпов Г.А., Дроздин В.А., Двигало В.Н., Демянчук Ю.В., Иванов В.В., Белоусов А.Б., Фирстов П.П., Гаврилов В.А., Яцук В.В., Округина А.М.* Динамика извержения Ключевского вулкана 7 сентября - 2 октября 1994 г. (Камчатка) // Вулканология и сейсмология. 1996. № 5. С. 3-16.
12. *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.
13. *Пийп Б.И.* Особенности извержений Ключевского вулкана //Тр. Лаб. вулканологии АН СССР, Вып.13. М.: Изд-во АН СССР. 1958. С. 99-119.
14. *Поляк Б.Г., Мелекесцев И.В.* Продуктивность вулканических аппаратов // Вулканология и сейсмология. 1981. № 5. С. 22—37.
15. *Токарев П.И.* О некоторых закономерностях вулканического процесса // ДАН СССР. 1971. Т. 199. С. 422 - 425.
16. *Токарев П.И.* Некоторые закономерности вулканического процесса // Магмообразование и его отражение в вулканическом процессе. М.: Наука, 1977. С. 25-40.
17. *Токарев П.И.* Долгосрочный прогноз извержений вулканов // Вулканология и сейсмология. 1979. № 3. С. 77—90.
18. *Токарев П.И.* Количественная характеристика и повторяемость вулканических извержений // Вулканология и сейсмология. 1986. №6. С. 110-118.
19. *Токарев П.И.* Прогноз побочных извержений вулкана Ключевской // Вулканология и сейсмология. 1988. № 6. С. 47—61.
20. *Широков В.А.* Космос и вулканы // Человек и стихия. Л.: Гидрометеиздат, 1973. С. 26-28.
21. *Широков В.А.* Некоторые вопросы методики комплексного прогноза побочных извержений вулкана Ключевской (Камчатка) // Вулканология и сейсмология. 1985. №6. С. 48-57.
22. *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.

23. 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.
24. Хренов А.П., Двигало В.Н., Курсанов И.Т., Федотов С.А., Горельчик В.И., Жаринов Н.А. Вулкан Ключевской // Действующие вулканы Камчатки. Т.1, Гл. 6. М.: Наука, 1991. С. 106-153.
25. Шеймович В.С., Патока М.Г. Геологическое строение зон активного кайнозойского вулканизма. М.: Недра, 1989. 204 с.
26. Gusev A.A., Ponomareva V.V., Braitseva V.V., Melekestsev I.V., and L.D. Sulerzhitsky. (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:10.1029/2001JB000312, 2003.

VOLCANIC AND MAGMATIC ACTIVITY OF KLYUCHEVSKOY VOLCANO IN JANUARY 1999 – MARCH 2009 AND A FORECAST OF A NEW CYCLE OF ITS ACTIVITY

V.V. Ivanov

The Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS, 683006, Petropavlovsk-Kamchatsky, , e-mail: victor@kscnet.ru

Klyuchevskoy Volcano has showed 40 periods of eruptive activity over the last 15 years starting from January 1994 to March 2009 that made about 68% from the total observation period. The volcano produced 5 summit eruptions lasting from one to nine months. The overall time of their duration amounted 1.7 years or 13% of the total observation period. In total the volcano produced 35 periods of activity and 5 episodes resulted in eruptions. Supposing that these episodes of activity are apparently associated with the intrusions in the body of the volcano, it would mean that magma had cooled in these intrusions without rising to the surface. Only in a few cases magma reached the surface to be erupted. The further eruption is expected to occur from July 2010 – July 2011 with the most probable time span from January 2010 – January 2011. The results obtained during this study would provide better understanding of mechanism of activity at Klyuchevskoy and would help in forecasting its further eruptions.