

Современные геологические процессы

О ПРОДОЛЖЕНИИ ЭРУПТИВНОГО ЦИКЛА ВУЛКАНА КЛЮЧЕВСКОЙ В 2013 ГОДУ

Прошедший 2013 год подарил камчатским вулканологам несколько примечательных событий, которые, несомненно, останутся в истории вулканологии. Продолжали проявлять повышенную активность вулканы Шивелуч и Карымский, которая часто выражалась мощными эксплозиями. Извержение вулкана Кизимен, которое началось еще в конце 2010 г., продолжалось в 2011, 2012 и 2013 гг. Но наиболее знаменательным событием 2013 года было, конечно, трещинное извержение в Толбачинском долу, у южного подножья вулкана Плоский Толбачик (извержение имени 50-летия ИВиС ДВО РАН), начавшееся 27 ноября 2012 года и продолжавшееся практически до конца августа 2013 г. Это было сильнейшее трещинное

извержение XXI века. Не успело закончиться это грандиозное извержение, как вновь заявил о себе могучий сосед Плоского Толбачика, крупнейший и активнейший вулкан Евразии — Ключевской. Его очередное извержение началось после почти трехлетнего молчания, в середине августа 2013 г., и закончилось 20 ноября 2013 г. Это извержение продолжило серию межпароксизмальных извержений последнего эруптивного цикла Ключевского вулкана, который начался в 1994 г.

Схема района Северной группы вулканов Камчатки, в которую входит вулкан Ключевской вместе с другими активнейшими вулканами (Шивелуч, Безымянный, Плоский Толбачик), представлена на рис. 1.

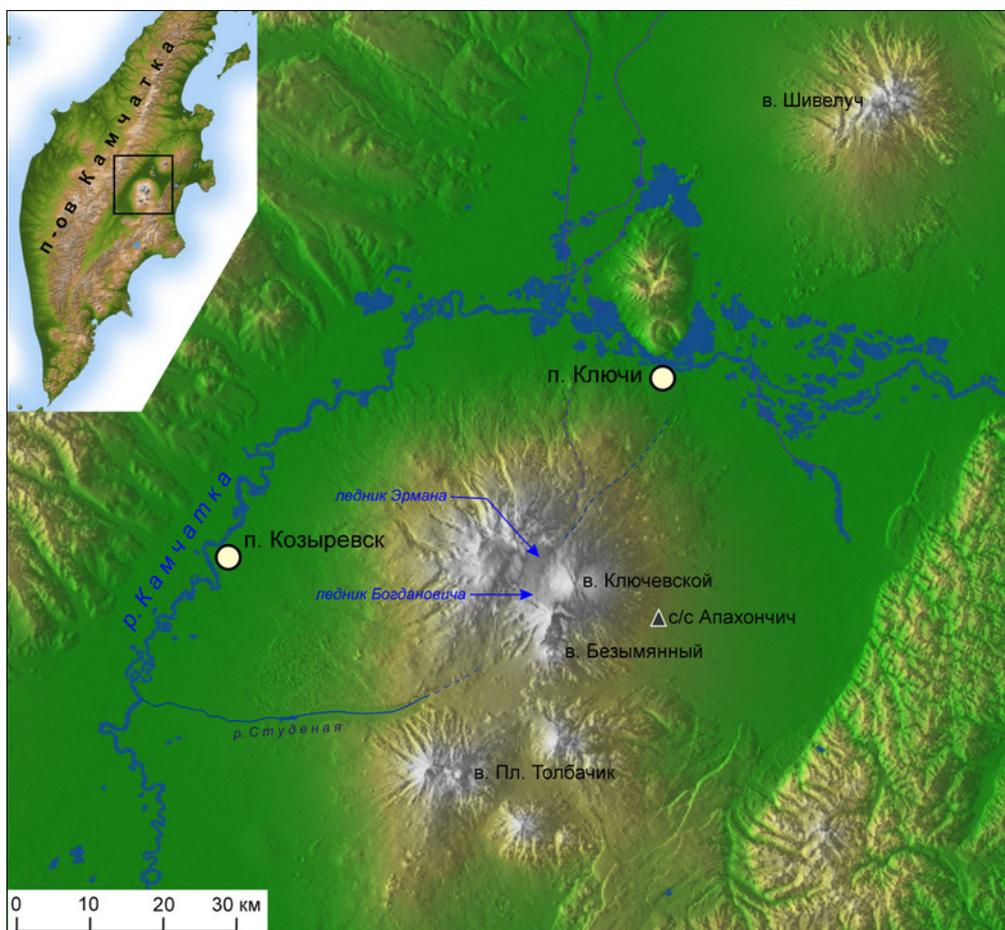


Рис. 1. Схема района Северной группы вулканов. На врезке показано положение района.

Прежде чем приступить к описанию этого неординарного события и дать ему сравнительную оценку, полезно кратко напомнить историю предшествующих извержений Ключевского вулкана.

КРАТКАЯ СПРАВКА ОБ ИЗВЕРЖЕНИЯХ КЛЮЧЕВСКОГО ВУЛКАНА

Сведения о Ключевском вулкане и его извержениях можно найти в многочисленных публикациях, в частности в двухтомнике, посвященном действующим вулканам Камчатки (Действующие..., 1991) и последующих публикациях камчатских вулканологов (Двигало, 1991; Жаринов, Демянчук, 2009; Муравьев и др., 2010; Озеров и др., 1996; Федотов, Жаринов, 2007 и др.).

Вулкан Ключевской – один из самых активных вулканов мира. На его долю приходится почти половина ювенильного материала, поступающего на поверхность в пределах Курило-Камчатской вулканической области; расход магмы в среднем составляет около $6 \cdot 10^7$ тонн/год.

Согласно работе (Действующие..., 1991), Ключевской вулкан образовался около 7 тыс. лет назад. Он представляет собой стратовулкан центрального типа, осложненный многочисленными шлаковыми конусами. На склонах вулкана насчитывается около 80-ти побочных прорывов; многочисленные паразитические шлаковые конусы имеют высоту от нескольких десятков до 200 м. Постройка вулкана сложена лавовыми потоками, прослоями пирокластики и льда, причем объем пирокластического материала существенно превышает объем лавовых потоков. В результате активной эруптивной деятельности вулкан приобрел почти идеальную форму усеченного конуса.

Абсолютная высота вулкана, в зависимости от роста и разрушения шлаковых конусов на его вершине, менялась от извержения к извержению и между ними на величину в десятки, и даже первые сотни метров. Так, в сентябре 1967 г. она составляла около 4700 м, а в сентябре 1988 г. – примерно 4835 м. Диаметр вершинного кратера тоже не оставался постоянным, и, в зависимости от стадии эруптивного процесса, изменялся от 700 м (в 1968 г.) до первых сотен, а иногда – до нескольких десятков метров (Двигало, 1991). Относительная высота вулкана – около 2900 м. Объем постройки достигает 250 км³.

С конца XVII в. до 1932 г. Ключевской вулкан формировался только за счет терминальных (вершинных) извержений. В 1932 г. произошло изменение режима вулканической деятельности: на фоне продолжающейся активности центрального кратера на склонах вулкана начались побочные извержения. Всего произошло

около полутора десятка побочных извержений (Действующие, 1991; Федотов, Жаринов, 2007):

– январь 1932 г. – февраль – 1933 г. образовались эруптивные центры Киргурич, Туйла и Биокось (на высоте 450-500 м, северо-восточное подножье вулкана);

– февраль 1938 г. – март 1939 г. – трещинное извержение Билюкая (на высоте 1000-1900 м, восточный склон вулкана);

– апрель-май 1945 г. – извержение Юбилейной группы (юго-восточный склон, на высоте 1100-1450 м);

– октябрь-ноябрь 1946 г. – извержение Апахончича (юго-восточный склон вулкана, на высоте 1500 м);

– ноябрь 1951 г. – извержение конуса Былинкиной (северо-восточный склон, на высоте 950 м);

– апрель 1953 г. – извержение имени Белянкина (северо-восточный склон, на высоте 1300 м);

– июль 1956 г. – извержения имени Вернадского и имени Крыжановского (выше Юбилейного прорыва);

– октябрь-декабрь 1966 г. – извержение им. Б.И. Пийпа (выше конуса Белянкина);

– август-ноябрь 1974 г. – извержение имени IV Всесоюзного вулканологического совещания (юго-западный склон вулкана, на высоте 3400-3600 м);

– март 1980 г. – извержение имени 8 Марта (северо-восточный склон, на высоте 1800 м);

– март-июнь 1983 г. – побочный прорыв Предсказанный (на высоте 2875 м, на восточном склоне вулкана);

– февраль-март 1987 г. – извержение Предвиденное (на южном склоне вулкана, на высоте 3400-3800 м);

– январь-сентябрь 1988 г. – извержение XXV-летия Института вулканологии (юго-восточный склон вулкана, на высоте около 4000 м);

– декабрь 1988 – март 1989 гг. – излияние трех небольших лавовых потоков (на восточном и юго-восточном склонах вулкана, на высотах 2800, 3800 и 4400 м);

– июль 1989 – февраль 1990 гг. – прорыв Скуридина (образование эруптивных центров на восточном склоне, на высотах от 4000 до 4400 м).

В расположении побочных извержений Ключевского вулкана отчетливо проявилось постепенное увеличение высоты эруптивных центров от подножья вулкана (в 1932 г.) к его вершине (1988-1989 гг.).

Пароксизмальные извержения Ключевского вулкана редки. За исторический период мощные извержения наблюдались в 1737, 1945 и в 1994 годах.

Пароксизмальное извержение 1737 года весьма подробно и красочно описано

С.П. Крашенинниковым в его книге «Описание земли Камчатки» (Крашенинников, 1949).

Следующее пароксизмальное извержение произошло в декабре 1944 - январе 1945 г. Извержение сопровождалось сильным пеплопадом, объем выпавшего пепла был близок 0.6 км^3 . В январе 1945 г. по Крестовскому желобу (северо-западный склон вулкана) излился мощный лавовый поток.

В межпароксизмальный период с 1945 по 1994 год произошло 7 более слабых эксплозивно-эффузивных извержений (в 1950, 1961-1962, 1966, 1978-1980, 1984-1988, 1990 и 1993 гг.). Из них извержения 1978-1980 и 1984-1988 гг. были наиболее продолжительными и впечатляющими.

Извержение 1978-1980 гг. было эксплозивно-эффузивным. Дно кратера заполнилось лавой, внутри кратера сформировался сначала один, затем три шлаковых конуса. Лава некоторое время изливалась по Крестовскому желобу на склон вулкана. Это вершинное извержение закончилось одновременно с окончанием побочного извержения 8 Марта 1980 г.

В 1984 г., после побочного извержения Предсказанного, в вершинном кратере началось формирование шлакового конуса. Его рост сопровождался фонтанированием бомб на высоту от 50 до 1000 м. Периодически происходили парогазовые взрывы с образованием эруптивных облаков, иногда нагруженных пеплом. Дно кратера постепенно заполнилось лавой, и она переливалась на склоны вулкана. Лавовые потоки в течение всего этого цикла извержений (1984-1988 гг.) продолжали периодически изливаться на склоны вулкана.

Вершинные извержения 1978-1980 гг. и 1984-1988 гг. были существенно эффузивными. Тип извержений менялся от вулканского до стромболианского. Газопепловые тучи несколько раз достигали высоты 12-15 км, в стратосферу забрасывались пепловые частицы и аэрозоли. Газо-пепловые шлейфы распространялись на десятки и сотни километров. В периоды усиления эксплозивно-эффузивной деятельности грязевые потоки, пропиливая глубокие каньоны в ледниках, растекались более чем на 30 км от вулкана. Еще одной особенностью этих извержений было образование раскаленных лавин. Лавины скатывались по склону вулкана со скоростью 60-100 км/ч. Отложения лавин представляли собой маломощные узкие полосы мелкообломочного материала протяженностью до 2.5 км при наибольшей ширине до 70 м. В сентябре 1988 г. в результате роста внутривулканских шлаковых конусов абсолютная отметка вершины Ключевского вулкана достигла 4835 м (Двигало, 1991), при этом диаметр вершинного кратера составлял всего несколько десятков метров.

Вершинное извержение 1990 г. (23 января - 6 февраля) привело к разрушению сформированных ранее шлаковых конусов на вершине вулкана и образованию нового кратера диаметром около 500 м и глубиной до 200 м. (Федотов, Жаринов, 2007). Само это извержение связывается с обрушением шлаковых конусов в кратер вулкана.

15 марта 1993 г. началось очередное извержение из вершинного кратера, которое продолжалось до начала сентября 1993 г. (Федотов и др., 1995). В процессе извержения произошло заполнение вершинного кратера, в Крестовском желобе сформировался мощный лавовый поток с четкими бортовыми валами. В процессе движения лавовый поток интенсивно взаимодействовал с ледником Эрмана (северо-западный склон) и со склоновыми льдами Ключевского вулкана. Это вызвало фреатомагматические явления различной интенсивности и привело к образованию лахар. Лахары во многих местах пересекли 10-ти километровый участок грунтовой дороги восточнее п. Ключи, полностью нарушив сообщение наземным транспортом.

7 сентября 1994 г. началось пароксизмальное вершинное извержение, которое продолжалось по 2 октября (Озеров и др., 1996; Федотов, Жаринов, 2007). Наиболее значительные эруптивные события происходили 1 октября. Из вершинного кратера на абсолютную высоту 12-13 км поднялась мощная, нагруженная пеплом эруптивная колонна. Фонтаны раскаленных бомб взлетали на 2-2.5 км над кратером, максимальный размер обломков достигал 1.5-2 м в диаметре. Лавовые потоки взаимодействовали со льдом; происходили мощные фреатомагматические взрывы. Грязевые потоки прошли по уже проработанному руслам путь 25-30 км и достигли р. Камчатки. В октябре 1994 г. на вершине вулкана появился крупный колодеобразный провал глубиной более 500 м. Пароксизмальное извержение 1994 г. является одним из наиболее ярких и мощных проявлений эруптивной активности Ключевского вулкана в историческое время.

После этого события эруптивная деятельность на вулкане практически прекратилась и в течение более 10 лет вулкан безмолвствовал. Начался новый эруптивный цикл вулкана.

Эруптивная стадия этого нового цикла началась в январе 2005 г. и к настоящему времени представлена пятью вершинными извержениями: 2005, 2007, 2008-2009 гг., 2009-2010 гг. и недавно закончившимся извержением 2013 г.

Первые признаки начала эруптивной стадии нового цикла начали наблюдаться еще в конце 2003 г. В ноябре 2003 г. - январе 2004 г. в жерле вулкана начался подъем магмы. Лава заполнила кратер, и над вулканом в ночное время наблю-

далось свечение. Но до настоящего извержения дело так и не дошло. Зато в конце января – начале февраля 2005 г. очередной подъем магмы закончился извержением, которое продолжалось до середины апреля 2005 г. Лавовый поток во время этого извержения спустился по Крестовскому желобу до отметки 3000 м, вызвав бурное таяние льда и снега. По речке Крутенькая прошел мощный лахар. Достигнув ледника Эрмана, лавовый поток привел к мощным фреатомагматическим взрывам. (Селиверстов, 2005; Федотов, Жаринов, 2007).

В феврале 2007 г. началось очередное вершинное извержение вулкана Ключевской (Жаринов, Демянчук, 2009). Сначала лава заполнила кратер, и в ночное время над вулканом наблюдалось свечение и выбросы раскаленного материала на высоту первые сотни метров. 29 марта лава переполнила кратер, и началось движение лавового потока, традиционно – по Крестовскому желобу. На отметке около 4000 м движение лавового потока замедлилось. В двадцатых числах апреля восточнее Крестовского желоба сформировался еще один лавовый поток, который к началу мая спустился до отметок около 3000 м, вызвав мощные фреатомагматические взрывы. Эти взрывы продолжались более недели и были настолько мощные, что вызвали обеспокоенность жителей посёлка Ключи. С середины мая над вулканом наблюдались протяженные пепловые шлейфы. В кратере вулкана образовался шлаковый конус высотой около 80 м. В конце мая – начале июня началось движение еще одного лавового потока, теперь по юго-восточному склону вулкана, в районе желоба Апахончич (юго-восточный склон вулкана). Как и в предыдущих случаях, взаимодействие раскаленной лавы со льдом вызвало мощные фреатомагматические взрывы, которые продолжались до конца июня 2007 г. Извержение завершилось эксплозивной деятельностью. 29 июня над вершиной вулкана в течении нескольких часов наблюдалась пепловая колонна высотой до 8 км. Более умеренная эксплозивная деятельность с выпадением пепла на склоны вулкана продолжалась и в последующие дни, вплоть до 9 июля 2007 г.

В конце октября 2008 года над кратером Ключевского вулкана снова появилось свечение и слышались взрывы. Началось новое извержение. Лава постепенно заполнила кратер вулкана, и во второй половине ноября по Крестовскому желобу началось движение лавового потока, который быстро достиг отметки 3000 м; к началу декабря он спустился до отметки 2500 м, а к середине декабря – до отметки около 2000 м. В кратере вулкана наблюдались выбросы раскаленного материала и фонтанирование лавы на высоту до 500 м. В пос. Ключи раздавались громовые рас-

каты от фреатомагматических взрывов, выпало небольшое количество пепла. К середине января 2009 г. извержение закончилось.

Период покоя Ключевского вулкана перед очередным извержением 2009–2010 гг. составил всего 8 месяцев. Извержение началось в сентябре 2009 г. и закончилось в ноябре 2010 г. Оно было преимущественно эффузивным и сопровождалось излиянием многочисленных потоков на склоны разных экспозиций, и развитием фреатических и фреатомагматических событий (Муравьев и др., 2010). По интенсивности оно было слабее предшествующих, но продолжалось почти 14 месяцев. Лавовые потоки изливались как в обычных направлениях по Крестовскому, Апахончичскому и Козыревскому вулканотектоническим желобам, так и за их пределами. По предварительным оценкам за время этого извержения на склоны вулкана было излито около 60 млн. м³ лавы.

ИЗВЕРЖЕНИЕ 2013 ГОДА

Весь 2011 г. и по октябрь 2012 г. Ключевской вулкан был в спокойном состоянии. Лишь в ноябре 2012 г. появились признаки готовящегося извержения: заметно возросла интенсивность вулканического дрожания и появилось свечение над кратером. Но с началом Толбачинского извержения (27 ноября 2012 г.) активность в кратере Ключевского прекратилась, или была очень слабой. По крайней мере, свечения, выбросов пепла и раскаленного материала не наблюдалось.

В середине августа 2013 года над вершиной Ключевского вулкана вновь появилось свечение, что свидетельствовало о заполнении кратера лавой и начале нового извержения. Аэровизуальный облёт вулкана, проведенный 21 августа 2013 г., подтвердил это предположение: были хорошо видны выбросы бомб и раскаленного материала из внутрикратерного шлакового конуса.

27 августа на ЮЗ склоне вулкана был замечен небольшой лавовый поток. 28 августа группа вулканологов под руководством Я.Д. Муравьева поднялась на кратер вулкана и обнаружила в ЮЗ части кратера лавовое озеро диаметром около 50 м, из которого лава изливалась на ЮЗ склон вулкана (рис. 2 на 2 стр. обложки). В центре кратера образовался шлаковый конус, в котором наблюдалась эксплозивная деятельность на высоту до 100 м.

Лавовый поток продолжал изливаться в ЮЗ направлении. В точке истока он разделялся на несколько рукавов. Иногда их было четыре (рис. 3 на 2 стр. обложки).

Графики интенсивности вулканического дрожания и размеров термальной аномалии Ключевского вулкана (рис. 4), построенные по

О ПРОДОЛЖЕНИИ ЭРУПТИВНОГО ЦИКЛА

данным Камчатского филиала Геофизической службы РАН (<http://www.emsd.ru/~ssl/monitoring/main.htm>) за период 14 августа - 31 октября 2013 г., достаточно хорошо отражают динамику извержения.

13 сентября небольшой лавовый поток появился и в Крестовском жёлобе (рис. 5). В конце сентября внутрикратерный шлаковый конус заметно подрос и показался над кромкой старого кратера (рис. 6).

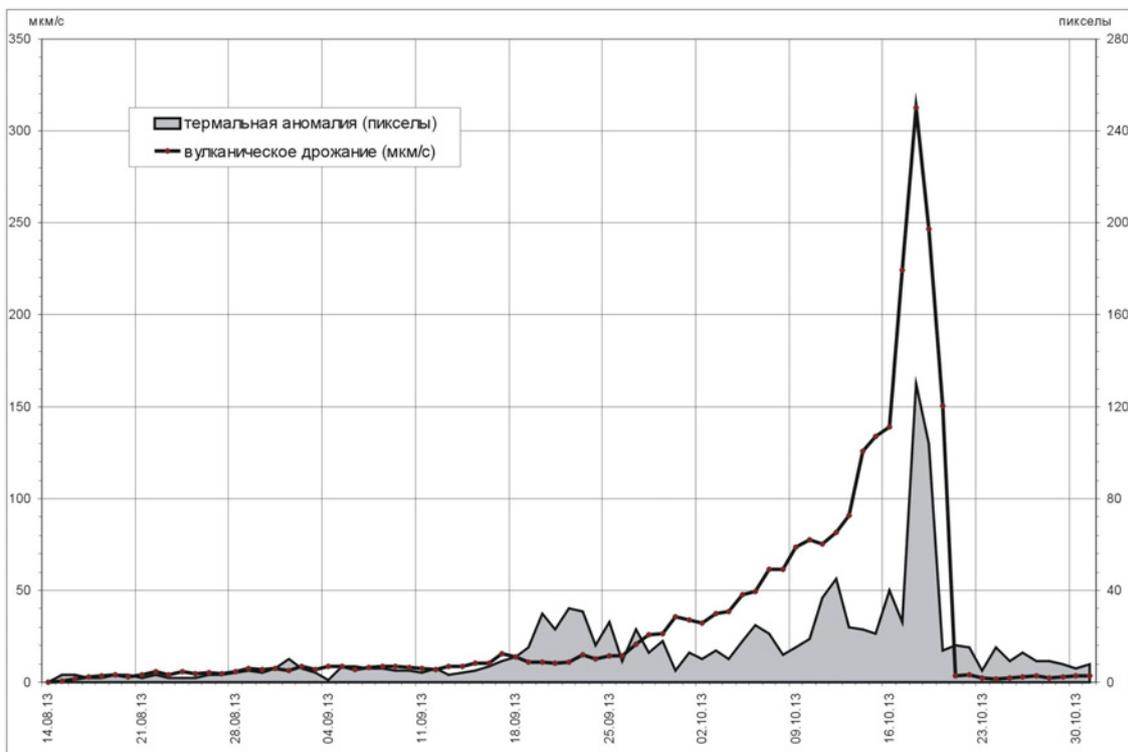


Рис. 4. Интенсивность вулканического дрожания (мкм/с) и размеры термальной аномалии (пиксели) на Ключевском вулкане в период с 14 августа по 31 октября 2013 г. (по данным КФ ГС РАН).



Рис. 5. Появление лавового потока в Крестовском жёлобе Ключевского вулкана 13 сентября 2013 г. Фото Ю.В. Демянчука.



Рис. 6. Появление шлакового конуса в кратере Ключевского вулкана в конце сентября 2013 г. Фото Ю.В. Демянчука.

Плавный рост вулканического дрожания продолжался с середины августа до 25 сентября. С последних чисел сентября вулканическое дрожание стало нарастать заметно интенсивнее (рис. 4). Возросла и активность вулкана. В п. Ключи были постоянно слышны взрывы. В некоторые дни гул от извержения стоял почти непрерывный. Высота выбросов раскалённого материала достигала 400 м над кромкой кратера. 10-11 октября газо-пепловый шлейф распространился в СВ направлении на расстояние более 300 км (по спутниковым данным). 11 октября по Ю-ЮЗ склону сошла мощная лавина. Пепловая колонна поднялась на высоту около 8 км над уровнем моря. В пепловом облаке постоянно происходили разряды молний (рис. 7 на 1 стр. обложки).

12 октября лавовый поток спустился по ЮЗ склону тремя рукавами, и на высоте около 3000 м фронт потока внедрился в ледник Богдановича (рис. 8 на 3 стр. обложки). Это вызвало резкое таяние ледника, образование лахаров и поступление большого количества воды в р. Студёную. Река размывла защитную дамбу и подтопила участок дороги, нарушив на несколько дней нормальное автомобильное сообщение по трассе Петропавловск-Камчатский - Ключи. Последствия внедрения лавового потока в

ледник Богдановича отчетливо видны на спутниковом снимке (рис. 9 на 3 стр. обложки). К этому времени лавовый поток уже продвинулся до отметки около 2590 м над уровнем моря, а его протяженность составляла 5.5 км.

На сейсмостанции «Апахончич» (12 км к ЮВ от вулкана), куда выехал отряд Камчатской вулканостанции для выполнения стереосъемки вулканов Ключевской и Безымянный, 14-15 октября стоял непрерывный гул. Взрывы в кратере Ключевского вулкана происходили непрерывно. Высота выбросов раскаленного материала достигала 500 м над кромкой кратера. Над вулканом возвышалась пепловая колонна до 8 км выше уровня моря, протяженный пепловый шлейф распространялся далеко на СВ. В кратере постоянно фонтанировала лава (рис. 10 на 4 стр. обложки). Вулканическое дрожание к этому времени превысило 100 мкм/сек. и продолжало стремительно нарастать, достигнув к 18 октября своего максимума – 312 мкм/сек. В этот же период времени отмечена и максимальная величина термальной аномалии (рис. 4).

19 октября интенсивность вулканического дрожания уменьшилась и составляла около 200 мкм/сек, продолжая быстро падать. Утром 20 октября по Крестовскому жёлобу сошло несколько лавин (рис. 11 на 4 стр. обложки).

Утром 21 октября активность извержения существенно снизилась. На склонах вулкана наблюдалось свечение от выпавших ночью бомб и раскалённого материала. Вулканическое дрожание упало до 3 мкм/сек и в последующие 4 недели существенно не менялось, составляя от первых до нескольких мкм/с.

Но извержение на этом не прекратилось. Его заключительные аккорды прозвучали в период с 16 по 19 ноября 2013 г. В этот период времени на вулкане началась мощная эксплозивная деятельность. Пепловые выбросы, достигали высоты 11 км над уровнем моря. На сотни километров от вулкана протянулись пепловые шлейфы. Пепел выпал и в поселке Ключи (рис. 12). Уровень вулканического дрожания при этом был весьма незначительным (0.6-1.5 мкм/с). 20 ноября 2013 г. извержение вулкана закончилось.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Извержение Ключевского вулкана в 2013 году продолжалось 14 недель (с 15 августа по 20 ноября). Оно носило эффузивно-эксплозивный характер. По масштабам проявления, его можно отнести к рядовым межпароксизмальным извержениям последнего эруптивного цикла.

Отличительной особенностью этого извержения был необычайно высокий уровень вулка-

нического дрожания во время его экстремальной фазы (с 14 по 19 октября). Его пиковое значение (более 300 мкм/с) в разы превышает максимальные уровни вулканического дрожания, наблюдавшегося во время всех предшествующих извержений последнего эруптивного цикла, и даже пароксизмального извержения 1994 г.

Обращает на себя внимание также то, что извержение Ключевского вулкана началось лишь после окончания трещинного извержения в Толбачинском долу. Хотя признаки начала извержения Ключевского вулкана были вполне очевидны еще во второй половине ноября 2012 г., но начавшееся в это время трещинное извержение в Толбачинском долу как бы отодвинуло извержение Ключевского вулкана на несколько месяцев. Если вспомнить, что во время Большого трещинного Толбачинского извержения в 1975-1976 гг. на Ключевском вулкане также наблюдался значительный перерыв как в побочных, так и в терминальных извержениях, напрашивается вывод о существовании «гидравлической» связи между магматическими системами Толбачинской зоны и Ключевского вулкана.

Возможно, что аналогичная связь существует между упомянутыми выше магматическими системами и магматической системой вулкана Безымянный. Об этом свидетельствует затянувшийся (15-месячный) перерыв в экспло-



Рис.12. Отбор пепла, выпавшего в окрестностях пос. Ключи 17-18 ноября 2013 г. Фото Ю.В. Демянчука.

живных извержениях этого вулкана, который пришелся на время трещинного извержения в Толбачинском долу и извержения Ключевского вулкана. Последнее эксплозивное извержение вулкана Безымянный произошло 2 сентября 2012 г. На протяжении нескольких последних лет интервал между извержениями этого вулкана в среднем составлял 8-10 месяцев, крайне редко превышая 11 месяцев.

Временные взаимосвязи извержений вулканов Ключевской и Шивелуч совершенно иные. Как отмечали многие авторы, извержения этих вулканов часто происходят одновременно. Такие периоды одновременного извержения этих двух вулканов отмечены и для всех извержений последнего эруптивного цикла Ключевского вулкана (февраль-март 2005 г., май-июнь 2007 г., ноябрь-декабрь 2008 г., октябрь 2009 г., июль-ноябрь 2010 г.). Не исключением стало и последнее извержение Ключевского вулкана в 2013 г. Практически весь 2013 год, на фоне трещинного извержения в Толбачинском долу и последовавшего за ним извержения Ключевского вулкана, вулкан Шивелуч был особенно активен. Причем экстремальная фаза извержения Ключевского вулкана 18 октября 2013 г. совпала по времени с сильным эксплозивным извержением вулкана Шивелуч, выбросившим пепел на высоту около 10000 м над уровнем моря.

Список литературы

- Двигало В.Н.* Кратер и вершинные извержения Ключевского вулкана в 1968-1988 гг. по аэрофотограмметрическим наблюдениям // *Вулканология и сейсмология*. 1991. № 5. С. 3-18.
- Действующие вулканы Камчатки. В 2-х т. Т. 1. М.: Наука, 1991. 302 с.
- Жаринов Н.А., Демянчук Ю.В.* Извержение вершинного кратера вулкана Ключевской (Камчатка) в феврале-июле 2007 г. // *Вулканология и сейсмология*. 2009. № 3. С. 38-49.
- Крашенинников С.П.* Описание земли Камчатки. М.-Л.: Главсевморпуть, 1949. 841 с.
- Муравьев Я.Д., Овсянников А.А., Дубровская И.К.* Необычный этап в динамике очередного извержения Ключевского вулкана в 2009-2010 гг. // *Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле*. 2010. №1. Вып. 15. С. 7-9.
- 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.
- Селиверстов Н.И.* Поездка в Ключи // *Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле*. 2005. Вып. 5. С. 160-165.
- Федотов С.А., Жаринов Н.А.* Об извержениях, деформациях, сейсмичности Ключевского вулкана (Камчатка) в 1986-2005 гг. и механизме его деятельности // *Вулканология и сейсмология*. 2007. № 2. С. 3-31.
- Федотов С.А., Хубуная С.А., Жаринов Н.А. и др.* Извержение вулканов Ключевской и Шивелуч в 1993 г. и их влияние на окружающую среду // *Геология и геофизика*. 1995. Т. 36. № 8. С. 117-131.

Ю.В. Демянчук,
нач. Камчатской вулканостанции
ИВиС ДВО РАН;
Н.И. Селиверстов,
зам. директора ИВиС ДВО РАН,
д.г.-м.н.