

УДК 551.21

ИЗВЕРЖЕНИЯ ВУЛКАНОВ СЕВЕРНОЙ ГРУППЫ КАМЧАТКИ В НАЧАЛЕ XXI ВЕКА

© 2020 г. А. Ю. Озеров^{а, *}, О. А. Гирина^{а, **}, Н. А. Жаринов^а,
А. Б. Белоусов^а, Ю. В. Демянчук^а

^аИнститут вулканологии и сейсмологии ДВО РАН,
бульвар Пийпа, 9, Петропавловск-Камчатский, 683006 Россия

*e-mail: ozerov@kscnet.ru

**e-mail: girina@kscnet.ru

Поступила в редакцию 12.07.2019 г.

После доработки 10.10.2019 г.

Принята к публикации 22.10.2019 г.

В начале XXI в. наблюдается повышенная эруптивная активность крупнейших вулканов Северной группы Камчатки: Шивелуч, Ключевской, Безымянный и Толбачинской трещинной зоны. Отмечаются особенности роста экструзивного купола андезитового вулкана Шивелуч: за 38 лет почти непрерывной эруптивной деятельности высота купола достигла 600 м. После восьмилетнего периода относительного покоя произошло девять вершинных извержений и два боковых прорыва базальтового вулкана Ключевской. Почти ежегодно наблюдались эксплозивно-эффузивные извержения андезитового вулкана Безымянный. После 36 лет покоя в районе Толбачинской региональной трещинной зоны произошло новое извержение.

Ключевые слова: вулкан, извержение, Шивелуч, Ключевской, Безымянный, Толбачинская трещинная зона, Камчатка.

DOI: 10.31857/S0203030620010058

ВВЕДЕНИЕ

Вулканы Северной группы Камчатки (СГК) располагаются в области сочленения Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг, Императорского разлома и Императорской вулканической области. Взаимодействие этих структур на глубине находит отражение в высоком уровне сейсмической и вулканической активности района, дискордантности динамических процессов на разных уровнях литосферы [Гонтовая и др., 2004, 2010; Федотов и др., 2010]. В группе пять действующих вулканов: андезитовый Шивелуч, базальтовый Ключевской, андезитовый Безымянный, базальтовый Плоский Толбачик с вершинной кальдерой гавайского типа и двумя трещинными зонами шлаковых конусов (северо-восточной и южной — Толбачинской), андезибазальтовый Ушковский (рис. 1, 2).

Детальные исследования вулканов и извержений СГК были начаты с образования в 1935 г. в п. Ключи Камчатской вулканологической станции им. Ф.Ю. Левинсона-Лессинга и продолжают сотрудники Института вулканологии и сейсмологии (ИВиС) ДВО РАН (<http://www.kscnet.ru/ivs/>) до настоящего времени. Сейсмический мониторинг вулканов СГК был начат в 1946 г. на

Камчатской вулканостанции и продолжается в настоящее время Камчатским филиалом Единой геофизической службы (КФ ЕГС) РАН (<http://www.emsd.ru/>). С 2000 г. проводятся непрерывные видеонаблюдения за вулканами СГК, с 2014 г. анализируется состояние вулканов с помощью спутниковых данных в информационной системе (ИС) “Дистанционный мониторинг активности вулканов Камчатки и Курил (VolSat-View, <http://volcanoes.smislab.ru/>)” [Гирина и др., 2017, 2018б, 2019а; Гордеев и др., 2016].

ВУЛКАН ШИВЕЛУЧ

Шивелуч — самый северный и наиболее опасный вулкан Камчатки [Мелекесцев и др., 1991] (рис. 3). Для него характерны два типа извержений: катастрофические (с подъемом эруптивных туч до 25 км над уровнем моря (н. у. м.) и объемом пирокластики более 1 км³), и пароксизмальные, связанные с текущим ростом экструзивного купола (подъем пепловых облаков до 15 км н. у. м., объем пирокластики менее 0.7 км³) [Горшков, Дубик, 1969; Мелекесцев и др., 1991]. Катастрофических извержений известно два: в 1854 г. и 1964 г. [Горшков, Дубик, 1969].

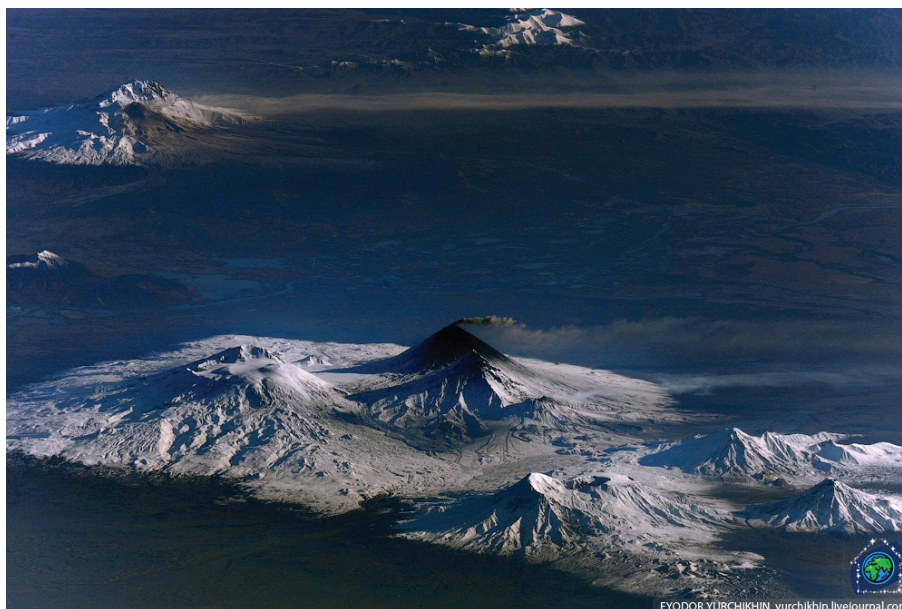


Рис. 1. Северная группа вулканов Камчатки 28 сентября 2010 г. Фото космонавта Ф. Юрчихина с МКС.



Рис. 2. Вулканы Северной группы Камчатки 16 сентября 2014 г.: на первом плане — вулкан Безымянный, в центре — вулкан Камень, за ним — вулкан Ключевской, слева — вулканы Ушковский и Крестовский. Фото Ю.В. Демянчука.

С августа 1980 г. по настоящее время в кратере вулкана происходит рост нового экструзивного купола, сопровождаемый эксплозивными извержениями (рис. 4, 5). Выделены три этапа формирования купола: I — начало его роста с августа 1980 г. до конца 1981 г.; II — с апреля 1993 г. по январь 1995 г., III — с 2001 г. до настоящего времени

[Жаринов, Демянчук, 2008; Федотов и др., 2001, 2004] (см. рис. 4, 5). Начало активизации вулкана и экструзивное извержение I этапа не предварялось и не сопровождалось заметными сейсмическими событиями [Горельчик и др., 1995]. II и III этапы характеризуются сменой экструзивного типа извержения на эксплозивно-экструзивно-



Рис. 3. Вулкан Шивелуч 21 февраля 2019 г. Фото Ю. Демянчука.

эффузивный. Во время подготовки извержения 1993 г. и в ходе роста купола в течение II этапа количество землетрясений в районе вулкана достигало 250–300 в сут, их энергетический класс – 7.0. III этап деятельности вулкана отличается увеличением количества сейсмических событий до 300–400 в сут, максимальный энергетический класс составлял 9.5 [Федотов и др., 2004]. Изменения в режиме извержения вулкана произошли после пароксизмального извержения 9 мая 2004 г. – на экструзивном куполе впервые был отмечен вязкий лавовый поток [Горбач, 2006; Girina et al., 2004]. В начале формирования экструзивного купола в 1980–1981 гг. расход продуктов извержений был минимальным и не превышал 0.1–0.2 млн м³ в сут, во время II этапа извержения – 1.2 млн м³ в сут, в начале III этапа (в 2001 и 2005 гг.) – 0.6 млн м³ в сут [Жаринов, Демянчук, 2008; Федотов и др., 2001, 2004].

Первое пароксизмальное извержение III этапа произошло 19–22 мая 2001 г. Эруптивная колонна поднималась до 15 км н. у. м. (12.5 км над лавовым куполом), пирокластические и грязевые потоки протянулись по р. Байдарная до 18 км от вулкана [Федотов и др., 2001, 2004] (табл. 1). Начался активный рост экструзивного купола, в мае 2004 г.

диаметр основания купола был 1350 м, диаметр его короны – 240–270 м, высота от поверхности кратера 1980 г. – 520 м, объем достигал 0.30 млн м³ [Федотов и др., 2004] (см. рис. 4, 5). В результате сильного эксплозивного извержения 9 мая 2004 г. с подъемом эруптивной колонны до 11 км н. у. м. (8.5 км над куполом) часть экструзивного купола была разрушена и у его подножия сформировались отложения пеплово-глыбового пирокластического потока, перекрытые ювенильным материалом пирокластических потоков пористых андезитов, которые впервые сопровождались образованиями пирокластических волн [Гирина и др., 2007б; Озеров, Демянчук, 2004]. Вслед за этим извержением на поверхность земли начала поступать более пластичная лава, которая в виде вязких лавовых потоков стала бронировать сформированную к тому времени агломератовую мантию экструзивного купола. Средний расход лавы в мае–июле 2004 г. составлял 0.15–0.23 м³/с [Горбач, 2006]. Выжимание лавовых потоков, сопровождаемое пепловыми эксплозиями, при которых пепел поднимался до 7–12 км н. у. м. (4.5–9.5 км над куполом) и обрушениями раскаленных лавин, пепел от которых поднимался до 5–6 км

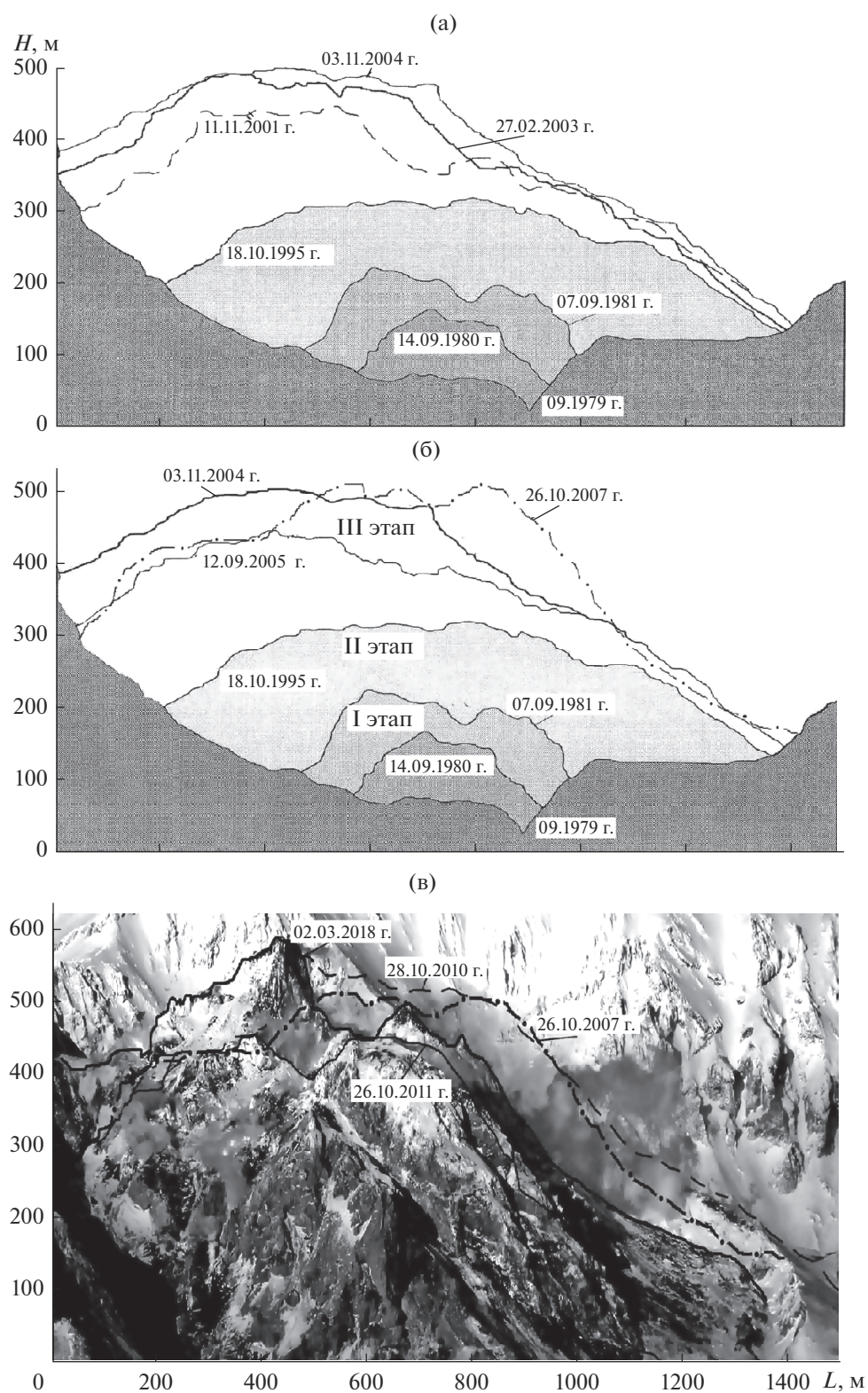


Рис. 4. Профили лавового купола на разных этапах его образования: начальный этап формирования и рост западного сектора до извержения 27 февраля 2005 г. (а); формирование купола в восточном секторе 12.09.2005–26.10.2007 гг. (б); рост (26.10.2007–28.10.2010 гг.), после разрушения 27 октября 2010 г., рост западного сектора 26.10.2011–02.03.2018 гг. (в).

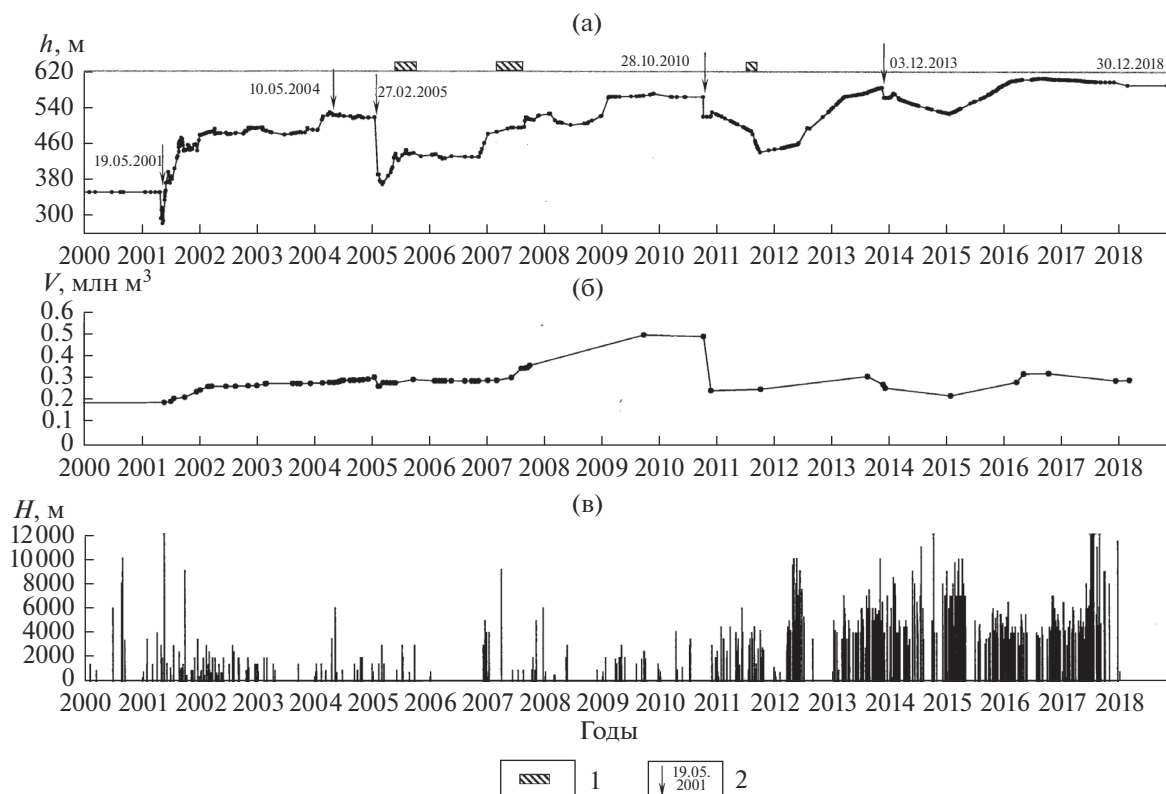


Рис. 5. Характеристика извержений вулкана Шивелуч в 2000–2018 гг.: изменения максимальной высоты лавового купола вулкана по теодолитным наблюдениям (а); 1 — периоды излияния лавовых потоков на склоны купола, 2 — мощные эксплозивные извержения; изменения объема лавового купола (б); высота пепловых выбросов (в).

н. у. м. (2.5–3.5 км над куполом), продолжается с некоторыми перерывами до настоящего времени.

Самое сильное пароксизмальное эксплозивное извержение вулкана, связанное с ростом с 1980 г. лавового купола, произошло 27 февраля 2005 г. Мощная эруптивная колонна поднялась из центральной части лавового купола до 10 км н. у. м. (7.5 км над куполом) и обрушилась на юго-западный склон вулкана — например, каньон р. Байдарная глубиной до 40 м был полностью перекрыт отложениями потоков [Гирина и др., 2006; Нуждаев и др., 2005]. Средняя мощность отложений пирокластических потоков на площади 31.5 км² составила 10–15 м, средняя мощность материала пирокластических волн — около 1 м. Объем пирокластических образований извержения оценен в 0.5 км³ [Гирина и др., 2006] (см. табл. 1).

Очень сильным было также извержение 27 октября 2010 г. — пепловая колонна поднималась до 9 км н. у. м. (6.5 км над куполом), отложения пирокластических потоков и волн распространились на площади около 20 км² [Гирина и др., 2011; Овсянников, Маневич, 2010] (см. табл. 1).

Эксплозивно-экструзивно-эффузивное извержение вулкана продолжалось. Рост лавового купола обуславливала интенсивная эксплозив-

ная деятельность вулкана — отдельных эксплозивных событий с выносом пепла до 15 км н. у. м. (12.5 км над куполом) иногда насчитывалось до 25 в год, иногда до 22 в день. Например, эксплозивное событие произошло 26 июля 2013 г.: подъем пепловой колонны до 10 км н. у. м. (7.5 км над куполом) сопровождался обрушением пирокластического потока, который прошел по долине р. Байдарная около 5 км. В пепловой туче наблюдались разряды молний. По спутниковым данным, пепловый шлейф распространялся до 520 км на юго-восток от вулкана. 18 октября 2013 г. наблюдалась мощная активность вулкана: 22 эксплозии поднимали пепел до 7–10 км н. у. м. (4.5–7.5 над куполом), на юго-западном склоне вулкана были сформированы отложения пирокластического потока; по спутниковым данным, пепловые шлейфы протягивались до 200 км на юго-восток от вулкана [Гирина и др., 2014а]. 18 сентября 2016 г. произошло неординарное эксплозивное событие вулкана, хотя и умеренной силы. В результате эксплозий в юго-западной части купола обрушились крупные блоки лавы и сформировались пирокластические потоки длиной 12 км по руслу р. Байдарная [Горбач и др., 2017].

Таблица 1. Пароксизмальные извержения вулкана Шивелуч

День, месяц, год пароксизмального извержения	Максимальная высота эруптивной колонны, км н. у. м.	Максимальная длина пеплового шлейфа, км	Направление распространения пеплового шлейфа	Максимальная величина вулканического дрожания, мкм/с	Особенности извержений
19–22.05.2001	15	500	СВ	14.8	Первое событие после 1993 г.
09.05.2004	11	600	В–ЮВ		Площадь отложений пирокластических потоков – 5.3 км ² , объем продуктов – 0.06 км ³ [Гирина и др., 2007а]
27.02.2005	10	800	З–ЮЗ	4.5	Площадь отложений тефры – 25000 км ² ; площадь отложений пирокластических потоков – 31.5 км ² , объем продуктов – 0.5 км ³ [Гирина и др., 2006]
22.09.2005	7.5	500	Ю–В		Площадь отложений пирокластических потоков – 1.9 км ² , объем продуктов – 0.01 км ³ [Нуждаев и др., 2005]
27.10.2010	9	2500	В		Площадь отложений пирокластических потоков – 20 км ² [Гирина и др., 2011]

По данным из работы [Жаринов, Демянчук, 2008] – к концу октября 2007 г. объем лавового купола достиг 360 млн м³.

ВУЛКАН КЛЮЧЕВСКОЙ

Ключевской вулкан высотой 4750 м н. у. м. и диаметром кратера 700 м относится к числу наиболее мощных активных базальтовых вулканов мира, его продуктивность достигает в среднем 60 млн т в год [Хренов и др., 1991] (см. рис. 1, 2). На склонах вулкана и его подножии насчитываются десятки шлаковых и шлаколавовых конусов и многочисленные лавовые потоки терминальных и побочных извержений. В связи с высокой эруптивной деятельностью, время от времени в его кратере вырастает шлаковый конус (высота вулкана увеличивается), разрушающийся при следующих извержениях. Сведения об извержениях Ключевского известны с 1697 г., в XX в. зарегистрировано 26 вершинных извержений и 19 боковых прорывов [Гирина и др., 2018б; Пийп, 1956; Хренов и др., 1991]. Последнее в XX в. мощное терминальное извержение Ключевского произошло в 1994 г. [Озеров и др., 1996]. В 1995–1999 гг. отмечался отток магмы по каналу вулкана, этот процесс сопровождался иногда резкими усилениями активности Ключевского, например, в период с 5 марта по 7 сентября 1997 г. наблюдался подъем

пепловой колонны до 9 км н. у. м. (4.2 км над кратером вулкана).

За 19 лет произошло 9 вершинных извержений: 22.03.2003–03.03.2004; 15.01–10.04.2005; 15.02–26.07.2007; 08.10.2008–28.01.2009; 16.09.2009–12.12.2010; 01.09.2012–10.01.2013; 15.08–15.12.2013; 01.01–24.03.2015; 03.04–06.11.2016 (см. табл. 1) [Гирина и др., 2014б, 2018б, 2019б; Жаринов, Демянчук, 2009, 2016]. Наиболее продолжительным было извержение 2009–2010 гг. (год и три месяца), наиболее кратким – 2015 г. (менее трех месяцев) (табл. 2).

Первое существенное повышение активности Ключевского в этом веке наблюдалось в конце января 2000 г. (подъем парогазового столба до 10 км н. у. м. – до 5.3 км над кратером). Термальная аномалия в районе кратера вулкана изредка начала регистрироваться с 25 декабря 2002 г. С 22 марта 2003 г. стала проявляться стромболианская активность вулкана, со 2 июля – вулканическая (вынос пепла до 6.0–8.5 км н. у. м. – до 1.3–3.8 км над кратером), пепловые шлейфы протягивались до 300 км в различных направлениях от вулкана (см. табл. 2).

Каждое из девяти извержений начиналось с заполнения кратера вулкана свежей лавой, которое отражалось в свечении его в ночное время (в регистрации термальной аномалии в районе кратера на спутниковых снимках) и стромболианской

Таблица 2. Извержения вулкана Ключевской

День, месяц, год начала и окончания извержения	Максимальная высота эруптивной колонны, км н. у. м.	Максимальная длина пеплового шлейфа, км	Направление распространения пеплового шлейфа	Максимальная величина вулканического дрожания, мкм/с	Особенности извержений
22.03.2003–03.03.2004	8.5	300	В, СВ, СЗ, ЮВ	20.5 12.01.2004	С 11.05.2003 – стромболианская активность; со 2.07.2003 – вулканическая активность
15.01.2005–10.04.2005	9	600	С, СЗ	39.5 11.03.2005	С 15.01 – стромболианская активность; с 21.01 – вулканическая активность; 31.01 – начало излияние лавового потока в Крестовский желоб
15.02.2007–26.07.2007	12	5500	С	83.8 19.06.2007	С 15.02 – стромболианская активность; с 28.03 – начало излияния лавового потока в Крестовский желоб; с 24.02 – вулканическая активность
08.10.2008–28.01.2009	8	700	В	53.9 10.12.2008	С 13.10.2008 – стромболианская активность; 21.11.2008 – начало излияния лавового потока в Крестовский желоб; с 30.11.2008 – вулканическая активность
16.09.2009–12.12.2010	9	2300	В	65.0 18.10.2010	С 16.09.2009 – стромболианская активность; 13.11 – начало излияния лавового потока в Апахончичский, затем в Крестовский и Козыревский желобы; с 22.02.2010 – вулканическая активность; 09.04.2010 – парящая трещина на ю–з склоне вулкана
01.09.2012–10.01.2013				0.6 09.01.2013	Стромболианская активность
15.08.2013–15.12.2013	12	2500	В, ЮВ	312.4 18.10.2013	С 15.08 – стромболианская активность; 26.08 – начало излияния лавового потока в Крестовский, затем в Апахончичский желобы; с 09.10 – вулканическая активность; 11.10.2013 08:16-08:24 UTC – боковой прорыв на ю-з склоне вулкана
01.01.2015–24.03.2015	8	1000	С–З	6.6 25.03.2015	С 01.01 – стромболианская активность; 08–09.01 – начало излияния лавового потока в Апахончичский желоб; с 10.01 – вулканическая активность
03.04.2016–06.11.2016	8	500	Ю–З, В, Ю–В	52.2 15.04.2016	С 03.04 – стромболианская активность; с 23.04 – вулканическая активность; 23.04 – начало излияния лавового потока в Апахончичский желоб; 26.04 – субтерминальный прорыв в Апахончичском желобе; ~15.08 – начало излияния лавового потока в Крестовский желоб
02.03.2017–25.08.2017	8	600	ЮВ–ЮЗ	2.9 01.04.2017	Эпизоды вулканической активности вулкана

Таблица 2. Окончание

День, месяц, год начала и окончания извержения	Максимальная высота эруптивной колонны, км н. у. м.	Максимальная длина пеплового шлейфа, км	Направление распространения пеплового шлейфа	Максимальная величина вулканического дрожания, мкм/с	Особенности извержений
05.12.2017–18.01.2018	7	220	В, З, С, Ю	0.5 29.12.2017	
07–14.05.2018	10.5 14.05.2018	350	В, ЮЗ	0.4 26.05.2018	
21–22.04.2019	7	100	В, З, С, Ю	0.4 22.04.2019	
12.06.2019–01.07.2019	6	180		0.8 10.06.2019	

активностью — фонтанированием лавы в кратере с выбросом вулканических бомб до 300–500 м над его кромкой. Два извержения ограничились эксплозивной активностью: 22.03.2003–03.03.2004 и 01.09.2012–10.01.2013. Во время других извержений из вершинного кратера изливались несколькими рукавами протяженные лавовые потоки по Крестовскому, Апахончичскому и Козыревскому желобам и сопряженным с ними склонам вулкана (см. табл. 2).

11 октября 2013 г. и 26 апреля 2016 г. образовались боковые прорывы на юго-западном и восточном склонах вулкана, соответственно (см. табл. 2) [Гирина и др., 2014б, 2019б; Жаринов и др., 2018]. Эти прорывы явились причиной формирования мощных лавовых полей, например, площадь такого поля извержения 2013 г. составила 0.95–1.0 км² [Гирина и др., 2014б].

Наиболее сильные эксплозивные события Ключевского отмечались в 2007 и 2013 гг. — пепловые колонны поднимались до 12 км н. у. м. (7.3 км над кратером), самые протяженные пепловые облака и шлейфы наблюдались в 2007 г. (5500 км), 2010 г. (2300 км), 2013 г. (2500 км) (см. табл. 2) [Гирина и др., 2009, 2011, 2017]. Например, кульминационная фаза извержения 15.08–15.12.2013 г. непрерывно продолжалась в течение 15–20 октября: пепловая колонна поднималась до 9–10 км н. у. м. (до 4.3–5.3 км над кратером). 18 октября величина вулканического дрожания достигла 312.4 мкм/с (<http://www.emsd.ru>). По визуальным данным, наблюдалась мощная стромболианская (высота фонтанов лавы в вершинном кратере вулкана достигала 800 м) и вулканская (пепловая колонна поднималась до 8–10 км н. у. м. — до 3.3–5.3 км над кратером) деятельность Ключевского, несколько лавовых потоков продолжали изливаться по его западным и юго-восточным склонам. При мощных взрывах вулканические бомбы

падали на середину склона вулкана — на высоты 2.5 км н. у. м. — и скатывались ниже. Вершина вулкана была объята пламенем, гул от выбросов разносился на десятки километров от него. Согласно спутниковым данным, пепловые шлейфы протягивались на расстояния до 2500 км, преимущественно, на юго-восток и восток от вулкана, кроме пепловых облаков отмечались облака аэрозолей. Отметим, что одновременно с извержением Ключевского, 18 октября на Шивелуче произошло 22 эксплозивных события (<http://www.kscnet.ru/ivs/kvert/van/index.php?n=2013-17>), пепловые шлейфы протягивались на юго-восток от вулкана [Гирина и др., 2014а].

При внедрении лавовых потоков в ледники на склонах вулкана наблюдались вторичные (фреатические) взрывы, пар и пепел при этом поднимались иногда до 8 км н. у. м. Интенсивное таяние ледников и снежников под действием движущихся лавовых потоков приводило к образованию грязевых потоков во время извержений в 2005 и 2008 гг. (по р. Крутецкая до 27 км в 2005 г.), в 2007 г. (по р. Киргурич до 35 км — до старого аэропорта п. Ключи), в 2013 г. (по р. Студеная 70 км) и др. [Гирина и др., 2007, 2009, 2014а; Федотов, Жаринов, 2007, 2016].

Необычное явление наблюдалось во время извержения 16.09.2009–12.12.2010: вулканологи Я.Д. Муравьев, А.А. Овсянников и Ю.В. Демянчук стали очевидцами образования 8 апреля (по Гринвичу) 2010 г. радиальной трещины, протянувшейся на 1200 м по юго-западному склону Ключевского в пределах высот 3900–4600. Позднее по ней начал изливаться очередной лавовый поток [Муравьев и др., 2010].

Одним из результатов эруптивной активности Ключевского вулкана в XX–XXI вв. является то, что глубокий Крестовский желоб, образовавшийся во

время извержения 1944–1945 гг., к маю 2011 г. был окончательно заполнен лавовым материалом, и основная масса лавовых потоков начала изливаться по Апахончичскому желобу [Гирина и др., 2016; Пийп, 1956].

Крупный шлаковый конус, образовавшийся на вершине вулкана в результате рассматриваемых извержений, заполнил весь его кратер. По мере оттока магмы кратер шлакового конуса, который стал кратером собственно вулкана Ключевской, расширился и углублялся, на его склонах обнажались шлако-лавовые останцы. Например, по данным альпиниста А. Горчакова, выполнившего 6 августа 2011 г. измерения с помощью GPS, кратер представлял собой овал размером 300×200 м; абсолютная высота вулкана составляла 4845 м н. у. м., т.е. высота шлакового конуса была 95 м от кромки старого кратера [Гирина и др., 2012].

По окончании эксплозивно-эффузивных извержений происходил отток магмы по каналу вулкана (магмоводу). При значительных подвижках шлако-лавовой массы, заполняющей магмовод, наблюдались крупные обрушения пирокластики с внутренних склонов кратера, и над вершиной вулкана появлялись пепловые облака. Например, пять эпизодов такой активности вулкана наблюдалось после извержения 2016 г. в период с марта 2017 г. по июль 2019 г. — пепловая колонна поднималась до 10.5 км н. у. м. (до 5.3 км над кратером), пепловые шлейфы протягивались до 600 км от вулкана (см. табл. 2). В эти периоды времени не наблюдалась стромболианская активность вулкана, соответственно, не регистрировалась на спутниковых снимках термальная аномалия в районе его кратера, следовательно, поступления на поверхность земли свежего магматического вещества не было.

ВУЛКАН БЕЗЫМЯННЫЙ

Вулкан Безымянный — один из активнейших вулканов мира, расположен в центральной части Ключевской группы вулканов Камчатки [Гирина и др., 2018б] (см. рис. 1, 2). Первое историческое извержение андезитового вулкана Безымянный началось 22 октября 1955 г. и продолжалось вплоть до его катастрофического извержения 30 марта 1956 г., во время которого был образован эксплозивный кратер глубиной 700 м и диаметром 1.3×2.8 км, было вынесено и перемещено более 3 км^3 пирокластического материала в виде тефры, отложений направленного взрыва и пирокластических потоков [Горшков, 1957; Горшков, Богоявленская, 1965]. Сразу после катастрофы в кратере начал расти экструзивный купол, рост его происходит и поныне [Богоявленская, Кирсанов, 1981; Дубик, Меняйлов, 1969; Кирсанов и др., 1971; Малышев, 2015; Girina, 2013 и др.].

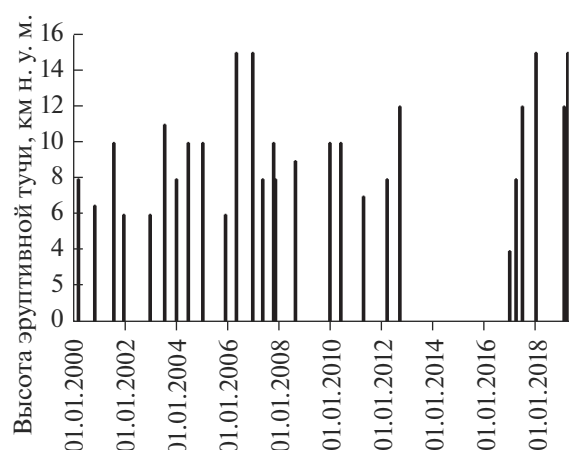


Рис. 6. Высота эруптивных туч над вулканом Безымянный при эксплозивных извержениях в 2000–2019 гг.

В 2000–2012 гг. продолжалась циклическая экструзивно-эксплозивно-эффузивная деятельность вулкана, впервые проявившаяся при извержении 1977 г. [Богоявленская, Кирсанов, 1981]:

- новый цикл активности Безымянного начался ростом экструзивного блока в кратере или на вершине лавового купола;

- затем следовала эксплозивная фаза извержения продолжительностью от 20–30 мин до полутора сут;

- далее длительное (от первых месяцев до полугода) выжимание вязких лавовых потоков на склоны купола;

- спокойная фумарольная активность вулкана (некоторое затишье в его деятельности) до начала нового цикла.

С 2000 г. до июня 2019 г. произошло 27 эксплозивных извержений Безымянного, связанных с ростом экструзивного купола (табл. 3).

Высота эруптивной тучи, поднимавшейся над вулканом, варьировалась от 4 до 15 км н. у. м., т.е. от 1.2 до 12.2 км над вершиной вулкана (рис. 6).

За 12 лет, в период с 2000 по октябрь 2012 гг., произошло 21 эксплозивное извержение Безымянного: по одному в 2002, 2003, 2008, 2009, 2010 и 2011 гг., три в 2007 г. и по два в остальные годы (см. табл. 3). Перерывы между извержениями варьировались от 22 (в 2007 г.) до 485 дней (между 2008 и 2009 гг.).

В течение 2012–2016 гг. вулкан находился в состоянии относительного покоя, связанного, вероятно, с высокой эффузивной активностью Трещинного Толбачинского извержения им. 50-летия ИВиС ДВО РАН в 2012–2013 гг. и четырех извержений вулкана Ключевской в 2012–2013, 2013, 2015 и 2016 гг. [Гирина, 2016; Гирина и др., 2018б].

Таблица 3. Извержения вулкана Безымянный

День, месяц, год начала эксплозивного извержения	UTC	Высота эруптивной колонны, км н. у. м.	Длина пеплового шлейфа, км	Направление распространения пеплового шлейфа	Максимальная величина вулканического дрожания, мкм/с	Длительность вулканического дрожания, ч
13.03.2000	16:25	8	2000	З–СЗ		
01.11.2000	15:20	6.5	300	Ю–З		
06.08.2001	22:28	10	400	Ю	11.7	
16.12.2001	0:00	6		З	1.92	24
25.12.2002	19:20	6	200	З	0.88	6
26.07.2003	8:45	11	300	З–ЮЗ		
13.01.2004	22:50	8	300	С–СВ	3.81	0.5
18.06.2004	19:40	10	1000	С–В	0.43	0.7
11.01.2005	8:02	10	400	З–ЮЗ	0.48	11
30.11.2005	12:00	6	450	З–ЮЗ	0.14	1
09.05.2006	8:21	15	1500	В–СВ	1.01	3.3
24.12.2006	9:17	15	900	С–В	0.77	6.5
11.05.2007	14:45	8	200	С–СВ		
14.10.2007	14:27	10	1000	С–В	1.08	11
05.11.2007	8:43	8	100	З	0.36	1
19.08.2008	10:30	9	1300	З–ЮЗ	0.4	1
16.12.2009	21:45	10	500	З–СЗ	1.1	1.5
31.05.2010	12:34	10	1000	З		
13.04.2011	20:20	7	100	С–СЗ	0.23	3
08.03.2012	21:40	8	200	С–В	0.68	17.5
01.09.2012	19:30	12	500	Ю–В	0.88	2
15.12.2016	6:00	4	120	З	0.1	2.36
09.03.2017	3:10	8	600	С–З, С–СЗ	0.34	6.34
16.06.2017	4:53	12	700	С–В, В	0.4	2
20.12.2017	3:40	15	2000	С–В	0.4	5.25
20.01.2019	16:10	12	600	С–З	0.22	2
15.03.2019	17:30	15	900	В–СВ	0.12	4

За 2.5 года в период с декабря 2016 по июнь 2019 гг. произошло 6 эксплозивных извержений Безымянного: одно – в 2016 г., три – в 2017 г. и два – в 2019 г. Остановимся подробнее на активности вулкана Безымянный в последние годы.

С декабря 2016 до середины 2018 гг. отмечалось выжимание вязких лавовых потоков на западные и южные склоны лавового купола вулкана, на фоне которого произошло четыре эксплозивных извержения с выносом пепла до 15 км н. у. м. (до 12 км над кратером вулкана): 15 декабря 2016 г. и 9 марта, 16 июня и 20 декабря 2017 г. В 2019 г. наблюдалось два извержения вулкана: 20 января и 15 марта. Наиболее сильные пароксизмальные извержения Безымянного в 2016–2019 гг. произошли 20 декабря 2017 г. и 15 марта 2019 г.

Например, эксплозивное извержение 15 декабря 2016 г. с выносом небольшого количества пепла до 4 км н. у. м. произошло спустя 111 дней после обнаружения нового экструзивного тела в кратере вулкана 26 августа и 10 дней после явной активизации вулкана 5 декабря, связанной с началом выжимания вязких лавовых потоков на западный склон лавового купола [Гирина и др., 2018а]. Извержение 9 марта 2017 г. (пепел поднимался до 7–8 км н. у. м.) наблюдалось спустя 94 дня после начала эффузивной деятельности вулкана и 84 дня после первого эксплозивного [Гирина и др., 2018а]. Извержение 16 июня (пепловое облако до 12 км н. у. м., подверглась пеплопадам территория площадью более 108750 км²) (рис. 7) произошло через 99 дней после второго, извержение 20 декабря (эруптивная туча до 15 км н. у. м., основная пло-



Рис. 7. Визуализация в ИС VolSatView распространения пеплового облака от вулкана Безымянный при извержении 16 июня 2017 г. с 04:53 до 21:20 UTC по данным спутника Himawari-8 [Гирина и др., 2017].

щадь территории пеплопадов — около 78 000 км², в том числе на суше — 42600 км²) — через 188 дней после третьего. То есть для проявления сильного эксплозивного извержения вулкана потребовался почти в два раза больший период времени для накопления энергии, чем для каждого из двух предыдущих. Следует отметить также, что если три первых извержения происходили на фоне активных излияний лавовых потоков на склон купола Безымянного, последнее — на фоне снижения или замирания эффузивной деятельности вулкана.

В 2018 г. вулкан был относительно спокоен, к середине февраля температура термальной аномалии в районе вулкана значительно понизилась, что, вероятно, указывало на завершение выжимания вязкого лавового потока на склон купола после эксплозивного извержения 20 декабря 2017 г. С 24 марта по 5 ноября температура аномалии также была повышенной (иногда до 27–28°C), возможно, в связи с ростом и существованием нового небольшого лавового купола, обнаруженного в кратере вулкана при облете на вертолете 9 июля 2018 г. (<http://geoportal.kscnet.ru/volcanoes/imgs/2373.jpg>).

Согласно видео (<https://www.youtube.com/watch?v=Fhbfd9l2fl>) и спутниковым данным, следующее эксплозивное извержение вулкана произошло 20 января 2019 г., спустя 394 дня со времени предыдущего извержения. Эксплозии подняли пепел до 10–12 км н. у. м. (7–9 км над куполом), пепловый шлейф перемещался на северо-запад от вулкана (<http://geoportal.kscnet.ru/volcanoes/imgs/2409.gif> — распространение пеплового шлейфа по данным спутника Himawari-8 в ИС VolSatView), пеплопадам была подвержена территория Камчатки, Магаданской области и части

Охотского моря площадью около 200 тыс. км² (см. табл. 3) [Гирина и др., 2019в].

Постоянные наблюдения за активностью вулкана Безымянный позволили выявить общие черты его подготовки к эксплозивным извержениям [Токарев, 1966; Girina, 2012]. Благодаря комплексному (видео-визуальному и спутниковому) мониторингу вулкана в период с 2002 по 2019 гг. учеными KVERT (Kamchatkan Volcanic Eruption Response Team) ИВиС ДВО РАН было предсказано 14 эксплозивных извержений Безымянного (16.12.2001, 25.12.2002, 11.01.2005, 09.05.2006, 11.05.2007, 14–15.10.2007, 19.08.2008, 31.05.2010, 08.03.2012, 01.09.2012, 09.03.2017, 16.07.2017, 20.12.2017, 15.03.2019) — предупреждения о сильных эксплозивных извержениях вулкана были опубликованы на сайте ИВиС ДВО РАН (KVERT, <http://www.kscnet.ru/ivs/kvert>) за 0.5–24 ч до их начала [Гирина и др., 2017, 2018a; Girina, 2012].

ТРЕЩИННОЕ ТОЛБАЧИНСКОЕ ИЗВЕРЖЕНИЕ В 2012–2013 ГГ.

Большая часть данных о динамике извержения была получена в ходе полевых работ Толбачинской экспедиции ИВиС ДВО РАН, а также при облетах вулкана и выполнении аэрофотосъемки и тепловой съемки лавовых потоков 29 ноября, 13 декабря, 27 декабря 2012 г., 15 февраля и 5 июня 2013 г. [Дроздин и др., 2013; Двигало и др., 2014].

Извержению предшествовало пять месяцев повышенной сейсмичности и деформаций земной поверхности, достигших максимума за день до начала извержения 27 ноября 2012 г. Извержение, длившееся 9 мес., можно условно разделить на три стадии, первая и последняя из которых продолжались около 10 дней и основная — более 8 мес.

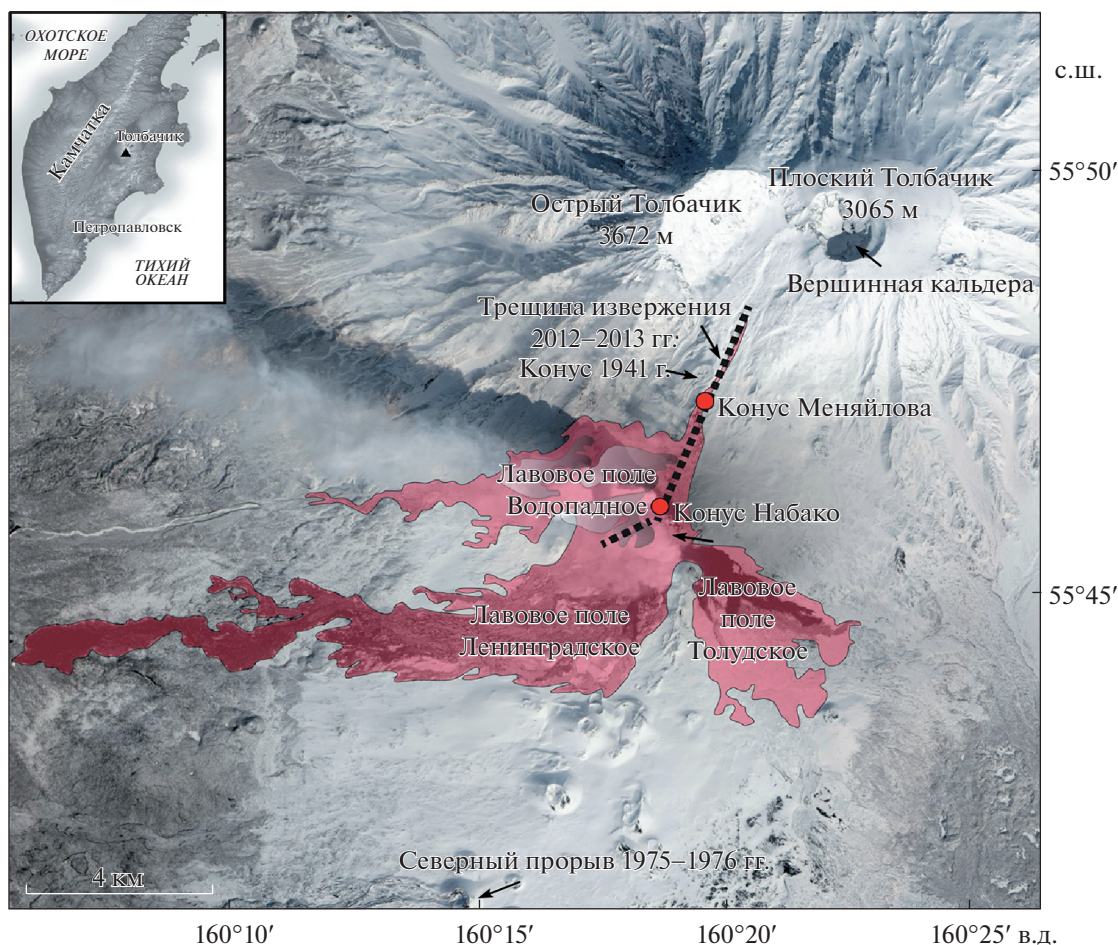


Рис. 8. Схема расположения эруптивных трещин (показаны пунктиром) и лавовых полей, образованных во время Трещинного Толбачинского извержения 2012–2013 гг. (по данным спутника NASA EOS-1 ALI от 5 апреля 2013 г.).

Начальная стадия. Впервые район извержения был осмотрен вечером 28 ноября. Вдоль новообразованной эруптивной трещины на юго-западном склоне вулкана Плоский Толбачик происходили выбросы пепла и раскаленных бомб, сопровождающиеся интенсивным излиянием лавы. Пепловое облако поднималось над трещиной до 3 км. Во время облета района извержения 29 ноября с вертолета были определены наиболее активные две группы жерл: одна в средней части эруптивной трещины на высоте 1850 м н. у. м. (конус Меняйлова), и вторая на высоте 1740 м н. у. м. (конус Набоко) (рис. 8, 9). Конусы были названы в честь известных вулканологов А.А. Меняйлова и С.И. Набоко. Самые верхние лавовые жерла находились на трещине на высоте около 2000 м н. у. м. на юго-восточном подножии конуса 1941 г.; самые нижние — на высоте около 1500 м н. у. м. на западном подножии конуса Красный. Два крупных лавовых потока типа “аа” двигались на запад и юго-запад со скоростью до 200 м/ч по местности, покрытой снегом толщиной 0.1–0.5 м. Эти

первые потоки в дальнейшем сформировали два сложнопостроенных лавовых поля Водопадное и Ленинградское, названных по захороненным ими двум полевым базам ИВиС ДВО РАН (см. рис. 2). Водопадное поле образовано лавой, излившейся из верхней части эруптивной трещины, Ленинградское — в основном из ее нижней части.

Согласно аэрофотосъемке 29 ноября 2012 г., лавовые потоки покрывали площадь 14.46 км², общий объем изверженной лавы был 0.072 км³. Средний уровень расхода лавы в начальный период извержения (27 ноября–1 декабря) составлял 440 м³/с [Двигало и др., 2014]. Первые порции изверженной лавы содержали 54% SiO₂, позднее его содержание снизилось до 52% [Volynets et al., 2015].

Жерла, расположенные в верхней части эруптивной трещины (включая кратер Меняйлова), перестали работать к 1 декабря 2012 г. Большинство жерл нижней части трещины (кроме кратера Набоко) — к 8 декабря 2012 г. Граница Водопадного лавового поля прошла на высоте 705 м н. у. м.,



Рис. 9. Шлаковый конус Набоко, вид с юга в июле 2013 г. Вертикальные струи дегазации (справа налево): основной кратер с лавовым озером, боковое жерло и газовая отдушина в кровле лавовой трубы. Фото А.Б. Белоусова.

потоки имели мощность до 10 м, длину 8.5 км и объем 0.043 км^3 [Двигало и др., 2014]. Ленинградское поле, лава в которое поступала из конуса Набоко, продолжало увеличиваться, к 8 декабря его длина превысила 10 км, фронтальная часть лавового потока находилась в лесу на высоте 700 м н. у. м.

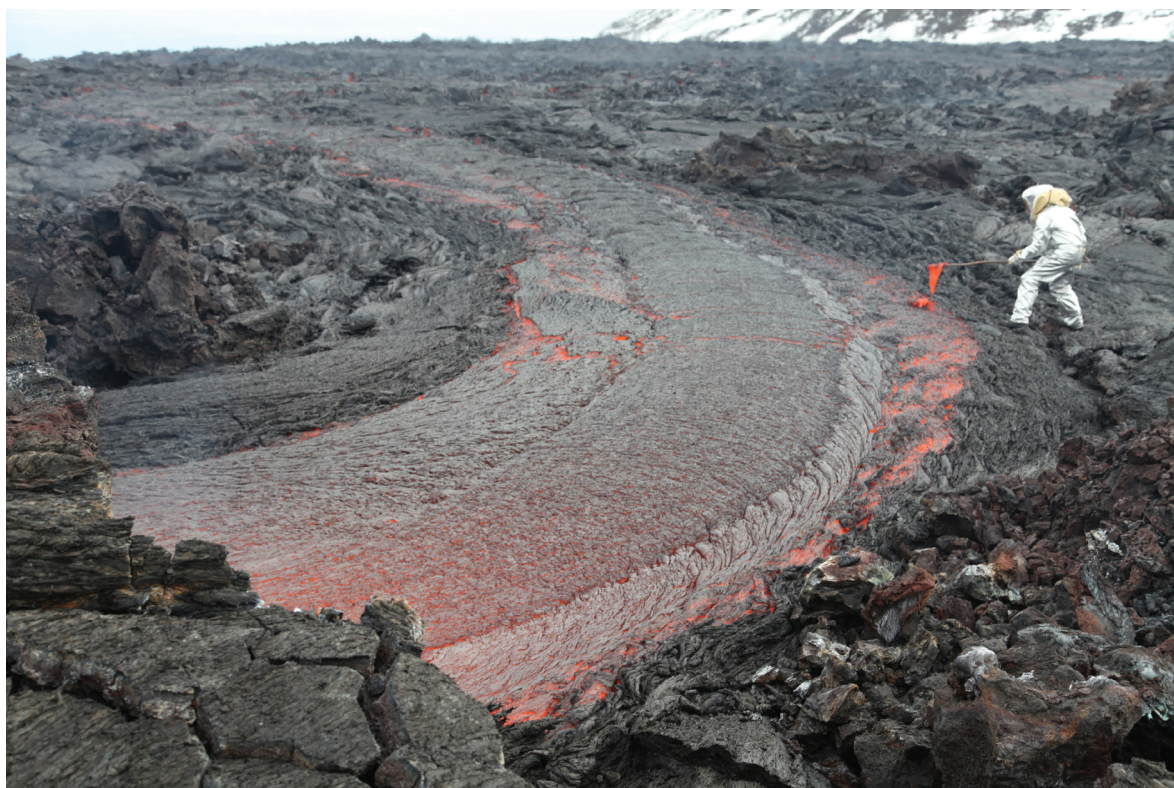
Основная стадия. Фонтанирование лавы в конусе Набоко (1740 м н. у. м.) и излияние из него лавовых потоков продолжались до конца извержения, характер которого постепенно менялся. В кратере конуса Набоко сформировалось небольшое лавовое озеро, оно непрерывно бурлило, выбрасывая фонтаны жидкой лавы, легкий вулканический шлак и волосы Пеле. Лава вытекала из него через широкий разрыв южного склона и двигалась в открытом глубоком узком (5–10 м шириной) каньоне по агглютинированным отложениям шлака (рис. 10). Скорость потока лавы в канале составляла 2–3 м/с, температура лавы $1060\text{--}1080^\circ\text{C}$.

К середине декабря расход лавы снизился с $140 \text{ м}^3/\text{с}$ до $18 \text{ м}^3/\text{с}$ [Двигало и др., 2014]. Ленинградское лавовое поле протянулось на 18 км и стало наращивать площадь и толщину. В январе началось формирование Толудского лавового поля, в конце августа 2013 г. его длина составляла 4.3 км (см. рис. 8).

Ближайшая к конусу Набоко часть лавового каньона трансформировалась в короткую лавовую трубу. В дальнейшем лава вытекала из лавового озера конуса по трубам, имевшим средний диаметр около 10 м с градиентом уклона около 3° , выходила она на поверхность на некотором расстоянии от конуса.

В ходе извержения лавовые трубы меняли конфигурацию, на заключительном этапе извержения лава двигалась на протяжении нескольких километров от конуса Набоко по сложной системе лавовых труб, скрытых в толще лавового поля на глубине от 1 до 20 м. Течение лавы можно было наблюдать через несколько газовых отдушин в кровле труб, а также на фронтальных частях лавового поля [Belousov et al., 2015]. На отдельных участках лавового поля через поверхность потоков “аа” медленно выдавливалась пластичная лава, принимая форму почти сферических подушек (см. рис. 9). К концу мая, когда расход лавы уменьшился примерно до $15 \text{ м}^3/\text{с}$, лавы “пахойхой” стали преобладать и сформировали обширные покровы в южном секторе лавового поля. В течение лета уровень лавы в лавоводах постепенно понижался, и к осени они полностью опустели. В результате длительной эффузивной деятельности образовалось лавовое поле, состоящее из пере-

(a)



(б)



Рис. 10. Лавовые потоки во время Трещинного Толбачинского извержения 2012–2013 гг.: лавовая река, выходящая из лавовой трубы в 1 км от конуса Набоко, май 2013 г. (а); “пахойхой” потоки на Толудском лавовом поле, движущиеся по шлаку 1975–1976 гг., июль 2013 г. (б). Фото А.Б. Белоусова.

скаивания многочисленных потоков лавы типа “аа” и “пахойхой” трахиандеизабазальтового состава. В конце основной стадии общая площадь лавового поля достигла 40 км², максимальная мощность лавовых наслоений — 70 м.

Лавовое озеро в кратере конуса Набоко изменялось на протяжении извержения: первоначально из него свободно изливалась лава через брешь в конусе; во время эксплозий лава из него выплескивалась; когда брешь в конусе была заполнена шлаком, лавовое озеро приобрело овальную форму размером 50 × 25 м. В июле—августе озеро разделилось на два круглых озера диаметром по 10 м, во второй половине августа оно исчезло. В боковом жерле конуса Набоко небольшое лавовое озеро почти не менялось в течение основной стадии извержения.

Интенсивность эксплозивной активности кратера Набоко также менялась: максимальная активность (лавовые фонтаны и выбросы вулканических бомб до 300 м над кратером) была в первые два месяца извержения, затем средняя высота выбросов тефры снизилась до 100 м.

Заключительная стадия. 23 августа расход лавы упал с 10–20 м³/с до нуля. В кратере Набоко исчезло лавовое озеро, продолжались только слабые выбросы стромболианского типа на высоту до 30 м с паузами продолжительностью до трех дней. В начале сентября активность вулкана полностью прекратилась.

К концу извержения высота конуса Набоко была 125 м, основной кратер имел диаметр 100 м и глубину 30 м. За 9 месяцев было извержено около 0.55 км³ трахиандеизабазальтовой лавы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В 2000–2019 гг. произошло 42 извержения четырех вулканов Северной группы Камчатки. В 2012–2013 гг. одновременно извергались четыре вулкана: на фоне продолжавшегося с 2001 г. экстремивно-эксплозивно-эффузивного извержения Шивелуча произошли извержения: 8 марта и 1 сентября — Безымянного, с 1 сентября 2012 г. по 10 января 2013 г. — Ключевского и с 27 ноября 2012 г. по 15 сентября 2013 г. — Трещинное Толбачинское (см. табл. 1–3). Три вулкана часто работали в сближенных временных интервалах в течение одного года. Например, высокая активность вулканов Шивелуч, Ключевской и Безымянный регистрировалась в 2005, 2010 и 2017 гг. В 2005 г. 11 января наблюдалось извержение Безымянного, 15 января началось извержение Ключевского, продолжавшееся в течение трех месяцев, на фоне которого 27 февраля произошло самое мощное с 1964 г. извержение Шивелуча; кроме этого, 22 сентября и 30 ноября были отмечены, соответственно, извержения Шивелуча и Безымянного

(см. табл. 1–3). В 2010 г. на фоне извергавшегося с 16 сентября 2009 г. по 12 декабря 2010 г. Ключевского, произошло два мощных извержения — Безымянного 31 мая и Шивелуча 27 октября. В июне 2017 г. на фоне эруптивной деятельности вулкана Ключевской произошло крупное эксплозивное событие Шивелуча 14 июня и пароксизмальное Безымянного 16 июня [Гирина и др., 2018б].

Активность вулканов Северной группы Камчатки продолжается. Хотя имеется долговременный непрерывный ряд инструментальных наблюдений различными методами (геологическими, геофизическими, видео, спутниковыми и т.д.) за эруптивной деятельностью вулканов, остается достаточно много нерешенных научных задач и вопросов, связанных с глубинным строением вулканов, зонами генерации магмы, образованием магмы различного состава (от базальтов до дацитов), прогнозом извержений и т.д. Для решения этих проблем необходимо продолжать изучение и детальный мониторинг вулканов, применяя современные методы. Комплексный анализ всех имеющихся о вулканах данных позволит в будущем решить поставленные задачи.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 19-05-00401-А).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Богоявленская Г.Е., Кирсанов И.Т. Двадцать пять лет вулканической активности вулкана Безымянный // Вулканология и сейсмология. 1981. № 2. С. 3–13.
- Гирина О.А. Спутниковые данные высокого разрешения для уточнения положения разломных зон в пределах Ключевской группы вулканов Камчатки // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 6. С. 148–156. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2016-13-6-148-156>
- Гирина О.А., Демянчук Ю.В., Мельников Д.В. и др. Извержение вулкана Ключевской в 2015 г. и его опасность для авиации // Вулканизм и связанные с ним процессы // Материалы XVIII региональной научной конференции, посвященной Дню вулканолога, 30 марта–1 апреля 2015 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2016. С. 16–20. http://www.kscnet.ru/ivs/publication/volc_day/2015/art3.pdf
- Гирина О.А., Демянчук Ю.В., Мельников Д.В. и др. Пароксизмальная фаза извержения вулкана Молодой Шивелуч, Камчатка, 27 февраля 2005 г. (предварительное сообщение) // Вулканология и сейсмология. 2006. № 1. С. 16–23.
- Гирина О.А., Лупян Е.А., Мельников Д.В. и др. Извержение вулкана Безымянный 20 декабря 2017 года // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018а. Т. 15. № 3. С. 88–99. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2018-15-3-88-99>
- Гирина О.А., Лупян Е.А., Мельников Д.В. и др. Создание и развитие информационной системы “Дистанционный

- мониторинг активности вулканов Камчатки и Курил” // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019а. Т. 16. № 3. С. 249–265. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2019-16-3-249-265>
- Гирина О.А., Лупян Е.А., Сорокин А.А. и др. Комплексный мониторинг эксплозивных извержений вулканов Камчатки / Отв. ред. О.А. Гирина. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2018б. 192 с. <https://elibrary.ru/item.asp?id=37061627>
- Гирина О.А., Маневич А.Г., Малик Н.А. и др. Действующие вулканы Камчатки и Северных Курил в 2005 г. // Вулканология и сейсмология. 2007а. № 4. С. 29–40. <http://elibrary.ru/item.asp?id=9534938>
- Гирина О.А., Маневич А.Г., Мельников Д.В. и др. Активность вулканов Камчатки в 2013 г. // Вулканизм и связанные с ним процессы // Материалы региональной конференции, посвященной Дню вулканолога, 27–28 марта 2014 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2014а. С. 38–45. http://www.kscnet.ru/ivs/publication/volc_day/2014/art6.pdf
- Гирина О.А., Маневич А.Г., Мельников Д.В. и др. Извержения вулканов Камчатки и Северных Курил в 2016 г. и их опасность для авиации // Вулканология и сейсмология. 2019б. № 3. С. 34–48. <https://doi.org/10.31857/S0205-96142019334-48>
- Гирина О.А., Маневич А.Г., Мельников Д.В. и др. Извержения вулкана Ключевской в 2012–2013 гг. // Вулканизм и связанные с ним процессы // Материалы региональной конференции, посвященной Дню вулканолога, 27–28 марта 2014 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2014б. С. 46–52. http://www.kscnet.ru/ivs/publication/volc_day/2014/art7.pdf
- Гирина О.А., Маневич А.Г., Мельников Д.В. и др. Активность вулканов Камчатки в 2011 г. // Вулканизм и связанные с ним процессы // Материалы региональной научной конференции, посвященной Дню вулканолога (к 50-летию ИВиС ДВО РАН), Петропавловск-Камчатский, 29–30 марта 2012 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2012. С. 28–33.
- Гирина О.А., Маневич А.Г., Ушаков С.В. и др. Активность вулканов Камчатки в 2010 г. // Вулканизм и связанные с ним процессы // Материалы региональной научной конференции, посвященной Дню вулканолога, Петропавловск-Камчатский, 30 марта–1 апреля 2011 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2011. С. 19–24. http://www.kscnet.ru/ivs/publication/volc_day/2011/art4.pdf
- Гирина О.А., Мельников Д.В., Маневич А.Г. Спутниковый мониторинг вулканов Камчатки и Северных Курил // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2017. Т. 14. № 6. С. 194–209. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2017-14-6-194-209>
- Гирина О.А., Мельников Д.В., Маневич А.Г. и др. Извержение вулкана Безымянный 20 января 2019 г. // Вулканизм и связанные с ним процессы // Материалы XXII Всероссийской научной конференции, посвященной Дню вулканолога, 28–29 марта 2019 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2019в. С. 59–62.
- Гирина О.А., Ушаков С.В., Демянчук Ю.В. Пароксизмальное извержение вулкана Молодой Шивелуч, Камчатка, 9 мая 2004 г. // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2007б. № 2. Вып. 10. С. 65–73.
- Гирина О.А., Ушаков С.В., Малик Н.А. и др. Действующие вулканы Камчатки и о. Парамушир Северных Курил в 2007 г. // Вулканология и сейсмология. 2009. № 1. С. 3–20. <http://elibrary.ru/item.asp?id=11687742>
- Гонтовая Л.И., Попруженко С.В., Низкоус И.В. Структура верхней мантии зоны перехода океан–континент в районе Камчатки // Вулканология и сейсмология. 2010. № 4. С. 13–29.
- Гонтовая Л.И., Хренов А.П., Степанова М.Ю., Сенюков С.Л. Глубинная модель литосферы в районе Ключевской группы вулканов (Камчатка) // Вулканология и сейсмология. 2004. № 3. С. 3–11.
- Горбач Н.В. Первый лавовый поток на экструзивном куполе вулкана Шивелуч, 2004 г. // Вулканология и сейсмология. 2006. № 2. С. 9–16.
- Горбач Н.В., Гавриленко М.Г., Филофова Т.М. Химический и минеральный составы продуктов извержения вулкана Молодой Шивелуч в сентябре 2016 г. // Вулканизм и связанные с ним процессы // Материалы XX региональной научной конференции, посвященной Дню вулканолога, 30–31 марта 2017 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2017. С. 26–29.
- Гордеев Е.И., Гирина О.А., Лупян Е.А. и др. Информационная система VolSatView для решения задач мониторинга вулканической активности Камчатки и Курил // Вулканология и сейсмология. 2016. № 6. С. 62–77. <https://doi.org/10.7868/S0203030616060043>
- Горельчик В.И., Гарбузова В.Т., Дроздин Д.В. и др. Вулкан Шивелуч: глубинное строение и прогноз извержений по данным детальной сейсмичности в 1962–1994 гг. // Вулканология и сейсмология. 1995. № 4. С. 54–75.
- Горшков Г.С. Извержение сопки Безымянной // Бюлл. вулканол. станций. 1957. № 26. С. 19–72.
- Горшков Г.С., Бояговльская Г.Е. Вулкан Безымянный и особенности его последнего извержения 1955–1963 гг. М.: Наука, 1965. 172 с.
- Горшков Г.С., Дубик Ю.М. Направленный взрыв на вулкане Шивелуч // Вулканы и извержения / Отв. ред. Г.С. Горшков. М.: Наука, 1969. С. 3–37.
- Двигало В.Н., Свирид И.Ю., Шевченко А.В. Первые количественные оценки параметров трещинного Толбачинского извержения 2012–2013 гг. по данным аэрофотограмметрических наблюдений // Вулканология и сейсмология. 2014. № 5. С. 3–11.
- Дроздин В.А., Дубровская И.К., Чирков С.А. Термоизображения района трещинного Толбачинского извержения им. 50-летия ИВиС // Вулканизм и связанные с ним процессы // Материалы конференции, посвященной Дню вулканолога, 29–30 марта 2013 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2013. С. 57–62.
- Дубик Ю.М., Меняйлов И.А. Новый этап эруптивной деятельности вулкана Безымянный // Вулканы и извержения / Отв. ред. Г.С. Горшков. М.: Наука, 1969. С. 38–77.
- Жаринов Н.А., Демянчук Ю.В. Рост экструзивного купола вулкана Шивелуч (Камчатка) в 1980–2007 гг. по геодезическим наблюдениям и видеосъемке // Вулканология и сейсмология. 2008. № 4. С. 3–13.
- 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.
- Жаринов Н.А., Демянчук Ю.В. Вершинные извержения вулкана Ключевской (Камчатка) в начале XXI столетия, 2003–2013 гг. // Вулканология и сейсмология. 2016. № 1. С. 1–18.
- Жаринов Н.А., Демянчук Ю.В., Борисов И.А. Извержения вулкана Ключевской в 2015–2016 гг. // Вулканология и сейсмология. 2018. № 2. С. 3–13.

- Мелекесцев И.В., Волинец О.Б., Ермаков В.А. и др. Вулкан Шивелуч. Действующие вулканы Камчатки (в 2-х томах). Т. 1 / Под ред. С.А. Федотова, Ю.П. Масуренкова. М.: Наука, 1991. С. 84–103.
- 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.
- Кирсанов И.Т., Студеникин Б.Ю., Рожков А.М. и др. Новый этап извержения вулкана Безымянного // Бюлл. вулканол. станций. 1971. № 47. С. 8–14.
- Малышев А.И. Газовый фактор в эндогенных процессах. Екатеринбург: УрО РАН, 2015. 324 с.
- Нуждаев А.А., Гирина О.А., Мельников Д.В. Некоторые результаты изучения пирокластических отложений извержений 28 февраля и 22 сентября 2005 г. вулкана Молодой Шивелуч наземными и дистанционными методами // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2005. № 2. Вып. 6. С. 62–66.
- Овсянников А.А., Маневич А.Г. Извержение вулкана Шивелуч в октябре 2010 г. // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2010. № 2. Вып. 16. С. 7–9.
- Озеров А.Ю., Демянчук Ю.В. Пароксизмальное извержение вулкана Молодой Шивелуч 10 мая 2004 г. // Вулканология и сейсмология. 2004. № 5. С. 75–80.
- 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. 1956. Вып. 11. 311 с.
- Токарев П.И. Извержения и сейсмический режим вулканов Ключевской группы. М.: Наука, 1966. 120 с.
- Федотов С.А., Двигало В.Н., Жаринов Н.А. и др. Извержение вулкана Шивелуч в мае–июле 2001 г. // Вулканология и сейсмология. 2001. № 6. С. 3–15.
- 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., Жаринов Н.А., Гонтовая Л.И. Магматическая питающая система Ключевской группы вулканов, Камчатка, по данным об ее извержениях, деформациях и глубинном строении // Вулканология и сейсмология. 2010. № 1. С. 3–35.
- Федотов С.А., Жаринов Н.А., Двигало В.Н. и др. Эруптивный цикл вулкана Шивелуч в 2001–2004 гг. // Вулканология и сейсмология. 2004. № 6. С. 3–14.
- Хренов А.П., Двигало В.Н., Кирсанов И.Т. и др. Вулкан Ключевской // Действующие вулканы Камчатки (в 2-х томах). Т. 1 / Под ред. С.А. Федотова, Ю.П. Масуренкова. М.: Наука, 1991. С. 106–153.
- Belousov A., Belousova M., Edwards B. et al. Overview of the precursors and dynamics of the 2012–13 basaltic fissure eruption of Tolbachik Volcano, Kamchatka, Russia // Journal of Volcanology and Geothermal Research. 2015. V. 307. P. 22–37.
- Girina O.A. Chronology of Bezymianny volcano activity, 1956–2010 // J. Volcanology and Geothermal Research. 2013. V. 263. P. 22–41.
<https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2013.05.002>
- Girina O.A. On precursor of Kamchatkan volcanoes eruptions based on data from satellite monitoring // J. Volcanology and Seismology. 2012. V. 6. № 3. P. 142–149.
<https://doi.org/10.1134/S0742046312030049>
- Girina O.A., Senyukov S.L., Demyanchuk Yu.V. et al. The eruption of Sheveluch volcano, Kamchatka, on May 10, 2004 // 4rd International Biennial Workshop on Subduction Processes emphasizing the Japan–Kurile–Kamchatka–Aleutian Arcs (JKASP), Petropavlovsk–Kamchatsky, August 21–27, 2004. Petropavlovsk–Kamchatsky: IVS FED RAS, 2004. P. 17–18.
- Volynets A.O., Edwards B.R., Melnikov D.V. et al. Monitoring of the volcanic rock compositions during the 2012–2013 fissure eruption at Tolbachik volcano, Kamchatka // J. Volcanology and Geothermal Research. 2015. V. 307. P. 120–132.

Eruptions of Volcanoes of the Northern Group of Kamchatka at the beginning of the XXI century

A. Yu. Ozerov¹, *, O. A. Girina¹, **, N. A. Zharinov¹, A. B. Belousov¹, and Yu. V. Demyanchuk¹

¹Institute of Volcanology and Seismology, Far East Branch, Russian Academy of Sciences, bulvar Piipa, 9, Petropavlovsk–Kamchatsky, 683006 Russia

*e-mail: ozerov@kscnet.ru

**e-mail: girina@kscnet.ru

At the beginning of the XXI century, increased eruptive activity of the largest volcanoes of the Northern group of Kamchatka is observed: Sheveluch, Klyuchevskoy, Bezymianny and Tolbachinskay fissure zone. The features of growth of andesitic Sheveluch volcano extrusive dome are noted: the height of the dome has reached 600 m during 38 years of almost continuous eruptive activity. After an eight-year period of relative rest, nine terminal eruptions and two lateral breakthroughs of the Klyuchevskoy basalt volcano occurred. Explosive-effusive eruptions of the andesitic Bezymianny volcano were observed almost annually. After 36 years of rest, a new eruption occurred in the Tolbachinsky regional fissure zone.

Keywords: volcano, eruption, Sheveluch, Klyuchevskoy, Bezymianny, Tolbachinsky fissure zone, Kamchatka.