

УДК 551.435.627+528.74

## ПЕРВЫЕ КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ ТРЕЩИННОГО ТОЛБАЧИНСКОГО ИЗВЕРЖЕНИЯ 2012–2013 гг. ПО ДАННЫМ АЭРОФОТОГРАММЕТРИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

© 2014 г. В. Н. Двигало<sup>1</sup>, И. Ю. Свирид<sup>1,2</sup>, А. В. Шевченко<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН  
683006 Петропавловск-Камчатский, бульвар Пийпа, 9  
e-mail: dvig@kscnet.ru

<sup>2</sup>Камчатский государственный университет им. Витуса Беринга  
683032 Петропавловск-Камчатский, ул. Пограничная, 4  
e-mail: svirid@kscnet.ru

Поступила в редакцию 04.12.2013 г.

Приведены результаты количественных оценок параметров Трещинного Толбачинского извержения 2012–2013 гг. (ТТИ) за период с 27.11.2012 по 05.06.2013. Показано, что наибольшую интенсивность извержение имело в первые двое суток (при среднем расходе лавы 440 м<sup>3</sup>/с), когда вдоль всей зоны трещин действовало наибольшее количество лавовых жерл. В последующие две недели расход снижался (среднее значение 140 м<sup>3</sup>/с). Со второй половины декабря 2012 г. по июнь 2013 г. излияние лав происходило почти равномерно – с расходом близким к 18 м<sup>3</sup>/с. Извержение было преимущественно эффузивным. За 6 мес. излилось 0.52 км<sup>3</sup> лавы, которой была покрыта поверхность площадью 35.23 км<sup>2</sup>. Объем пирокластики на удалении до 1.5 км от зоны новых трещин не превысил 0.1 км<sup>3</sup>. Составлены карты, определяющие положение трещинной зоны, основных жерл и лавовых потоков на склоне вулкана Плоский Толбачик. Установлено, что провал 1975–1976 гг. в малой вершинной кальдере Плоского Толбачика за время Трещинного Толбачинского извержения 2012–2013 гг. почти не изменился.

DOI: 10.7868/S0203030614050022

### ВВЕДЕНИЕ

Трещинное Толбачинское извержение 2012–2013 гг. (ТТИ) происходило на гребне северной части пологого увала [Большое трещинное..., 1984], протянувшегося к юго-западу от вершины Плоского Толбачика и сформированного как обвальными отложениями склонов вулкана, так и материалом прежних многочисленных трещинных извержений. ТТИ началось после непродолжительной сейсмической подготовки 27.11.2012 в 17:15 по местному времени [Гордеев и др., 2013; Gordeev et al., 2013] с образования разрывов субмеридионального простирания. В первые часы извержение происходило из жерл, возникших на протяжении всей новообразованной зоны разрывов, но уже к концу вторых суток локализовалось на двух участках – центральном (имени И.А. Меняйлова) и южном (имени С.И. Набоко). Именно эти центры извержения стали источниками поступления на поверхность основного объема лав и пирокластики.

### МЕТОДИКА РАБОТЫ

Изучение количественных параметров ТТИ 2012–2013 гг., как и БТТИ, случившегося в этой трещинной зоне (в 7 км южнее) в 1975–1976 гг.,

производилось в основном посредством стереофотограмметрической обработки аэрофотоснимков. Всего во время извержения аэрофотосъемка района ТТИ была выполнена 3 раза. Впервые, менее чем через двое суток после начала извержения (около 14:00, 29.11.2012), А.В. Сокоренко произвел перспективную аэрофотосъемку лавовых потоков ручной цифровой камерой Canon EOS 20D с объективом EF14mm f/2.8L USM. Повторные (плановые) аэрофотосъемки всей площади извержения выполнялись В.Н. Двигало 13.12.2012 и 05.06.2013. В этих двух случаях применялся топографический аэрофотоаппарат АФА-ТЭ 140, имеющий фокусное расстояние 139.53 мм и формат кадра 18 × 18 см. Съемки производились с вертолета Ми-8 на высоте 4200 м.

Стереофотограмметрическая модель затронутой извержением поверхности, соответствующая ее состоянию до ТТИ 2012–2013 гг., была построена на основе аэрофотоснимков 19.09.1987. Планово-высотная подготовка всех снимков осуществлена посредством фотограмметрического сгущения опорной геодезической сети. За основу была взята сеть точек, созданная лабораторией геодезии Института вулканологии ДВНЦ АН СССР в 1975–1977 гг. [Большое трещинное..., 1984]. Использо-

вались также точки с известными отметками (надежно опознанные на аэрофотоснимках) топографических карт масштаба 1 : 25000.

Фотограмметрическая обработка плановых и перспективных стереопар выполнена в цифровой фотограмметрической системе PHOTOMOD 4.3.

Количественные оценки площадей и объемов лав на 06.03.2013 г. производились с использованием одиночного снимка спутника EO-1 (NASA). Чаще всего определить объем лав по одному снимку невозможно. Но в данном случае одна из особенностей ТТИ 2012–2013 гг. позволила обойти это ограничение. Она заключается в том, что в пределах лавового поля ТТИ оказалось много выступающих над свежей лавой фрагментов подстилающей поверхности (крупных и мелких шлаковых конусов, бугров и выступов старых лавовых потоков). По ортотрансформированному и масштабированному снимку EO-1 были легко определены контуры выступающих над поверхностью свежих лавовых потоков элементов прежнего рельефа и их площади. Этих данных, при сопоставлении с ориентированной стереофотограмметрической моделью подстилающей поверхности, оказалось вполне достаточно для определения уровня, до которого оказались залитыми лавой возвышающиеся над ней фрагменты исходного рельефа. Полученные таким образом мощности, а также площади новых лавовых потоков, измеренные по их контурам, позволяют вычислить близкую к достоверной цифру объема. Точность подобных определений объемов лав зависит главным образом от количества и расположения островков старой поверхности в пределах нового лавового поля. Конечно, точность таких оценок всегда будет ниже точности методов, основанных на использовании плотных цифровых моделей рельефа (ЦМР), но при отсутствии аэрофототопографических или спутниковых стереоскопических снимков высокого разрешения они могут быть вполне приемлемыми.

### СТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ ТРЕЩИН ПО ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКИМ ДАННЫМ

Все распознанные по аэрофотоснимкам 13.12.2012 г. на заснеженной поверхности района извержения разрывы разместились в интервале высот от 1460 до 2358 м. Общая длина зоны разрывов достигла 6 км. Ее наибольшая ширина — в

районе жерл Меняйлова — не менее 350 м. План наиболее крупных разрывов, показывающий их взаимное расположение на склоне Плоского Толбачика, и положение относительно его малой кальдеры представлен на рис. 1.

Большая часть трещин, эксплозивных и эффузивных центров образовалась между нижним жерлом Меняйлова и конусом извержения 1941 г. По-видимому, именно на этом участке, протяженностью 2 км, произошло внедрение основного объема магматического вещества в первые моменты извержения. От верхних лавовых жерл Меняйлова до подножия конуса 1941 г. на стереофотограмметрических моделях отчетливо просматривается лавовод. Его длина — 1200 м. По поверхности он трассируется трещинами (местами шириной более 10 м), эксплозивными и провальными формами. Вблизи конуса 1941 г. через трещину в кровле лавовода на глубине 20 м хорошо просматривается лава. В нижней части лавовода (в 430 м к северу от верхнего лавового жерла Меняйлова) над ним образовались провалы. Высота западных стенок самого крупного — до 62 м, восточных — до 45 м, диаметр по верху 109 м. Этот лавовод и жерла Меняйлова действовали только несколько первых суток. Сопоставление изображений аэрофотосъемки 13.12.2012 г. с последующими показало полную идентичность поверхности лавы в этих местах.

Продолжение разрыва в сторону Плоского Толбачика расположено в нижней части ЮВ склона конуса прорыва 1941 г. Здесь возникла трещина длиной 215 м. Вдоль трещины насчитывается 12 эффузивных жерл, из которых произошло очень кратковременное излияние потоков жидкой лавы.

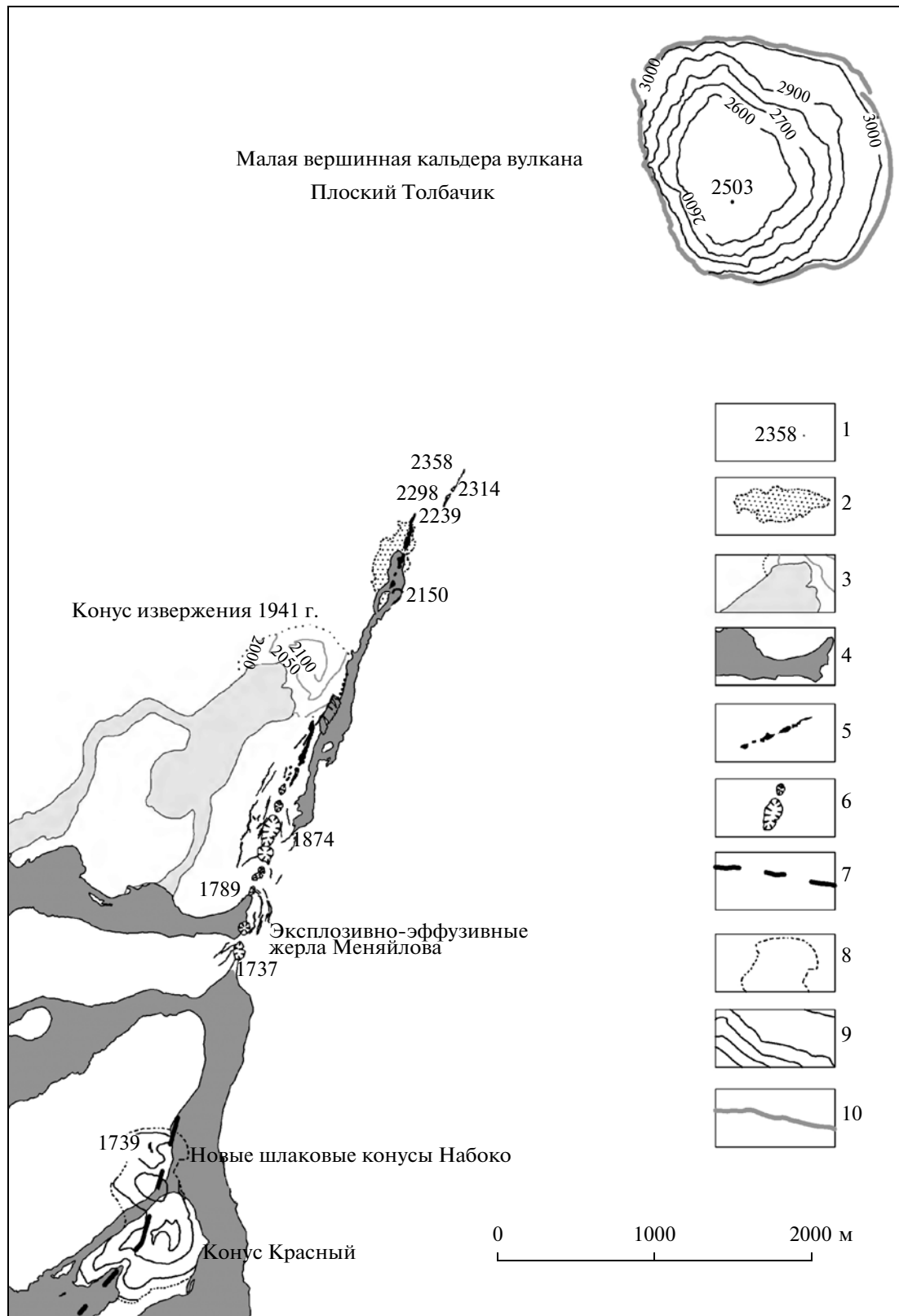
Выше конуса 1941 г. четко дешифрируются только одиночные трещины. На ближайшей к нему (в интервале высот 2150–2239 м, длина 500 м), распознается не менее 9 эксплозивных и эффузивных жерл.

Следующие (выше по склону) следы разрывов проявились двумя отдельными проплавленными во льду воронками. Нижняя разместилась на высоте 2298 м. Ее диаметр 20 м, средняя глубина 6 м. Верхняя, на отметке 2314 м, имеет глубину 5 м и размеры по верхней кромке 19 × 29 м.

Ближайшие к новой кальдере Плоского Толбачика трещины уверенно просматриваются до высоты 2358 м. Расстояние северной оконечности

**Рис. 1.** План расположения трещинной зоны, лавовых и эксплозивных жерл ТТИ на склоне вулкана Плоский Толбачик.

1 — высотные отметки; 2 — границы отложений пирокластики вокруг эксплозивных жерл северной части зоны разрывов; 3 — конус и лавовое поле извержения 1941 г.; 4 — лавовые поля ТТИ 2012–2013 гг.; 5 — зияющие трещины, цепочки эксплозивных и эффузивных жерл; 6 — наиболее крупные провальные воронки и эксплозивно-эффузивные жерла на лавоводе; 7 — перекрытая лавой и пирокластикой нижняя часть трещины в районе конусов Красный и Набоко; 8 — контур основания новых конусов Набоко; 9 — горизонталь на новых шлаковых конусах Набоко; 10 — контур малой кальдеры Плоского Толбачика.



Количественные характеристики Трещинного Толбачинского извержения в период 29.11.2012–05.06.2013

Дата получения исходных материалов	Площадь лавовых потоков, км <sup>2</sup>	Объем лавы, км <sup>3</sup>	Расход лавы, м <sup>3</sup> /сек
29.11.2012	14.46	0.072	440
13.12.2012	22.83	0.243	140
06.03.2013	28.74	0.370	18
05.06.2013	35.23	0.520	19

трещины (ее видимого на стереомодели следа) от нижней точки дна кальдеры (отметка 2503 м) составило в плане 2420 м, по высоте 145 м.

Ниже жерл Меняйлова разрыв (с азимутом, близким к 200°) трассируется под СЗ склон конуса Красный, где, резко изменив направление (до азимута около 220°), распространяется от него к ЮЗ не менее чем на 900 м. Вдоль этого участка трещины в процессе извержения происходили наиболее интенсивные выбросы пирокластики, образовавшей группу конусов Набоко и клешне-

образную пристройку к ЮЗ склонам конуса Красный. Здесь же излился основной объем лав.

### ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОСЛЕДСТВИЙ ЭФФУЗИВНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Количественные данные по площадям, покрытым новыми потоками лавы, их объемам на каждую дату определений и средним расходам лавы, приведены в таблице и на графике (рис. 2). Объемы изверженных лав и пирокластики на все

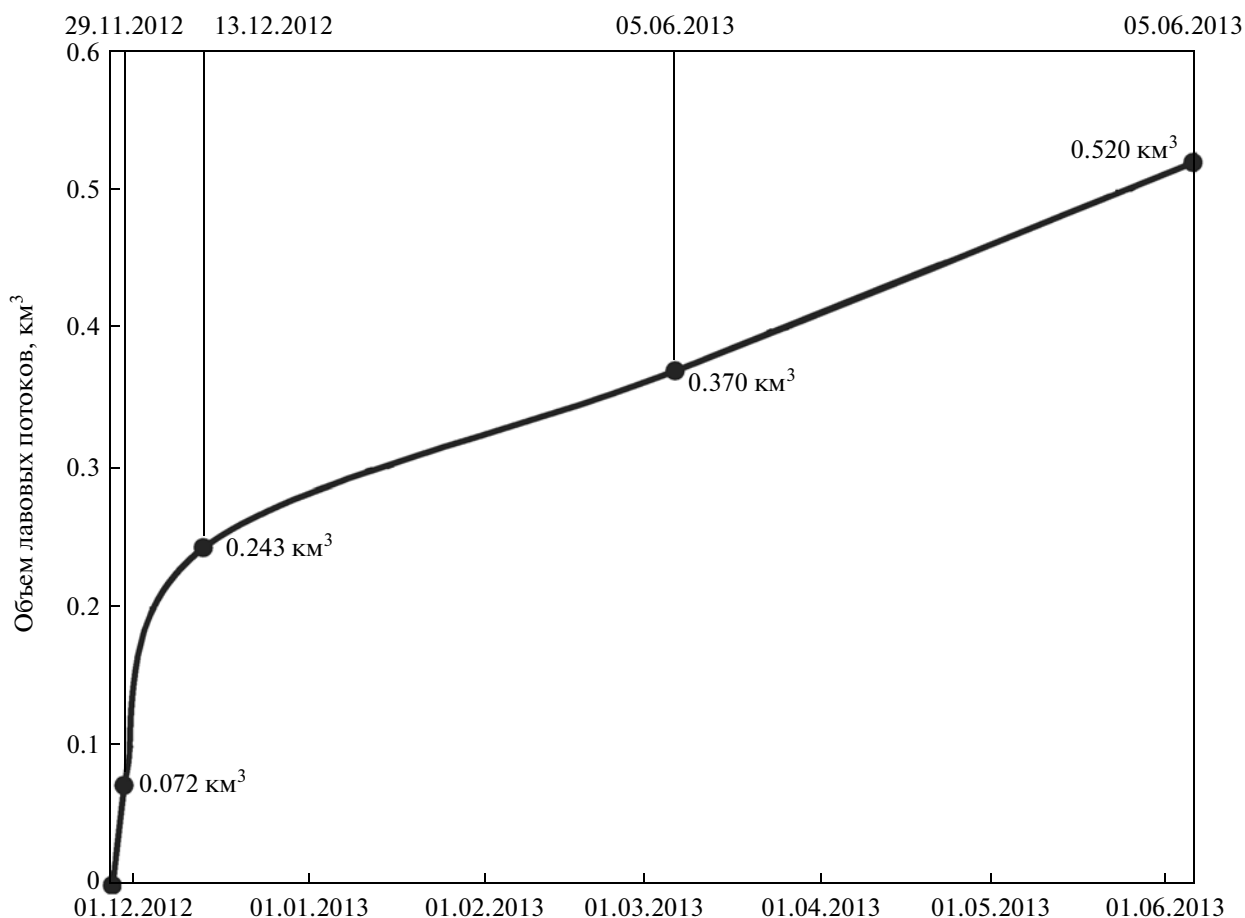


Рис. 2. График изменения объемов лавовых потоков за первые полгода ТТИ 2012–2013 гг.

даты аэрофотосъемок определялись по ЦМР. На данном этапе обработки аэрофотоснимков средняя плотность точек ЦМР составляет 350 на 1 км<sup>2</sup>. По нашим оценкам погрешности определения объемов при подобной плотности ЦМР для рельефа лавовых полей ТТИ 2012–2013 гг. не превышают 2%.

Поскольку определение мощности лавовых потоков с использованием одиночного спутникового снимка производилось только по относительно редким выступающим элементам подстилающей поверхности, плотность определений мощности на 06.03.2013 неравномерна. В связи с этим обстоятельством, представленный в настоящей работе объем лавы на 06.03.2013 может быть несколько занижен — в том случае, если рельеф лавовых потоков на промежутках между выступающими элементами рельефа был выпуклым, а не плоским. Тем не менее, возможная погрешность такого рода для объема лавовых потоков на 06.03.2013 не должна превышать 7%.

Карты контуров лавовых полей ТТИ 2012–2013 гг. на все даты количественных определений приведены на рис. 3.

Самый верхний выход лавы на поверхность склона Плоского Толбачика отчетливо просматривается на дне воронки, расположенной на высоте 2314 м. Здесь лава только проплавила ледяную корку, образовав воронку, глубиной 6 м, и оставила след на ее дне в виде небольшого лавового бугра.

Следующий вниз по склону выход лавы находится в воронке на высоте 2300 м. Из нее излился небольшой поток лавы. Его длина — 70 м, наибольшая ширина — 9 м, мощность — около 1 м.

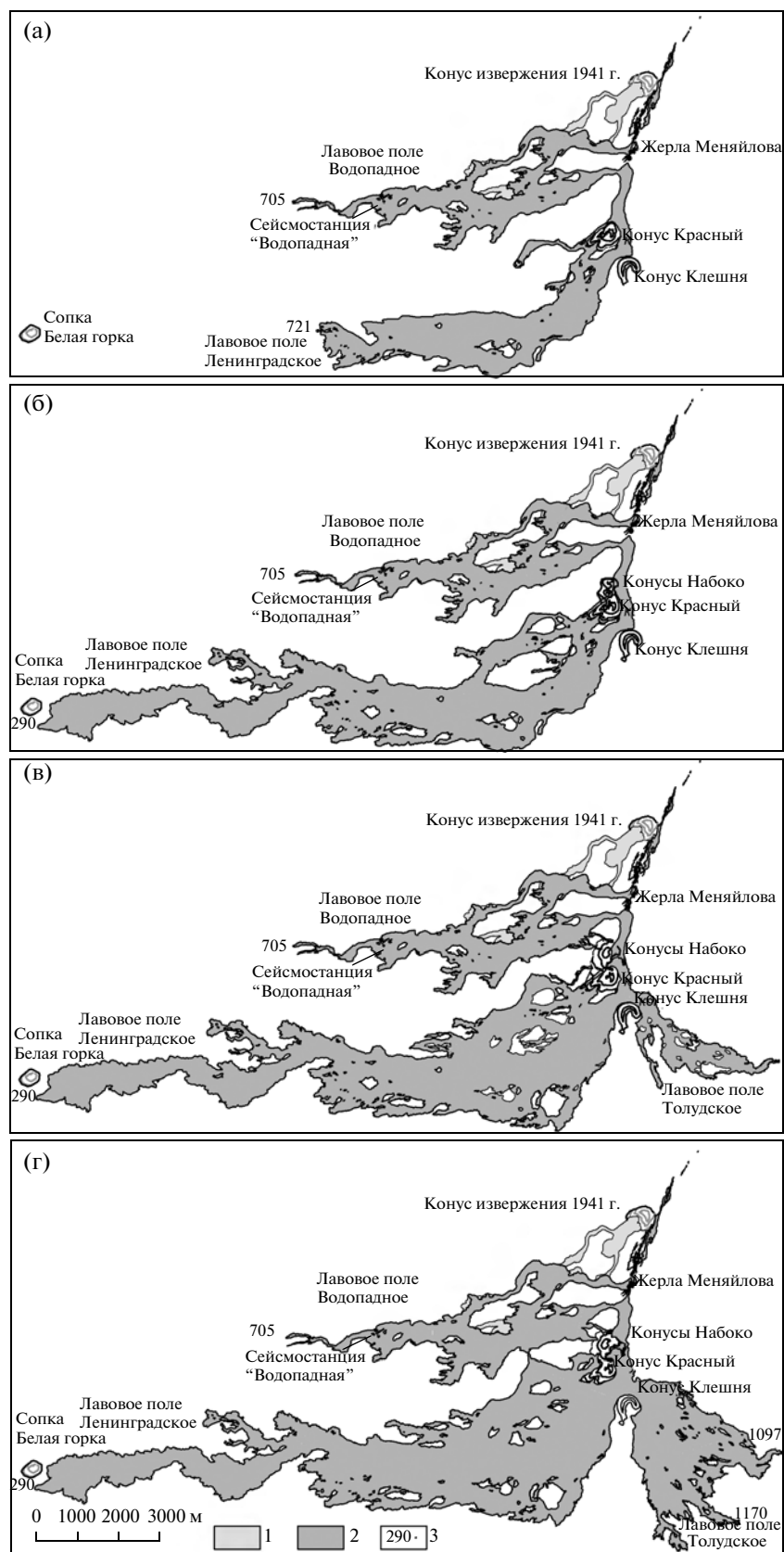
Из нижней половины трещины, расположенной в интервале высот 2150–2239 м, излились маломощные (толщиной от 1 до 4 м), но уже более длинные потоки лавы. Объединившись на высоте 2145 м в один поток, лава распространилась вниз по склону, вдоль русла существовавшей здесь до извержения промоины, на 1900 м до отметки 1874 м. Весь объем лавы этого потока составил 480000 м<sup>3</sup>. Небольшое количество лавы излилось из трещины, возникшей в нижней части ЮВ склона конуса прорыва 1941 г. На ее протяжении (длина — 215 м) насчитывается не менее 12 эффузивных жерл, из которых произошел очень кратковременный выброс жидкой лавы. Маломощные (не более 1 м) потоки, практически соприкасаясь, одновременно излились из трещины и, достигнув основания конуса, выплеснулись на поверхность лавового потока из жерл вышерасположенной трещины. Максимальная длина этой группы потоков равна 105 м (в плане). Их общая ширина — 230 м. Объем — не более 12400 м<sup>3</sup>.

Лавовое поле Водопадное (см. рис. 3) в основном сформировалось в первые двое суток извержения, достигнув к 29.11.2012 площади 5.654 км<sup>2</sup>

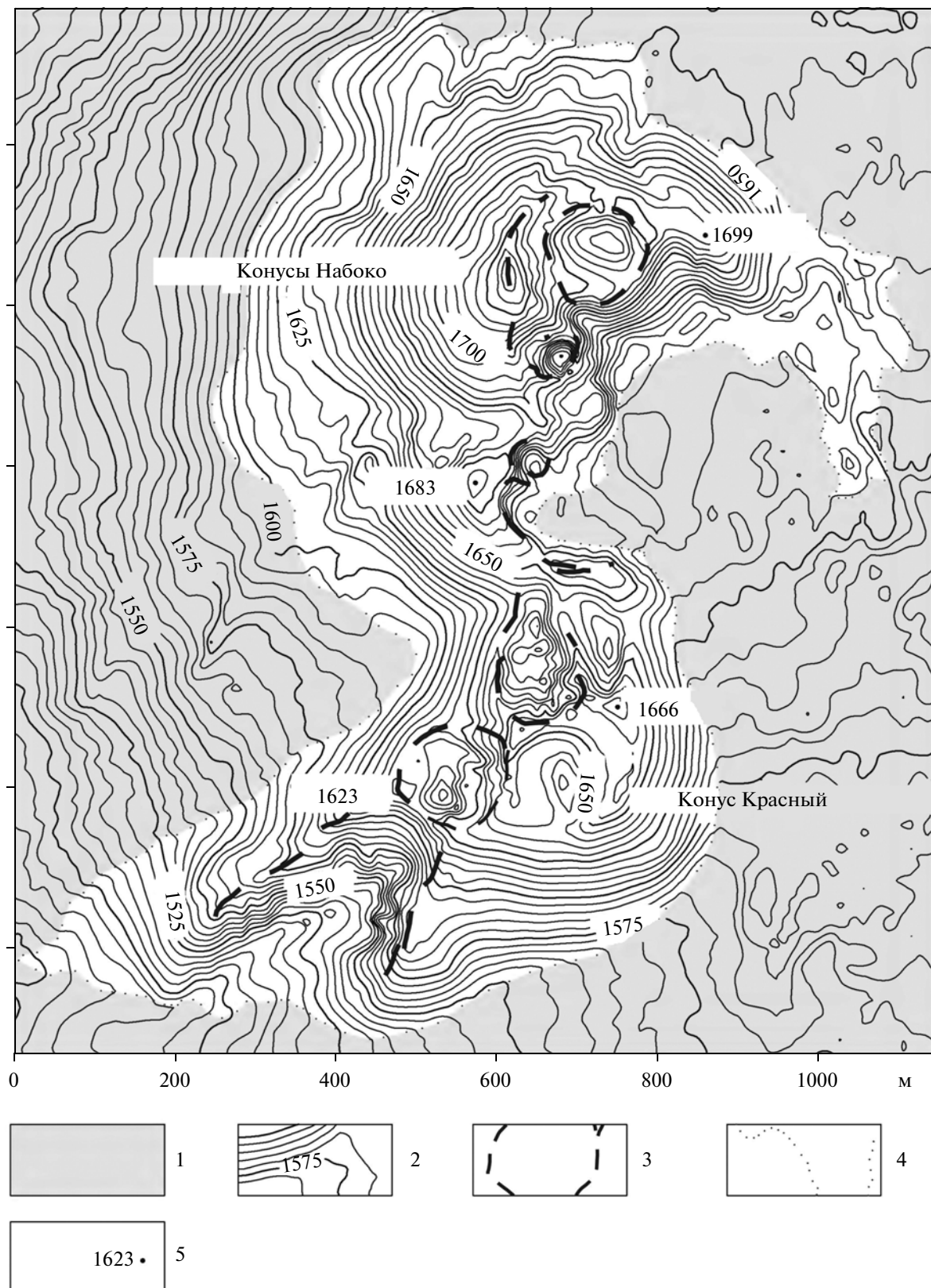
и объема 0.027 км<sup>3</sup>. Большую часть поля составили потоки, излитые на поверхность из нижних жерл Меняйлова. Жерла расположены вдоль 830-метровой трещины на высотах от 1694 до 1803 м. Изливаясь отдельными маломощными (до 5 м) рукавами по понижениям в рельефе, новая лава почти полностью перекрыла нижнюю половину лавового поля 1941 г. Объединившись далее в долине ручья Водопадный, потоки спустились по нему до высоты 705 м, пройдя в итоге от жерл 8.5 км и уничтожив по пути сеймостанцию “Водопадная”. К 05.06.2013 лавовое поле увеличилось по площади до 6.17 км<sup>2</sup>, в объеме — до 0.043 км<sup>3</sup>. Прирост поля произошел преимущественно за счет деятельности лавовых бокк, возникших у подножия северного шлакового конуса из группы Набоко.

Лавовое поле Ленинградское (см. рис. 3), как и предыдущее, формировалось с первых моментов извержения. Главными источниками лавы для потоков этого поля некоторое время служили нижние жерла Меняйлова и нижняя часть трещины, разорвавшей конус Красный. После полного прекращения деятельности жерл Меняйлова в первой половине декабря 2012 г. лавовое поле Ленинградское пополнялось исключительно из жерл, возникавших у подножия шлаковых конусов Набоко. К 29.11.2012 длина поля от жерл Меняйлова по осевой линии составила 10 км, ширина в самом широком месте 1.6 км. На эту дату площадь поля — 8.67 км<sup>2</sup>, объем — 0.045 км<sup>3</sup>. Через 14 суток (13.12.2012) Ленинградское лавовое поле достигло наибольшей длины — 17.8 км (измерения выполнены на плане также по осевой линии потока). Его фронт оказался в 480 м к югу от центра кратера сопки Белая Горка. Площадь поля равна 17.04 км<sup>2</sup>, объем — 0.208 км<sup>3</sup>. К 05.06.2013 площадь поля увеличилась до 22.44 км<sup>2</sup>, объем возрос до 0.397 км<sup>3</sup>. В отличие от Водопадного поля лавы, образованного несколькими потоками и имеющего наибольшие мощности до 10 м, Ленинградское лавовое поле сформировано множеством наслаивающихся и переплетающихся потоков. Мощности лавового поля меняются от 69 м на участке между конусами Красный и Клешня до 5–15 м на фронте у сопки Белая Горка. В пределах верхней половины поля уже 13.12.2012 были зафиксированы единичные лавоводы, лавовые трубы и лавовые бокки. К 05.06.2013 их количество многократно возросло.

Нагромождение лав между конусом Красный и конусом Клешня привело к образованию еще одной ветви лавового поля ТТИ 2012–2013 гг. Поток, давший начало формированию Толудского лавового поля (см. рис. 3в и 3г), стал изливаться в ЮВ направлении, огибая восточные склоны конуса Клешня, 25.12.2012. Имея к 05.06.2013 вблизи конуса Клешня (отметка поверхности 1585 м) ширину 340 м и мощность до 53 м Толудское лаво-



**Рис. 3.** Последовательность развития лавовых полей ТТИ.  
 а – 29.11.2012; б – 13.12.2012; в – 06.03.2013; г – 05.06.2013.



**Рис. 4.** План новых шлаковых конусов группы Набоко.

1 – шлако-лаваовые поля, окружающие конусы; 2 – горизонтали и их высоты; 3 – контуры кратеров конусов, активных во время ТТИ 2012–2013 гг.; 4 – пикеты и их отметки.

Горизонталы проведены через 5 м.

вое поле увеличилось на фронте до ширины 3800 м. Отдельные потоки фронтальной части лавового поля спустились до высот, близких к 1100 м. Длина поля на плане — 4260 м. Площадь — 6.6 км<sup>2</sup>, объем лавы — 0.08 км<sup>3</sup>. В формировании поля, как и Ленинградского, немалую роль играли лавоводы и лавовые трубы.

Итоговый объем изверженного при ТТИ 2012–2013 гг. эффузивного материала будет определен в дальнейшем по результатам обработки материалов будущих аэрофотосъемочных работ. В настоящее время возможно лишь предполагать его окончательное значение, исходя из существующих данных. Поскольку средний расход между двумя последними датами измерений (06.03.2013 и 05.06.2013) составлял 19 м<sup>3</sup>/с, мы можем утверждать, что до самого конца извержения (17.09.2013) расход не превышал эту величину, и, соответственно, возможный итоговый объем лавовых потоков ТТИ 2012–2013 гг. не может быть больше 0.69 км<sup>3</sup>. Но так как расход к концу извержения уменьшался, то наиболее вероятное значение величины этого объема находится в пределах 0.55–0.65 км<sup>3</sup>.

#### ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ДАННЫЕ ПО ОТЛОЖЕНИЯМ ПИРОКЛАСТИКИ

Непродолжительное время, возможно несколько часов в начальной стадии ТТИ, эксплозии происходили по 500-метровой трещине, расположенной на высотах от 2150 до 2239 м. На этом участке вокруг девяти жерл вырос вытянутый вдоль трещины пирокластический вал, состоящий из слившихся небольших шлаковых конусов. Площадь основания постройки из этих конусов близка к 98000 м<sup>2</sup>, высота не более 10 м, объем изверженной на данном участке пирокластики 0.0004 км<sup>3</sup>.

Наиболее ярко в первые дни эксплозивная деятельность проявлялась в районе жерл Меняйлова и трещины, разорвавшей ЮЗ склон конуса Красный. Пирокластика, накапливаясь равномерно по обеим сторонам жерл Меняйлова, нарастила в итоге вытянутые вдоль зияющей трещины холмы высотой до 15 м. Выросли шлаковые валы и вокруг интенсивно фонтанирующей трещины конуса Красный, образовав мощную клешнеобразную пристройку к его ЮЗ склону (рис. 4).

В дальнейшем эксплозивная активность переместилась из ЮЗ части трещины сначала на северный склон, а затем к северному подножию конуса Красный, где к 13.12.2012 окончательно сосредоточилась в районе жерл, получивших имя Набоко (см. рис. 4). Через полгода вокруг этих жерл (в радиусе 1.5 км) был отложен основной объем пирокластического материала. Меньшую его часть составляют новые конусы, объемом 0.0199 км<sup>3</sup> от подстилающей поверхности. На остальные фации пирокластики приходится око-

ло 0.08 км<sup>3</sup>, но эта цифра искажена погребенным под пирокластикой снегом, следы которого распознаются по своеобразной бугристой и более темной (увлажненной) поверхности шлаковых полей. Высота самого крупного — северного конуса из группы Набоко от поверхности 1987 г. — 123 м.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

ТТИ 2012–2013 гг., происходившее, как и БТТИ 1975–1976 гг., на склоне Плоского Толбачика, и в некоторых чертах очень напоминающее события 36-летней давности, имеет свои отличительные морфологические особенности.

1. Трещинная зона ТТИ 2012–2013 гг. образовалась практически мгновенно. На протяжении всей зоны трещин первое время одновременно действовало множество эксплозивно-эффузивных жерл.

Во время БТТИ центры извержений возникали последовательно, как в пространстве, так и во времени — на протяжении более 2-х мес. (с 6.07–17.09.1975) и на сравнительно коротких поверхностных трещинах (200–600 м), мигрируя сначала в районе Северного прорыва (СП) с ЮЗ на СВ в 2 км зоне, а затем локально в районе Южного прорыва (ЮП) — в 10 км к ЮЗ.

2. ТТИ 2012–2013 гг. имело преимущественно эффузивный характер и площадь лавового поля на 05.06.2013 (35.23 км<sup>2</sup>), почти соответствующую таковой для Южного прорыва БТТИ — при почти вдвое меньшем (0.52 км<sup>3</sup>) объеме лав, что объясняется большими уклонами подстилающей поверхности района конуса извержения. Во время ТТИ вокруг жерл трещинной зоны возникло множество мелких шлаковых образований высотой до 15 м и группа конусов Набоко высотой до 123 м, с общим объемом 0.0199 км<sup>3</sup>.

Извержение Северного прорыва БТТИ было преимущественно эксплозивным, что привело к образованию шлаковых конусов высотой до 300 м с объемом пирокластики в конусах и на прилегающих территориях около 0.5 км<sup>3</sup>. Потоками лавы была покрыта площадь 8.86 км<sup>2</sup> с объемом 0.223 км<sup>3</sup>. Извержение Южного прорыва БТТИ имело ярко выраженный эффузивный характер и продолжалось 15 месяцев. Это привело к образованию лавового покрова площадью 35.87 км<sup>2</sup> с объемом 0.968 км<sup>3</sup> и небольшого шлакового конуса высотой 165 м, объемом 0.012 км<sup>3</sup>.

3. В процессе ТТИ 2012–2013 гг. малая вершинная кальдера Плоского Толбачика с провалом 1975–1976 гг. в размерах почти не изменились. Отмечено только очень незначительное осыпание СЗ стенок провала.



Во время БТТИ в малой кальдере Плоского Толбачика произошли грандиозные проседания и обрушения. Колодцеобразный провал, объемом 0.022 км<sup>3</sup> в 1974 г., к концу извержения (1976 г.) увеличился в объеме до 0.347 км<sup>3</sup>. [Большое трещинное..., 1984].

Таким образом, в результате исследования не только получены количественные характеристики, но и отмечен ряд отличий ТТИ 2012–2013 гг. от происходившего в 1975–1976 гг. и достаточно хорошо изученного БТТИ. Объяснение только одного из этих отличий — по соотношению площади лавовых потоков и их объема — лежит на поверхности. Остальные, по всей вероятности, являются проявлениями глубоких различий в механизме извержения. По мнению авторов настоящей статьи, особенность ТТИ 2012–2013 гг. по сравнению с БТТИ заключается в характере внедрения магматического вещества в трещинную зону района извержения. Если для БТТИ этот процесс был растянут во времени так, что сейсмические сигналы, связанные с внедрением магмы были зарегистрированы еще за 9 дней до извержения, то ТТИ 2012–2013 гг. началось через 15 ч после регистрации сейсмических предвестников. Также следует еще раз отметить контраст преимущественно эксплозивного начального периода БТТИ (Северный прорыв) и сугубо эффузивной деятельности первых дней ТТИ 2012–2013 гг. Расход лавы за первые двое суток

ТТИ 2012–2013 гг. на порядок превышает расход твердого вещества при формировании первого шлакового конуса БТТИ [Большое трещинное..., 1984].

Эти факты, по всей видимости, указывают на то, что начальный период ТТИ 2012–2013 гг. происходил по сценарию “гидравлического удара”. По характеру трещинной зоны ТТИ 2012–2013 гг. мы можем заключить, что данный “гидравлический удар” был локализован в районе жерл Меньяйлова, где трещинная зона имеет наибольшую ширину, и где произошли излияния первых лавовых потоков. В дальнейшем, при раскрытии трещинной зоны, магматическое вещество распространилось по ней на юг вниз по склону до уровня 1700 м, где им уже при более спокойном характере выноса были сформированы наиболее крупные лавовые потоки и конусы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Гордеев Е.И., Муравьев Я.Д., Самойленко С.Б. и др. Трещинное Толбачинское извержение в 2012–2013 гг. Первые результаты // ДАН. 2013. Т. 452. № 5. С. 562–566.
- Большое трещинное Толбачинское извержение (Камчатка 1975–1976) / Отв. ред. Федотов С.А. М.: Наука, 1984. 637 с.
- Gordeev E.I., Muravyov Ya.D., Samoylenko S.B. et al. First results from the 2012–2013 Tolbachik fissure eruption // Bull. of the Volcanological Society of Japan. 2013. V. 58. № 2. P. 1–8.

## THE FIRST QUANTITATIVE ESTIMATES OF PARAMETERS FOR THE TOLBACHIK FISSURE ERUPTION OF 2012–2013 FROM AEROPHOTOGRAMMETRIC OBSERVATIONS

V. N. Dvigalo<sup>a</sup>, I. Yu. Svirid<sup>a, b</sup>, and A. V. Shevchenko<sup>a, b</sup>

<sup>a</sup> Institute of Volcanology and Seismology, Far East Branch, Russian Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatskii, bul'var Piipa 9, 683006 Russia

e-mail: [dvig@kscnet.ru](mailto:dvig@kscnet.ru)

<sup>b</sup> Vitus Bering Kamchatka State University, Petropavlovsk-Kamchatskii, ul. Pogradichnaya 4, 683032 Russia

e-mail: [svirid@kscnet.ru](mailto:svirid@kscnet.ru)

Received December 4, 2013

**Abstract**—This paper presents quantitative estimates of parameters for the Tolbachik Fissure Eruption of 2012–2013 (TFE) for the period between November 27, 2012 and June 5, 2013. It is shown that the eruption was the most violent during the first 2 days (with a mean lava discharge rate of 440 m<sup>3</sup>/s), when the maximum number of lava vents were active along the entire fissured zone. The rate was decreasing during the subsequent 2 weeks (the mean was 140 m<sup>3</sup>/s). Lava effusion had been occurring at an almost uniform rate at near 18 m<sup>3</sup>/s from the later half of December 2012 to June 2013. The eruption was predominantly effusive in character. Six months of activity yielded 0.52 km<sup>3</sup> lava to cover an area of 35.23 km<sup>2</sup>. The volume of pyroclastics within 1.5 km of the new fissured zone did not exceed 0.1 km<sup>3</sup>. We made maps to show the location of the fissured zone, the main vents, and lava flows on the slope of Ploskii Tolbachik Volcano. It was found that the 1975–1976 collapse pit in the smaller summit caldera of Ploskii Tolbachik has been left nearly intact during the Tolbachik Fissure Eruption of 2012–2013.