

сти вулканического дрожания в течение всего периода извержения выделяются несколько максимумов, которые могут быть связаны с образованием новых эруптивных центров.

Неравномерность пространственного расположения гипоцентров землетрясений в районе вулкана Плоский Толбачик проанализирована также в работе [Дрознин, Дрознина, 2013].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В отличие от сейсмичности БТТИ, сейсмичность, предвещавшая новое ТТИ-50, была относительно слабой и сосредоточивалась под постройкой вулкана Плоский Толбачик в юго-восточном секторе на глубинах 0–5 км от уровня моря. Частота событий резко выросла накануне извержения. Новое мощное эксплозивно-эффузивное ТТИ-50 началось примерно в 05 ч 15 мин UTC 27 ноября 2012 г. между вершиной Плоского Толбачика и Северным прорывом БТТИ. Все первые выводы о начале и характере извержения ТТИ-50 были сделаны только по сейсмологическим данным. Из-за неблагоприятных погодных условий долго не было возможности получить доказательства нового извержения по каким-либо другим видам наблюдений. Когда они стали доступны, то все выводы, сделанные по сейсмологическим данным, в целом подтвердились.

Новое ТТИ-50 в ареальной зоне вулкана Плоский Толбачик показало необходимость: 1) пересмотра критериев, основанных на сейсмологических наблюдениях, характеризующих активизацию вулканической деятельности в этом районе; 2) установки в этом районе новых сейсмических станций.

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

Фотограмметрический метод является традиционным в исследованиях активных вулканов Камчатки. Он имеет более чем вековую историю применения*, но, несмотря на это, по-прежнему является современным методом, позволяющим обеспечивать хорошую достоверность и высокую точность результатов.

В Институте вулканологии ДВНЦ АН СССР регулярные фотограмметрические исследования вулканических и гидротермальных объектов Камчатки стали проводиться с 1973 г. Благодаря этому в течение последней четверти XX в. были составлены крупномасштабные топографические карты и планы для большинства активных вулканов Камчатки и некоторых вулканов Курильских островов, произведена оценка опасности вулканов Ключевской группы, Авачинского и Эбеко (о. Парамушир), а также впервые выявлены морфологические признаки активизации наиболее часто извергавшихся вулканов Ключевской, Шивелуч, Безымянный и Малый Семячик [Двигало, 2000].

Особенно примечательно, что именно фотограмметрические исследования позволили детально изучить морфодинамику и получить количественные характеристики Большого трещинного Толбачинского извержения 1975–1976 гг. [Двигало и др., 1984]. Недавние фотограмметрические работы

* Первые фотограмметрические исследования Камчатских вулканов проведены в 1908–1910 гг. Н.Г. Келлем и другими участниками Геологического отдела Камчатской экспедиции Русского географического общества, финансируемой известным меценатом Ф.П. Рябушинским [Dvigalo et al., 2016].

на вулкане Плоский Толбачик являются их непосредственным продолжением. Выполнявшиеся спустя 35 лет после предыдущих, они были сделаны с целью исследования динамики и объемов продуктов Нового трещинного Толбачинского извержения 2012–2013 гг., а также морфологических особенностей произведенных им изменений рельефа. В данном разделе описываются их результаты за период с 27.11.2012 по 05.06.2013.

3.2.1. МЕТОДИКА РАБОТЫ

Изучение количественных параметров ТТИ-50 2012–2013 гг., как и БТТИ, случившегося в этой трещинной зоне (в 7 км южнее) в 1975–1976 гг., проводилось в основном посредством стереофотограмметрической обработки аэрофотоснимков [Двигало и др., 2014]. Всего во время извержения аэрофотосъемка района ТТИ-50 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 (рис. 3.10). 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. После 05.06.2013 прирост объема лавы происходил только в пределах восточного ответвления лавовых полей ТТИ-50 2012–2013 гг. – Толудского лавового поля и только за счет поступления лавы из лавовых труб, открывшихся в средней части поля. Поверхность его северо-западной части осталась без изменений. Окончательная аэрофотосъемка Толудского лавового поля была выполнена 09.10.2015 И.Ю. Свиридом. Все съемки проводились с вертолета Ми-8 на высоте 4200 м.

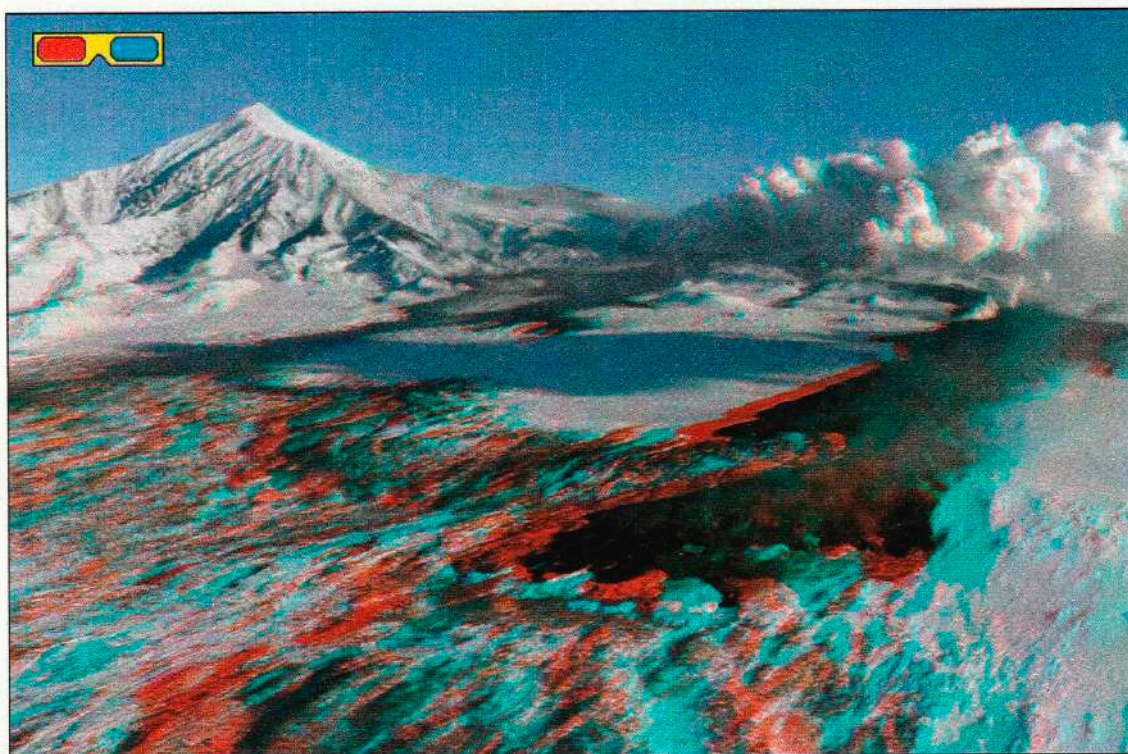


Рис. 3.10. Эруптивная активность по трещине прорыва и лавовые потоки ТТИ-50 к 14:00, 29.11.2012

Стереофотограмметрическая модель затронутой извержением поверхности, соответствующая ее состоянию до ТТИ-50 2012–2013 гг., построена на основе аэрофотоснимков 19.09.1987 (рис. 3.11). Планово-высотная подготовка всех снимков осуществлена посредством фотограмметрического сгущения опорной геодезической сети. За основу взята сеть точек, созданная лабора-

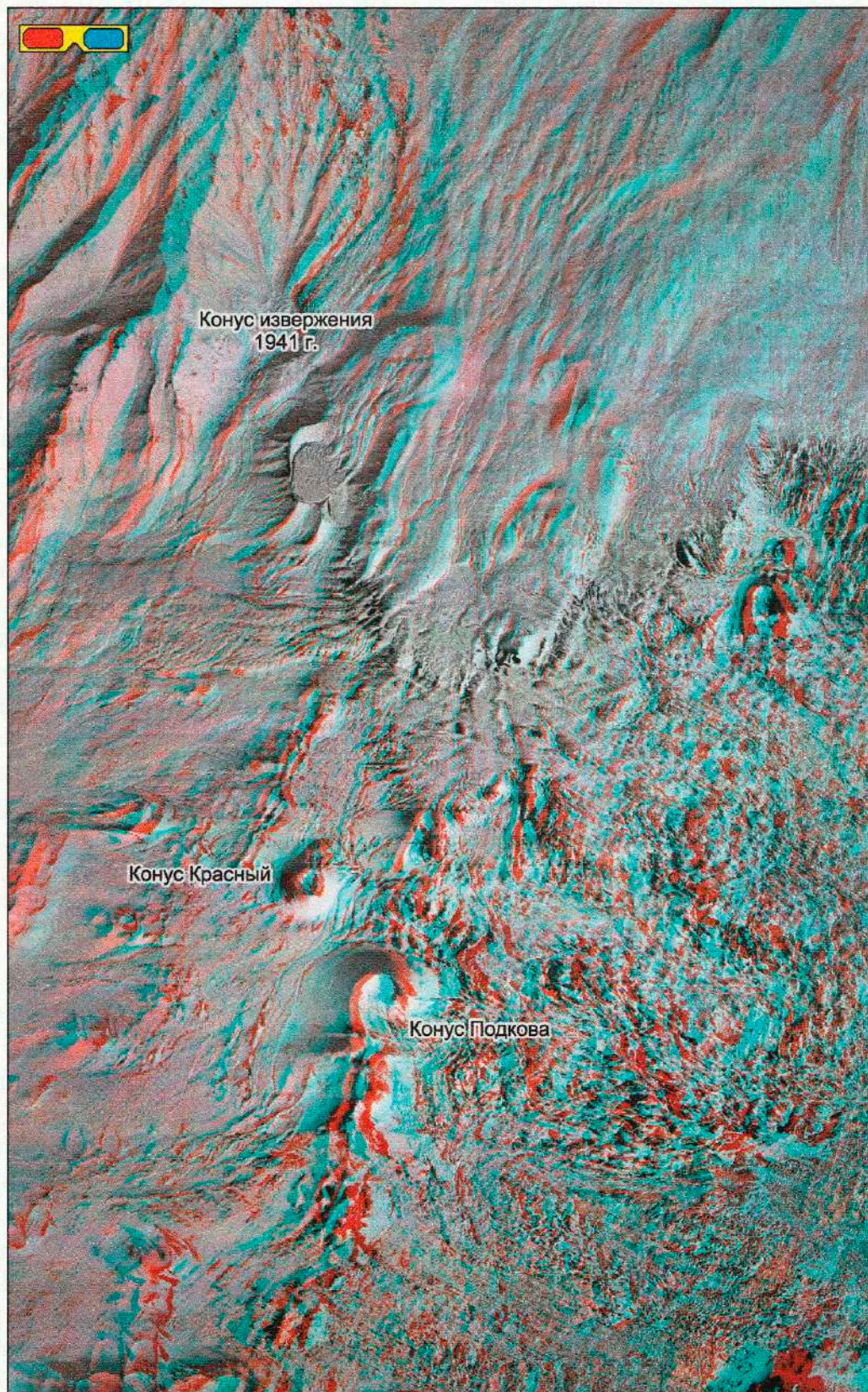


Рис. 3.11. Участок южного склона вулкана Плоский Толбачик, в пределах которого образовалась трещина прорыва ТТИ-50. Аэрофото от 19.09.1987

торией геодезии Института вулканологии ДВНЦ АН СССР в 1975–1977 гг. [Двигало и др., 1984]. Использовались также точки с известными отметками (надежно опознанные на аэрофотоснимках) топографических карт масштаба 1:25 000. Фотограмметрическая обработка плановых и перспективных стереопар выполнена в цифровой фотограмметрической системе PHOTOMOD 4.3.

Количественные оценки площадей и объемов лав на 06.03.2013 проводились с использованием одиночного снимка спутника EO-1 (NASA). Хотя определить объем лав по одному снимку невозможно, в данном случае одна из особенностей ТТИ-50 2012–2013 гг. позволила обойти это ограничение. Она заключается в том, что в пределах лавового поля ТТИ-50 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. Единственная возможная погрешность измерений может иметь место для объемов лав на 06.03.2013 в связи с тем, что на некоторых участках лавовых полей выступающих элементов не наблюдалось. Хотя уровень лавы хорошо определялся на краях этих участков, поверхность на них при подсчетах была принята плоской. Недооценка объема из-за недоучета ее возможной выпуклости по нашим подсчетам составляет не более 7–10 %.

3.2.2. СТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ ТРЕЩИН ПО ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКИМ ДАННЫМ

Все распознанные по аэрофотоснимкам 13.12.2012 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 жерла 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. 3.12.

Большая часть трещин, эксплозивных и эффузивных центров образовалась между нижним жерлом Меняйлова и конусом извержения 1941 г. Повидимому, именно на этом участке протяженностью 2 км произошло внедрение основного объема магматического вещества в первые моменты извержения (рис. 3.13). От верхних лавовых жерл Меняйлова до подножия конуса 1941 г. на стереофотограмметрических моделях отчетливо просматривается лавовод длиной 1200 м. По поверхности он трассируется трещинами (местами шириной

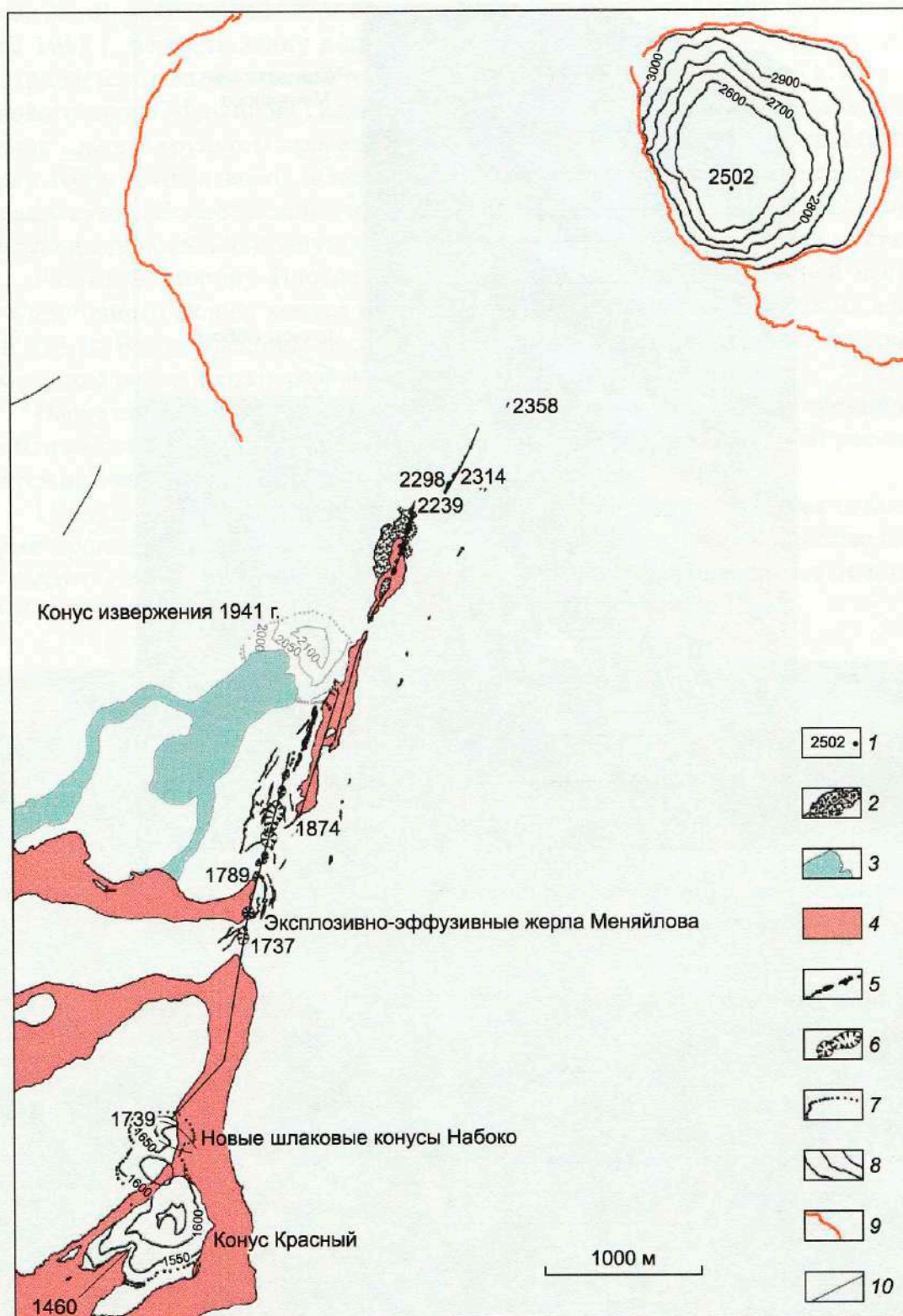


Рис. 3.12. План расположения трещинной зоны, лавовых и эксплозивных жерл ТТИ-50 2012–2013 гг. на склоне вулкана Плоский Толбачик.

1 – высотные отметки; 2 – границы отложений пирокластики вокруг эксплозивных жерл северной части зоны разрывов; 3 – лавовое поле извержения 1941 г.; 4 – лавовые поля ТТИ-50 2012–2013 гг.; 5 – зияющие трещины, цепочки эксплозивных и эффузивных жерл; 6 – наиболее крупные провальные воронки и эксплозивно-эффузивные жерла на лавоводе; 7 – контур основания новых конусов Набоко; 8 – горизонталы на новых шлаковых конусах Набоко; 9 – контуры малой кальдеры Плоского Толбачика и гребня Острого Толбачика; 10 – дайки

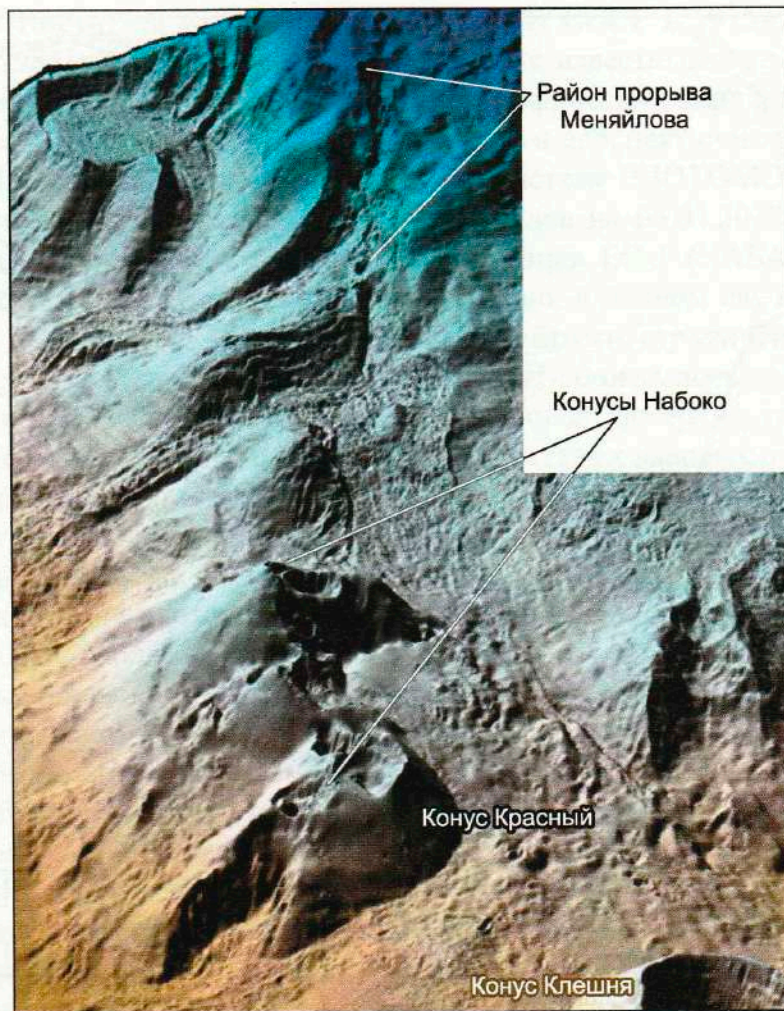


Рис. 3.13. Визуализация цифровой модели рельефа центральной и южной частей трещинной зоны, лавовых и эксплозивных жерл ТТИ-50 2012–2013 гг.

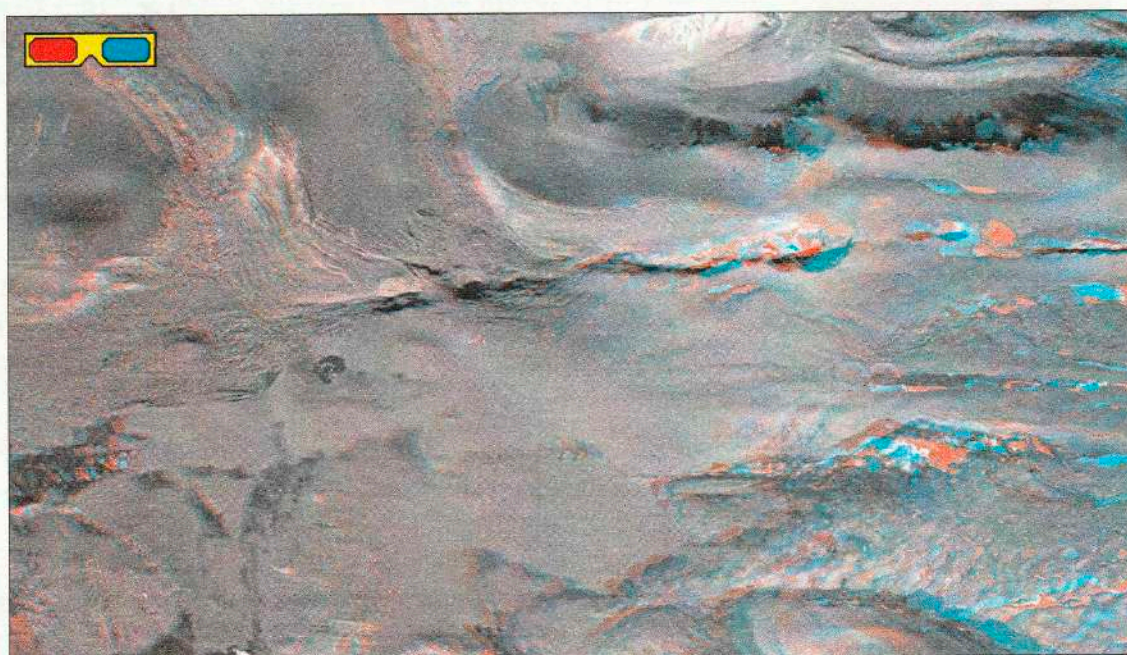


Рис. 3.14. Район прорыва Меняйлова 05.06.2013

более 10 м), взрывными и провальными формами (рис. 3.14). 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 Меньяйлова) над ним образовались провалы. Высота западных стенок самого крупного провала до 62 м, восточных – до 45 м, диаметр по верху 109 м. Этот лавовод и жерла Меньяйлова действовали только несколько первых суток. Сопоставление изображений аэрофотосъемки 13.12.2012 с последующими показало полную идентичность поверхности лавы в этих местах.

Разрыв в сторону Плоского Толбачика продолжается в нижней части юго-восточного 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 взрывных и эффузивных жерл.

Следующие (выше по склону) следы разрывов проявились двумя отдельными проплавленными во льду воронками (рис. 3.15). Нижняя образовалась 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.

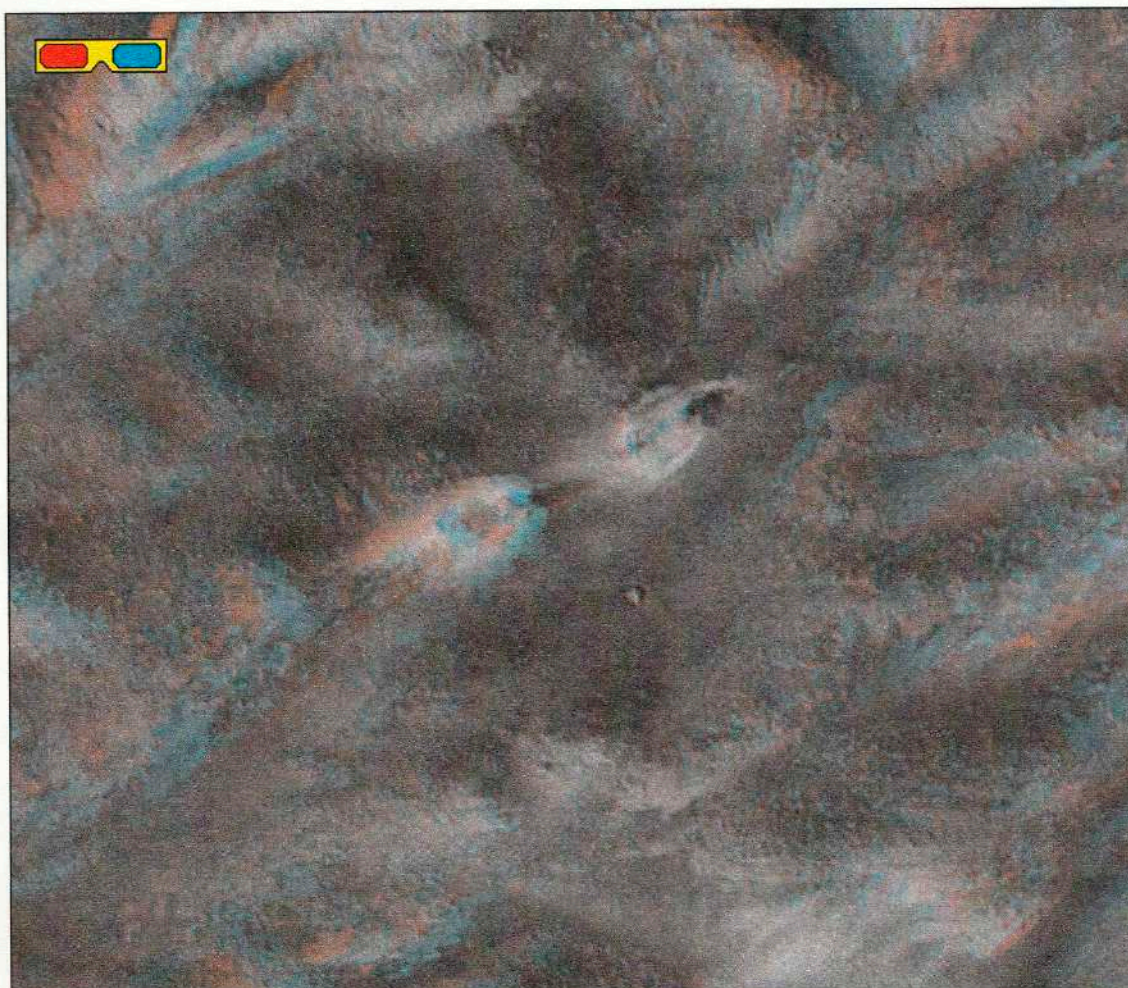


Рис. 3.15. Две отдельные, проплавленные во льду воронки. В верхней воронке ($H_{\text{абс}} = 2314$ м) лава вышла на поверхность в виде небольшого бугра, из нижней ($H_{\text{абс}} = 2298$ м) излился небольшой (длина 70 м) поток лавы

Ближайшие к новой кальдере Плоского Толбачика трещины уверенно просматриваются до высоты 2358 м. Расстояние северной оконечности трещины (ее видимого на стереомодели следа) от нижней точки дна кальдеры (отметка 2503 м) составило в плане 2420 м, по высоте 145 м.

Ниже жерла Меняйлова разрыв (с азимутом, близким к 200°) трассируется под северо-западный склон конуса Красный, где, заметно изменив направление (до азимута около 220 °), распространяется от него к юго-западу не менее чем на 900 м. Вдоль этого участка трещины в процессе извержения происходили наиболее интенсивные выбросы пироклаستيку, образовавшей группу конусов Набоко и клешнеобразную пристройку к юго-западным склонам конуса Красный. Здесь же излился основной объем лав (см. рис. 3.13).

3.2.3. ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОСЛЕДСТВИЙ ЭФФУЗИВНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Количественные данные по площадям, покрытым новыми потоками лавы, их объемам на каждую дату определений и средним расходам лавы приведены в табл. 3.1 и на графике рис. 3.16. Объемы изверженных лав и пирокластик на все даты аэрофотосъемок определялись по ЦМР. На данном этапе обработки аэрофотоснимков средняя плотность точек ЦМР составляет 350 на 1 км². По нашим оценкам погрешности определения объемов при подобной плотности ЦМР для рельефа лавовых полей ТТИ-50 2012–2013 г. не превышают 2 %.

Вследствие того что определение мощности лавовых потоков с использованием одиночного спутникового снимка проводилось только по относительно редким выступающим элементам подстилающей поверхности, плотность определений мощности на 06.03.2013 неравномерна. По этой причине, как уже указывалось выше, объем лавовых потоков на 06.03.2013 может оказаться заниженным, но не более чем на 7–10 %.

Карты контуров лавовых полей ТТИ-50 2012–2013 гг. на все даты количественных определений приведены на рис. 3.17.

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 (см. рис. 3.15).

Следующий вниз по склону выход лавы находится в воронке на высоте 2300 м. Из нее излился небольшой поток лавы длиной 70 м, наибольшей шириной 9 м и мощностью около 1 м (см. рис. 3.15).

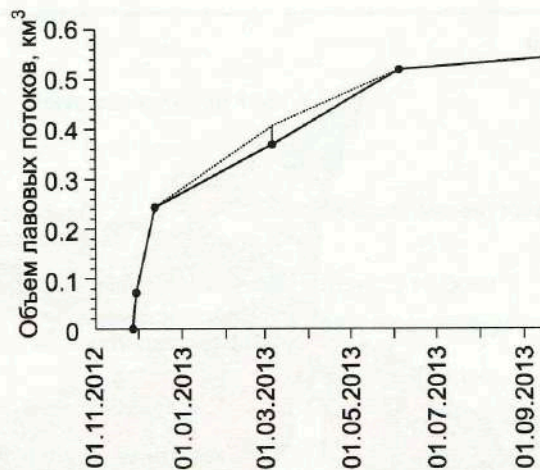
Из нижней половины трещины, расположенной в интервале высот 2150–2239 м, излились маломощные (толщиной от 1 до 4 м), но уже более длинные потоки лавы (рис. 3.18).

Таблица 3.1

Количественные характеристики Трещинного Толбачинского извержения 2012–2013 гг.

Дата получения исходных материалов	Площадь лавовых потоков, км ²	Объем лавы, км ³	Расход лавы, м ³ /с
27.11.2012	0	0	
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
10.10.2015	36.03	0.542	2.4 (до окончания извержения)

Рис. 3.16. График изменения объемов лавовых потоков за первые полгода ТТИ-50 2012–2013 гг. Для 06.03.2012 показан доверительный интервал +10 %



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 480 000 м³. Небольшое количество

лавы излилось из трещины, возникшей в нижней части юго-восточного 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 (рис. 3.19). Максимальная длина этой группы потоков равна 105 м (в плане), их общая ширина – 230 м, объем – не более 12 400 м³.

Лавовое поле Водопадное (см. рис. 3.17, а, б) в основном сформировалось в первые двое суток извержения, достигнув к 29.11.2012 площади 5.654 км² и объема 0.027 км³. 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» (рис. 3.20, 3.21). К 05.06.2013 лавовое поле увеличилось по площади до 6.17 км², в объеме – до 0.043 км³. Прирост поля произошел преимущественно за счет деятельности лавовых бокк, возникших у подножия северного шлакового конуса из группы Набоко.

Лавовое поле Ленинградское (см. рис. 3.17), как и предыдущее, формировалось с первых моментов извержения. Свое наименование получило по названию полигона, в пределах которого проводились испытания луноходов и марсоходов в 70–90-х годах прошлого столетия (см. рис. 3.21). 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 поле от жерл Меняйлова по осевой линии растянулось на 10 км, ширина в самом широком месте 1.6 км. На эту дату площадь поля составила 8.67 км², объем 0.045 км³. 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 (см. рис. 3.17, в). Площадь поля 17.04 км², объем 0.208 км³. К 05.06.2013 площадь поля увеличилась до 22.44 км², объем возрос до 0.397 км³. В отличие

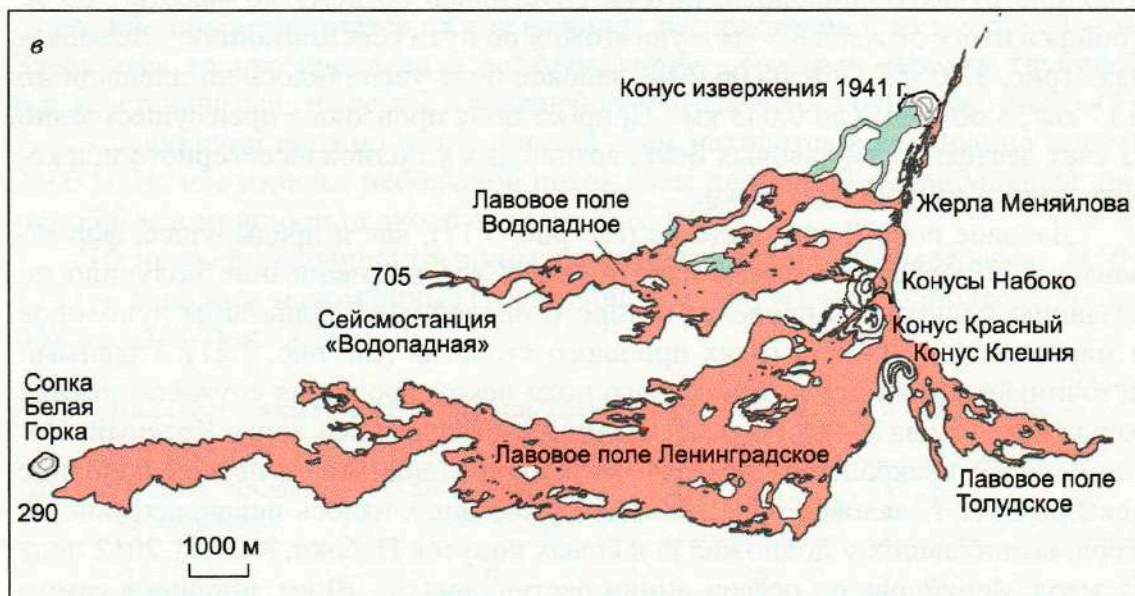
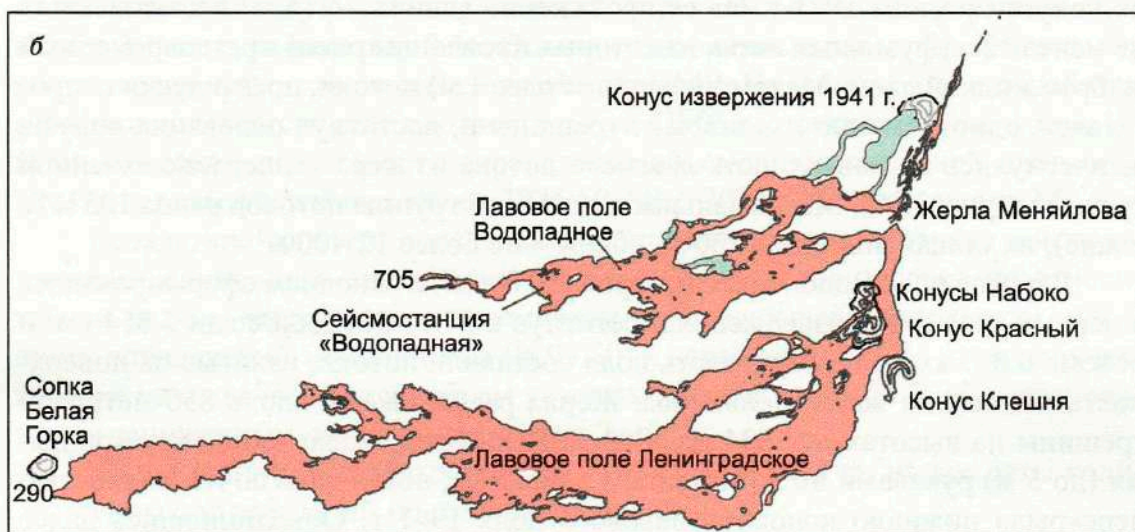
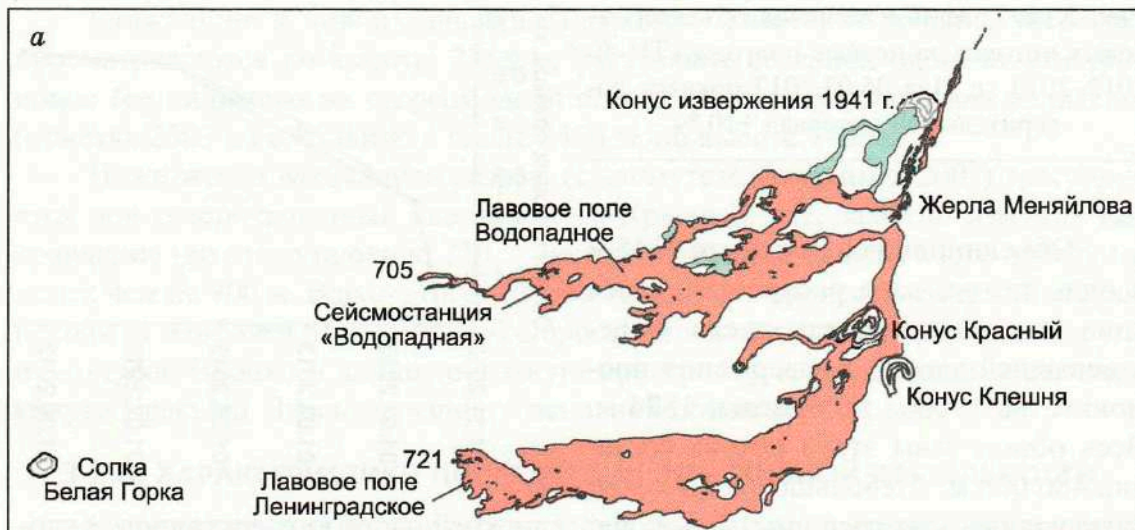


Рис. 3.17 (начало)

от Водопадного лавового поля, образованного несколькими потоками и имеющего наибольшие мощности до 12 м, Ленинградское лавовое поле сформировано множеством наслаивающихся и переплетающихся потоков. Мощности лавового поля меняются от 69 м на участке между конусами Красный и Клешня

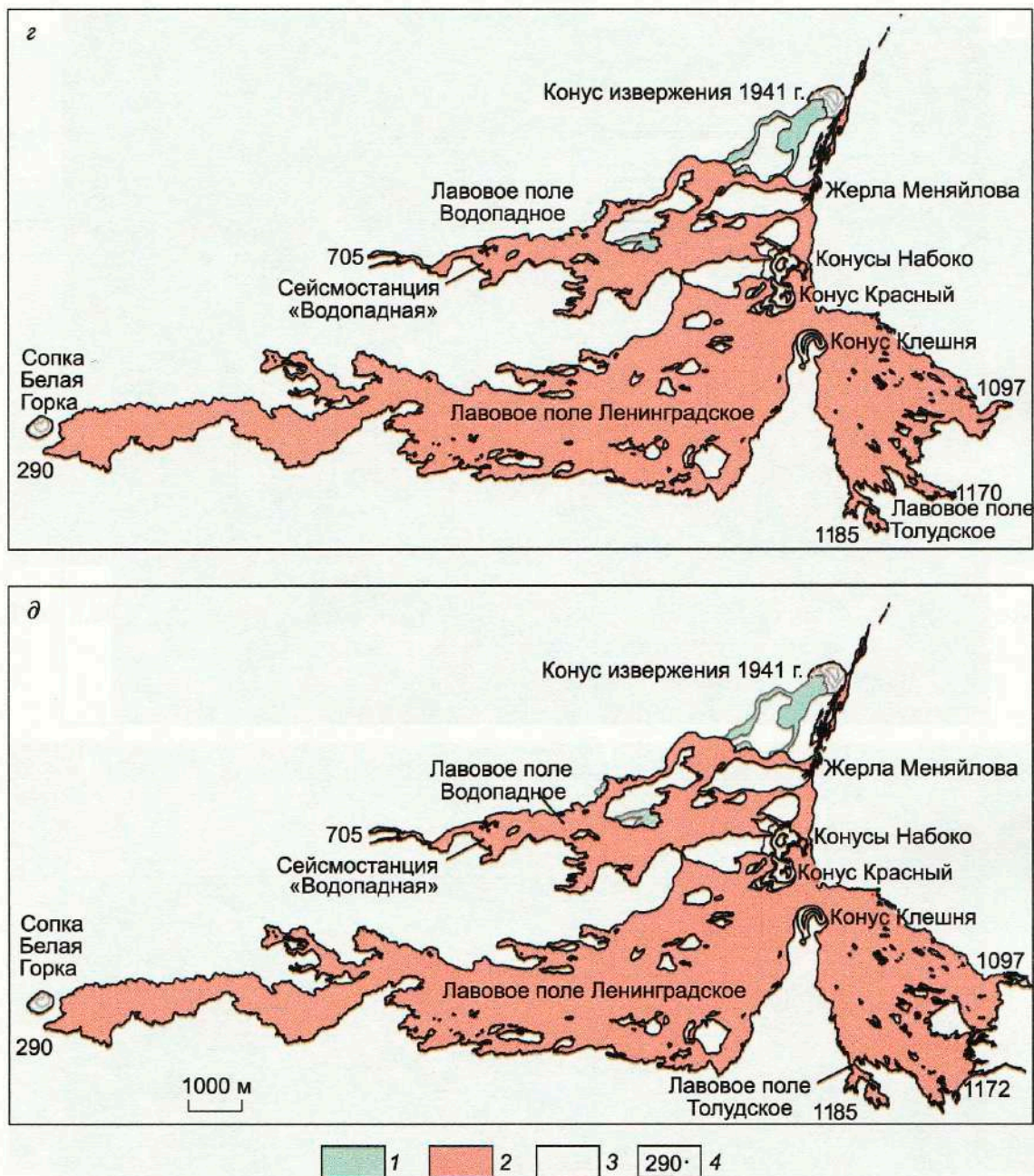


Рис. 3.17 (окончание). Последовательность развития лавовых полей ТТИ-50.
а – 29.11.2012; *б* – 13.12.2012; *в* – 06.03.2013; *з* – 05.06.2013; *д* – 10.10.2015 г. 1 – лавовый поток извержения 1941 г.; 2 – лавовые поля ТТИ-50; 3 – не залитые лавой участки в пределах поля ТТИ-50; 4 – абсолютные отметки. Последовательность развития лавовых полей ТТИ-50

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 конусами Красный и Клешня привело к образованию еще одной ветви лавового поля ТТИ-50 2012–2013 гг. Поток, давший начало формированию Толудского лавового поля (см. рис. 3.17, *в*, *з* и *д*), стал изливаться в юго-восточном направлении, огибая восточные склоны конуса Клешня, в ночь с 22 на 23 декабря 2012 г. Имея к 05.06.2013 вблизи конуса Клешня (отметка поверхности 1585 м) ширину 340 м и мощность до 53 м, Толудское лавовое поле увеличилось на фронте до ширины 3800 м. Отдельные потоки фронтальной части лавового поля спустились до высот, близких к

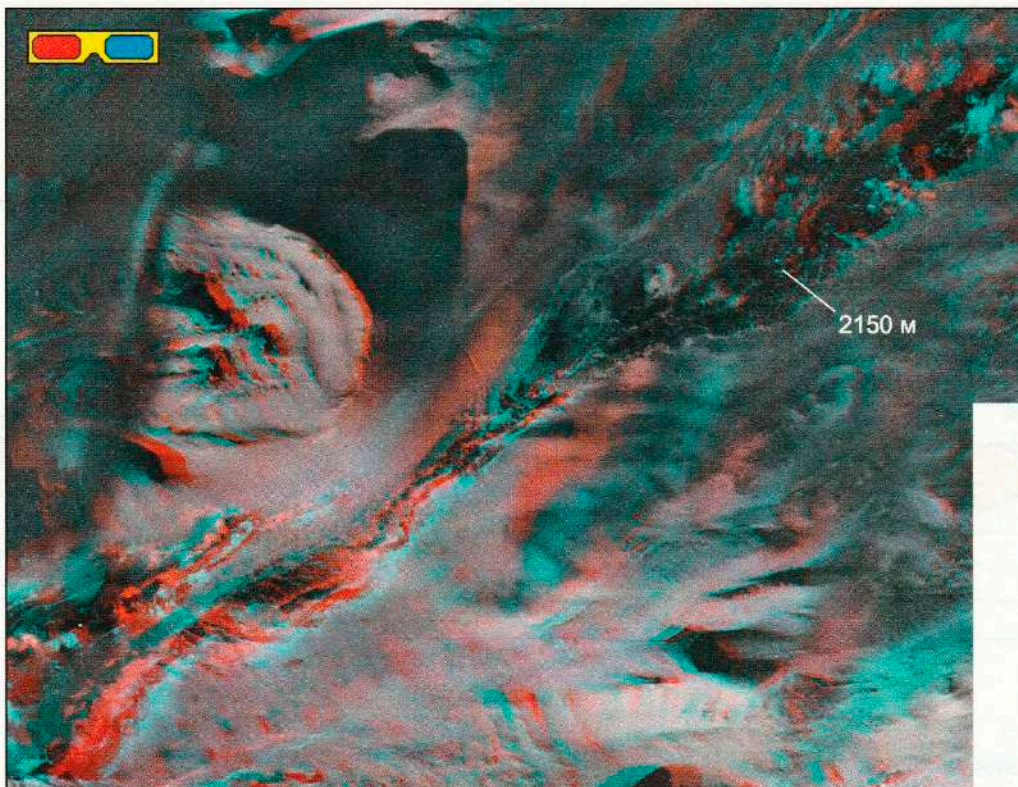


Рис. 3.18. Поток лавы, излившийся из трещины, расположенной в интервале высот 2150–2239 м

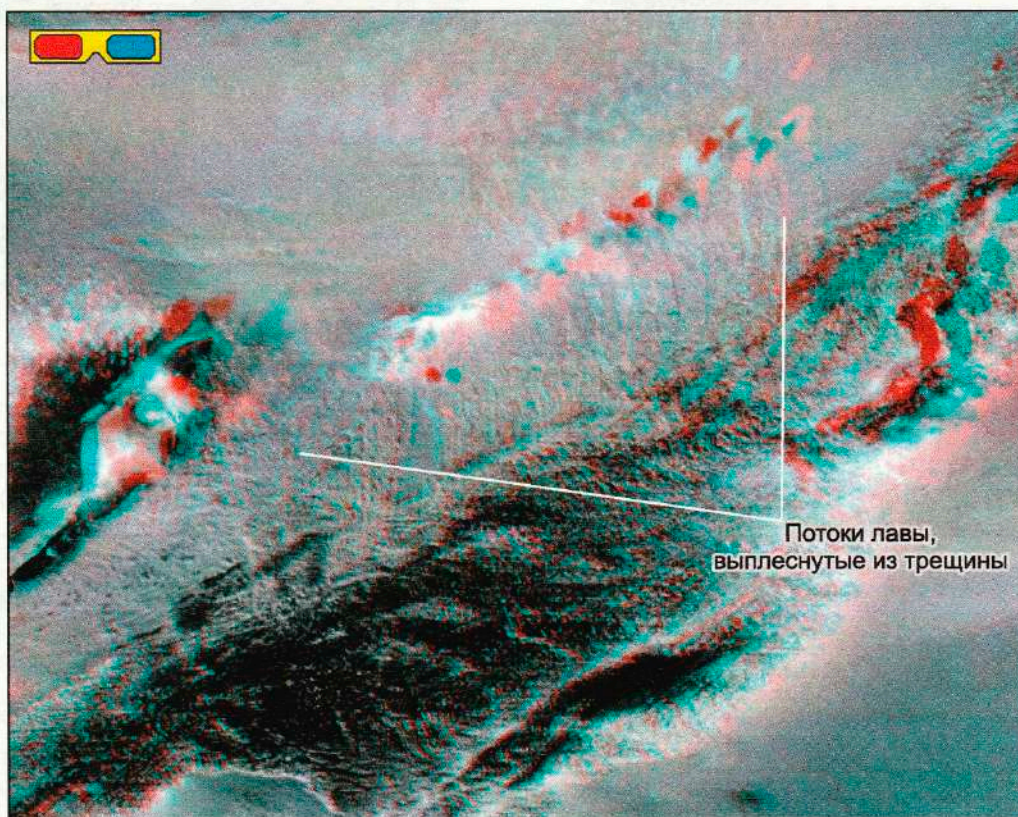


Рис. 3.19. Юго-восточный участок склона конуса прорыва 1941 г. с трещиной, выплеснувшей маломощные (до 1 м) и короткие (до 105 м) потоки лавы

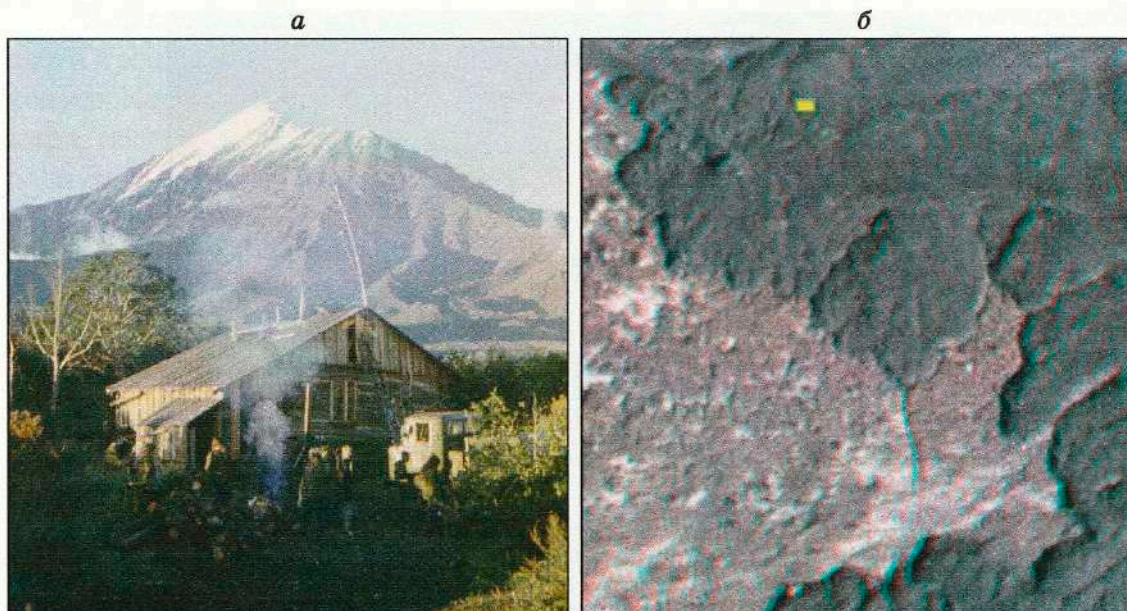


Рис. 3.20. Сейсмостанция «Водопадная» (*а* – август 1977 г.) и ее положение (желтый прямоугольник) под лавовым полем ТТИ-50 (*б* – 05.06.2013)

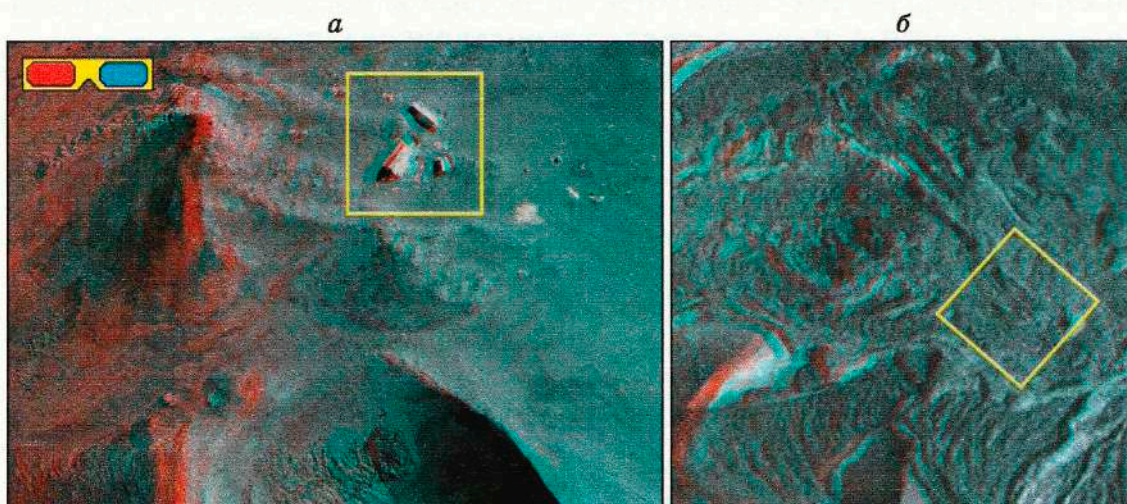


Рис. 3.21. Основные строения (внутри желтого прямоугольника) полигона «Ленинградский» до извержения ТТИ-50 (*а*); состояние этого же участка 05.06.2013 (*б*)

1100 м. Длина поля на плане 4260 м (см. рис. 3.17, *д*), площадь 6.6 км², объем лавы 0.08 км³. В формировании поля, как и Ленинградского, немалую роль играли лавоводы и лавовые трубы.

Наибольшую интенсивность ТТИ-50 2012–2013 гг. имело в первые двое суток (при среднем расходе лавы 440 м³/с), когда вдоль всей зоны трещин действовало наибольшее количество лавовых жерл. В последующие две недели расход снижался (среднее значение 140 м³/с). Со второй половины декабря 2012 г. по июнь 2013 г. излияние лав происходило почти равномерно – с расходом, близким к 19 м³/с. Средний расход на заключительном этапе извержения составил 2.4 м³/с. Итоговый объем изверженного при ТТИ-50 2012–2013 гг. эффузивного материала составил 0.542±0.01 км³. Общая площадь лавовых потоков равна 36.03 км².

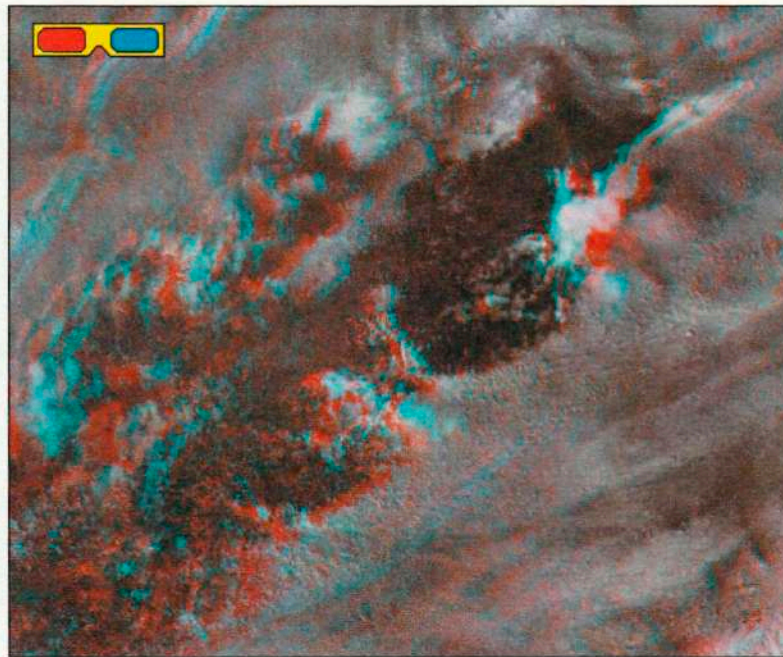


Рис. 3.22. Пирокластический вал и жерла, возникшие над 500-метровой трещиной в пределах высот от 2150 до 2239 м

3.2.4. ДАННЫЕ ПО ОТЛОЖЕНИЯМ ПИРОКЛАСТИКИ

Непродолжительное время, возможно несколько часов в начальной стадии ТТИ-50, 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 98 000 м², высота не более 10 м, объем изверженной на данном участке пирокластики 0.0004 км³.

Наиболее ярко в первые дни эксплозивная деятельность проявлялась в районе жерл Меняйлова и трещины, разорвавшей юго-западный 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 юго-западному склону (рис. 3.22).

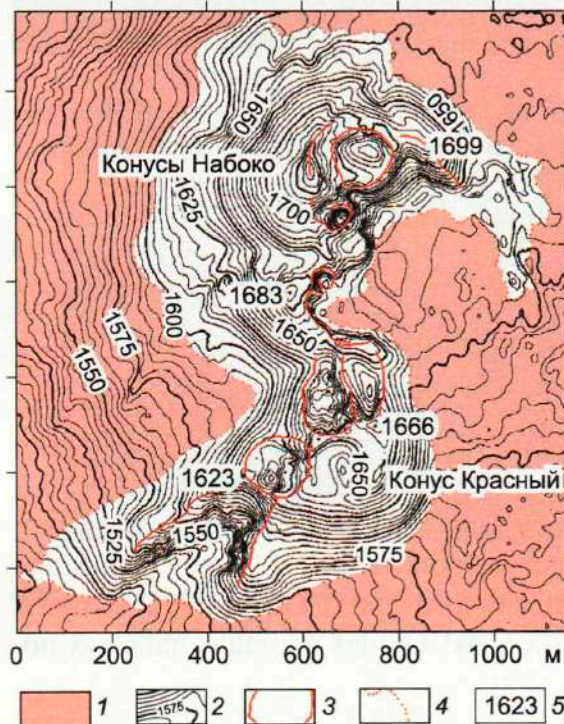


Рис. 3.23. План новых шлаковых конусов группы Набоко.

1 – шлаколавовые поля, окружающие конусы; 2 – горизонтали и их высоты; 3 – контуры кратеров конусов, активных во время ТТИ-50 2012–2013 гг.; 4 – контур подошвы конусов; 5 – пикеты и их отметки. Горизонталы проведены через 5 м

В дальнейшем взрывная активность переместилась из юго-западной 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 (рис. 3.23). 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 км³ от подстилающей поверхности. На остальные фации пирокластики приходится около 0.08 км³, но эта цифра искажена погребенным под пирокластикой снегом, следы которого распознаются по своеобразной бугристой и более темной (увлаженной) поверхности шлаковых полей. Высота самого крупного – северного конуса из группы Набоко от поверхности 1987 г. – 123 м.

3.2.5. Состояние малой вершинной кальдеры Плоского Толбачика

Взаимосвязь вершинной активности вулкана Плоский Толбачик с трещинными извержениями, происходившими у его подножия, за время исторических наблюдений неоднократно проявлялась и имела при этом самый разнообразный характер.

Вершина Плоского Толбачика в настоящее время занята двумя вложенными друг в друга кальдерами (рис. 3.24, 3.25). Большая вершинная кальдера имеет раннеголоценовый возраст, ее диаметр около 3 км, она простирается на всю вершинную часть постройки вулкана. В ее юго-западно-западном секторе во второй половине голоцена возникла еще одна отрицательная форма рельефа, имеющая диаметр 1,8–2 км и глубину порядка 100 м с колодцеобразным кратером в центре [Двигало и др., 1984].

Терминальная эруптивная деятельность вулкана Плоский Толбачик в историческое время локализовалась в данном кратере. При этом нередко она была связана с латеральными извержениями в трещинной зоне, простирающейся в юго-юго-западном направлении от вершины. Так, при прорыве 1941 г. терминальное и латеральное извержения происходили одновременно: «Терминальная деятельность выражалась в периодических подъемах и опусканиях жидкой лавы в кратере, прорыве через лаву газов и паров, слабых и средних взрывов с выбросом тонких лавовых частиц и раскаленных бомб» [Двигало и др., 1984, с. 76].

В период подготовки БТТИ 1975–1976 гг. из кратера отмечались выбросы белого газа (осень 1974 г.). С 28 июня 1975 г. стали происходить выбросы пепла, обломков шлака, кристаллолапильей плагиоклаза, «волос Пеле». Терминальная активность сохранилась и даже усилилась в период деятельности Северного прорыва БТТИ. Тем не менее одновременно с мощными газопепловыми выбросами из кратера в нем стали интенсивно происходить просадки и обваливания стенок. В последние дни июля – первой половине августа 1975 г. в кратере произошли катастрофические обрушения. Объем кратера возрос на 47 000 000 м³. Данное изменение, как и все дальнейшие, было зафиксировано благодаря аэрофотограмметрическим работам, проводившимся при исследовании БТТИ. До начала извержения аэрофотосъемка, материалы которой имелись в распоряжении Института вулканологии ДВНЦ РАН, была выполнена в 1950 г. Силами сотрудников института аэрофотосъемочные работы для исследования БТТИ проводились 06.09.1974, 25.08.1975, 17.09.1975, 17.09.1976, 26.09.1976 и 19.09.1987.

Изменения размеров вершинной кальдеры вулкана Плоский Толбачик приведены в табл. 3.2. Как мы можем видеть, за время БТТИ объем кратера



Рис. 3.24. Вулкан Толбачик 13.12.2012. На заднем плане – эруптивное облако извержения ТТИ-50

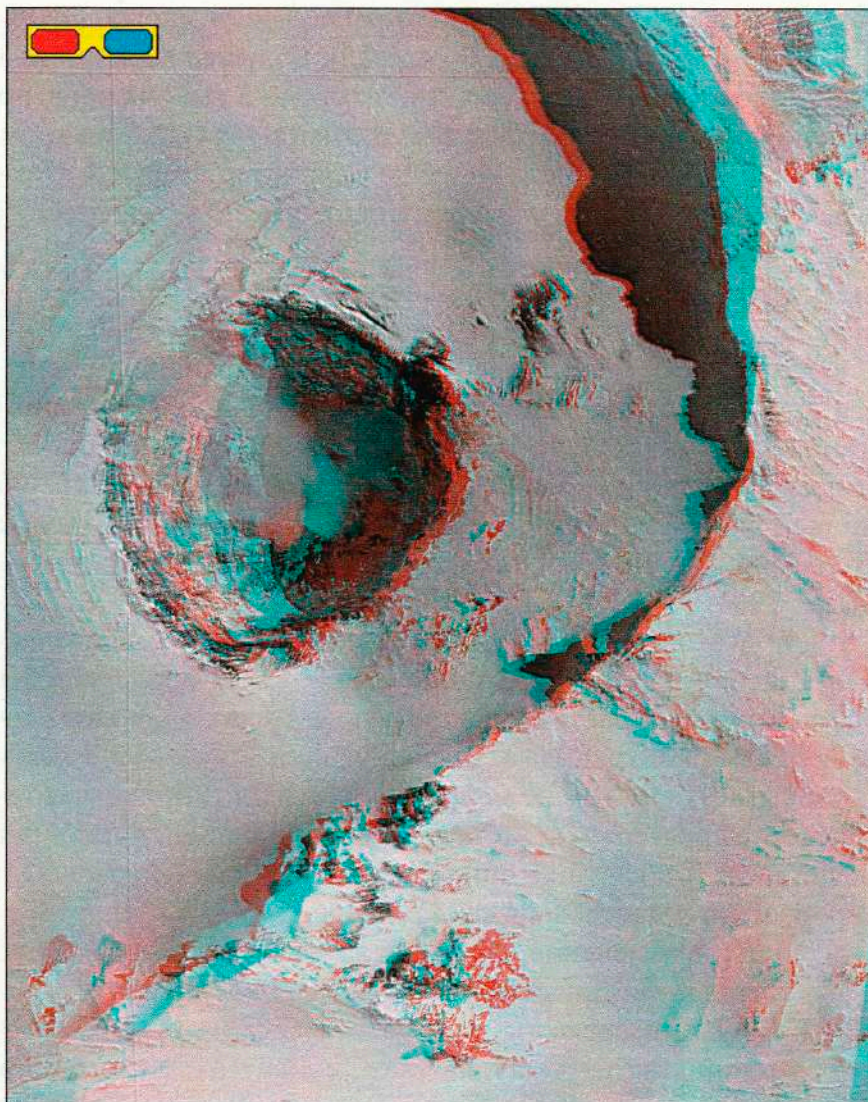


Рис. 3.25. Активный колодцеобразный кратер вулкана Плоский Толбачик, расположенный в юго-западной части малой вершинной кальдеры, накануне БТТИ 1975–1976 гг.

Основные размеры кратерного провала Плоского Толбачика в 1974–1977 гг.

Дата получения исходных материалов	Глубина провала, м	Наибольший диаметр, м	Объем провала, км ³
06.09.1974	231	474	0.022
25.08.1975	385	1186	0.269
17.09.1976	380	1604	0.338
26.09.1977	404	1615	0.347

увеличился в 15 раз (рис. 3.26) и составил 0,347 км². После окончания БТТИ постэруптивные изменения объема были около 0,009 км², что свидетельствует о явно выраженной взаимосвязи процесса образования Малой вершинной кальдеры вулкана Плоский Толбачик с БТТИ 1975–1976 гг.

Тем не менее в подготовку и процесс ТТИ-50 2012–2013 гг. Малая вершинная кальдера оказалась не вовлеченной. Последнему на данный момент извержению не предшествовали и его не сопровождали ни выбросы пара и пепла и других эруптивных продуктов, ни появление лавы на дне кратера, ни просадки и обрушения. Данные, полученные в результате обработки аэро-фото- и спутниковых снимков, произведенной авторами настоящей работы, свидетельствуют о том, что с 1987 г. и по настоящее время изменения формы Малой вершинной кальдеры вулкана Плоский Толбачик были незначительными и не были сопряжены с изменениями его объема. Они представляют собой только небольшие по величине осыпания стенок, интенсификация которых в связи с ТТИ-50 2012–2013 гг. не отмечается.

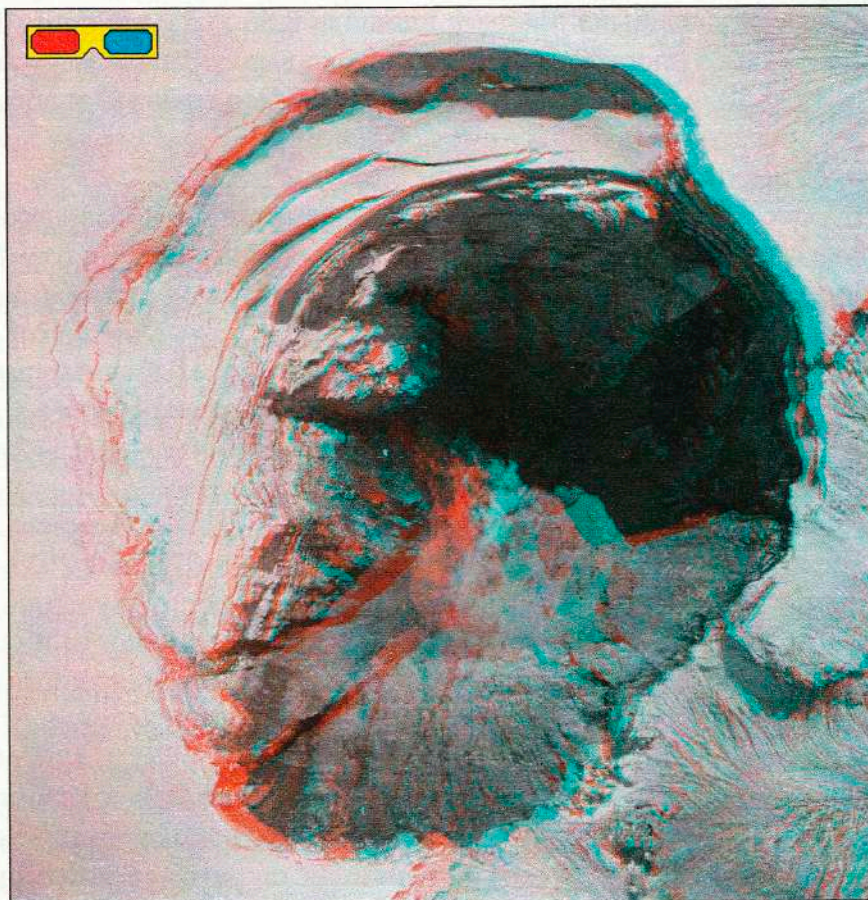


Рис. 3.26. Малая вершинная кальдера вулкана Плоский Толбачик после завершения просадок в 1975–1976 гг.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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

1. Трещинная зона ТТИ-50 2012–2013 гг. образовалась быстро, в верхней части склона 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 двух месяцев (с 06.07–17.09.1975) и на сравнительно коротких поверхностных трещинах (200–600 м), мигрируя сначала в районе Северного прорыва (СП) с юго-запада на северо-восток в 2-километровой зоне, а затем локально в районе Южного прорыва (ЮП) – в 10 км к юго-западу.

2. Трещинное Толбачинское извержение 2012–2013 гг. имело преимущественно эффузивный характер и площадь лавового поля 36.03 км², почти соответствующую таковой для Южного прорыва БТТИ – при почти вдвое меньшем (0.542 км³) объеме лав, что объясняется большими уклонами подстилающей поверхности района нового извержения. Во время ТТИ-50 вокруг жерл трещинной зоны возникли множество мелких шлаковых образований высотой до 15 м и группа конусов Набоко высотой до 123 м с общим объемом около 0.1 км³.

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 км³. Потоками лавы была покрыта площадь 8.86 км² с объемом 0.223 км³. Извержение Южного прорыва БТТИ имело ярко выраженный эффузивный характер, как ТТИ-50, и продолжалось 15 месяцев. Это привело к образованию лавового покрова площадью 35.87 км² с объемом 0.968 км³ и небольшого шлакового конуса высотой 165 м и объемом 0.012 км³.

3. В процессе ТТИ-50 2012–2013 гг. Малая вершинная кальдера Плоского Толбачика с провалом 1975–1976 гг. не активизировалась и в размерах почти не изменилась. Отмечено только очень незначительное осыпание северо-западных стенок провала.

Во время БТТИ в Малой кальдере Плоского Толбачика произошли грандиозные проседания и обрушения. Колодцеобразный провал объемом 0.022 км³ в 1974 г. к концу извержения (1976 г.) увеличился до 0.347 км³ [Двигалю и др., 1984].

Таким образом, в результате исследования не только получены количественные характеристики, но и отмечен ряд отличий ТТИ-50 2012–2013 гг. от происходившего в 1975–1976 гг. и достаточно хорошо изученного БТТИ. Объяснение только одного из этих отличий – по эксплозивности и соотношению площади лавовых потоков и их объема – лежит на поверхности. Остальные, по всей вероятности, являются проявлениями более глубоких различий в механизме извержения. По мнению авторов настоящего раздела, особенность ТТИ-50 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 извержение ТТИ-50 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-50 2012–2013 гг. Расход лавы за первые двое суток ТТИ-50 2012–2013 гг. на порядок превышает расход твердого вещества при формировании первого шлакового конуса БТТИ [Двигало и др., 1984].

Эти факты, по всей видимости, указывают на то, что начальный период ТТИ-50 2012–2013 гг. происходил по сценарию «гидравлического удара». По характеру трещинной зоны ТТИ-50 2012–2013 гг. мы можем заключить, что данный «гидравлический удар» был локализован в районе жерл Меняйлова, где трещинная зона имеет наибольшую ширину, и где произошли интенсивные 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.

3.3. ДВИЖЕНИЯ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ В ЗОНЕ ТРЕЩИННЫХ ИЗВЕРЖЕНИЙ НА ЮЖНОМ СКЛОНЕ ВУЛКАНА ПЛОСКИЙ ТОЛБАЧИК И В ОКРЕСТНОСТЯХ ВУЛКАНА КЛЮЧЕВСКОЙ (КАМЧАТКА)

Как уже отмечалось, вулканические постройки на Камчатке, находящиеся на площади, ограниченной с востока хр. Кумроч, с севера и запада р. Камчатка и с юга реч. Толбачик, принято обобщенно объединять термином «Ключевская группа вулканов» (КГВ) [Федотов и др., 2010]. Вулкан Плоский Толбачик, входящий в КГВ, является одним из действующих в этой группе и отличается от других, в том числе и тем, что от его центрального кратера в юго-западном направлении протянулась на десятки километров зона шлаковых конусов, образованных в ходе последовательных трещинных извержений. Эти конусы постепенно остывали и застывали, так что активизации их в историческое время не было. Причины и механизм образования их объяснены в книге, которая полностью посвящена всестороннему изучению Большого трещинного Толбачинского извержения 1975–1976 гг., в том числе слежению за деформациями земной поверхности во время этого грандиозного события XX в. [Федотов, 1984]. Ход деформаций, последовавших после окончания БТТИ 1975–1976 гг., за период 1978–2000 гг. рассмотрен в работе [Магуськин и др., 2003], а за период 2000–2011 гг. – в работе [Магуськин и др., 2013].

27 ноября 2012 г. в 17:45 по местному времени, примерно в 3 км на юго-запад от кратера вулкана Плоский Толбачик началось очередное трещинное извержение [Гордеев и др., 2013]. Масштаб извержения удалось оценить с вертолета через 43,5 ч с момента его начала. Трещины образовались в результате внедрения магмы в приповерхностные слои земной коры. Лава буквально фонтанировала на протяжении всей трещины. За 43,5 ч излившаяся лава распространилась на площади примерно 13,6 км². При средней мощности ее 5 м объем лавы составил примерно 0,068 км³. По этим данным в первые часы извержения расход лавы составил более 400 м³/с или при плотности ее 2,8 г/см³ расход был более 1200 т в секунду [Самойленко и др., 2012]. По данным аэрофотосъемки от 13.12.2012 общая длина зоны поверхностных трещин достигла 6 км [Двигало и др., 2014]; см. предыдущий раздел. Это извержение завершилось в августе 2013 г.

Вулкан Ключевской является не только главным вулканом в КГВ, он же – самый высокий действующий вулкан Европы и Азии [Федотов и др., 2010]. В северо-восточном секторе окрестности этого вулкана ведутся гео-