



УДК 551.214

О. А. Гирина, Д. В. Мельников, А. Г. Маневич, А. А. Нуждаев

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН,
г. Петропавловск-Камчатский*

Спутниковый мониторинг Трещинного Толбачинского извержения им. 50-летия ИВиС ДВО РАН в 2012–2013 гг.

Группа KVERT, как часть ИВиС ДВО РАН, ответственна за обеспечение информацией о вулканической деятельности международного аэронавигационного сообщества, поэтому сотрудники KVERT семь дней в неделю в рабочее время проводят непрерывный видео и спутниковый мониторинг активных вулканов Камчатки и Северных Курил. По спутниковым данным с начала трещинного извержения на Толбачинском долу отслеживается изменение направления течения многочисленных лавовых потоков и наращивание площади лавового покрова.

Камчатка — один из наиболее активных районов нашей планеты. Сильные эксплозивные извержения вулканов, при которых пеплы поднимаются на высоту 8–15 км над уровнем моря (н. у. м.), происходят здесь каждые полтора года [2]. Камчатская группа реагирования на вулканические извержения (KVERT — Kamchatkan Volcanic Eruption Response Team), как часть Института вулканологии и сейсмологии (ИВиС) ДВО РАН, ответственна за обеспечение информацией о вулканической деятельности международного аэронавигационного сообщества [1–2, 5–7, 11]. Сотрудники KVERT семь дней в неделю в рабочее время проводят непрерывный видео и спутниковый мониторинг активных вулканов Камчатки и Северных Курил.

С 2002 г. KVERT проводит спутниковый мониторинг вулканов Камчатки и Северных Курил, используя информацию со спутников: MTSAT, NOAA (AVHRR, METOP-A), TERRA и AQUA (MODIS), ASTER, SPOT-5, OMI, EO-1 ALI, AURA, LANDSAT и др. С 2007 г. KVERT анализирует исходные снимки NOAA (AVHRR), с 2012 г. он включён в рассылку системы предупреждения о повышенном содержании SO₂ в регионе, определяемом по спутниковым данным¹.

Крупные тесно сросшиеся вулканы Острый Толбачик (3682 м) и Плоский Толбачик (3085 м) расположены в юго-западной части Ключевской группы вулканов. В развитии вулкана Плоский Толбачик Б. И. Пийп [8–9] выделил две фазы: докальдерную и кальдерную, а также первым указал на сходство и разновозрастность кальдерных лав этого вулкана и ареальных образований (Толбачинской региональной зоны) с юго-запада и северо-востока от него. Появление кальдерных лав, аналогичных древним лавам фундамента Ключевской группы вулканов, Б. И. Пийп [9] связывал с раскрытием нового очага магмы, обязанного глубинным разломам, расколов-

шим тело вулкана. Возраст лав древней кальдеры Плоского Толбачика и ареальной зоны относят к нижнему голоцену [3–4]. Региональная зона шлаковых конусов имеет общую протяжённость около 65 км, её юго-западная часть — около 40 км [3].

В течение многих лет региональная трещинная зона, примыкающая с юга к вулканам Острый и Плоский Толбачики и получившая название «Толбачинский дол», находилась в состоянии относительного покоя. И хотя слабые вулканические землетрясения в этом районе сейсмологи регистрировали почти постоянно, по визуальным и спутниковым данным, район был спокоен. Авиационный цветовой код действующего вулкана Плоский Толбачик оставался Зелёный.

26 ноября в районе вулкана сейсмологи Камчатского филиала Геофизической службы (КФ ГС) РАН зарегистрировали мощный рой вулканических землетрясений (65 штук) магнитудой 1,0–2,25 на глубине от –1 до 5 км. Они предположили, что началась активизация вулкана Плоский Толбачик. В 05:15 UTC 27 ноября произошло относительно сильное сейсмическое событие, затем в 05:52 UTC ещё одно.

Авиационный цветовой код вулкана был изменён с Зелёного на Жёлтый в 06:36 UTC 27 ноября². Было указано, что эпизоды вулканического дрожания отмечались сейсмологами в районе вулкана 7–10, 18 и 26 ноября; количество поверхностных землетрясений 26 ноября достигло 250. В связи с плохой погодой, начала извержения вулкана никто не видел, не отмечались и пепловые облака на спутниковых снимках. Так как сначала предполагалось, что события происходят в районе постройки вулкана Плоский Толбачик, в прогнозе опасности вулкана для авиapolетов была указана высота пепловых выбросов 5 км н. у. м. — согласно известным ис-

¹<http://sacs.aeronomie.be>

²<http://www.kscnet.ru/ivs/kvert/van/index.php?n=2012-19>



Рис. 1. Трещинное Толбачинское извержение им. 50-летия ИВиС ДВО РАН 28 ноября 2012 г. Фото Ю. Демянчук.

торическим данным о высоте пепловых выбросов над кратером Плоского Толбачика.

27 ноября поступила информация, что в посёлке Майское начался пеплопад. Около 10:00 UTC 27 ноября произошло сильное сейсмическое событие, которое сейсмологи КФ ГС интерпретировали как выброс пепла на 10 км н. у. м. В связи с этим, в 19:52 UTC 27 ноября Авиационный цветовой код вулкана был изменен с Жёлтого на Оранжевый³.

После получения новой информации — о возможном прорыве лавы на Толбачинском долу, в 23:21 UTC 27 ноября было выпущено сообщение VONA/KVERT, в котором Авиационный цветовой код вулкана сохранялся Оранжевый, но в прогнозе было указано, что пепловые выбросы возможны до 10 км н. у. м. (как, например, в 1975 г.)⁴.

27–28 ноября сотрудники Камчатской вулканологической станции им. Ф. Ю. Левинсона-Лессинга обнаружили, что отложения пепла Толбачика занимают в районе автомобильной трассы «Ключи-Козыревск» полосу в 40 км. В разрезе снега в п. Майское выделяется (снизу вверх): нижний слой пепла мощностью 2,5 см, в основании которого лежат частицы размером до 1–2 мм; слой снега мощностью 4 см; диффузный слой пепла вместе со снегом мощностью 4 см. 28 ноября при улучшении погоды выяснилось, что на Толбачинском долу образовалась трещина длиной в несколько километров, по трещине наблюдается фонтанирование лавы, в верхней и нижней её частях локализованы два крупных центра с подъёмом парогазовых с пеплом колонн до 3,0–3,5 км

н. у. м. (рис. 1). В связи с этим, в 23:28 UTC 28 ноября Авиационный цветовой код вулкана был изменён с Оранжевого на Красный, с сохранением опасности пепловых выбросов до 10 км н. у. м.⁵. После получения первых фотоснимков с облёта места извержения, картина полностью прояснилась. Стало ясно, что на Толбачинском долу изливаются очень жидкие лавы — глинозёмистые базальты, изливание которых не сопровождается мощными пепловыми выбросами, поэтому 30 ноября в 00:06 UTC Авиационный цветовой код вулкана был изменён с Красного на Оранжевый, и была указана опасность выбросов пепла до 6 км н. у. м., т. е. опасность существовала только для местных авиалиний⁶.

Суммируя вышесказанное, можно утверждать, что в 05:15 UTC 27 ноября на Толбачинском долу началось трещинное извержение. В декабре оно получило название «Трещинное Толбачинское извержение имени 50-летия ИВиС ДВО РАН» (стендовый доклад Е. И. Гордеева, А. П. Хренова на AGU).

На спутниковом снимке TERRA MODIS за 29 ноября хорошо видно, что длина каждого из лавовых потоков, истекавших из верхнего и нижнего отрезков трещины на западный склон Толбачинского дола, примерно одинакова и составляет около 10 км (рис. 2). На северо-восток от центра извержения, примерно на 70 км протягивается полоса отложений пепла, выброшенного 27 ноября при формировании трещины прорыва. Кроме этого, на спутниковых снимках 28 ноября — 1 декабря прослеживается распространение аэрозольного облака, содер-

³<http://www.kscnet.ru/ivs/kvert/van/index.php?n=2012-20>

⁴<http://www.kscnet.ru/ivs/kvert/van/index.php?n=2012-21>

⁵<http://www.kscnet.ru/ivs/kvert/van/index.php?n=2012-22>

⁶<http://www.kscnet.ru/ivs/kvert/van/index.php?n=2012-23>

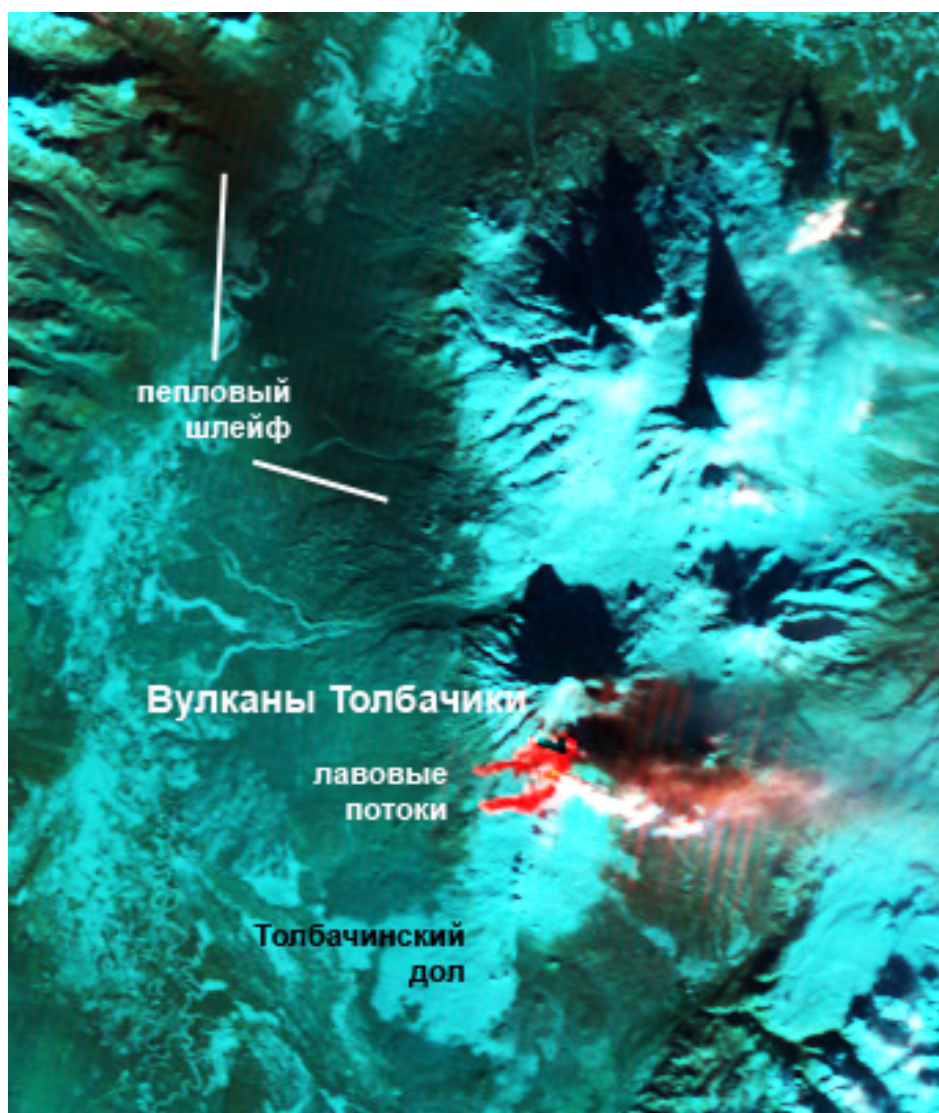


Рис. 2. Лавовые потоки и пепловый шлейф, сформированные в первые дни Трещинного Толбачинского извержения им. 50-летия ИВиС ДВО РАН, на спутниковом снимке TERRA MODIS от 29 ноября 2012 г.

жащего повышенные содержания SO_2 . 28 ноября узкий прямолинейный шлейф аэрозолей протягивался от вулкана Толбачик до Новосибирских о-вов. 29 ноября отмечалась примерно та же начальная траектория распространения аэрозольного шлейфа, но наблюдалось также крупное облако аэрозолей между Новосибирскими о-вами и Обской губой. 1 декабря основная концентрация SO_2 фиксировалась в облаке над западной частью о. Новая земля, но часть аэрозольного облака продолжала находиться над центральной Сибирью (рис. 3). В дальнейшем концентрация SO_2 в районе вулкана, отмечавшаяся по спутниковым данным, резко понизилась. То есть основная масса аэрозолей (в том числе и большое количество SO_2) поступила в атмосферу при раскрытии трещины прорыва.

29 ноября при авиаоблёте района извержения также выяснилось, что полевые базы ИВиС ДВО РАН «Водопадная» и «Ленинградская», а также база

Природного парка «Вулканы Камчатки» погребены лавовыми потоками [10]. Общая площадь лавовых потоков, оцененная по спутниковым данным, на 29 ноября 2012 г., составила $\sim 14 \text{ км}^2$.

К 1 декабря изливания лавы из верхнего отрезка трещины прекратились, но извержение на нижнем отрезке трещины продолжалось в прежнем режиме. 1–2 декабря лавовый поток начал перекрывать дорогу, проложенную вулканологами в 1975 г. на Толбачинский дол для изучения Большого трещинного Толбачинского извержения (БТТИ). К 9 декабря этот лавовый поток достиг конуса Белая горка. При авиаоблёте района извержения 12 декабря 2012 г. удалось отснять всю трещину прорыва длиной 5,5 км, протянувшуюся от конуса Красный ($\sim 1500 \text{ м н. у. м.}$) на юге до участка выше конуса прорыва 1941 г. ($\sim 2150 \text{ м н. у. м.}$). К 15 декабря часть трещины, которая прорезала конус Красный, перестала работать, основные события извержения со-

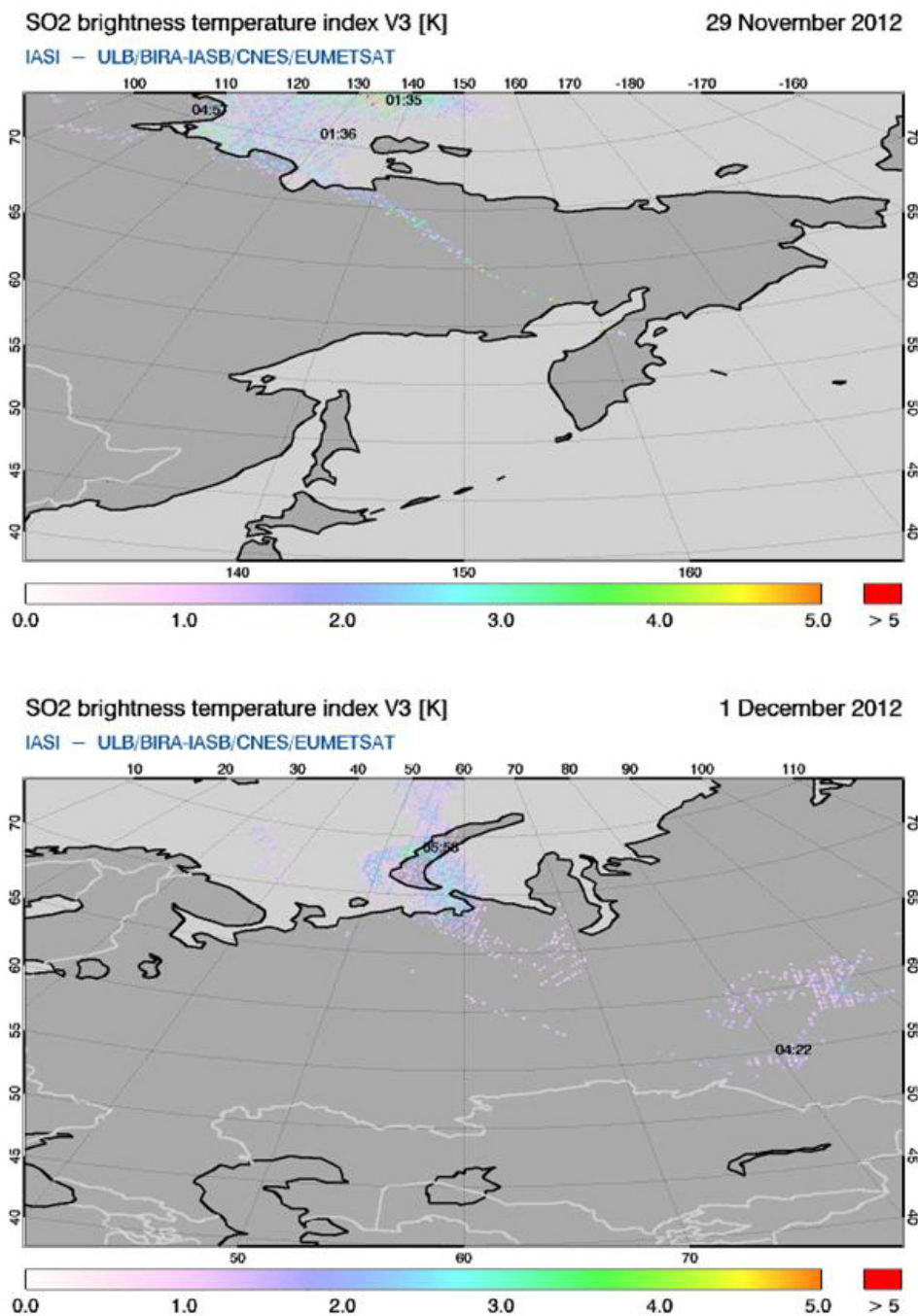


Рис. 3. Распространение аэрозольного облака, содержащего повышенные содержания SO_2 , 29 ноября – 01 декабря 2012 г. <http://sacs.aeronomie.be/alert/index.php>.

средоточились в 3–4 новых шлаковых конусах выше конуса Красный, продолжавших работать с 27 ноября. Лавовые потоки, непрерывно изливавшиеся из этих конусов, вернее из трещины, на которую были насажены эти шлаковые конусы, наращивали площадь и мощность нового лавового покрова. К 15 декабря общая длина лавовых потоков, изливавшихся из нижней части трещины, достигла 18–19 км. Мощность потоков на боковых и фронтальных

частях на разных расстояниях от истока варьировалась от 3 до 15 м.

До начала извержения в районе прорыва трещины на Толбачинском долу термальная аномалия на спутниковых снимках не наблюдалась, в течение нескольких суток непосредственно перед извержением вулкан был закрыт плотной облачностью, в связи с этим, прогноз извержения по спутниковым данным сделать было невозможно. С 27 ноября

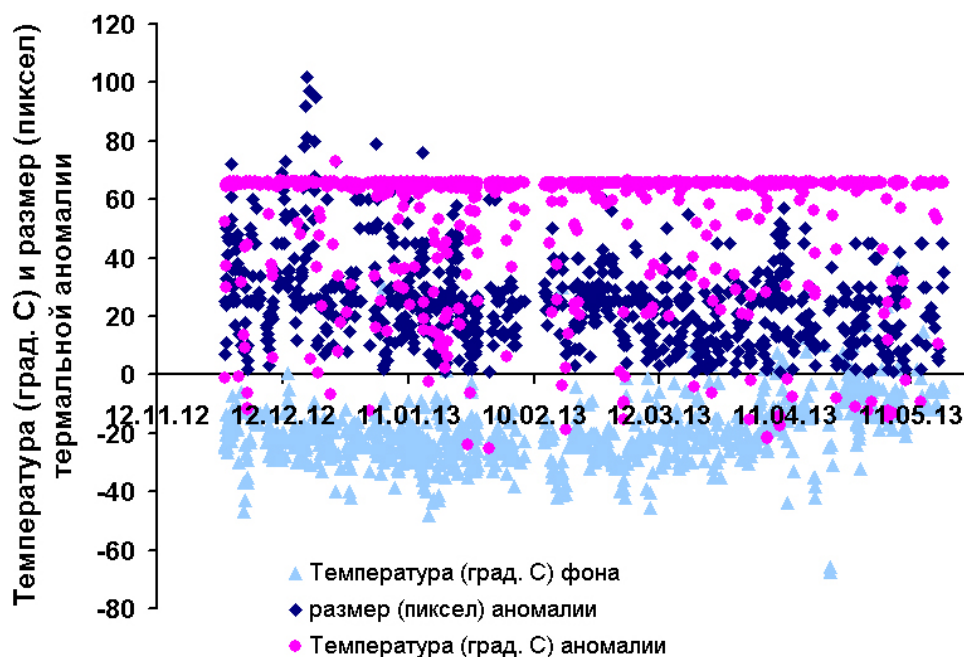


Рис. 4. Температура и размер термальной аномалии, регистрируемой в районе Трещинного Толбачинского извержения им. 50-летия ИВиС ДВО РАН в 2012–2013 гг.

и до настоящего времени в северной части Толбачинского дола постоянно отмечается крупная термальная аномалия размером от 30 до 100 пикселей и температурой пикселей, равной пределу измерения радиометра AVHRR, $+65,5^{\circ}\text{C}$ (рис. 4). Размер аномалии обусловлен широким полем быстро растекающихся лавовых потоков, а также непрерывно фонтанирующими лавой шлаковыми конусами, продолжающимися формироваться на нижнем отрезке трещины.

Следует отметить, что 8 декабря, при облёте туристами вершинного кратера Плоского Толбачика, на его дне впервые за 25 лет была отмечена фумарола. 6 апреля 2013 г. в 15:36 UTC на спутниковом снимке NOAA-19 отмечалась слабая термальная аномалия в районе кратера вулкана Плоский Толбачик, которая время от времени фиксируется до настоящего времени. Возможно, в кратер вулкана Плоский Толбачик вернется лавовое озеро, которое существовало там до извержения 1975 г.

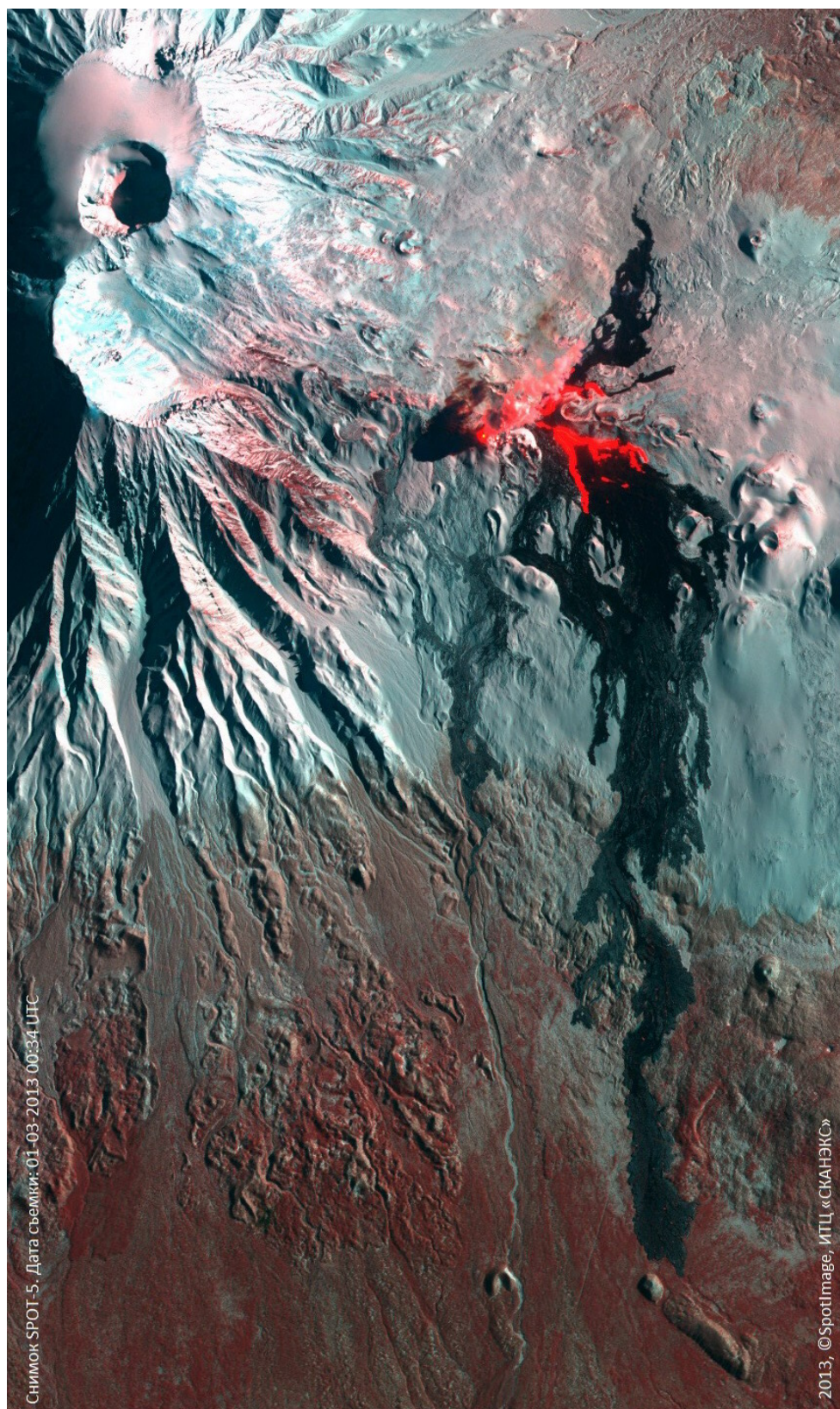
Излияние лавовых потоков продолжалось, и в конце декабря 2012 г., в связи с изменением рельефа в районе новых прорывов, первые лавовые потоки стали переливаться на восточный склон Толбачинского дола, обтекая конус Клешня. Постепенно на этом склоне дола сформировалось новое лавовое поле, отличавшееся распространением очень жидких лав гавайского типа. Протяжённость этого поля не превысила 5–6 км от нижнего эруптивного центра. В этой части лавового покрова проявилось всё многообразие структур и текстур лав пахоэхоэ с температурой $1020\text{--}1200^{\circ}\text{C}$ — здесь формирова-

лись канатные, подушечные, сфероидные, торосовидные и другие лавовые образования.

По состоянию на 30 января 2013 г. общая площадь лавовых потоков, оценённая по спутниковым данным, составила $\sim 27\text{ км}^2$. В феврале–мае 2013 г. потоки лавы появлялись на поверхности земли на расстоянии 0,5–1,0 км от активного шлакового конуса, большая часть потоков лавы распространялась по лаводам внутри лавового покрова. Истечение лавы продолжалось непрерывно, о чём свидетельствовали свечение в северной части Толбачинского дола, наблюдавшееся по видеокамерам в ночное время, и крупная термальная аномалия в районе дола, регистрируемая на спутниковых снимках.

На спутниковом снимке Spot-5 от 01 марта 2013 г., предоставленном ИТЦ «СКАНЭКС», хорошо проявляются порции лавы, формирующие новый лавовый покров (рис. 5). Лавы, излившиеся из верхней части трещины, уже холодные, они присыпаны снегом; на западном и восточном склонах Толбачинского дола продолжают формироваться лавовые покровы, связанные с излиянием лавы из нижней части трещины; недавно излившиеся и не остывшие ещё лавовые потоки имеют чёрный цвет; самые свежие порции лавы красного цвета.

В течение ноября 2012 г. — мая 2013 г. парогазовые столбы, содержащие небольшое количество пепла, поднимались не выше 4,5 км н. у. м., шлейфы протягивались на десятки километров в различных направлениях от центра извержения. Хотя Толбачинский дол постоянно засыпался небольшим количеством пепла, на спутниковых снимках пепловые



Снимок SPOT-5. Дата съемки: 01-03-2013 00:34 UTC

2013, © SpotImage, ИТЦ «СКАНЭК»

Рис. 5. Лавовый покров, формирующийся в течение Трещинного Толбачинского извержения им. 50-летия ИВис ДВО РАН, на спутниковом снимке Spot-5 от 01 марта 2013 г. (снимок предоставлен ИТЦ «СКАНЭК»).

шлейфы не отмечались, т. е. извержение не представляло опасности для международных авиатрасс.

В заключение, следует сказать, что 7 февраля 2013 г. на Учёном совете ИВиС ДВО РАН было принято решение о названиях возникших природных объектов. Текущее извержение назвали «Трещинное Толбачинское извержение имени 50-летия ИВиС ДВО РАН». Верхний и нижний прорывы были названы, соответственно, «Прорыв Игоря Меняйлова» и «Прорыв Софьи Набоко», в честь известных вулканологов, внёсших весомый вклад в развитие науки. Связанные с вышеуказанными прорывами лавовые поля, назвали, соответственно, «Водопадное» и «Ленинградское».

Работа выполнена при поддержке Целевой комплексной программы «Спутниковый мониторинг Дальнего Востока для проведения фундаментальных научных исследований Дальневосточного отделения РАН» и РФФИ (проект 11-07-12026-офим-2011).

Список литературы

1. *Гирина О. А.* О предвестнике извержений вулканов Камчатки, основанном на данных спутникового мониторинга // *Вулканология и сейсмология*, 2012, № 3, С. 14-22.
2. *Гирина О. А., Гордеев Е. И.* Проект KVERT – снижение вулканической опасности для авиации при эксплозивных извержениях вулканов Камчатки и Северных Курил // *Вестник ДВО РАН*. 2007. С. 100–109.
3. *Ермаков В. А.* Формационное расчленение четвертичных вулканических пород. Недра, М., 1977. 224 с.
4. *Ермаков В. А., Вазеевская А. А.* Вулканы Острый и Плоский Толбачик // *Бюл. вулканол. станций*. 1973. № 49. С. 43–53.
5. *Ефремов В. Ю., Гирина О. А., Крамарева Л. С. и др.* Создание информационного сервиса «Дистанционный мониторинг активности вулканов Камчатки и Курил» // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2012. Том. 9 (5). С. 155–170.
6. *Кирьянов В. Ю., Нил К. А., Гордеев Е. И. и др.* Камчатская группа реагирования на вулканические извержения (KVERT) // *USGS Fact Sheet*. 2003. 151–02.
7. *Кирьянов В. Ю., Чубарова О. С., Гирина О. А. и др.* Группа по обеспечению безопасности полётов от вулканических пеплов (KVERT): 8 лет деятельности // *Геодинамика и вулканизм Курило-Камчатской островодужной системы. Петропавловск-Камчатский: ИВГиГ ДВО РАН*, 2001. С. 408–423.
8. *Пийп Б. И.* Вулкан Толбачик // *Бюл. вулканол. станции на Камчатке*. 1954. № 20. С. 69–71.
9. *Пийп Б. И.* Ключевская сопка и её извержения в 1944–45 гг. и в прошлом // *Труды лабор. вулканол.* Вып. 11. М. Изд-во АН СССР. 1956. 312 с.
10. *Самойленко С. Б., Мельников Д. В., Магуськин М. А., Овсянников А. А.* Начало нового трещинного Толбачинского извержения в 2012 г. // *Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле*. 2012. № 2 (20). С. 20–22.
11. *Neal Ch., Girina O, Senyukov S. et al.* Russian eruption warning systems for aviation // *Natural Hazards. Springer Netherlands*. 2009. Vol. 51. № 2. P. 245–262.