

## Извержение вулкана Безымянный 20 декабря 2017 года

О. А. Гирина<sup>1</sup>, Е. А. Лупян<sup>2</sup>, Д. В. Мельников<sup>1</sup>, А. Г. Маневич<sup>1</sup>,  
А. А. Сорокин<sup>3</sup>, Л. С. Крамарева<sup>4</sup>, И. А. Уваров<sup>2</sup>, А. В. Кашницкий<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН  
Петропавловск-Камчатский, 683006, Россия  
E-mail: girina@ksnet.ru*

<sup>2</sup> *Институт космических исследований РАН, Москва, 117997, Россия*

<sup>3</sup> *Вычислительный центр ДВО РАН, Хабаровск, 680000, Россия*

<sup>4</sup> *Дальневосточный центр НИЦ «Планета», Хабаровск, 680673, Россия*

Безымянный — один из наиболее активных вулканов Камчатки и мира. В декабре 2016 г. началась его активизация после четырёхлетнего молчания в течение 2012–2016 гг. В 2017 г. произошло три пароксизмальных эксплозивных извержения вулкана, событию 20 декабря с выносом пепла до 15 км над уровнем моря посвящена эта статья. Описан ход извержения и результаты его анализа, в том числе показано анимированное изображение движения пеплового облака от вулкана, выполненное по серии снимков Himawari-8 (<http://dvrcpod.planeta.smlab.ru/animation/1513757110.gif>), с наложением на него результатов моделирования распространения пеплового облака (<http://dvrcpod.planeta.smlab.ru/animation/1513777733.gif>). Эруптивное облако двигалось на северо-восток от вулкана со средней скоростью 100 км/ч. Основная площадь территории, охваченной пепловыми облаками, составляла около 78 000 км<sup>2</sup>, в том числе на суше — 42 600 км<sup>2</sup>. Пепловые облака после окончания извержения фиксировались в атмосфере на удалении до 1500–2000 км на северо-востоке от вулкана до 22 декабря 2017 г. Кроме отложений пепла, в результате извержения в долине Восточной и долине р. Сухая Хапица были образованы отложения пирокластических (протяжённостью 5–6 км от вулкана) и грязевых (до 18 км) потоков. Спутниковый мониторинг вулкана и анализ данных по его извержению проводился с помощью информационной системы VolSatView и автоматизированной информационной системы «Сигнал».

**Ключевые слова:** вулкан, Безымянный, извержение, Камчатка, мониторинг, VolSatView

Одобрена к печати: 18.05.2018

DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-3-88-99

### Введение

Безымянный — один из наиболее активных вулканов мира — расположен в центральной части Ключевской группы вулканов Камчатки. После катастрофического извержения 30 марта 1956 г. рост лавового купола в его эксплозивном кратере до конца 2012 г. продолжался почти непрерывно (Girina, 2013). В течение четырёх лет с декабря 2012 г. до декабря 2016 г. 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 четырёх извержений вулкана Ключевской в 2012–2013, 2013, 2015 и 2016 гг. (Гирина, 2016; Гирина и др., 2017).

Начало активизации Безымянного в декабре 2016 г. и два пароксизмальных эксплозивных извержения 9 марта и 16 июня 2017 г. описаны в работах (Гирина и др., 2017а–в; Салтыков и др., 2018; Чебров и др., 2017). Здесь мы покажем результаты анализа активности этого вулкана при подготовке и в течение извержения 20 декабря 2017 г.

Наблюдения за Безымянным с помощью видеокамер осуществляются с 20 августа 2003 г. Спутниковый мониторинг вулкана проводится учёными Камчатской группы реагирования на вулканические извержения (KVERT — Kamchatkan Volcanic Eruption Response Team) Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН с 2002 г., с помощью информационной системы (ИС) «Дистанционный мониторинг активности вулканов Камчатки и Курил» (VolSatView) он выполняется с 2014 г. (Ефремов и др., 2012; Gordeev, Girina, 2014; Gordeev et al., 2016).

Для анализа динамики распространения пепловых облаков от вулканов в ИС VolSatView реализована возможность построения анимированных изображений на основе серий наблюдений спутниковых систем, а также размещения на таких изображениях результатов численного моделирования распространения пепловых облаков (Гирина и др., 2017б; Сорокин и др., 2016; Gordeev et al., 2016).

В VolSatView доступны инструменты для анализа временных серий данных по Himawari-8 (Гирина и др., 2017а). На вулкане Безымянный в районе термальной аномалии выделена точка постоянных наблюдений, в которой в автоматическом режиме непрерывным потоком фиксируется яркостная температура (К), значения которой поступают в базу данных. Анализируются как собственно значения яркостной температуры аномалии, так и величины спектральной энергетической яркости (СЭЯ, Вт/(м<sup>2</sup>·ср·мкм)) получаемых измерений. Временной ряд значений СЭЯ аномалии, составленный по результатам анализа только ночных снимков Himawari-8, позволяет детализировать процесс извержения вулкана.

### Извержение вулкана 20 декабря 2017 года

Согласно спутниковым данным, в 2012–2016 гг. в районе вулкана почти постоянно отмечалась слабая термальная аномалия, отражавшая повышенный тепловой поток эмиссии фумарольных газов (рис. 1). Начиная с 5 декабря 2016 г. её температура была постоянно высокой: сначала в связи с выжиманием экструзивного тела в кратере лавового купола Безымянного, затем — с выжиманием вязких лавовых потоков на его западные и северо-западные склоны, на фоне которых произошли эксплозивные извержения 15 декабря 2016 г., 9 марта и 16 июня 2017 г. (Гирина и др., 2017а–в).

В июле–сентябре 2017 г. в районе вулкана ночью постоянно отмечалось свечение, на спутниковых снимках — яркая термальная аномалия, т.е. продолжалось выжимание лавового потока на северо-западный склон купола (см. рис. 1). Опасность эксплозивных событий сохранялась, поэтому Авиационный цветовой код (АЦК) вулкана был Оранжевый. С конца сентября температура аномалии начала постепенно снижаться, в связи с этим 5 октября АЦК вулкана был изменён на Жёлтый (<http://www.kscnet.ru/ivs/kvert/van/?n=2017-243>).

С 14 декабря температура аномалии в районе Безымянного начала постепенно повышаться, наблюдались высокая парогазовая активность вулкана и свечение вершины лавового купола в ночное время.

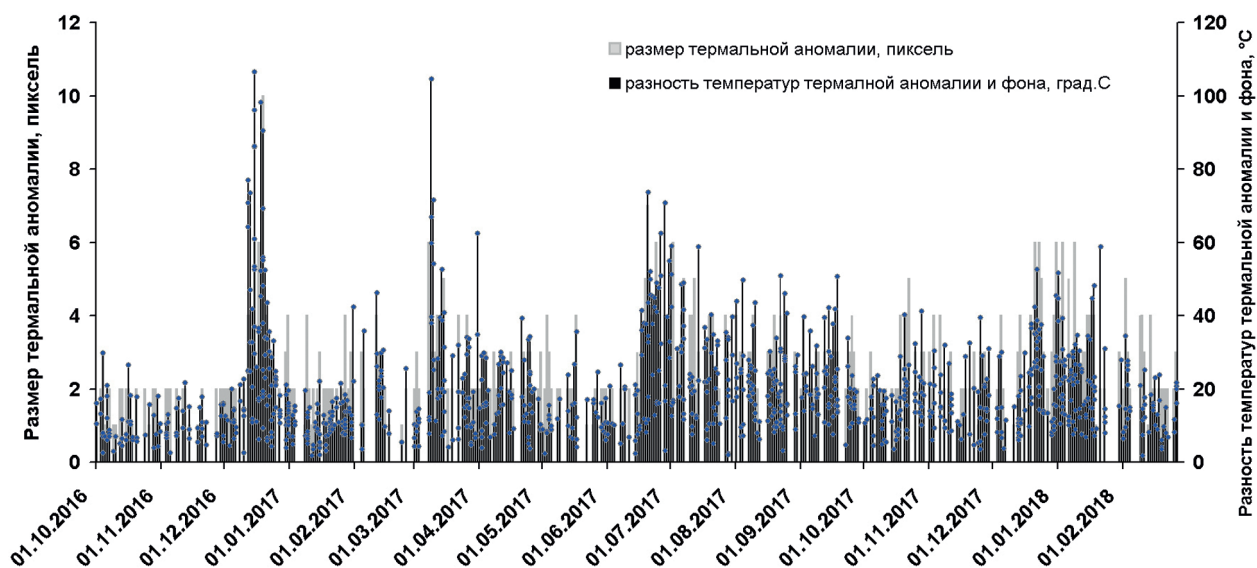


Рис. 1. Характеристики термальной аномалии в районе влк. Безымянный в октябре 2016 г. — феврале 2018 г. (по спутниковым данным из ИС VolSatView)



Рис. 2. Эксплозивное извержение влк. Безымянный с выносом пепла до 15 км н. у. м. 20 декабря 2017 г. по видеоданным КФ ФИЦ ЕГС РАН (вид из п. Козыревск в 03:59 GMT)

С 18 декабря стали отмечаться обрушения раскалённых лавин на юго-восточный склон купола. 18 декабря АЦК вулкана был изменён на Оранжевый (<http://www.kscnet.ru/ivs/kvert/van/?n=2017-263>), было указано, что сильное эксплозивное извержение с выносом пепла до 15 км над уровнем моря (н. у. м.) возможно в любое время. В связи с дальнейшим повышением температуры аномалии, ростом интенсивности парогазовой активности вулкана и раскалённых лавин 20 декабря в 03:06 GMT было опубликовано предупреждение KVERT (<http://www.kscnet.ru/ivs/kvert/van/?n=2017-266>) о том, что эксплозивное извержение вулкана с выносом пепла до 15 км н. у. м. возможно в ближайшие часы.

В 03:40 GMT 20 декабря началось мощное эксплозивное извержение Безымянного с выносом пепла до 15 км н. у. м. (рис. 2), т. е. предупреждение об опасности было опубликовано за 34 мин до начала извержения вулкана.

Согласно спутниковым данным из ИС VolSatView, в течение пароксизмальной фазы извержения с 03:40 до 07:20 GMT 20 декабря в районе вулкана постоянно наблюдалась яркая термальная аномалия (непрерывный нестационарный вынос высокотемпературного ювенильного вещества при эксплозиях). По сейсмическим данным Камчатского филиала Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба РАН» (КФ ФИЦ ЕГС РАН), пароксизм длился 5,2 ч, величина вулканического дрожания составляла 0,4 мкм/с ([www.emsd.ru/~ssl/monitoring/](http://www.emsd.ru/~ssl/monitoring/)).

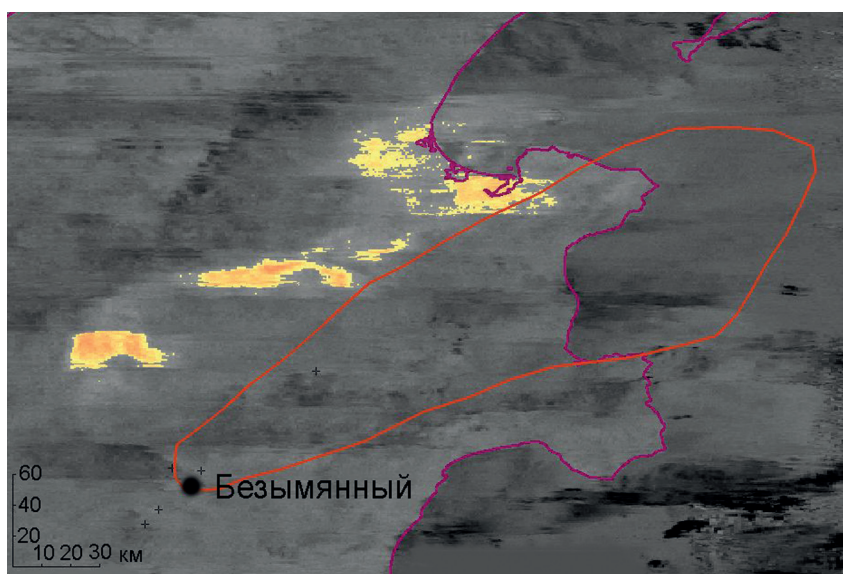
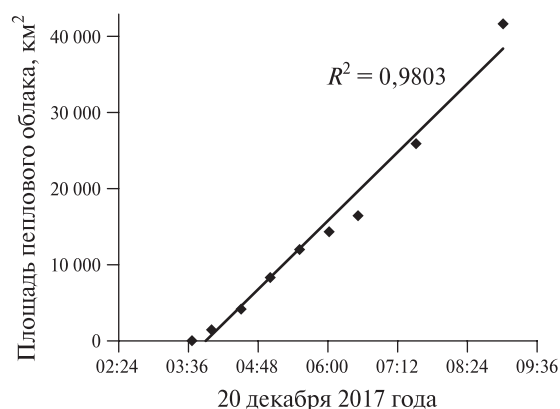
Согласно спутниковым данным из ИС VolSatView и видеоданным КФ ФИЦ ЕГС РАН, с 03:45 GMT этого дня на северный склон вулкана начали обрушиваться порции пирокластических потоков. При ударах фронтальных частей пирокластических потоков о крутой склон вулкана Камень над ними стали подниматься вторичные пепловые облака (когнимбритовые), материал которых, смешиваясь с материалом главной эруптивной колонны,



продолжающим истекать из кратера вулкана, добавлял в неё энергии, и мощное эруптивное облако, расширяясь вверх и во все стороны, стало постепенно смещаться на северо-восток от Безымянного. Далее пирокластические потоки начали скатываться по южным и юго-восточным склонам Безымянного в долину Восточная. В то же время и в истоках р. Сухая Хапица широким фронтом продолжали двигаться мощные пирокластические потоки. Раскалённый материал пирокластических потоков растапливал снег в долине, вода вскипала, паровые струи фреатических взрывов подмешивались в пепловые облака, создавая неоднородность и многоярусность эруптивной тучи (см. *рис. 2*). Кроме этого, в долине Восточной и долине р. Сухая Хапица движение пирокластических потоков сопровождалось образованием грязевых потоков.

Эруптивная туча, насыщенная пеплом, продолжала двигаться на высоте 15 км н.у.м. на северо-восток от вулкана со средней скоростью 100 км/ч (см. анимированное изображение её движения по серии снимков Himawari-8: <http://dvrcpod.planeta.smlab.ru/animation/1513757110.gif>). Например, с начала извержения в 03:40 GMT до 09:00 GMT площадь пеплового облака увеличилась с 72 до 42 000 км<sup>2</sup> (*рис. 3*). К этому часу облако протянулось на 540 км по азимуту 48–55° от вулкана, а затем всей протяжённой полосой стало медленно смещаться на северо-запад (*рис. 4*). По спутниковым данным, основная площадь территории, над которой распространялись пепловые облака Безымянного, составила около 78 000 км<sup>2</sup>, в том числе на суше — 42 600 км<sup>2</sup>. Согласно прогнозу Токио VAAC (Volcanic Ash Advisory Center), пепловые облака Безымянного продолжали оставаться опасными для авиатранспорта на удалении до 1500–2000 км на северо-восток от вулкана до 13:30 GMT 22 декабря 2017 г. ([https://ds.data.jma.go.jp/svd/vaac/data/vaac\\_list](https://ds.data.jma.go.jp/svd/vaac/data/vaac_list)).

*Рис. 3.* Изменение площади пеплового облака влк. Безымянный с 03:40 до 09:00 GMT 20 декабря 2017 г. (по спутниковым данным из ИС VolSatView)



*Рис. 4.* Смещение пеплового облака от влк. Безымянный 20 декабря 2017 г. всей полосой на северо-запад по состоянию на 14:20 GMT (спутник NPP) относительно состояния в 07:24 GMT (оконтуренное поле) (спутник NOAA-18), данные из ИС VolSatView

С использованием инструментов автоматизированной информационной системы «Сигнал» было проведено моделирование распространения пеплового облака от вулкана Безымянный в течение извержения 20 декабря с наложением его результата на анимированное изображение движения пеплового облака, полученное по спутниковым данным из ИС VolSatView (см. <http://dvrcpod.planeta.smlab.ru/animation/1513777733.gif>). Моделирование показало достаточно хорошее совпадение по направлению перемещения и распределению материала по высотам модельного и реального пепловых облаков.

## Обсуждение материалов

Для детализации динамики вулканогенного процесса, происходившего с начала активизации вулкана Безымянный в декабре 2016 г., был проанализирован временной ряд значений СЭЯ его термальной аномалии (рис. 5). Выделяются четыре явных пика таких значений, соответствующие эксплозивным событиям 15 декабря 2016 г., 9 марта, 16 июня и 20 декабря 2017 г. (Гирина и др., 2017а–в, 2018). Кроме этого, хорошо виден постепенный рост величины СЭЯ вплоть до конца сентября 2017 г., связанный с вероятным излиянием лавовых потоков на склоны лавового купола вулкана, её быстрое снижение в течение октября, небольшой всплеск значений в ноябре и дальнейшее её снижение (см. рис. 5).

Следует сказать, что максимальное значение СЭЯ, соответствующее извержению 9 марта 2017 г. (пять крупных эксплозий пепла до 7–8 км н. у. м.), в четыре раза выше значения СЭЯ, относящегося к извержению 20 декабря 2017 г. с выносом пепла до 15 км н. у. м. Отметим, что оба события происходили в дневное время при хороших погодных условиях весной и зимой соответственно, но первое извержение проявилось на фоне излияний лавовых потоков на склон вулкана, а последнее — на фоне снижения или замирания эффузивной деятельности Безымянного. Возможно, в течение растянутой во времени серии умеренной силы эксплозий 9 марта раскалённый лавовый материал был в точке измерений непрерывно, тогда как при эксплозивном извержении 20 декабря мощная эруптивная колонна перекрывала эту точку измерения значительную часть времени извержения (зафиксировано несколько всплесков яркости термальной аномалии, которые можно было бы принять за отдельные эксплозии, но видеоданные показывают непрерывность развития эруптивной колонны над кратером вулкана в течение извержения).

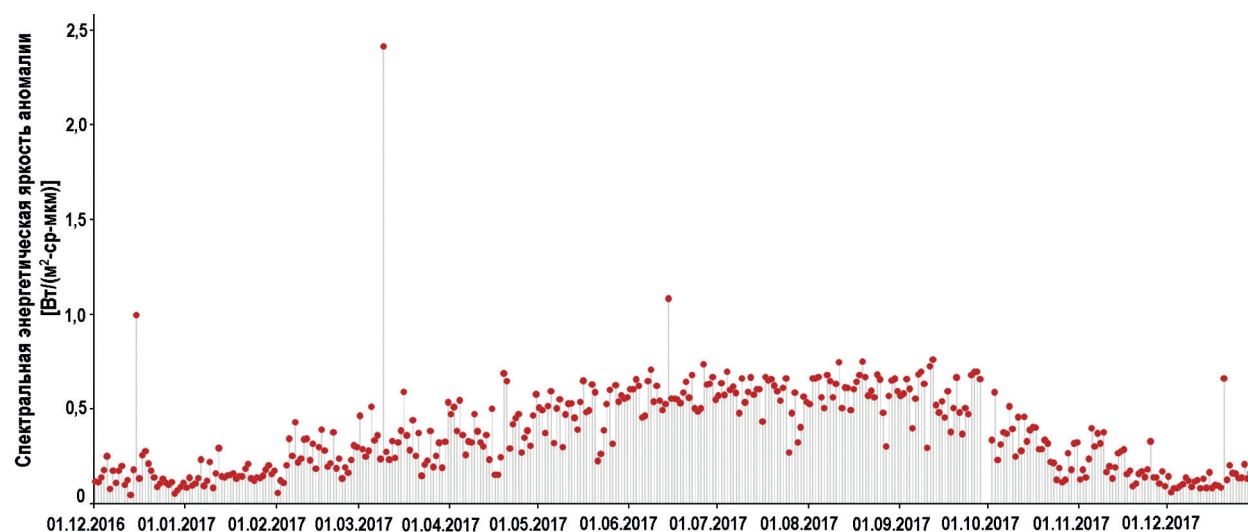


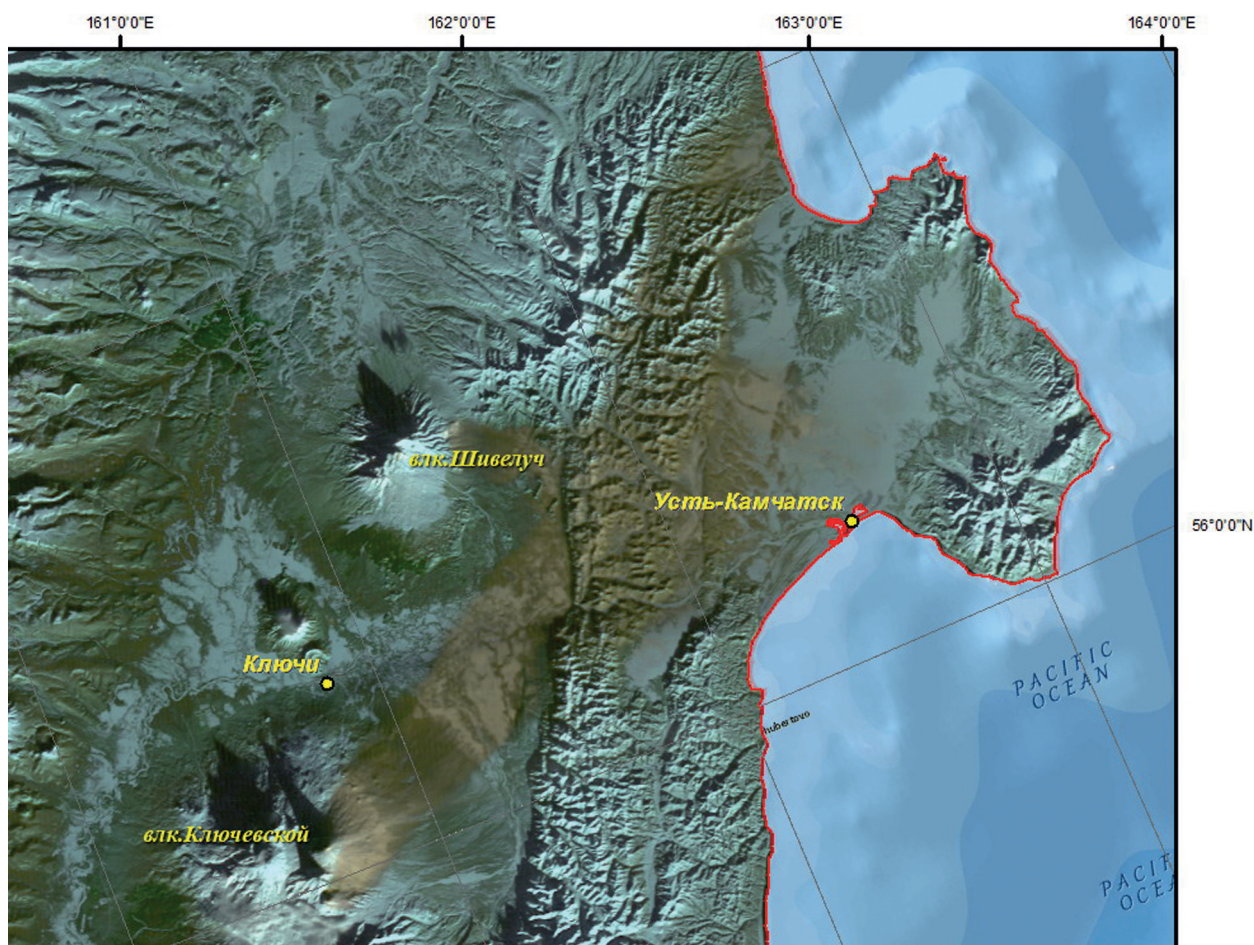
Рис. 5. Изменение спектральной энергетической яркости термальной аномалии влк. Безымянный в течение 2016–2017 гг. по Himawari-8 (7 канал, 3,9 мкм, максимальная температура аномалии за сутки), данные из ИС VolSatView



После окончания извержения в районе кратера вулкана в течение нескольких месяцев продолжала фиксироваться яркая термальная аномалия (см. *рис. 1, 5*), в тёмное время суток отмечалось свечение его вершины, что, вероятно, являлось отражением выжимания нового лавового потока на северо-восточный склон купола. Кроме этого, около недели севернее вершины вулкана отмечалась вторая яркая термальная аномалия, связанная, вероятно, с мощными отложениями пирокластических потоков у подножия северо-северо-восточного склона Безымянного в русле р. Сухая Хапица.

Согласно спутниковым данным из ИС VolSatView, протяжённость отложений пирокластических потоков в долине Восточной и в долине р. Сухая Хапица была до 6 км, грязевых потоков — до 18 км. Площадь образований пирокластических потоков в долине Восточной составила около 4 км<sup>2</sup>.

Отложения пепла, сформированные 20 декабря, на спутниковых снимках были отмечены на площади около 9100 км<sup>2</sup> территории суши (*рис. 6*). Как было указано выше, а также как показали результаты отбора пепла сотрудниками Камчатской вулканологической станции им. Ф. Ю. Левинсона-Лессинга 21 декабря, площадь территории, покрытой пеплом Безымянного, на самом деле гораздо больше (Гирина и др., 2018). Отметим, что в зонах, близких к основному полю отложений пепла (например, в районе п. Ключи или п. Усть-Камчатск), количество пепла составляло 26–53 г/м<sup>2</sup>, но в краевой части видимых со спутника отложений пепла его количество возрастало почти в четыре раза (102 г/м<sup>2</sup>) (*рис. 7*, см. с. 94).



*Рис. 6.* Отложения тефры на суше после эксплозивного извержения влк. Безымянный 20 декабря 2017 г. Данные ДЦ ФГБУ «НИЦ Планета», спутник Terra, 00:41 GMT 24.12.2017



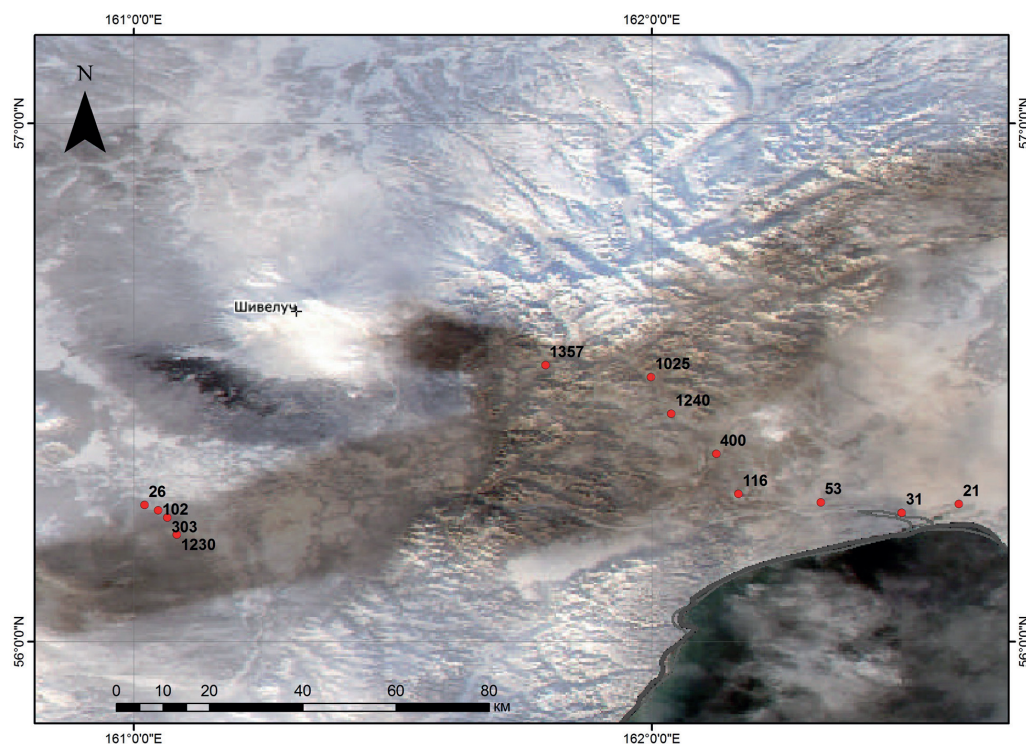


Рис. 7. Отложения пепла извержения влк. Безымянный 20 декабря 2017 г. на спутниковом снимке AQUA от 02:00 GMT 21 декабря 2017 г. Точками указаны места отбора пепла вулканологами 21 декабря 2017 г. в районах трассы Ключи — Усть-Камчатск и дороги на станцию Апахончич, цифрами — масса пепла в точках ( $\text{г/м}^2$ )

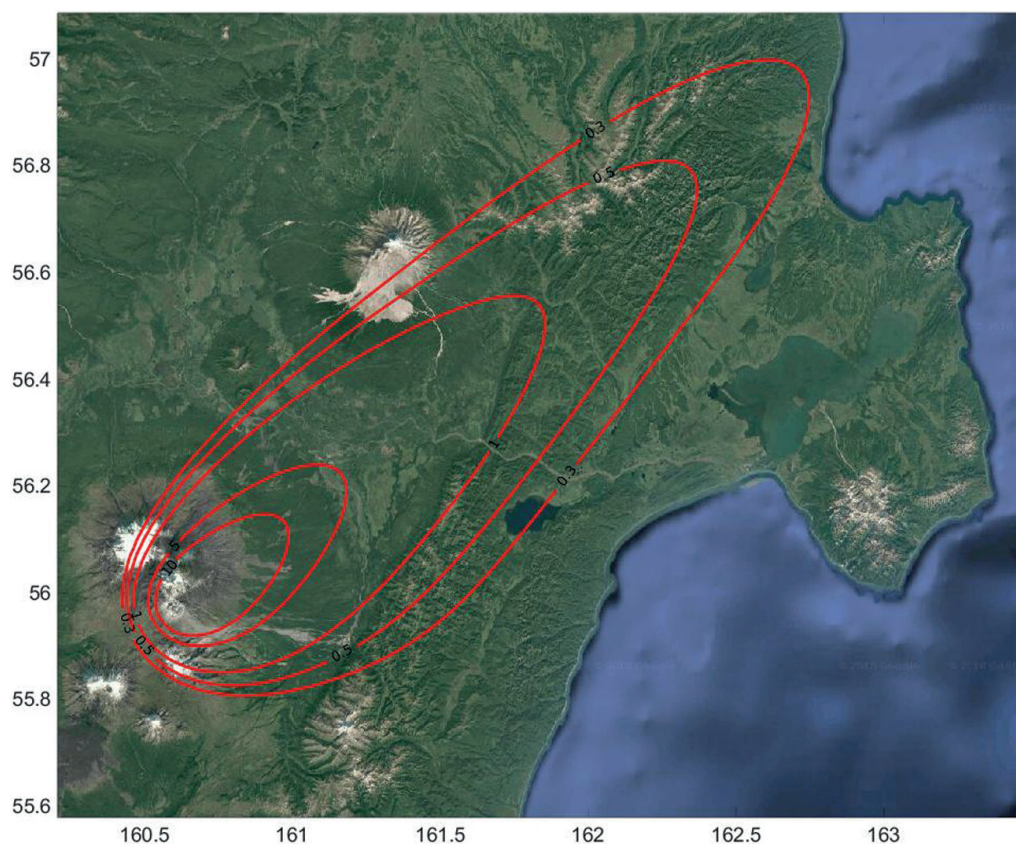


Рис. 8. Результаты моделирования (по модели Terhpa2) распределения по мощности отложений пепла влк. Безымянный 20 декабря 2017 г.

Большое количество пепла наблюдалось вблизи осевой части пепловых отложений ( $1230\text{--}1240\text{ г/м}^2$ ), наибольшее ( $1357\text{ г/м}^2$ ) из опробованных точек — в зоне длительной задержки пеплового облака, связанной с метеорологическими условиями в день извержения вулкана. Хотя в п. Ключи мощность выпавшего пепла была оценена менее чем в 1 мм (слабый налёт пепла), в связи с неоднородностью пеплового облака и сложной метеорологической обстановкой в этом районе во время извержения вулкана вероятно, что на различных участках территории района п. Ключи могло отмечаться разное количество пепла (до  $30\text{--}50\text{ г/м}^2$ ) (Гирина и др., 2018). По результатам моделирования распределения отложений пепла во время извержения вулкана Безымянный (значения скорости и направления ветра взяты по состоянию на 00:00 GMT 20 декабря 2017 г. из данных радиозонда п. Ключи), выполненного с использованием модели Tephra2 (Bonadonna et al., 2012; Suzuki, 1983) (рис. 8, см. с. 94), масса изверженной тефры, отложившейся на суше, оценивается в 30 млн т. Модельное распределение отложений тефры было сходным с полученным вулканологами во время отбора проб пепла.

### Заключение

Пароксизмальное извержение Безымянного 20 декабря 2017 г. было самым сильным в ряду четырёх эксплозивных извержений, произошедших после относительного покоя вулкана в течение четырёх лет (2012–2016). Первое 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 спустя 10 дней после явной активизации вулкана 5 декабря, связанной с началом выжимания вязких лавовых потоков на западный склон лавового купола (Гирина и др., 2017в, 2018). Второе эксплозивное извержение 9 марта 2017 г. (пепел поднимался до 7–8 км н.у.м.) наблюдалось спустя 94 дня после начала эффузивной деятельности вулкана и спустя 84 дня после первого эксплозивного (Гирина и др., 2017в, 2018). Третье извержение 16 июня (пепловое облако до 12 км н.у.м.) произошло через 99 дней после второго, четвёртое 20 декабря (эруптивная туча до 15 км н.у.м.) — через 188 дней после третьего. То есть для проявления наиболее 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, то последнее — на фоне снижения или замирания эффузивной деятельности вулкана. 20 декабря эруптивная колонна поднялась до 15 км н.у.м.; основная площадь территории, над которой распространялись пепловые облака Безымянного, составила около  $78\,000\text{ км}^2$ , в том числе на суше —  $42\,600\text{ км}^2$ . Согласно моделированию перемещения пепловой тучи, масса изверженной тефры, отложившейся на суше, составила 30 млн т.

Согласно спутниковым данным из ИС VolSatView, протяжённость отложений пирокластических потоков в долине Восточной и в долине р. Сухая Хапица была до 6 км, грязевых потоков — до 18 км. Площадь образований пирокластических потоков в долине Восточной составила около  $4\text{ км}^2$ . Для этого извержения VEI (Volcanic Explosivity Index) оценивается как 2–3.

Следует отметить, что работа ИС VolSatView осуществляется благодаря распределённым вычислительным ресурсам Дальневосточного центра НИЦ «Планета», Центра коллективного пользования (ЦКП) «ИКИ-Мониторинг» (Институт космических исследований РАН) и ЦКП «Центр данных ДВО РАН» (Вычислительный центр ДВО РАН), в которых используются технологии хранения и обработки спутниковой информации, созданные, в том числе, при поддержке гранта РФФИ № 15-29-07953 (Лупян и др., 2014, 2015). Авторы также выражают благодарность сотрудникам Камчатской вулканологической станции им. Ф. Ю. Левинсона-Лессинга за предоставленные данные о массе изверженной тефры вулкана Безымянный.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 16-17-00042).



## Литература

1. 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. DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-6-148-156.
2. Гирина О.А., Крамарева Л.С., Лупян Е.А., Сорокин А.А., Мельников Д.В., Маневич А.Г., Уваров И.А., Кашицкий А.В., Бурцев М.А., Марченков В.В., Бриль А.А., Мазуров А.А. (2017а) Применение данных спутника Himawari для мониторинга вулканов Камчатки // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2017. Т. 14. № 7. С. 65–76. DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-7-65-76.
3. Гирина О.А., Лупян Е.А., Мельников Д.В., Маневич А.Г., Кашицкий А.В., Бриль А.А., Сорокин А.А. (2017б). Извержения Северной группы вулканов Камчатки 14–18 июня 2017 года // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2017. Т. 14. № 3. С. 317–323. DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-3-317-323.
4. Гирина О.А., Мельников Д.В., Демянчук Ю.В., Маневич А.Г. (2017в) Извержение вулкана Безымянный в 2016–2017 гг. по данным KVERT // Вулканизм и связанные с ним процессы: Материалы 20-й региональной научной конф., посвящённой Дню вулканолога, 30–31 марта 2017 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2017. С. 14–17.
5. Гирина О.А., Мельников Д.В., Маневич А.Г. (2017г) Спутниковый мониторинг вулканов Камчатки и Северных Курил // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2017. Т. 14. № 6. С. 194–209. DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-6-194-209.
6. Гирина О.А., Мельников Д.В., Маневич А.Г., Демянчук Ю.В., Нурдаев А.А. Вулкан Безымянный в 2016–2018 гг. по данным KVERT // Вулканизм и связанные с ним процессы: Материалы 21-й региональной научной конференции, посвящённой Дню вулканолога, 29–30 марта 2018 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2018. С. 28–31.
7. Ефремов В.Ю., Гирина О.А., Крамарева Л.С., Лупян Е.А., Маневич А.Г., Матвеев А.М., Мельников Д.В., Прошин А.А., Сорокин А.А., Флитман Е.В. Создание информационного сервиса «Дистанционный мониторинг активности вулканов Камчатки и Курил» // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 5. С. 155–170.
8. Лупян Е.А., Милехин О.Е., Антонов В.Н., Крамарева Л.С., Бурцев М.А., Балашов И.В., Толпин В.А., Соловьев В.И. Система работы с объединёнными информационными ресурсами, получаемыми на основе спутниковых данных в центрах НИЦ «Планета» // Метеорология и гидрология. 2014. № 12. С. 89–97.
9. Лупян Е.А., Прошин А.А., Бурцев М.А., Балашов И.В., Барталев С.А., Ефремов В.Ю., Кашицкий А.В., Мазуров А.А., Матвеев А.М., Суднева О.А., Сычуглов И.Г., Толпин В.А., Уваров И.А. Центр коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных ИКИ РАН для решения задач изучения и мониторинга окружающей среды // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. № 5. С. 263–284.
10. Салтыков В.А., Кугаенко Ю.А., Ворopaев П.В. Первое применение в режиме реального времени методики вероятностного прогноза извержений вулкана Безымянный // Геофизические исследования. 2018. Т. 19. № 1. С. 49–54. DOI: 10.21455/gr2018.1-4.
11. Сорокин А.А., Королев С.П., Гирина О.А., Балашов И.В., Ефремов В.Ю., Романова И.М., Мальковский С.И. Интегрированная программная платформа для комплексного анализа распространения пепловых шлейфов при эксплозивных извержениях вулканов Камчатки // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 4. С. 9–19. DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-4-9-19.
12. Чебров Д.В., Фирстов П.П., Сеньюков С.Л., Близнецов В.Е., Ворopaев П.В., Гарбузова В.Т., Дроздина С.Я., Кожевникова Т.Ю., Кугаенко Ю.А., Назарова З.А., Нурдина И.Н., Салтыков В.А., Серафимова Ю.К., Сероветников С.С., Соболевская О.В. Активность вулкана Безымянный (Камчатка) в 2016–2017 гг. // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2017. № 1. Вып. 33. С. 5–11.
13. Bonadonna C., Folch A., Loughlin S., Puempel H. Future developments in modeling and monitoring of volcanic ash clouds: outcomes from the first IAVCEI-WMO workshop on Ash Dispersal Forecast and Civil Aviation // Bulletin of Volcanology. 2012. V. 74. No. 1. P. 1–10. DOI: 10.1029/2011EO100008.
14. Girina O.A. Chronology of Bezymianny Volcano activity, 1956–2010 // J. Volcanology and Geothermal Research. 2013. V. 263. P. 22–41. DOI: 10.1016/j.jvolgeores.2013.05.002.
15. Gordeev E.I., Girina O.A. Volcanoes and their hazard to aviation // Herald of the Russian Academy of Sciences. 2014. V. 84. No. 1. P. 1–8. DOI: 10.1134/S1019331614010079.

16. Gordeev E. I., Girina O. A., Lupyan E. A., Sorokin A. A., Kramareva L. S., Efremov V. Yu., Kashnitskiy A. V., Uvarov I. A., Burtsev M. A., Romanova I. M., Mel'nikov D. V., Manevich A. G., Korolev S. P., Verkhoturlov A. L. The VolSatView information system for Monitoring the Volcanic Activity in Kamchatka and on the Kuril Islands // *J. Volcanology and Seismology*. 2016. V. 10. No. 6. P. 382–394. DOI: 10.1134/S074204631606004X.
17. Suzuki T. A theoretical model for dispersion of tephra / eds. D. Shimonguru, I. Yokoyama // *Arc Volcanism: Physics and Tectonics*. Tokyo: Terra Scientific Publishing, 1983. P. 95–116.

## Bezymianny volcano eruption on December 20, 2017

O. A. Girina<sup>1</sup>, E. A. Loupian<sup>2</sup>, D. V. Melnikov<sup>1</sup>, A. G. Manevich<sup>1</sup>,  
A. A. Sorokin<sup>3</sup>, L. S. Kramareva<sup>4</sup>, I. A. Uvarov<sup>3</sup>, A. V. Kashnitskiy<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS  
Petropavlovsk-Kamchatsky 683006, Russia  
E-mail: girina@ksnet.ru*

<sup>2</sup> *Space Research Institute RAS, Moscow 117997, Russia*

<sup>3</sup> *Computing Center of Far Eastern Branch RAS, Khabarovsk 680000, Russia*

<sup>4</sup> *Far Eastern Center of Planeta Research Center for Space Hydrometeorology  
Khabarovsk 680673, Russia*

Bezymianny is one of the most active volcanoes in Kamchatka and the world. The intensification of its activity began in December 2016 after four years of silence during 2012–2016. There were three paroxysmal explosive volcanic eruptions in 2017; the paper is devoted to the event on December 20 with ash removal up to 15 km above sea level. We describe the course of the eruption and the results of its analysis, including an animated image of the motion of the ash cloud from the volcano, performed on a series of images of Himawari-8 (<http://dvrcpod.planeta.smlab.ru/animation/1513757110.gif>), with overlaid on it results of modeling the distribution of this ash cloud (<http://dvrcpod.planeta.smlab.ru/animation/1513777733.gif>). The eruptive cloud moved northeast of the volcano at an average speed of 100 km/h, the main area covered by ash clouds was about 78 000 km<sup>2</sup>, including 42 600 km<sup>2</sup> on land. Ash clouds after the eruption were recorded in the atmosphere at a distance of 1500–2000 km to the northeast of the volcano until December 22, 2017. In addition to ash deposits, as a result of the eruption, deposits of pyroclastic flows (with run out to 5–6 km from the volcano) and mud streams (about 18 km) were formed in Vostochnaya Valley and Sukhaya Khapitsa River. Satellite monitoring of the volcano and analysis of the eruption data was carried out using information systems VolSatView and Signal.

**Keywords:** volcano, Bezymianny, eruption, Kamchatka, monitoring, VolSatView

Accepted: 18.05.2018

DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-3-88-99

## References

1. Girina O. A., Sputnikovye dannye vysokogo razresheniya dlya utochneniya polozheniya razlomnykh zon v predelakh Klyuchevskoi gruppy vulkanov Kamchatki (Satellite high-resolution data used to clarify the position of fault zones within the Klyuchevskaya volcanic group of Kamchatka), *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2016, Vol. 13, No. 6, pp. 148–156, DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-6-148-156.
2. Girina O. A., Kramareva L. S., Loupian E. A., Sorokin A. A., Melnikov D. V., Manevich A. G., Uvarov I. A., Kashnitskiy A. V., Burtsev M. A., Marchenkov V. V., Bril' A. A., Mazurov A. A., Primenenie

- dannykh sputnika Himawari dlya monitoringa vulkanov Kamchatki (The use of Himawari satellite data for monitoring Kamchatka volcanoes), *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2017, Vol. 14, No. 7, pp. 65–76, DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-7-65-76.
3. Girina O. A., Loupian E. A., Melnikov D. V., Manevich A. G., Kashnitskii A. V., Bril' A. A., Sorokin A. A., Izverzheniya Severnoi gruppy vulkanov Kamchatki 14–18 iyunya 2017 goda (Eruptions of Kamchatka Northern volcanic group on 14–18 June, 2017), *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2017, Vol. 14, No. 3, pp. 317–323, DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-3-317-323.
4. Girina O. A., Melnikov D. V., Demyanchuk Yu. V., Manevich A. G., Izverzhenie vulkana Bezymyanniy v 2016–2017 gg. po dannym KVERT (2016–2017 Bezymianny volcano eruption according to KVERT data), *Vulkanizm i svyazannyye s nim protsessy* (Volcanism and associated processes), Proc. XX Regional Scientific Conf., 30–31 March 2017, Petropavlovsk-Kamchatskii: IViS DVO RAN, 2017, pp. 14–17.
5. Girina O. A., Melnikov D. V., Manevich A. G., Sputnikovyy monitoring vulkanov Kamchatki i Severnykh Kuril (Satellite monitoring of Kamchatkan and Northern Kuriles volcanoes), *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2017, Vol. 14, No. 6, pp. 194–209. DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-6-194-209.
6. Girina O. A., Mel'nikov D. V., Manevich A. G., Demyanchuk Yu. V., Nuzhdaev A. A., Vulkan Bezymyanniy v 2016–2018 gg. po dannym KVERT (Bezymianny volcano in 2016–2018 according to KVERT data), *Vulkanizm i svyazannyye s nim protsessy* (Volcanism and associated processes), Proc. Regional Scientific Conf., 29–30 March 2018, Petropavlovsk-Kamchatskii: IViS DVO RAN, 2018, pp. 28–31.
7. Efremov V. Yu., Girina O. A., Kramareva L. S., Loupian E. A., Manevich A. G., Matveev A. M., Melnikov D. V., Proshin A. A., Sorokin A. A., Flitman E. V., Sozdanie informatsionnogo servisa "Distantsionnyi monitoring aktivnosti vulkanov Kamchatki i Kuril" (Creating an information service "Remote monitoring of active volcanoes of Kamchatka and the Kuril Islands"), *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2012, Vol. 9, No. 5, pp. 155–170.
8. Loupian E. A., Milekhin O. E., Antonov V. N., Kramareva L. S., Burtsev M. A., Balashov I. V., Tolpin V. A., Solov'ev V. I., Sistema raboty s ob'edinennymi informatsionnymi resursami, poluchaemymi na osnove sputnikovyykh dannykh v tsentrakh NITs "Planeta" (System of operation of joint information resources based on satellite data in the Planeta Research Centers for Space Hydrometeorology), *Meteorologiya i gidrologiya*, 2014, No. 12, pp. 89–97.
9. Loupian E. A., Proshin A. A., Burtsev M. A., Balashov I. V., Bartalev S. A., Efremov V. Yu., Kashnitskii A. V., Mazurov A. A., Matveev A. M., Sudneva O. A., Sychugov I. G., Tolpin V. A., Uvarov I. A., Tsentr kollektivnogo pol'zovaniya sistemami arkhivatsii, obrabotki i analiza sputnikovyykh dannykh IKI RAN dlya resheniya zadach izucheniya i monitoringa okruzhayushchei sredy (IKI center for collective use of satellite data archiving, processing and analysis systems aimed at solving the problems of environmental study and monitoring), *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2015, Vol. 12, No. 5, pp. 263–284.
10. Saltykov V. A., Kugaenko Yu. A., Voropaev P. V., Pervoe primeneniye v rezhime real'nogo vremeni metodiki veroyatnostnogo prognoza izverzhenii vulkana Bezymyanniy (The first real-time application of the formalized technique for probabilistic forecast: Bezymianny volcano eruptions), *Geofizicheskie issledovaniya*, 2018, Vol. 19, No. 1, pp. 49–54, DOI: 10.21455/gr2018.1–4.
11. Sorokin A. A., Korolev S. P., Girina O. A., Balashov I. V., Efremov V. Yu., Romanova I. M., Mal'kovskii S. I., Integrirovannaya programmaya platforma dlya kompleksnogo analiza rasprostraneniya peplovykh shleifov pri eksplozivnykh izverzheniyakh vulkanov Kamchatki (The integrated software platform for a comprehensive analysis of ash plume propagation from explosive eruptions of Kamchatka volcanoes), *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2016, Vol. 13, No. 4, pp. 9–19, DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-4-9-19.
12. Chebrov D. V., Firstov P. P., Senyukov S. L., Bliznetsov V. E., Voropaev P. V., Garbuzova V. T., Drozhnina S. Ya., Kozhevnikova T. Yu., Kugaenko Yu. A., Nazarova Z. A., Nuzhdina I. N., Saltykov V. A., Serafimova Yu. K., Serovetnikov S. S., Sobolevskaya O. V., Aktivnost' vulkana Bezymyanniy (Kamchatka) v 2016–2017 gg. (2016–2017 Activity of Bezymianny volcano (Kamchatka)), *Vestnik KRAUNTS. Nauki o Zemle*, 2017, Vol. 33, No. 1, pp. 5–11.
13. Bonadonna C., Folch A., Loughlin S., Puempel H., Future developments in modeling and monitoring of volcanic ash clouds: outcomes from the first IAVCEI-WMO workshop on Ash Dispersal Forecast and Civil Aviation, *Bulletin of Volcanology*, 2012, Vol. 4, No. 1, pp. 1–10, DOI: 10.1029/2011EO100008.
14. Girina O. A., Chronology of Bezymianny Volcano activity, 1956–2010, *J. Volcanology and Geothermal Research*, 2013, Vol. 263, pp. 22–41, DOI: 10.1016/j.jvolgeores.2013.05.002.
15. Gordeev E. I., Girina O. A., Volcanoes and their hazard to aviation, *Herald of the Russian Academy of Sciences*, 2014, Vol. 84, No. 1, pp. 1–8, DOI: 10.1134/S1019331614010079.



16. Gordeev E. I., Girina O. A., Lupyan E. A., Sorokin A. A., Kramareva L. S., Efremov V. Yu., Kashnitskiy A. V., Uvarov I. A., Burtsev M. A., Romanova I. M., Melnikov D. V., Manevich A. G., Korolev S. P., Verkhoturov A. L., The VolSatView information system for Monitoring the Volcanic Activity in Kamchatka and on the Kuril Islands, *J. Volcanology and Seismology*, 2016, Vol. 10, No. 6, pp. 382–394, DOI: 10.1134/S074204631606004X.
17. Suzuki T., A theoretical model for dispersion of tephra, In: *D. Shimonguru, I. Yokoyama (eds.), Arc Volcanism: Physics and Tectonics*, Tokyo: Terra Scientific Publishing, 1983, pp. 95–116.