

УДК 551.21

Е.И. ГОРДЕЕВ, О.А. ГИРИНА, Е.А. ЛУПЯН, А.А. СОРОКИН,
Д.В. МЕЛЬНИКОВ, А.Г. МАНЕВИЧ, И.М. РОМАНОВА,
Л.С. КРАМАРЕВА, В.Ю. ЕФРЕМОВ, Д.А. КОБЕЦ,
А.В. КАШНИЦКИЙ, А.Л. ВЕРХОТУРОВ, М.А. БУРЦЕВ

ИС «VolSatView»: комплексный анализ данных об эксплозивных извержениях вулканов Камчатки

Эксплозивные извержения вулканов являются наиболее опасными в мире в связи с высокой энергетикой вулканогенного процесса и их непредсказуемостью. Для обеспечения безопасности населения при извержениях необходимо проведение вулканологами комплексного мониторинга вулканов с использованием данных всех доступных видов наблюдений (дистанционных и наземных инструментальных средств, метеоинформации). В 2011–2015 гг. совместными усилиями специалистов ИВиС ДВО РАН, ИКИ РАН, ВЦ ДВО РАН и ДВ НИЦ «Планета» была создана информационная система «Дистанционный мониторинг активности вулканов Камчатки и Курил (VolSatView)», ориентированная на непрерывный мониторинг вулканической активности Камчатки и Курил и анализ влияния извержений на окружающую среду. В работе представлено краткое описание ее возможностей для комплексного анализа извержений вулканов Камчатки.

Ключевые слова: Камчатка, вулкан, эксплозивное извержение, дистанционное зондирование, математическое моделирование, видеонаблюдения, информационная система.

Information system «VolSatView» for a comprehensive analysis of the Kamchatka volcanic explosive eruptions data. E.I. GORDEEV¹, O.A. GIRINA¹, E.A. LUPYAN², A.A. SOROKIN³, D.V. MELNIKOV¹, A.G. MANEVICH¹, I.M. ROMANOVA¹, L.S. KRAMAREVA⁴, V.Yu. EFREMOV², D.A. KOBETS², A.V. KASHNITSKIY², A.L. VERKHOTUROV³, M.A. BURTSEV² (¹Institute of Volcanology and Seismology, FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky; ²Space Research Institute, RAS, Moscow; ³Computing Center, FEB RAS, Khabarovsk; ⁴FEC SRC «Planeta», Khabarovsk).

Explosive volcanic eruptions are the most dangerous in the world due to the high energy of volcanic processes and their unpredictability. In order to ensure the population safety during eruptions, volcanologists are necessary to conduct comprehensive monitoring of volcanoes using data from all available types of observations (remote sensing and ground-

ГОРДЕЕВ Евгений Ильич – академик РАН, директор, *ГИРИНА Ольга Алексеевна – кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, МЕЛЬНИКОВ Дмитрий Владимирович – научный сотрудник, МАНЕВИЧ Александр Геннадьевич – научный сотрудник, РОМАНОВА Ираида Мстиславовна – ведущий программист (Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский), ЛУПЯН Евгений Аркадьевич – доктор технических наук, заместитель директора, заведующий отделом, ЕФРЕМОВ Виктор Юрьевич – научный сотрудник, КОБЕЦ Дмитрий Александрович – инженер, КАШНИЦКИЙ Александр Витальевич – инженер, БУРЦЕВ Михаил Александрович – кандидат технических наук, научный сотрудник (Институт космических исследований РАН, Москва), СОРОКИН Алексей Анатольевич – кандидат технических наук, заведующий лабораторией, ВЕРХОТУРОВ Андрей Леонидович – научный сотрудник (Вычислительный центр ДВО РАН, Хабаровск), КРАМАРЕВА Любовь Сергеевна – директор центра (Дальневосточный центр Научно-исследовательского центра космической гидрометеорологии «Планета», Хабаровск). *E-mail: girina@kscnet.ru

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 16-17-00042). Системы хранения наборов научных данных разработаны при поддержке проектов Российского фонда фундаментальных исследований (№ 15-29-07953) и Программы фундаментальных исследований ДВО РАН «Дальний Восток» (№ 15-I-4-072).

based tools, meteorological information). In 2011–2015, the joint efforts by experts of IVS FEB RAS, SRI RAS, CC FEB RAS and FEC SRC «Planeta» was created the information system «Remote monitoring of active volcanoes of Kamchatka and the Kurile Islands (VolSatView)», focused on the continuous monitoring of volcanic activity of Kamchatka and the Kurile Islands and the analysis of eruptions impact on the environment. The paper provides a brief description of its capabilities for a comprehensive analysis of the Kamchatka volcanic eruptions.

Keywords: Kamchatka, volcano, explosive eruption, remote sensing, mathematic modeling, video observations, information system.

Введение

Эксплозивные извержения вулканов являются наиболее опасными в мире в связи с высокой энергетикой вулканогенного процесса и их непредсказуемостью. Такие извержения представляют наибольшую опасность для населения. Процессы, связанные с извержениями, протекают быстро, для их изучения и парирования возникающих угроз (в том числе для полетов авиации) необходим постоянный мониторинг вулканов. Для обеспечения не только наблюдений, но и прогнозов процессов, связанных с извержениями вулканов (например, распространение лавовых потоков, пепловых облаков и шлейфов), необходимо проведение комплексного мониторинга вулканов с использованием данных всех доступных видов наблюдений (дистанционных и наземных инструментальных средств, метеорологической информации и т.д.).

На Камчатке расположено 30 активных вулканов. По данным Камчатской группы реагирования на вулканические извержения (KVERT – Kamchatkan Volcanic Eruption Response Team) [2, 5], в XXI веке здесь ежегодно происходят умеренной силы извержения 3–6 вулканов, а также от 5 до 20 сильных эксплозивных событий с выбросом пеплов до 7–15 км над ур. м.

В последние годы разработаны новые технологии, позволившие создать автоматизированные информационные системы (ИС), направленные на постоянное получение и обработку данных о различных природных явлениях, ведение долговременных архивов данных различных видов наблюдений и проведение анализа больших объемов информации. Такая ИС «Дистанционный мониторинг активности вулканов Камчатки и Курил (VolSatView)», ориентированная на непрерывный мониторинг вулканической активности региона, создана в 2011–2015 гг. совместными усилиями специалистов ИВиС ДВО РАН, ИКИ РАН, ВЦ ДВО РАН и ДВ НИЦ «Планета» [4, 6–10].

ИС «VolSatView» предоставляет различные инструменты для анализа информации, получаемой на основе методов ДЗЗ. Кроме того, она позволяет работать как с оперативно поступающими данными, так и с данными долговременных архивов. По разнообразию доступной в системе информации, степени автоматизации процессов обработки и хранения данных, инструментам анализа данных и возможности их развития ИС «VolSatView» не только не уступает своим зарубежным аналогам, но и превосходит их. Разработанные новые методы комплексного анализа данных ДЗЗ и наземных инструментальных наблюдений, в том числе моделирование различных вулканогенных процессов, направленные на оценку опасности эксплозивных извержений вулканов, позволят контролировать повышение активности вулканов и оценивать воздействия вулканической деятельности на окружающую природу.

Возможности ИС «VolSatView»

Для обеспечения оперативного мониторинга и исследования вулканической активности Камчатки оперативными и архивными спутниковыми и метеорологическими данными и информационными продуктами, получаемыми на их основе, а также для комплексной обработки и анализа этой информации совместно с данными, поступающими из

других ИС («Вулканы Курило-Камчатской островной дуги» (VOKKIA) Геопортала ИВиС ДВО РАН (<http://geoport.kscnet.ru/volcanoes/>) и автоматизированной ИС (АИС) «Сигнал» (<http://signal.febras.net>)) [11, 12, 14], в системе «VolSatView»:

а) организованы доступ пользователей к различным спутниковым данным и возможность автоматического формирования на их основе базовых информационных продуктов, использующихся при решении задач мониторинга и изучения вулканической активности;

б) реализована возможность совместной обработки оперативной и ретроспективной спутниковой информации, сопоставление ее с видеоинформацией, выполнение моделирования распространения пепловых шлейфов, классифицирование различных вулканогенных объектов;

в) обеспечена унификация представления разнотипных данных, поступающих из различных информационных систем и ресурсов, а также подбор необходимых наборов данных, их обработка и анализ на основе технологии GeoSmis [13];

г) создан широкий набор инструментов для работы с рядами наблюдений, с картографической информацией, позволяющих:

- представлять данные в различных проекциях;
- анализировать поля температуры, мгновенно просматривая значения температуры (в градусах Цельсия или Кельвина) в каждой точке снимка, что важно для оперативного анализа изменения температур и размеров термальных аномалий в районах вулканов, в частности для предсказания будущей активности вулканов и оценки вулканопасности для их окрестностей;
- выделять пепловые облака и шлейфы, определять и сохранять их характеристики в базе данных (высота, протяженность, азимут распространения от вулкана, размер и площадь облака), анализировать временные серии пепловых облаков, визуализировать пепловые шлейфы и облака по отдельным или всем вулканам за определенный период времени;
- анализировать спектральные характеристики вулканогенных объектов, получаемых с использованием гиперспектральных данных;
- сравнивать разновременные данные и анализировать данные совместно с другой информацией, имеющейся в системе;
- проводить классификации данных;
- представлять информацию о пепловых шлейфах, наблюдаемых на спутниковых снимках, совместно с результатами численного моделирования распространения этих шлейфов.

Примеры комплексного анализа данных об эксплозивных извержениях вулканов Камчатки в ИС «VolSatView»

1. *Вулкан Шивелуч*. Рассмотрим одно из эксплозивных событий вулкана, эруптивная активность которого, начавшаяся в 1980 г., продолжается до настоящего времени. Происходит рост экструзивного купола вулкана – выжимаются лавовые блоки, этот процесс сопровождается умеренной силы эксплозиями, раскаленными лавинами, свечением лавы и раскаленных лавин в темное время суток, сильной и умеренной парогазовой деятельностью.

28 февраля 2015 г. По видеоданным KVERT и Weathernews Inc., в 01:08 UTC с купола вулкана начала подниматься пепловая колонна, через минуту она достигла 5,5 км над ур. м. (рис. 1). Максимальный подъем колонны пепла был оценен по видеоданным Камчатского филиала геофизической службы (КФ ГС) РАН – в 01:12 UTC она поднялась до 10 км над ур. м. и затем начала снижаться. По данным ИС «VolSatView», первый снимок, на котором отмечался пепловый шлейф от вулкана, поступил со спутника TERRA MODIS в 01:17 UTC, то есть во время снижения пепловой колонны. Пепловый шлейф был выделен по разности радиояркостных температур в каналах 11–12 мкм (31m32), были измерены

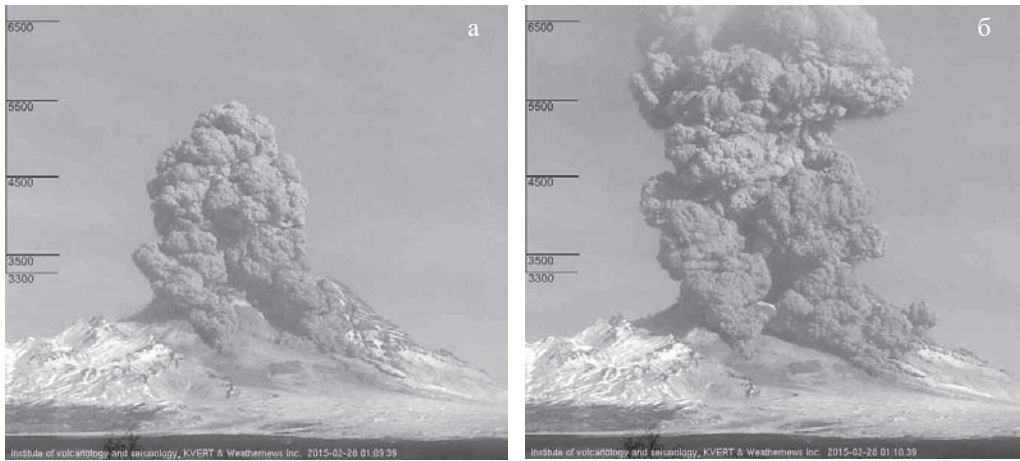
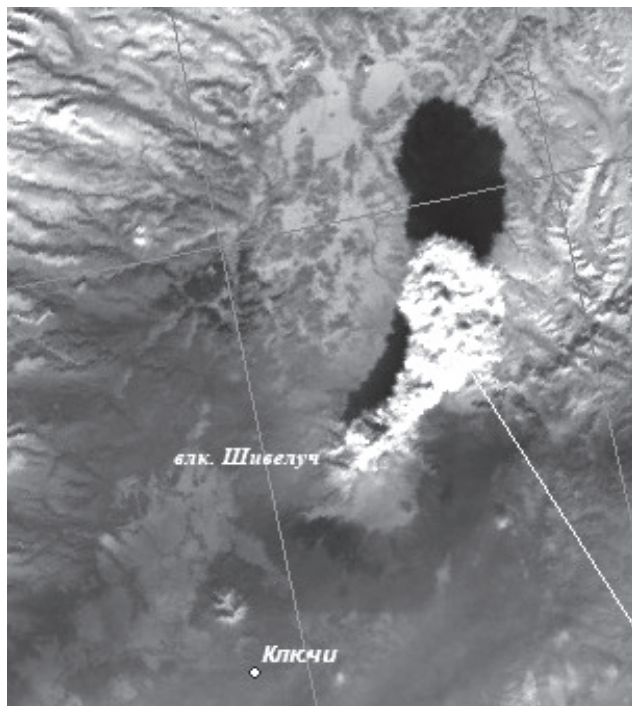


Рис. 1. Эксплозивное извержение вулкана Шивелуч 28 февраля 2015 г., подъем эруптивной колонны до 5,5 км над ур. м. в 01:09 UTC (а), выше 7 км над ур. м. в 01:10 UTC (б) по данным видеокамеры KVERT и Weathernews Inc.

его протяженность (59 км) и направление перемещения от вулкана (азимут 72 градуса) (рис. 2а, см. вклейку). Также по температуре пеплового облака (рис. 2б, см. вклейку) и атмосферному профилю была определена высота его головной части, составившая 9 км над ур. м. Снижение пепловой колонны и трансформация ее верхней части в шлейф отмечается по видеоданным KVERT и Weathernews Inc. и КФ ГС РАН и спутниковому снимку Suomi NPP (рис. 3). Комплексный анализ изображений с двух видеокамер (KVERT и Weathernews Inc. и КФ ГС РАН) и спутниковых данных ИС «VolSatView» позволил оценить высоту пепловой колонны и направление смещения пеплового шлейфа и выпустить Volcano Observatory Notice for Aviation (VONA) с корректными данными об эксплозивном событии и прогнозе опасности вулкана для авиаперевозок [VONA-KVERT 2015-105: <http://www.kscnet.ru/ivs/kvert/van/index.php?n=2015-105>]. Результаты моделирования перемещения

Рис. 3. Трансформация верхней части пепловой колонны вулкана Шивелуч в шлейф на спутниковом снимке Suomi NPP от 01:15 UTC 28 февраля 2015 г., по данным ИС «VolSatView»



пеплового шлейфа, полученные с помощью АИС «Сигнал» [12, 14], показали хорошую сопоставимость со спутниковыми данными в ИС «VolSatView» (рис. 4, см. вклейку).

Следует отметить, что комплексный анализ данных по любым эксплозивным событиям вулканов Камчатки в ИС «VolSatView» можно проводить как оперативно, так и ретроспективно – по архивным данным KVERT, VolSatView и АИС «Сигнал».

2. *Вулкан Жупановский.* Эксплозивное извержение вулкана продолжалось с 6 июня 2014 г. до 24 марта 2016 г. [1; VONA-KVERT 2016-57: <http://www.kscnet.ru/ivs/kvert/van/index.php?n=2016-57>].

Эксплозивное событие 24 марта 2016 г. Согласно данным со спутника Himawari-8, предоставленным Токийским консультативным центром по вулканическому пеплу (Токуо VAAC – Volcanic Ash Advisory Center, <http://ds.data.jma.go.jp/svd/vaac>), эксплозивное событие начало развиваться в 13:50 UTC 24 марта. Анализ спутниковых снимков в ИС «VolSatView» показал, что пепловое облако, поднявшись до 8,5 км над ур. м., немного растягиваясь с севера на юг, перемещалось на северо-запад (азимут 289 град.) от вулкана. В 16:00 UTC головная часть облака, насыщенная пеплом, была от вулкана на расстоянии 96 км, в 16:25 UTC – 107 км, в 17:13 UTC – 134 км, то есть пепловое облако перемещалось на северо-запад от вулкана со средней скоростью 42 км/ч. Следует сказать, что вулкан был закрыт облачностью, поэтому детали эруптивного события остались недоступными для видеонаблюдений.

Утром 24 марта в п. Малки в 110 км на запад-юго-запад от вулкана Жупановский были обнаружены отложения пепла, количество которого составило 7 г/м² (по данным Т.М. Маневич, ИВиС ДВО РАН). После улучшения погоды 28 марта на спутниковых снимках четко прослеживалась полоса пепла от вулкана Жупановский в сторону п. Малки (рис. 5), но пепловых отложений в направлении на северо-запад не отмечалось.

Проведенное в АИС «Сигнал» моделирование распространения 24 марта пеплового шлейфа от вулкана Жупановский показало различное на разных высотах и расстояниях от вулкана перемещение пеплового облака, обусловленное сложными метеорологическими условиями в районе южной Камчатки в это время. В связи с различающимися скоростями ветра в нижних и верхних слоях атмосферы головная часть облака, состоящая, вероятно, из большого количества очень тонких легких частиц пепла, способных удерживаться на одном уровне в атмосфере, относительно быстро на высоте около 8 км над ур. м. перемещалась на северо-запад от вулкана (рис. 6а, см. вклейку). Другое облако, возможно,

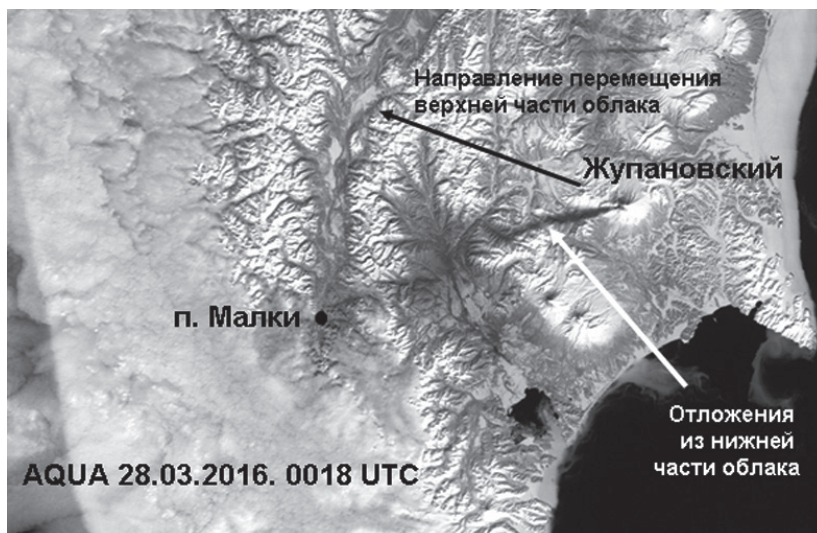


Рис. 5. Отложения пепла вулкана Жупановский (эксплозивное событие 24 марта 2016 г.) на спутниковом снимке AQUA от 00:18 UTC 28 марта 2016 г.

сформированное при обрушении эруптивной колонны и/или части конуса Приемыш, насыщенное тяжелыми крупными частицами пепла и обломками пород, подхваченное приземными ветрами, перемещалось на запад-юго-запад от вулкана (азимут 267 град.) в сторону п. Малки (рис. 6б, см. вклейку). Отложения этого пепла наблюдаются на спутниковых снимках на площади не менее 200 км².

Разрушение конуса Приемыш. 12 июля 2015 г. с 19:15 UTC отмечались пепловые выбросы до 10 км над ур. м., после или во время которых произошло разрушение части активного конуса Приемыш, сопровождавшееся формированием отложений обвала, пирокластических и грязевых потоков [VONA KVERT 2015-184: <http://www.kscnet.ru/ivs/kvert/van/index.php?n=2015-184>]. Краткое изучение этих образований было проведено вулканологами 16 июля 2015 г., было отмечено, что в западной части лежит относительно сухая грубообломочная толща [3]. По спутниковым данным ИС «VolSatView», 14 июля 2015 г. в районе Жупановского было обнаружено слабонасыщенное пеплом облако, поднявшееся лишь до 2 км над ур. м., перемещавшееся сначала на юго-запад и затем на восток-юго-восток от вулкана. Вероятно, 14 июля произошло дополнительное разрушение части конуса Приемыш, материал отложился в западной части образований 12 июля. Так как материал был в основном грубообломочным, пепловая составляющая была небольшой, что и проявилось на спутниковых снимках. Общая площадь обвальных отложений 12–14 июля вместе с грязевыми потоками, определенная с помощью инструментов ИС «VolSatView», составила около 20 км²; при средней мощности отложений 2 м их объем равен 0,04 км³. Пепловые шлейфы 12–14 июля протянулись на тысячи километров на восток от вулкана и оставались в атмосфере над п-овом Аляска до 16 июля.

На снимке высокого разрешения, полученном 15 сентября 2015 г. в 00:21 UTC со спутника Landsat-8, хорошо выделяются две ветви обвальных отложений с различной структурой (рис. 7а). Проведенная в ИС «VolSatView» классификация этих отложений с использованием данных прибора КМСС (многоспектральная аппаратура среднего разрешения) спутника Метеор-М № 2 от 26 июля 2015 г. позволила выявить несколько характерных участков на этих образованиях (рис. 7б). Вероятно, горячий материал эксплозий обрушился на ледники и снежники, растапливал их, и водонасыщенные рыхлые образования обвала (оползня-обвала?) с большим содержанием тонких частиц и со следами течения на поверхности покрыли широким плащом подножие вулкана. Из разрушенного сектора

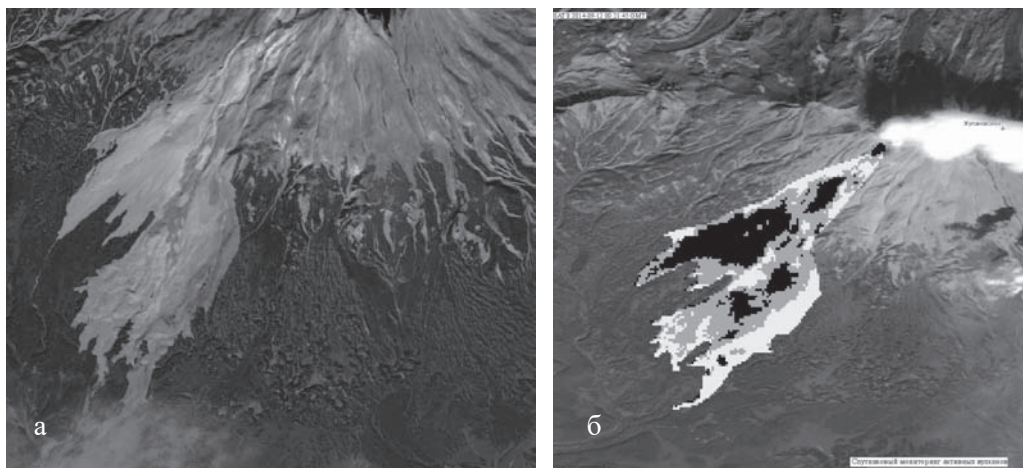


Рис. 7. Результат анализа отложений обвала вулкана Жупановский, образовавшихся 12–14 июля 2015 г., полученный средствами ИС «VolSatView»: изображение района обвальных отложений 15 сентября 2015 г. (спутник Landsat-8) (а); классификация обвальных отложений, выполненная по данным прибора КМСС спутника Метеор-М № 2 на фоне изображения в панхроматическом канале прибора OLI-TIRS (спутник Landsat 8) 12 сентября 2014 г. (б)

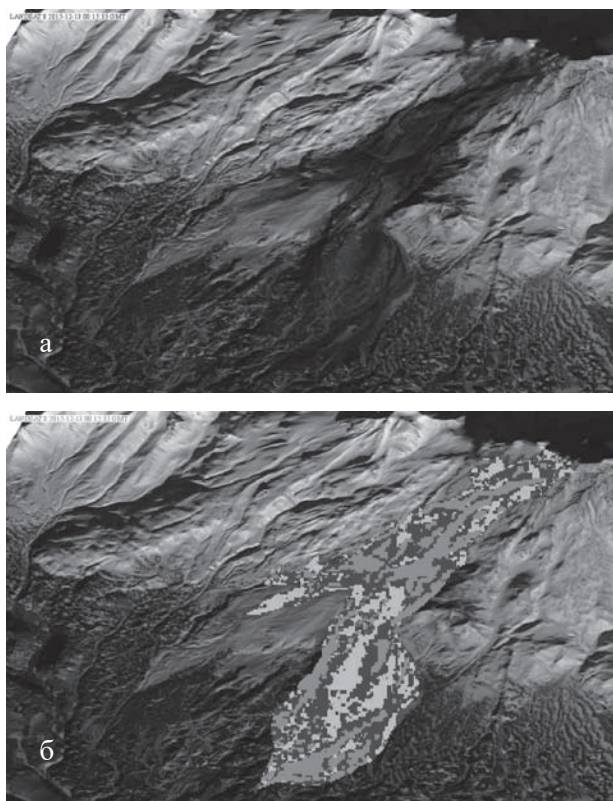


Рис. 9. Результат анализа отложений обвала вулкана Жупановский, образовавшихся 30 ноября 2015 г., полученный средствами ИС «VolSatView»: изображение района обвалных отложений 13 декабря 2015 г. (в панхроматическом канале прибора OLI-TIRS, спутник Landsat-8) (а); классификация обвалных отложений, выполненная по данным спутника Landsat 8, 13 декабря 2015 г. (б)

поэтому границы их образований и структура хорошо выражены на снимке. Проведенная в ИС «VolSatView» классификация этих образований позволяет разделить пирокластические отложения на свежие, оставшиеся неизменными после формирования (выделяются белым цветом на рис. 9б), и перемещенные водой, появившейся при растапливании горячими отложениями снега и льда на склонах вулкана (выделяются светло- и темно-серым цветом на рис. 9б).

Заключение

Приведенные примеры комплексного анализа данных ДЗЗ и наземных инструментальных наблюдений эксплозивных извержений вулканов Камчатки в ИС «VolSatView» подтверждают возможность оперативного контроля повышения активности вулканов, реконструкции сложных эксплозивных событий для понимания динамики эруптивного процесса, количественной оценки воздействия вулканической деятельности на окружающую природу.

Дальнейшее развитие ИС «VolSatView» будет направлено на расширение объема исходных спутниковых данных (в том числе архивных) и совершенствование инструментов для работы с ними.

конуса Приемыш 14 июля дополнительно обрушился относительно сухой (возможно, теплый) грубообломочный материал, отложившийся в основном на западной ветви обвала 12 июля.

Следующее сильное эруптивное событие произошло в 03:47 UTC 30 ноября 2015 г. – эксплозии подняли пепел до 8 км над ур. м., продукты разрушенной при этих взрывах части конуса Приемыш отложились на материале обрушений 12–14 июля (рис. 8, см. с. 2 обложки). Площадь отложений составила около 16 км²; при мощности 1,5 м объем их равен 0,02 км³, то есть в 2 раза меньше, чем материал обвала 12–14 июля.

На снимке высокого разрешения, полученном 13 декабря 2015 г. в 00:15 UTC со спутника Landsat-8, выделяются свежие обвалные отложения, образовавшиеся 30 ноября (рис. 9а). Горячие пирокластические продукты обрушивались на заснеженные и скованные морозом отложения обвалов 12 и 14 июля,

К статье: Гордеев Е.И. и др. ИС «VolSatView»: комплексный анализ данных об эксплозивных извержениях вулканов Камчатки



Рис. 2. Измерение параметров пеплового шлейфа вулкана Шивелуч на спутниковом снимке TERRA MODIS от 01:17 UTC 28 февраля 2015 г., по данным ИС «VolSatView»: протяженность и направление распространения шлейфа (а), температура шлейфа для определения его высоты по атмосферному профилю (б)

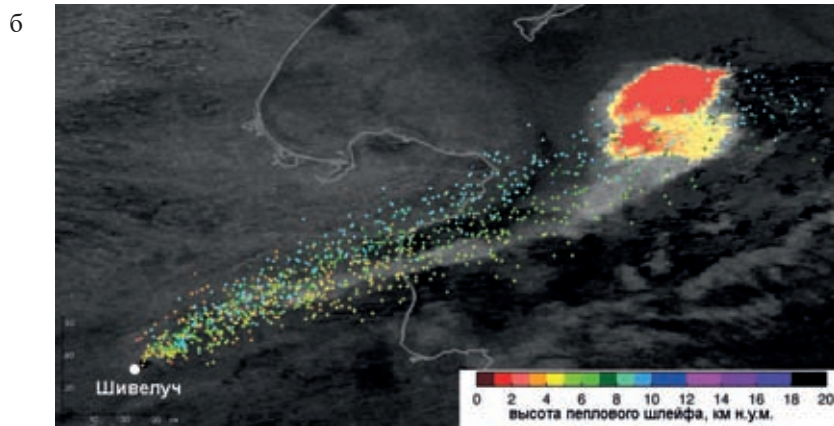
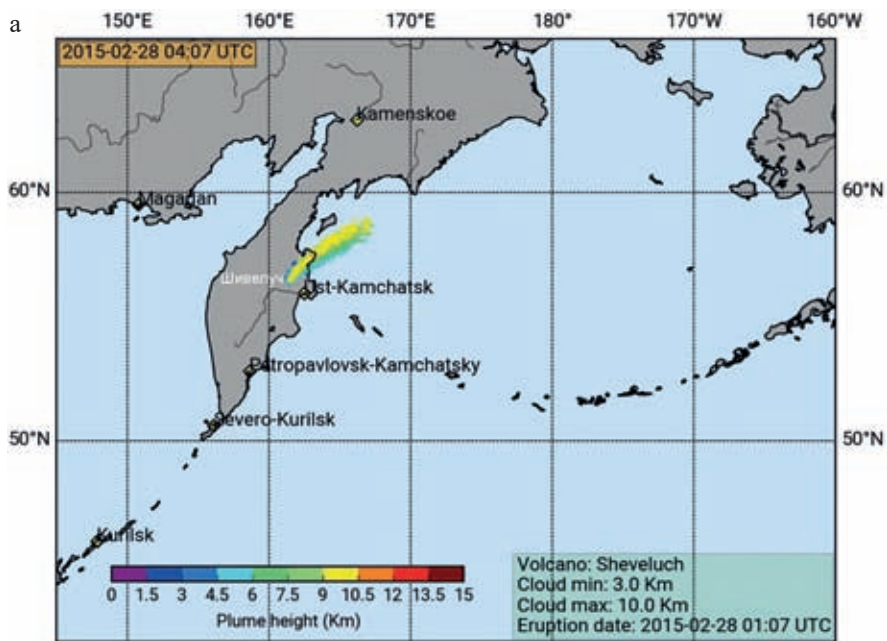


Рис. 4. Результаты моделирования перемещения пеплового шлейфа вулкана Шивелуч 28 февраля 2015 г., выполненные по модели PuffUAF в АИС «Сигнал» ВЦ ДВО РАН: в 04:07 UTC (а), визуализированные в ИС VolSatView на спутниковом снимке NOAA-19 (4m5) от 02:41 UTC (б).

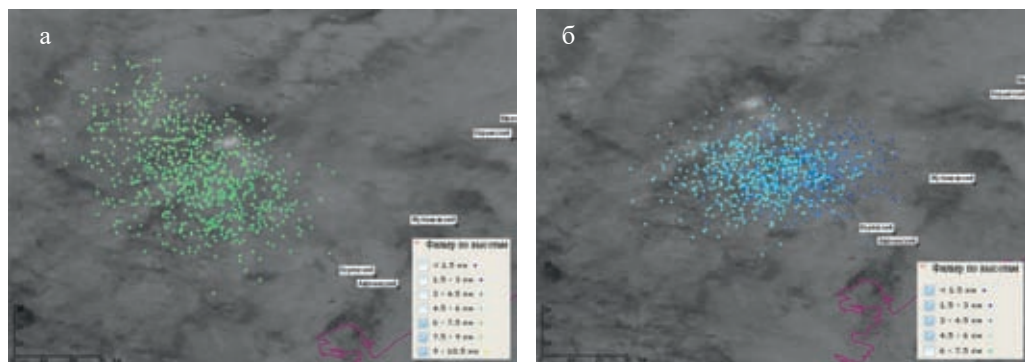


Рис. 6. Результаты моделирования распространения пеплового шлейфа вулкана Жупановский 24 марта 2016 г., выполненные по модели PuffUAF в АИС Сигнал ВЦ ДВО РАН и визуализированные в ИС VolSatView на спутниковом снимке AQUA (31m32) от 16:00 UTC 24 марта 2016 г. на высотах: 6–10 км над ур. м. (а) и 1–6 км над ур. м. (б)



Рис. 8. Отложения обвала на южном склоне вулкана Жупановский, сформированные во время эксплозивного события 30 ноября 2015 г. Фото А. Сокоренко от 11 декабря 2015 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гирина О.А., Ненашева Е.М. Извержения вулкана Жупановский в 2013–2015 гг. // Отчизны верные сыны: материалы XXXII Крашенинниковских чтений. Петропавловск-Камчатский: Краев. науч. б-ка им. С.П. Крашенинникова, 2015. С. 172–174. doi: 10.13140/RG.2.1.2125.8720.
2. Гирина О.А. Камчатской группе реагирования на вулканические извержения (KVERT) – 20 лет // Вулканизм и связанные с ним процессы: материалы рег. конф., посв. Дню вулканолога, 28–29 марта 2013 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2014. С. 36–41.
3. Горбач Н.В., Самойленко С.Б., Плечова А.А., Мельников Д.В. Обвал на вулкане Жупановский (Камчатка) в июле 2015 г.: первые данные и наблюдения // Вестн. КРАУНЦ. Сер. Науки о Земле. 2015. Вып. 27, № 3. С. 5–11.
4. Гордеев Е.И., Гирина О.А., Лупян Е.А. и др. Возможности использования данных гиперспектральных спутниковых наблюдений для изучения активности вулканов Камчатки с помощью геопортала VolSatView // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2014. Т. 11, № 1. С. 267–284.
5. Гордеев Е.И., Гирина О.А. Вулканы и их опасность для авиации // Вестн. Рос. акад. наук. 2014. Т. 84, № 2. С. 134–142. doi:10.7868/S0869587314020121.
6. Гордеев Е.И., Гирина О.А., Лупян Е.А. и др. Изучение продуктов извержений вулканов Камчатки с помощью гиперспектральных спутниковых данных в информационной системе VolSatView // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12, № 1. С. 113–128.
7. Ефремов В.Ю., Лупян Е.А., Матвеев А.М. и др. Организация работы со спутниковыми данными для решения задач дистанционного мониторинга активности вулканов Камчатки и Курил на примере спутникового сервиса VolSatView // Тр. Четвертой науч.-техн. конф. «Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России», 30 сентября–4 октября 2013 г., г. Петропавловск-Камчатский. Обнинск: ГС РАН, 2013. С. 45–48.
8. 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. Т. 9, № 5. С. 155–170.
9. Лупян Е.А., Милехин О.Е., Антонов В.Н. и др. Система работы с объединенными информационными ресурсами, получаемыми на основе спутниковых данных в центрах НИЦ Планета // Метеорология и гидрология. 2014. № 12. С. 89–97.
10. Лупян Е.А., Мазуров А.А., Назиров Р.Р. и др. Технологии построения информационных систем дистанционного мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8, № 1. С. 26–43.
11. Романова И.М., Гирина О.А., Максимов А.П., Мелекесцев И.В. Создание комплексной информационной веб-системы «Вулканы Курило-Камчатской островной дуги» (VOKKIA) // Информатика и системы управления. 2012. № 3. Вып. 33. С. 179–187.
12. Сорокин А.А., Королев С.П., Урманов И.П. и др. Информационная система для работы с данными инструментальных наблюдений с целью проведения исследований и мониторинга опасных природных явлений на Дальнем Востоке России // Геодинамические процессы и природные катастрофы: Опыт Нефтегорска: Всерос. науч. конф. с междунар. участием, Южно-Сахалинск, 26–30 мая 2015 г.: сб. материалов. Владивосток: Дальнаука, 2015. Т. 2. С. 443–447.
13. Толпин В.А., Балашов И.В., Ефремов В.Ю. и др. Создание интерфейсов для работы с данными современных систем дистанционного мониторинга (система GEOSMIS) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8, № 3. С. 93–108.
14. Sorokin A.A., Korolev S.P., Urmanov I.P. et al. Software platform for observation networks instrumental data far eastern branch of the russian academy of sciences // International conference on computer science and environmental engineering (CSEE). May 17–18. Beijing, 2015. P. 589–594.