

Комплексное использование данных дистанционного зондирования для оценки масштаба опасности современного вулканизма

А.Н. Платэ

*Институт геологии рудных месторождений, петрографии минералогии и геохимии РАН
(ИГЕМ РАН)
119017, Москва, Старомонетный пер., 35
E-mail: plate@igem.ru*

Наиболее эффективным средством максимального снижения риска и минимизации последствий воздействия вулканизма на природную среду и жизнедеятельность населения является прогноз и своевременное оповещение о готовящихся вулканических извержениях. Этим целям служит система комплексного использования данных аэрокосмического мониторинга катастрофических явлений, которая предназначена для решения основных задач: обнаружение и выявление предвестников извержений; контроль за развитием происходящих событий; разработка сценариев динамики извержений, с целью оценки их масштаба и влияния на природную среду и жизнедеятельность населения. Отдельное внимание уделяется проблеме опасности распространения вулканических пепловых облаков.

Ключевые слова: вулкан, извержения, мониторинг, дистанционные исследования, вулканическая опасность, вулканические пепловые облака.

Введение

Произошедшие за последнее время природные катастрофы резко стимулировали международное сообщество к объединению научного потенциала и материальных средств для организации слежения и контроля за быстротекущими процессами на Земле. На Земле существует порядка 1500 активных вулканов, 50 из которых ежегодно извергаются, выбрасывая в атмосферу пар, пепел, ядовитые газы и лаву.

Такие катастрофические извержения будут происходить снова и наше понимание их механизма и влияния на окружающую среду может быть существенно улучшено за счет комплексного подхода к методам и результатам аэрокосмического мониторинга.

Организация и создание системы эффективного мониторинга за действующими вулканами, с целью оценки масштаба и прогноза развития дальнейших событий, а также составление детальных геоморфологических, структурных, петрохимических и других карт, в частности, предупреждение попадания самолетов в эруптивные облака — важная задача современных исследований (Хренов и др., 2002). На этом пути пока больше вопросов, чем ответов, но с полной уверенностью можно говорить, что будущее в изучении природных ресурсов Земли — за аэрокосмическими методами, их математической обработкой и анализом.

Дистанционное зондирование Земли, как междисциплинарное направление исследований в науке и практике, стало быстро развиваться в нашей стране последние 50 лет. Основанное на более чем полувековом опыте аэрофотосъемки, оно успешно применялось при решении многих задач природопользования, планирования и решения проблем промышленности, анализе последствий природных катастроф и деятельности человека.

Принципиально новые возможности дистанционные методы получили с развитием лидаров, многозональных инфракрасных сканеров, радиолокационных съемок (исследования в любое время суток и при любой погоде), позволивших серьезно расширить сферы применения этих методов.

Существенное место в современных дистанционных исследованиях занимают проблемы собственных спектральных характеристик исследуемых объектов, а из них, прежде всего, — отражение, поглощение и вторичное тепловое излучение потока энергии поверхности объектов. Результативность систем дистанционного зондирования при проведении специ-

альных вулканологических работ может быть высокой только при достаточном количестве следующих данных: специфические спектральные характеристики эффузивных пород, количественные различия их спектральных яркостей и классификация по типам вулканогенных пород. В настоящее время накоплено значительное количество данных в виде нескольких обширных спектральных библиотек по горным породам (в том числе и по эффузивным).

Дистанционные аэрокосмические методы изучения вулканов будут играть существенную роль и в ближайшее время. Главные же задачи, которые могут быть решены при аэрокосмическом мониторинге на действующих вулканах, можно сформулировать так:

1. Выявление критериев предвестников катастрофических извержений.
2. Контроль за глобальными изменениями климата.
3. Контроль за распространением пепловых и аэрозольных облаков.
4. Вулканическое районирование.
5. Исследования на тестируемых полигонах и компьютерное моделирование вулканического процесса.
6. Создание геоинформационных систем (ГИС) вулканических процессов и явлений, в первую очередь, для осуществления достоверной прогнозной деятельности (Платэ, 2011).

Методы дистанционного зондирования в изучении вулканической опасности

Благодаря методам дистанционного зондирования вулканологические исследования начали проводиться на качественно новом уровне. Эффективность этих методов была наглядно продемонстрирована при проведении съемок таких динамичных, труднодоступных и опасных природных объектов, какими являются вулканы во время извержения. Необходимость прогнозирования вулканической деятельности требует поиска новых критериев — предвестников катастрофических извержений, и методы дистанционного зондирования позволяют подойти к проблеме поиска таких критериев.

Так методы компьютерной обработки позволяют оперативно создавать трехмерные цифровые модели (3D) рельефа вулканов и наносить на них с высокой точностью дополнительные геологические и вулканологические данные. Кроме того, они позволяют прогнозировать возникновение новых эруптивных центров на склонах стратовулканов или в зонах ареального вулканизма, моделировать распространение селевых и лавовых потоков, а также создавать новые «цифровые слои» для количественной оценки объемов изверженного материала в реальном времени, отображать на них петрохимические и возрастные данные (Хренов и др., 2005).

Современные методы дистанционного зондирования такие, как интерферометрические измерения (SAR), радарные измерения (РЛС) и съемка многоканальными радиометрами (ASTER, MODIS) позволяют вести эффективный мониторинг состояния морфологии кратеров и экструзивных куполов действующих вулканов.

Анализ эволюции развития вулканов и динамики их извержений позволяет предложить для наиболее активных из них оптимальный сценарий возможных будущих извержений и оценить масштаб последствий.

Впервые в ИГЕМ РАН были созданы цифровые модели рельефа (3D) для вулканов Курило-Камчатской островной дуги. Особое внимание было уделено вулканам Ключевской группы, как наиболее изученной, активной и продуктивной в этом регионе.

Анализы мониторинга куполов вулканов позволили, к примеру, прогнозировать возможные изменения куполов в ходе последующих извержений.

Создание 3D-морфологической модели рельефа и новых цифровых карт вулканов позволяют в реальном времени в географической системе координат, в случае извержения, наносить на них места новых центров извержения, границы лавовых и селевых потоков, раскаленных лавин, лахар и прогнозировать масштабы последствий.

Радарные системы обладают превосходной возможностью обеспечивать мониторинг и контроль быстротекущих процессов на Земле. Исследованию в этой области по эффективному применению методов СВЧ и изучению окружающей среды посвящены работы Н.А. Арманда, П.Г. Бородина, П. Кронберга, R.J. Gurner, J.L. Foster, C.L. Parkinson, J. Faney (Satellite Atlas of the World) и др. В отличие от оптических методов, радиолокационные системы являются всепогодными. Их данные не зависят от степени освещенности, радиолокационный луч обладает способностью, в зависимости от длины волны, проникать сквозь определенный поверхностный слой земли, в том числе растительный покров, лед и др.

Радиолокаторы с синтезированной апертурой (РСА) наряду с ИК-съемкой используются для идентификации потоков лавы по шероховатости облучаемой поверхности. Эта характеристика была использована как для различения типов лавовых потоков, так и для определения относительного возраста застывшей лавы, поскольку более старая структура имеет более выровненную поверхность.

Внедрение магмы в постройку вулкана приводит к изменению структуры и морфологии его конуса. Этот процесс может контролироваться различными способами. Если процесс достаточно медленный, то изменения морфологии вулкана можно зафиксировать с помощью фотограмметрической обработки радиолокационных стереопар изображений вулканов, полученных при пролете аппарата SAR по двум смещенным орбитам. Фотограмметрический метод требует достаточно долгой обработки и может быть использован для получения эталонных цифровых моделей вулканов. Для оперативного формирования цифровой модели вулкана (для контроля быстрых процессов деформации конуса) может использоваться метод интерферометрической обработки (Двигало, 1991, 2000).

Использование же технологии InSAR позволяет получать более интересные результаты, чем при применении одиночного набора данных SAR. Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR) — метод, основанный на использовании, как правило, одного или двух орбитальных SAR-аппаратов при согласованном во времени получении нескольких наборов комплексных данных сканируемого участка с последующей обработкой этой информации. Конечными результатами обработки могут выступать Digital Elevation Model (DEM) — цифровая высотная модель, интерферограмма — визуализация результатов вычислений (Нощенко, Пережогин, 2010).

Морфологическая структура поверхности Земли отображается в структуре радарного изображения, зависящего от угла облучения зондирующими сигналами склонов рельефа. В частности, при малых углах наблюдения даже небольшие перепады рельефа могут дать контрастные образы, позволяющие обнаружить незаметные другими методами образования типа сбросов. Рельеф земной поверхности отображается также в фазовой структуре рассеянных сигналов, что позволяет с помощью алгоритмов интерферометрической обработки построить ее трехмерное изображение и сформировать цифровые морфологические модели различных структурных образований (SAR Interferometry).

Аэрокосмические исследования в областях современного вулканизма

Выявление критериев предвестников катастрофических извержений

Краткосрочный прогноз опирается на инструментальные наземные и дистанционные наблюдения, проводимые на отдельных активных вулканах. Многолетние наблюдения позволяют заключить, что катастрофические извержения, с объемом выброшенного материала на поверхность порядка 1 км^3 , происходят приблизительно 1 раз в 2–3 года. Поэтому, в принципе с помощью аэрокосмического мониторинга в течение 20 лет можно получить наблюдения за 5–10 такими извержениями. Необходимо подчеркнуть, что за последние 12 лет, начиная с 2000 г., такие извержения происходят практически ежегодно.

Для целей мониторинга предвестников катастрофических извержений и количественной оценки параметров вулканического процесса эффективным средством является проведение исследования возможностей количественного контроля с помощью радиолокационных дистанционных методов следующих процессов:

- внедрение магмы в постройку вулкана;
- динамика пирокластических и лавовых потоков;
- динамика взрывов магматического и фреато-магматического происхождения;
- динамика движения раскаленных лавин, селевых потоков и лахар;
- обрушение (коллапс) постройки вулкана.

Такие исследования в настоящее время уже проведены для многих вулканов, в частности, для Ключевской группы вулканов на Камчатке (Хренов, 2011).

Таким образом, практическая реализация перечисленных потенциальных возможностей мониторинга требует проведения детальных исследований по следующим направлениям:

- отработка технологии построения цифровых многомерных моделей вулканов, отражающих их морфологическую и радиояркую структуру;
- разработка алгоритмов точной привязки и обнаружение изменений состояния вулканов по результатам дистанционного радиолокационного наблюдения;
- создание технологии выявления изменений во внутренней структуре вулканов путем сопоставления результатов съемок в микроволновом и длинноволновом диапазонах;
- разработка принципов формирования базы знаний для автоматизированного распознавания и прогнозирования развития вулканического процесса по данным дистанционного зондирования с помощью экспертных систем.

Контроль за распространением пепловых облаков

При катастрофических извержениях вулканов в стратосферу, через тропопаузу проникает огромное количество пепла и особенно аэрозолей вулканического происхождения. Кроме их глобального влияния на климат, окружающую среду обитания человека, они создают реальную угрозу для реактивной авиации в конкретных регионах (Богатилов и др., 1995). Известно примерно 40 случаев, когда при перелетах в таких условиях самолеты попадали в зону влияния вулканических облаков, причем подавляющее количество таких случаев отмечено в последние 30 лет.

Причинами таких катастроф всегда были обледенение и кристаллизация частиц пепла, состоящих, главным образом, из вулканического стекла и аэрозоля на лопатках реактивных турбин.

Хорошо известны такие примеры, как вынужденная посадка самолета авиакомпании British Airways в аэропорту Джакарты (Индонезия) в 1982 г. при перелете из Малайзии в Австралию. Результатом активности только одного вулкана Пинатубо (Филиппины) стало 8 случаев нештатных ситуаций на борту авиалайнеров, которые заканчивались вынужденными посадками.

Руководство авиабазы Elmendorf ВВС США, которая находится на Аляске вблизи города Анкоридж, крупнейшего в этом регионе, было вынуждено прекратить полеты из-за активизировавшегося вулкана, сообщало The Airforce Times. Вулкан Редаут начал извергать пепел 22 марта 2009 г., из-за чего военные приостановили полеты и поставили технику в ангары. Частично возобновить эксплуатацию самолетов они смогли только через два дня. Как сообщил представитель авиабазы Elmendorf, полеты проводились лишь в ограниченном режиме, поскольку извержение продолжалось, а вулканическая пыль могла повредить двигатели самолетов.

Отметим, что по сообщениям СМИ, за сутки с вечера воскресенья до вечера понедельника на Аляске произошло шесть извержений вулкана Редаут. Высота выбросов пепла достигала 15-километровой отметки над уровнем моря. Местные населенные пункты, включая город Анкоридж, покрылись слоем черной пыли [<http://lenta.ru/news/2009/03/25/volcano/>].

При извержении вулкана Пик Сарычева на Курильских островах (Россия) в 2009 г. высота пеплового облака достигала 8 км над кромкой кратера, пепловый шлейф простирался на 200 км на юго-запад и на 105 км на юго-восток. Вследствие этого японская авиакомпания JAL была вынуждена изменить маршруты почти 20 рейсов в Северную Америку и Европу.

При извержении вулкана Мерапи (Индонезия) в 2010 г. работа аэропорта столицы Индонезии Джакарты была парализована почти на сутки вследствие покрытия взлетно-посадочной полосы слоем вулканического пепла.

И, конечно, нельзя обойти вниманием одно из сильнейших извержений вулкана за последние годы — извержение вулкана Эйяфьятлайокудль в Исландии в марте 2010 года.

В геологическом отношении остров Исландия очень молод. Он возник в эпоху палеогена и неогена, имеет вулканическое происхождение и располагается на Срединном Атлантическом хребте.

Извержение вулкана началось ночью 20 марта 2010 г. и проходило в несколько стадий. Это извержение нельзя назвать рядовым, ибо оно ознаменовало начало активности процесса спрединга (геодинамического процесса растяжения, выражающегося в импульсивном и многократном раздвигании блоков литосферы океанической коры и в заполнении высвобождающегося пространства магмой, генерируемой в мантии) на границе между Северо-Американской и Евразийской литосферными плитами. Подтверждением этого является тот факт, что после очередной активизации вулкана с 1 по 4 апреля 2010 г., на границе южного побережья Калифорнии и северного побережья Мексики произошло сильное землетрясение с магнитудой 7,2 (4 апреля 2010 г.) (GEOCHANGE: Problems of Global Changes of the Geological Environment. V. 1, London. June, 2010, ISSN 2218-5798).

13 апреля этого же года произошло наиболее крупное извержение на южном краю центральной кальдеры. Столб пепла поднялся на 8 км. Было эвакуировано около 700 человек. В течение дня талыми водами была затоплена автомобильная трасса, возникли разрушения.

В результате выброса на огромную высоту в атмосферу большого количества вулканического пепла, по мнению экспертов, возникла угроза для авиасообщения, вследствие чего во многих странах Европы были приостановлены авиасообщение и деятельность аэропортов. Это нанесло огромный ущерб транспортным компаниям, аэропортам, туристическим компаниям и т. д.

Между тем, по мнению ряда авторитетных организаций, действия правительств многих европейских стран были не согласованы и неадекватны ситуации, что свидетельствовало о возникшей растерянности, как на национальном уровне в разных странах, так и на уровне Евросоюза в целом.

Таким образом, первый опыт возможного развития ситуации в случае возникновения глобальной природной катастрофы, на примере извержения вулкана в Исландии, человечество уже имеет. И этот экзамен, устроенный человечеству природой, вряд ли можно считать сданным успешно. Стало очевидно, что отсутствие необходимых международных законов и координирующего центра, при возникновении чрезвычайных ситуаций глобального масштаба, могут привести к принятию неадекватных и не скоординированных решений, панике и хаосу.

Применение дистанционных методов для мониторинга вулканов в крупных вулканогеологических центрах мира

Группа KVERT (Камчатская группа реагирования на вулканические извержения; Россия)

В 1993 г. начала работу Камчатская группа реагирования на вулканические извержения KVERT (Kamchatkan Volcanic Eruption Response Team), созданная как совместный проект ученых Института вулканологии и сейсмологии (ИВиС) ДВО РАН, Камчатской опытно-методической сейсмической партии (КОМСП) Геофизической службы РАН и Аляскинской вулканогеологической обсерватории (ABO, США).

Цель проекта KVERT — уменьшение риска от возможного разрушительного воздействия вулканического пепла на самолеты при извержениях вулканов, то есть для предотвращения воз-

можных материальных потерь и гибели людей. Степень опасности вулканов для авиации определяется на основе мониторинга сейсмических, спутниковых, визуальных и видео данных.

KVERT, как часть ИВиС ДВО РАН, отвечает в России за обеспечение информацией о вулканической деятельности российских и международных аэронавигационных служб, и пользователей воздушного пространства.

Сотрудники KVERT с 2005 г. работают 7 дней в неделю с 8:30 до 18:00 местного времени. KVERT ежедневно анализирует видео-визуальные и спутниковые данные об активных вулканах Камчатки и Северных Курил; сейсмические данные, получаемые в реальном времени с 11 вулканов Камчатским филиалом Геофизической службы РАН; другую информацию из различных источников: от сотрудников научных станций, МЧС, метеостанций, а также от авиапилотов, туристов, альпинистов и др. [<http://www.kscnet.ru/ivs/kvert/>].

Данные спутниковых наблюдений KVERT получает из АВО и, начиная с 2002 г., из Дальинформгеоцентра (Сахалин) МПР России. Из последнего источника ИВС получает и интерпретирует снимки TERRA MODIS. Помимо этого с сентября 2002 г. лаборатория исследований сейсмической и вулканической активности КОМСП ведет обработку и интерпретацию данных датчика AVHRR (спутника серии NOAA).

Рассмотрим применение дистанционных методов исследований группой KVERT на примере вулканов Северной группы.

Сейсмический мониторинг группой KVERT осуществляется на базе данных, поступающих с сети радиотелеметрических сейсмических станций. Из 36 станций этой сети (по состоянию на октябрь 2009 г.) в непосредственной близости от вулкана Безымянный расположено 6 станций, т.е. плотность сети в районе вулкана за последние годы утроилась.

Визуальные наблюдения за вулканом на постоянной основе осуществляются со стационарной сейсмической станции, расположенной в пос. Козыревск. Здесь же 20 августа 2003 г. установлена постоянно действующая и направленная на вулкан видеокамера, данные которой в режиме реального времени доступны всем пользователям Интернета [<http://data.emsd.iks.ru/videosvl/videokzy.htm>].

Как можно видеть, в последнее десятилетие произошло существенное развитие дистанционных методов наблюдения за вулканом, что позволяет группе KVERT не только успешно решать применительно к вулкану Безымянному поставленную задачу — уменьшение риска от возможного разрушительного воздействия вулканического пепла на самолеты при извержениях вулканов, но и предсказывать его отдельные эксплозивные извержения.

К сожалению, все эти достижения несколько омрачает практически нулевая, информативность дистанционных методов наблюдений в отношении динамики развития рядовых извержений вулкана. Визуальные и видеонаблюдения за вулканом со стороны Козыревска позволяют регистрировать лишь процесс образования пепловых туч над вулканом, а в ночное время (в лучшем случае) — свечение в районе вершинной части купола и/или подсветку основания фумарольного столба. При этом основная часть процессов, протекающих на вулкане, остается недоступной для наблюдений.

Что касается практически непрерывно извергающихся вулканов Ключевского и Шивелуча, то процесс их извержений документируется фоторегистрацией из пос. Ключи (Мальшев и др., 2010).

Аляскинская вулканологическая обсерватория (США)

Специалисты по дистанционному зондированию Аляскинской вулканологической обсерватории (АВО) используют геостационарные и полярные орбитальные спутниковые данные, чтобы контролировать и анализировать вулканы на Аляске и на полуострове Камчатка в России. Эти данные включают: GEOS, GMS, Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) и Synthetic Aperture Radar (SAR). Большинство этих данных получено и обработано в режиме реального времени небольшими станциями в Геофизическом Институте, расположенном в университетском городке Университета Аляски Фэрбенкс. Анализируются

вулканические тепловые аномалии, шлейфы извержения, деформация коры, потоки лавы, конусы и другие вулканические очертания суши. Кроме того, используется модель прослеживания шлейфа PUFF, чтобы проанализировать движение шлейфа и предсказать его траекторию. Ключевое использование спутниковых данных должно контролировать (часто через внутреннюю веб-страницу AVO — AVO's [internal web page]) положения шлейфов извержения после извержений, поскольку они дрейфуют по ветру далеко от вулкана. В течение прошлого десятилетия эти шлейфы нарушали воздушное движение, в том числе так далеко от Аляски, как на восточном побережье Соединенных Штатов и в центральных Соединенных Штатах около мексиканской границы. Тепловой контроль самих вулканов (относительно новый в AVO) использовался, чтобы контролировать местоположение потоков лавы и постепенное нагревание вулканических кратеров. В одном известном случае (извержение вулкана Okmok в 1997 г.) тепловой контроль обеспечил первый признак нового извержения.

С 1994 г. AVO использовала современный радиометр с очень высоким разрешением (Advanced Very High Resolution Radiometer — AVHRR) на полярных орбитальных спутниках NOAA, чтобы контролировать вулканы Аляски, Алеутских островов и полуострова Камчатка. Эти области малонаселенные, и большинство вулканов сейсмически не проверено. Дистанционное зондирование обеспечивает единственно возможный путь регулярно наблюдать деятельность в этих отдаленных местах извержения, и высокое местоположение широты позволяет использовать в своих интересах частое спутниковое наблюдение, поскольку орбиты сходятся и накладываются около полюса. Вся область наблюдается приблизительно каждый день, часто используется два прохода для подстраховки Изображения, созданные из спутниковых данных, исследованы на тепловые аномалии и облака извержения. Тепловая аномалия или «горячая точка», является областью по изображению, совпадающему с вулканом, где один или более пикселей (со стороной 1,1 км) сообщают о повышенных температурах относительно окружающей земли. Горячая точка может предшествовать или сопровождать взрывчатое извержение, и размер и температура горячей точки используются для оценки интенсивности случая. Облака извержения идентифицированы их формой, структурой, температурой, местоположением и спектральными особенностями. Используется также техника для определения отличия вулканического облака от метеорологического.

PUFF — трассирующая модель в реальном времени, развитая Х. Танакой, чтобы отследить вулканические шлейфы в пределах нескольких сотен километров от извергающегося вулкана. Модель разработана, чтобы обеспечить высокую разрешающую способность, временную и пространственную информацию о положении шлейфа относительно окружающей поверхности. В настоящее время PUFF — инструмент исследования, разработанный для AVO [<http://puff.images.alaska.edu/>].

Внутренняя веб-страница AVO была создана, чтобы позволить специалистам дистанционного зондирования и сейсмологам контролировать вулканы из отдаленных мест. Дежурный имеет возможность гораздо чаще осуществлять наблюдение через спутник и обнаружение возможной вулканической активности и сейсмических движений. Кроме того, способность контролировать из дома по монитору более удобна и позволяет делать это своевременно [<http://www.avo.alaska.edu/about/remote.php>].

Гавайская вулканологическая обсерватория (США)

Гавайская вулканологическая обсерватория была создана еще в 1911 г., и является одним из наиболее крупных и авторитетных центров мониторинга вулканов. В настоящее время наряду с обсерваторией на Гавайских островах существует целый ряд исследовательских вулканологических центров. Среди них такие, как Международный центр по изучению активных вулканов, Институт геофизики и планетологии Гавайского университета, и др. Здесь используется целый спектр дистанционных методов исследования, поэтому остановимся на одном из них, который, на наш взгляд, является достаточно актуальным и эффективным.

Используя инфракрасные спутниковые данные, поступающие от гиперспектрального радиометра MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), ученые из Института геофизики и планетологии (HIGP) Гавайского университета, разработали автоматизированную систему. Эта система наносит на карту глобальное распределение тепловых горячих точек в близком к реальному времени и показывает результаты на этом веб-сайте [<http://www.higp.hawaii.edu>].

MODIS — один из четырех датчиков, находящихся на борту первого спутника Terra системы наблюдения Земли (EOS), принадлежащего NASA, который был запущен в декабре 1999 г. Другой датчик MODIS был запущен на втором спутнике Aqua EOS в мае 2002 г. Для каждого изображения поверхности Земли, которую собирает MODIS, алгоритм MODVOLC автоматически просматривает каждый 1-километровый пиксел в пределах него, чтобы проверить на присутствие высокотемпературных горячих точек. Когда горячая точка найдена, то ее дата, время, местоположение и интенсивность регистрируются. MODIS может просматривать каждый квадратный километр поверхности Земли каждые 48 часов, однажды в течение дня и однажды в течение ночи, и присутствие двух датчиков MODIS в космосе позволяет обеспечивать по крайней мере четыре наблюдения горячей точки каждые два дня. Каждый день собираются обновленные глобальные карты, которые показывают местоположения всех горячих точек, обнаруженных в предыдущий 24-часовой период. Нажимая (клика) на целевые области, можно «увеличить масштаб» и исследовать распределение горячих точек в различных пространственных масштабах.

Используется и другой режим работы MODIS, когда просматривается каждый квадратный километр поверхности Земли каждые 12 часов, поэтому система из 2 спутников позволяет снимать поверхность 4 раза в сутки [<http://www.oceanographers.ru/>].

Здесь также можно видеть горячие точки, обнаруженные Тепловой Аварийной Системой HIGP MODIS в текущий момент (сегодня). Открывается карта земного шара, где зеленые точки — это горячие точки. Алгоритм MODVOLC в настоящее время позволяет видеть на 8 часов назад и обновляет информацию каждый час. За исключением нескольких двухнедельных периодов в течение конца 2000 и в начале 2001 г., когда датчик работал со сбоями, есть прямой доступ к полному глобальному архиву горячих точек [<http://modis.higp.hawaii.edu/>].

Выводы

Вулканическая деятельность является неотъемлемой частью жизнедеятельности нашей планеты. Под воздействием вулканической деятельности происходят необратимые процессы, и систематический контроль за ними, а также установление их влияния на экологическую ситуацию и климат, позволят лучше понять динамику происходящих событий.

Комплексное использование методов дистанционного зондирования наряду с традиционными геологическими и вулканологическими исследованиями, несомненно, расширят наши знания в области наук о Земле, позволят перейти к количественным оценкам баланса вещества в вулканическом процессе, включая отбор и анализ газов и аэрозолей.

Современное состояние дистанционных исследований определяется, в первую очередь, техническим совершенством съемочной и приемной аппаратуры, особенно той, которая устанавливается на борту спутника или самолета (компактностью, рабочим спектральным диапазоном, пространственным и спектральным разрешением и т. п.). При достижении соответствующих характеристик аппаратуры большое значение приобретают проблемы знания специфических физических параметров (особенностей) конкретных исследуемых природных объектов, характеризующих их как объект исследований.

Таким образом, можно картировать не только геолого-геоморфологические и структурные особенности лавовых потоков, но и лавы, имеющие различные петрографические характеристики и разную степень кристалличности (Сладкопевцев, 1982). В целом же исполь-

зование дистанционных методов в картировании геологических процессов остается одним из эффективных методов научных исследований (Корчуганова, Корсаков, 2009).

Работа по совершенствованию методов прогнозирования стихийных бедствий основывается, главным образом, на расширении и углублении знаний о причинах и механизме природных катастроф, которые, в свою очередь, опираются на математические расчеты и на совершенствование систем космического, самолетного и наземного мониторинга.

Литература

1. *Богатилов О.А., Хренов А.П., Ховавко С.А., Мальцев А.Л.* Состав, структура и оценка количества аэрозолей в эксплозиях вулканов центрального типа (Камчатка) // Геология и геофизика. 1995. Т. 36. № 8. С. 111–116.
2. *Двигало В.Н.* Кратер и вершинные извержения Ключевского вулкана в 1968-1988 гг. (по аэрофотограмметрическим наблюдениям) // Вулканология и сейсмология. 1991. № 5. С. 3–18.
3. *Двигало В.Н.* Морфологические предвестники (первые признаки) активизации некоторых вулканов Камчатки // Вулканология и сейсмология. 2000. № 4. С. 3–16.
4. *Корчуганова Н.И., Корсаков А.К.* Дистанционные методы геологического картирования. М.: КДУ, 2009. 288 с.
5. *Мальшиев А.И., Жаринов Н.А., Демянчук Ю.В.* О направлении дальнейшего развития наземных методов слежения за вулканами Северной группы // Материалы Всерос. конф., посвященной 75-летию Камчатской вулканологической станции. Петропавловск-Камчатский. 2010. С. 54–60.
6. *Ноценко Д.С., Пережогин А.С.* О методе радарной интерферометрии для оценки деформации земной поверхности // Вестн. КРАУНЦ (Камчатская региональная ассоциация «Учебно-научный центр»). Физ.-мат. науки. 2010. № 1 (1). С. 54–61.
7. *Платэ А.Н.* Специализированная интегрированная информационная система для исследования областей современного вулканизма // Вулканология и сейсмология. 2011. № 3. С. 73–78.
8. *Сладкопевцев С.А.* Изучение и картографирование рельефа с помощью аэрокосмической информации. М.: Недра, 1982. 216 с.
9. *Хренов А.П.* Исследование активных вулканов методами дистанционного зондирования // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8. № 2. С. 166–178.
10. *Хренов А.П., Богатилов О.А., Дроздин Д.В., Лексин А.Б., Маханова Т.М.* Трехмерные цифровые модели вулканов по материалам радиолокационных измерений // Доклады Академии наук. 2005. Т. 202. № 1. С. 71–75.
11. *Хренов А.П., Маханова Т.М., Богатилов О.А., Платэ А.Н.* Результаты аэрокосмических исследований вулканов Камчатки (Ключевская группа вулканов) // Вулканология и сейсмология. 2002. № 2. С. 3–20.

Complex use of remote sensing dates for an assessment of scale of modern volcanism danger

A.N. Plate'

*Institute of Ore Deposits Geology, Petrography, Mineralogy and Geochemistry,
Russian Academy of Sciences (IGEM RAS)
119017, Moscow, Staromonetny Pereulok, 35
E-mail: plate@igem.ru*

Volcanic eruption forecast and timely warning is the most effective remedy to reduce the risks and minimize the consequences of volcanic impact on the environment and the population activity. The system of the space monitoring of catastrophic phenomena serves the purposes of the detection and recognition of eruption precursors, ongoing event monitoring and eruption dynamic scenario development with the objective to estimate eruption scale and environmental impact. Special attention is given to problem of danger of distribution the volcanic ash clouds.

Keywords: volcano, eruptions, monitoring, remote sensing, volcanic hazard, volcanic ash clouds.