

Создание информационного сервиса «Дистанционный мониторинг активности вулканов Камчатки и Курил»

В.Ю. Ефремов¹, О.А. Гирина², Л.С. Крамарева³, Е.А. Лупян¹, А.Г. Маневич²,
Д.В. Мельников², А.М. Матвеев¹, А.А. Прошин¹, А.А. Сорокин⁴, Е.В. Флитман¹

¹ *Институт космических исследований Российской академии наук
117997 Москва, Профсоюзная 84/32
E-mail: evgeny@iki.rssi.ru;*

² *Институт вулканологии и сейсмологии Дальневосточного отделения
Российской академии наук
E-mail: girina@kscnet.ru*

³ *ДЦ ФГБУ «НИЦ «Планета»
123242 Москва, Б.Предтеченский пер., д.7
E-mail: asmus@planet.iitp.ru*

⁴ *Вычислительный центр Дальневосточного отделения Российской академии наук
680000 Хабаровск, Ким Ю Чена, д. 65
E-mail: alsor@febras.net*

В настоящей работе обсуждаются возможности создания информационной системы, ориентированные на оперативное обеспечение данными дистанционного зондирования работ по мониторингу вулканической активности на Камчатке и Курилах. В работе приведен краткий анализ опыта использования спутниковых методов для мониторинга вулканов, накопленного в последние десятилетия. Проанализированы имеющиеся в настоящее время технические и технологические возможности, которые могут лечь в основу создаваемой системы. Описана архитектура системы, текущие возможности ее действующего прототипа и перспективы развития. Приводятся примеры информационных продуктов, формируемых системой.

Ключевые слова: вулканическая активность, вулканы Камчатки и Курил, спутниковые системы, спутниковые данные, распределённые архивы, информационные системы, системы мониторинга, технологии построения автоматизированных систем.

Введение

При извержениях вулканов для населения возникают различные виды опасности: пеплопады, лавовые и пирокластические потоки, грязевые потоки (лахары), вулканические газы. При обильных пеплопадах могут обрушиваться кровли жилищ и промышленных построек, засоряться сельскохозяйственные угодья, водопроводы и канализация, разрушаться электрические сети и т.д. Лавовые, пирокластические и грязевые потоки уничтожают все, что встречается на их пути. Тяжелые вулканические газы могут приводить к гибели животных и людей.

Следует отметить наиболее существенную опасность взрывчатых извержений (выбросы вулканических пеплов и аэрозолей) для полетов современных реактивных самолетов. При попадании в пепловое облако такого самолета может возникнуть реальная угроза жизни людей на борту, в первую очередь, в связи с остановкой авиационных двигателей при плавлении захваченных частиц пепла с последующей их аккумуляцией и затвердеванием в области двигателя (температура плавления пепловых частиц ниже рабочей температуры двигателя) (Гирина, 2012; Гирина, Гордеев, 2007; Miller, Casadevall, 2000). Кроме этого, под действием вулканических пеплов или аэрозолей может происходить абразивное истирание оконных сте-

кол и аэродинамических поверхностей; засорение вентиляционной и топливной систем, приемников воздушного давления; эрозия движущихся частей (компрессора, лопастей турбин); закупорка форсунок и радиаторов охлаждения; засорение и перегрев электроники и т.д.

Для уменьшения риска столкновения самолетов с пепловыми облаками в различных странах мира, где имеются действующие вулканы, созданы вулканологические обсерватории, осуществляющие непрерывный мониторинг этих вулканов. В частности, для повышения безопасности авиapolетов при эксплозивных извержениях вулканов в 1993 г. на Камчатке была создана Камчатская группа реагирования на вулканические извержения (KVERT – Kamchatkan Volcanic Eruption Response Team), которая с 2010 г., как часть института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН (ИВиС ДВО РАН), выполняет функции вулканологической обсерватории Российской Федерации по обеспечению информацией о вулканической деятельности на Дальнем Востоке международного аэронавигационного сообщества² (Гирина, 2012; Гирина, Гордеев, 2007; Miller, Casadevall, 2000; Neal et al., 2009). Целью KVERT является уменьшение риска столкновения самолетов с пепловыми облаками в северной части Тихоокеанского региона с помощью своевременного обнаружения повышения активности вулканов, распознавания и отслеживания облаков вулканического пепла, и оперативного оповещения администраций авиакомпаний о появлении опасности, связанной с вулканическим пеплом. Следует отметить, что Камчатка и Курилы – один из самых активных регионов нашей планеты. На Камчатке расположено 30 и на Курилах 40 действующих вулканов. Сильные эксплозивные извержения вулканов, при которых пеплы поднимаются на высоту 8-15 км над уровнем моря, на Камчатке происходят почти ежегодно, на Курилах, в среднем, один раз в 15 лет.

Особенности мониторинга вулканической активности и роль спутниковых методов для решения возникающих при этом задач

Существует достаточно широкий спектр видов наблюдений за вулканами: видеовизуальный, геофизический (сейсмический, гравиметрический, акустический и др.), геодезический (с помощью наклономеров, GPS-приемников), газовый, гидрологический и др.

В тоже время в последние десятилетия для решения задач мониторинга вулканической активности активно развиваются и внедряются спутниковые технологии. Это связано в первую очередь со следующими факторами:

– расположение многих активных вулканов мира в труднодоступных местах (Гуценко, 1979; Siebert, Simkin, 2002; Simkin, Siebert, 1994);

– необходимость получения информации по достаточно большим территориям (например, пепловые выбросы могут распространяться на тысячи километров) (Гирина, Гордеев, 2007; Prata, 1989);

– необходимость получения оперативной комплексной информации (Гирина, 2008; Гирина, Гордеев, 2007; Miller, Casadevall, 2000; Neal et al., 2009).

Спутниковые системы сегодня позволяют развивать наиболее информативные методы слежения за вулканической активностью, например:

² “Соглашение между Федеральным агентством воздушного транспорта, Российской Академией наук и Федеральной службой по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды по обеспечению информацией о вулканической деятельности на Дальнем Востоке международного аэронавигационного обслуживания пользователей воздушного пространства” от 06.12.2010.

- контролировать районы извержений и оценивать интенсивность извержений (Гирина, 2008; Гирина, Гордеев, 2007; Neal et al., 2009);
- наблюдать за распространением лавовых потоков (Гришин, Мелекесцев, 2010, <http://www.kscnet.ru/webusers/dvm/?id=13>);
- оценивать параметры пепловых выбросов, наблюдать и прогнозировать их распространение (Wen, Rose, 1994; <http://puff.images.alaska.edu/index.shtml>);
- оценивать параметры и динамику распространения аэрозолей, выброшенных в атмосферу во время извержений (Kearney et al., 2008; <http://sacs.aeronomie.be/alert/index.php>);
- контролировать деформации земной поверхности (Lanari et al., 1998; Lundgren et al., 2003);
- изучать явления, предшествующие извержениям, и последствия извержений (Гирина, 2012; Гирина, Демянчук, 2012; Гирина и др., 2006; Carter et al., 2000; Schneider et al., 2000;) и т.д.

Для мониторинга действующих вулканов в разных странах мира используются данные спутников NOAA (National Oceanographic and Atmospheric Administration) с датчиками высокого разрешения AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer), геостационарных спутников GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite), GMS (Geostationary Meteorological Satellite), TERRA и AQUA с датчиками MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) и другие (Гирина, 2012; Гирина, Гордеев, 2007; Carter et al., 2000; Dehn et al., 2000; Kearney et al., 2008; Miller, Casadevall, 2000; Ramsey, Dehn, 2004; Schneider et al., 2000; Watson et al., 2004; Yu et al., 2002). При этом в ряде случаев (например, при использовании данных геостационарных спутников) обновление информации может происходить примерно раз в 15-20 минут.

На протяжении более двадцати лет основным источником информации для оперативного мониторинга вулканической активности (отслеживания термальных аномалий на вулканах и пепловых шлейфов при их эксплозивных извержениях) во всем мире являются данные полярно-орбитальных спутников серии NOAA (AVHRR) (Гирина, 2012; Glaze et al., 1989; Miller, Casadevall, 2000; Prata, 1989; Ramsey, Dehn, 2004; Schneider et al., 2000; Schneider, Rose, 1994; Watson et al., 2004; Wen et al., 1994).

В то же время, появление новых, в том числе и российских спутниковых систем наблюдения в ближайшие годы может позволить существенно расширить возможности спутниковых методов мониторинга вулканической активности за счет повышения частоты наблюдения, увеличения пространственного разрешения регулярно используемых данных и расширения видов используемой спутниковой информации. Кроме того, развитие методов и технологий автоматизированной обработки данных позволит специалистам, ведущим мониторинг различной информации, сократить время поступления данных и расширить возможности ее анализа.

В связи с этим, в 2011 году специалистами ИВиС ДВО РАН, ВЦ ДВО РАН, ФГБУ НИЦ «Планета» и ИКИ РАН были начаты работы по созданию специализированной информационной системы, которая должна обеспечить возможности поступления оперативной спутниковой информации и результатов ее обработки для проведения мониторинга вулканической активности в регионе Камчатки и Курил (Спутниковый сервис «Мониторинг активности вулканов Камчатки и Курил» (далее «VolSatView»)). Система должна также предоставить различные инструменты для проведения анализа этой информации, а также возможность совместной работы с наборами данных инструментальных наземных наблюдений, формируемых средствами сторонних информационных систем.

Настоящая статья посвящена описанию основных особенностей создающейся системы, ее архитектуры, текущих возможностей и перспектив развития.

Основные задачи создающегося сервиса

Основной задачей создающегося сервиса является обеспечение специалистов-вулканологов оперативными спутниковыми данными и различными информационными продуктами, получаемыми на основе их обработки, для мониторинга вулканической активности Камчатки и Курил.

На первом этапе работ предполагается, что сервис должен обеспечивать возможность работы с данными, получаемыми со спутников NOAA, Terra, Aqua, Метеор М №1 и LANDSAT.

Сервис должен позволять оперативно получать геопривязанную спутниковую информацию как в видимом, так и в инфракрасном (ИК) диапазоне. В сервис также должна поступать информация об автоматически выделенных в районах вулканов термальных аномалиях («горячих точках»), которые могут соответствовать участкам поступления к поверхности земли или на ее поверхность магматического вещества. Кроме того, в системе должны автоматически формироваться продукты, получаемые на основе разницы каналов 11 и 12 мкм (например, 5 и 4 каналов прибора AVHRR, установленного на спутниках серии NOAA), которые обычно используются для выделения пепловых облаков и шлейфов.

Сервис должен также обеспечивать возможность простого анализа поступающей информации, в том числе:

- выделение и просмотр информации по произвольно выбранному району;
- преобразование данных в вид, удобный для визуального анализа (в том числе контрастирование, построение различных цветосинтезов, анализ разновременных изображений и т.д.);
- численный анализ значений в различных каналах в произвольно выбранной точке;
- интерактивное выделение дополнительных «горячих точек» и занесение их в базу данных;
- интерактивное выделение различных объектов (пепловых облаков и шлейфов, лавовых потоков и т.д.), расчет их характеристик и ведение БД выделенных объектов.

Сервис должен также позволять работать не только с оперативной информацией, но и с архивами спутниковых данных, полученных по районам Камчатки и Курил.

В сервисе должна быть также организована возможность работы с различной дополнительной информацией. Например, с метеоинформацией и данными наблюдений за отдельными вулканами, поступающими со стационарных видеокамер.

Кроме того, при построении VolSatView должна быть предусмотрена возможность развития его функционала, в том числе, включения в него возможностей работы с данными других спутниковых систем и различных наземных измерений.

Основа для создания сервиса

Техническую основу создаваемого сервиса составили:

- система приема, автоматической обработки и распространения спутниковых данных Дальневосточного центра ФГБУ НИЦ «Планета» (ДЦ ФГБУ НИЦ «Планета»), обеспечи-

вающая оперативный прием и обработку данных, поступающих в частности, со спутников серии NOAA, Terra, Aqua, NPP, Метеор М №1 (Асмус и др., 2008; Дядюченко и др., 2010; Прошин и др., 2004; Бурцев и др., 2012)

– система ИКИ РАН для автоматического ведения долговременных оперативно пополняющихся архивов данных спутников LANDSAT (Лупян, Балашов и др., 2012), ориентированная на работу с данными, поступающими из архивов геологической службы США (USGS) (<http://earthexplorer.usgs.gov/>);

– долговременные архивы данных о «горячих точках» (за период с 2000 г. по настоящее время), сформированные в Спутниковом Сервисе «Вега» (Лупян, Савин и др., 2011);

– система, созданная в ИКИ РАН, обеспечивающая работу с оперативно поступающей из общедоступных источников метеоинформацией (например, из Национально центра атмосферных исследований США (NCAR) (<http://dss.ucar.edu/datasets/ds094/>);

– система, обеспечивающая оперативное получение данных наблюдений со стационарных видеокамер, направленных на вулканы Ключевской, Авачинский, Шивелуч, Горелый (<http://volcano.febras.net/>), создаваемая ИВиС ДВО РАН и ВЦ ДВО РАН;

– корпоративная сеть РАН (RASNET) (Khanchuk A.I., Smagin S.I. and others 2010);

– региональная компьютерная сеть (РКС) ДВО РАН и ДЦ ФГБУ НИЦ Планета.

Такая техническая основа позволила организовать поступление в VolSatView различной информации, сформировать долговременные архивы спутниковых данных и метеоинформации, а также обеспечить их постоянное оперативное пополнение.

В качестве технологической основы создания VolSatView были использованы технологии, разработанные в ИКИ РАН, ориентированные на создание автоматизированных систем сбора, обработки, архивации и распространения спутниковых данных и результатов их обработки (Балашов, Ефремов и др., 2011.; Лупян, Мазуров и др., 2004; Лупян, Мазуров и др., 2011; Лупян, Савин и др., 2011; Егоров, Ильин и др., 2004; Ефремов, Лупян и др., 2004; Ефремов, Крашенинникова и др., 2007). Следует отметить, что данные технологии были использованы и при создании системы автоматической обработки и представления спутниковых данных ДЦ ФГБУ НИЦ «Планета», что, в частности позволило легко организовать импорт данных и оперативных архивов центра в VolSatView. Отметим также, что для создания в интересах сервиса интерфейсов работы с данными была использована технология GEOSMIS (Андреев, Ефремов и др., 2004; Толпин, Балашов и др., 2011), созданная в ИКИ РАН и ориентированная на разработку сложных картографических интерфейсов, обеспечивающих удаленную работу с данными различных систем дистанционного мониторинга.

Архитектура сервиса

Одной из основных задач сервиса является организация удобной работы с данными спутникового мониторинга специалистов группы KVERT, работающей в ИВиС ДВО РАН в Петропавловске-Камчатском. С учетом того, что в настоящее время каналы связи РКС ДВО РАН, использующиеся в ИВиС ДВО РАН, не обеспечивают требуемый уровень скорости доступа к внешним ресурсам, был создан информационный узел (ИУ) VolSatView в ИВиС ДВО РАН, а так же три в ИКИ РАН, ДЦ ФГБУ НИЦ «Планета» и ВЦ ДВО РАН, задачей которых было осуществление сбора и обработки данных, обеспечение их автоматического, в том числе и оперативного, поступления в ИУ ИВиС ДВО РАН, а также обеспе-

чение доступа к информации системы различных сторонних пользователей. Общая схема организации информационных узлов и их взаимодействия представлена на рис. 1. В настоящее время, созданные для обеспечения работы сервиса VolSatView информационные узлы решают следующие основные задачи:

– **ИУ ДЦ ФГБУ НИЦ «Планета»** обеспечивает автоматическую обработку спутниковых данных, принимаемых в центре для формирования специализированных информационных продуктов, используемых в сервисе. В центре также организовано оперативное хранение всех информационных продуктов. Он также обеспечивает возможность представления в интерфейсы сервиса информации из объединенной системы работы со спутниковыми данными ФГБУ НИЦ «Планета» (Бурцев, Антонов и др., 2012). В данном ИУ также организована система автоматической передачи данных в информационный узел, расположенные в ВЦ ДВО РАН.

– **ИУ ВЦ ДВО РАН** обеспечивает ведение всех долговременных и оперативных архивов данных, поступающих в VolSatView. Организовано поступление в него информации из ИУ, расположенных в ДЦ ФГБУ НИЦ «Планета» и ИКИ РАН. В этом узле также ведется большая часть архивов данных видеонаблюдений за вулканами, используемых в сервисе. В узле установлен полнофункциональный интерфейс, обеспечивающий работу с информацией, имеющейся в системе. Этот интерфейс могут использовать для работы внешние пользователи системы, не загружая основной интерфейс работы с данными, установленный в ИВиС ДВО РАН. В случае необходимости им также могут пользоваться специалисты группы KVERT.

– **ИУ ИКИ РАН** обеспечивает оперативный сбор и автоматическую обработку данных из различных информационных центров, необходимых для работы VolSatView. Так, например, в нем осуществляется получение данных LANDSAT и метеоинформации. Обработанная информация автоматически поступает в ИУ, установленные в ВЦ ДВО РАН. Также в данном информационном узле установлен интерфейс работы с данными сервиса, который используется как для проведения разработок и тестирования новых функциональных возможностей, создающихся в интересах VolSatView, так и для резервирования интерфейсов доступа к данным сотрудникам, работающим в ИУ ВЦ ДВО РАН и ИВиС ДВО РАН. Через ИУ ИКИ РАН осуществляется оперативный доступ к данным, предоставляемым различными информационными сервисами ИКИ РАН. Например, к данным о состоянии растительности в районах вулканов, которые могут быть эпизодически интересны для анализа вулканической активности и оценки последствий извержений

– Для **ИУ ИВиС ДВО РАН** основной задачей является обеспечение работы специалистов группы KVERT, поэтому в узле установлены оперативно пополняющиеся архивы спутниковых данных по региону Камчатки, а также организовано поступление метеоинформации. Установлен полнофункциональный интерфейс VolSatView, обеспечивающий возможность анализа различной информации, ввода дополнительной информации и коррекции результатов автоматической обработки спутниковых данных, например, ввода дополнительных точек термальных аномалий, пропущенных на этапе автоматической обработки. Хранение введенной дополнительной информации осуществляется в специализированных БД VolSatView.

Для организации обмена информацией между ИУ сервиса VolSatView использованы выделенные каналы корпоративной сети РАН (RASNET), РКС ДВО РАН и ДЦ ФГБУ НИЦ Планета (см. рис. 2). Доступ к интерфейсам Сервиса осуществляется также по сети Интернет (<http://volcanoes.smislab.ru/>).

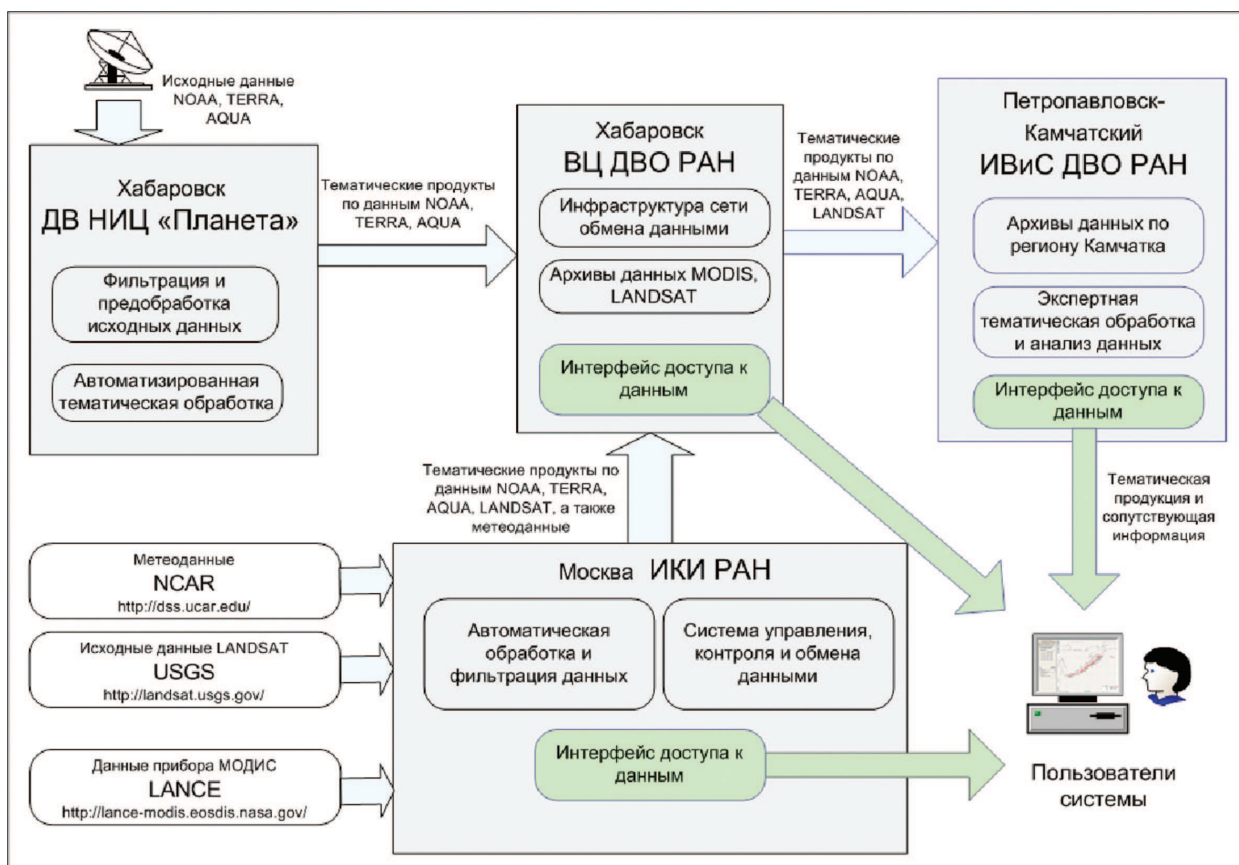


Рис. 1. Общая схема организации информационных узлов VolSatView и их взаимодействия

Для обеспечения работы сервиса созданы распределенные архивы данных, которые размещены в различных ИУ системы. Это с одной стороны позволяет обеспечить гарантированное хранение поступившей в систему информации, а с другой – оптимизировать процессы, связанные с обменом данными между узлами. Так, в различных узлах системы осуществляется хранение следующей информации:

- архивы ИУ ДЦ ФГБУ НИЦ «Планета» обеспечивают хранение информации, полученной в результате обработки спутниковых данных, принятых в центре (NOAA, Terra, Aqua, Метеор М №1);
- архивы ИУ ВЦ ДВО РАН обеспечивают хранение практически всех оперативных и долговременных архивов данных, используемых в сервисе VolSatView по району Камчатки и Курил.
- архивы ИУ ИКИ РАН обеспечивают оперативное и долговременное хранение информации, полученной на основе данных LANDSAT и метеоданных.
- архивы в ИУ ИВиС ДВО РАН обеспечивают хранение всех оперативных данных, поступающих в систему (исключение составляет информационные продукты, получаемые на основе данных приборов LANDSAT ETM/ETM+ и КМСС) по территории Камчатки. По этой территории в ИУ ИВиС ДВО РАН также ведутся долговременные архивы всей поступившей в систему информации.

Особо следует отметить, что в системе организованы полностью автоматизированные технологии оперативного пополнения архивов, расположенных в различных информационных узлах. В то же время следует отметить, что для того чтобы сократить объемы передаваемой оперативно информации в архивы ИУ ИВиС ДВО РАН в информационных узлах

ИКИ РАН, ВЦ ДВО РАН, ФГБУ НИЦ «Планета» организована фрагментация информации, т.е. в ИУ ИВиС ДВО РАН оперативно осуществляется передача только информации, полученной на основе данных приборов AVHRR и MODIS, а также метеоинформации по району Камчатки и районам полетов авиации, входящим в зону ответственности группы KVERT. Обновление всех остальных долговременных архивов данных, установленных в ИУ ИВиС ДВО РАН, осуществляется периодически с использованием передачи информации на жестких носителях, которые формируются в ВЦ ДВО РАН. В то же время при необходимости получения специалистами группы KVERT другой оперативной информации, имеющейся в системе (например, информационных продуктов, формируемых на основе данных LANDSAT ETM/ETM+ и КМСС), она может быть получена ими из архивов других информационных узлов системы непосредственно в интерфейсах анализа данных. Также может быть осуществлен заказ и оперативная перекачка нужной информации в архивы ИУ ИВиС ДВО РАН.

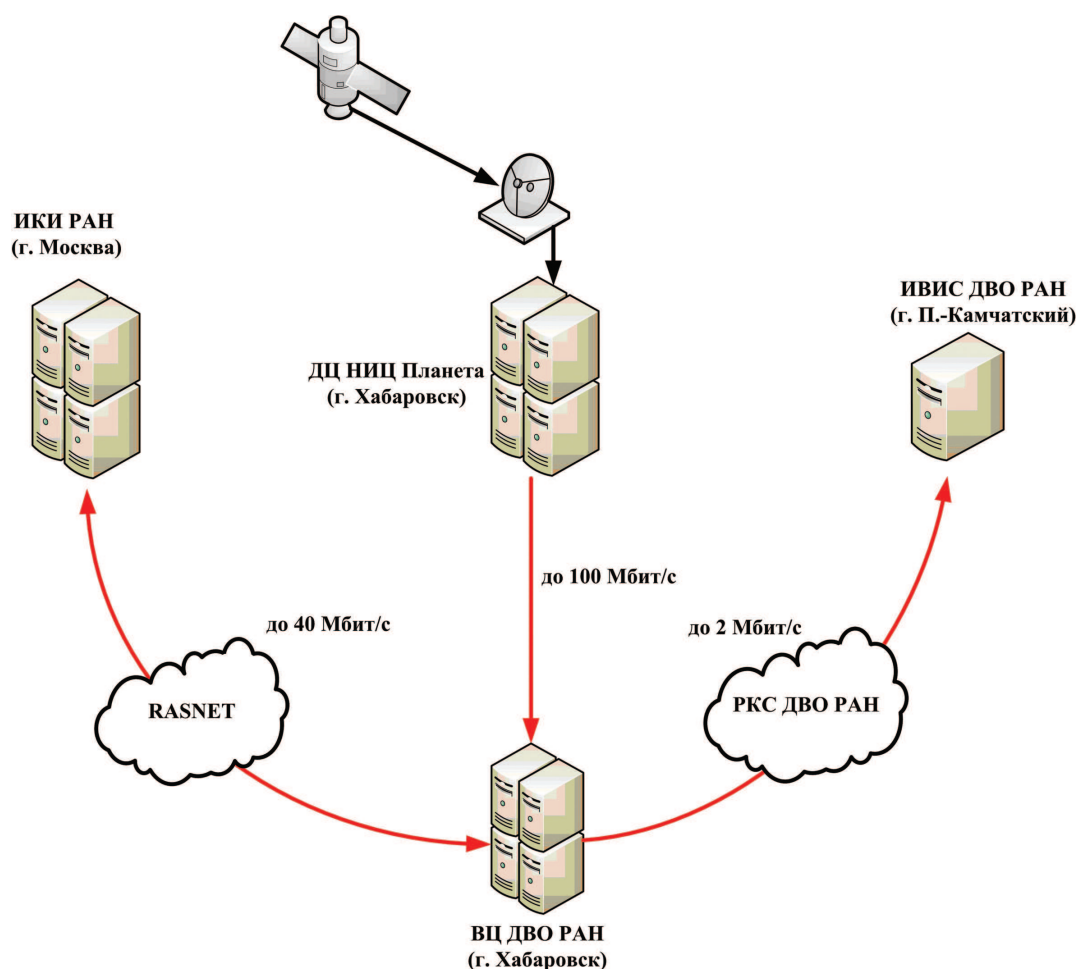


Рис. 2 . Схема организации каналов обмена данными между информационными узлами VolSatView

Основные возможности системы интерфейсов, обеспечивающих работу с данными

Чтобы обеспечить возможность анализа различных информационных продуктов, поступающих в сервис VolSatView, был создан специализированный картографический интерфейс. Доступ к нему можно получить на сервере проекта <http://volcanoes.smislab.ru>. Основной задачей интерфейса является обеспечение возможности пространственного и временного анализа продуктов, полученных как на основе спутниковых данных, так и на

основе другой информации (например, метеоданных), доступной в сервисе VolSatView. При этом можно работать с информацией, полученной с разных спутниковых систем, осуществлять подключение различных сторонних информационных ресурсов, например, информационных систем, работающих с данными видеонаблюдений и специализированных спутниковых сервисов ИКИ РАН.

При создании интерфейса учитывалось, что различные информационные продукты, используемые в сервисе VolSatView, хранятся в архивах разных ИУ, поэтому создаваемый интерфейс должен обеспечивать возможность работы с распределенными информационными ресурсами. Для решения подобных задач в ИКИ РАН была разработана технология GEOSMIS (Толпин, Балашов и др., 2011), которая и была использована как базовая для создания интерфейса работы с данными VolSatView.

Интерфейс позволяет как выполнять достаточно стандартные операции анализа информационных продуктов, полученных на основе спутниковых данных (поиск и просмотр различных продуктов, представление их в удобных для анализа масштабах и проекциях, контрастирование, сравнение разновременных продуктов и т. д.), так и реализовывать специализированные функции, необходимые именно для мониторинга вулканической активности. Поскольку стандартные функциональные возможности созданного интерфейса достаточно подробно описаны в работах, посвященных GEOSMIS и спутниковым сервисам, разработанным на его основе (см. например, Толпин, Балашов и др., 2011; Лупян, Матвеев и др., 2012; Котельников, Сементин и др., 2012), в настоящей работе мы остановимся только на кратком описании специализированных его функций, а также на примерах различных информационных продуктов, ориентированных именно на решение задач мониторинга вулканической активности.

Остановимся на следующих основных специализированных функциях, реализованных в интерфейсе:

- анализ термальных аномалий;
- интерактивное выделение термальных аномалий;
- интерактивное выделение различных объектов;
- доступ к информации видео наблюдения за вулканами.

Для детального *анализа термальных аномалий*, появляющихся в районах вулканов перед извержениями, в интерфейсе VolSatView реализована функция, с помощью которой для выбранной точки можно выполнить анализ радиоярких температур, получаемых с помощью ИК каналов приборов MODIS и AVHRR. Эта функция позволяет рассчитать в окрестности точки максимальную и среднюю температуры, а также число точек, попадающих в окрестность, температура в которых превышает заданный порог. При этом пользователь может сам задать как размер окрестности, по которой будет производиться расчет, так и пороговую температуру. Отметим, что интерфейс позволяет также получить информацию и об автоматически детектированных «горячих точках», для выделения которых в настоящее время в сервисе используются алгоритмы, описанные в (Justice et al., 2002; Галеев, Ершов и др., 2008; Абушенко, Алтынцев, Семенов, 2004)

Поскольку используемые в настоящий момент в VolSatView алгоритмы автоматического выделения «горячих точек» могут пропускать термальные аномалии в районах вулканов, в интерфейсе реализована возможность анализа поведения ИК каналов приборов MODIS и AVHRR по районам вулканов, позволяющая *интерактивно выделять термальные аномалии* и заносить информацию о них в специализированную БД, в которой хранит-

ся информация о результатах как ручного, так и автоматического детектирования «горячих точек». Для анализа термальных аномалий в интерфейсе реализован специальный режим, позволяющий попиксельно анализировать данные приборов MODIS и AVHRR, отмечая пиксели, которые пользователь считает аномальными.

Кроме этого, в интерфейсе также имеется возможность интерактивного **выделения различных объектов** (например, пепловых шлейфов или лавовых потоков). Выбрав спутниковое изображение, пользователь может оконтурить на нем интересующий его объект, определить его тип, описать и сохранить в БД. При этом одновременно с выделенным объектом сохраняются его характеристики (площадь, контур, средняя температура, ссылка на спутниковое изображение, на котором объект был выделен, и т.д.). В интерфейсе имеется возможность просмотра выделенных объектов, что позволяет анализировать динамику их развития.

В интерфейсе также реализована **возможность доступа к информации видео наблюдений за вулканами**. Пользователь может выбрать интересующую его стационарную видеокамеру, данные о расположении которых представлены в картографическом интерфейсе, и перейти на информационный сервер (<http://volcano.febras.net/>) для просмотра видеоизображений вулкана.

В интерфейсе VolSatView добавлена специальная картографическая информация, например, о расположении активных вулканов на Камчатке и Курилах.

Примеры информационных продуктов, доступных в спутниковом сервисе VolSatView

Главной особенностью созданного интерфейса является возможность работы с информацией, получаемой от различных спутниковых систем. Это важно, потому что некоторые вулканические процессы (например, отдельные эксплозии андезитовых вулканов) достаточно быстротечны, и для отслеживания их динамики требуется наличие относительно частых наблюдений. Необходимо, чтобы данные, поступающие из различных спутниковых систем, были сопоставимы и позволяли однотипно выделять на получаемых сериях наблюдений те или иные явления, объекты и процессы. Например, на рис. 3 представлена серия снимков, полученных с помощью спутников NOAA (AVHRR) и Terra и Aqua (MODIS), на которых явно выделяются пепловые шлейфы, протянувшиеся от вулкана Безымянный во время его эксплозивного извержения 1-2 сентября 2012 года. Пепловые шлейфы определены по разности ИК каналов 10-12 мкм (4-5 каналы AVHRR и 31-32 каналы MODIS) – на протяжении более 20-ти лет этот метод детектирования пепловых шлейфов и облаков является главным при мониторинге активных вулканов. Зоны шлейфов, концентрация пепла в которых значительна, выделены желтым и оранжевым цветом (рис. 3). Этот пример показывает хорошую сопоставимость и однотипность качественных данных, полученных разными приборами, что позволяет увеличить частоту наблюдений за распространением пепловых шлейфов. В зависимости от мощности и высоты пепловых выбросов, а также скорости и направления ветра на разных высотах, пепловые шлейфы могут перемещаться на сотни и тысячи километров от вулкана. Приведенный пример лишний раз подтверждает важность задач, связанных с обеспечением безопасности авиаполетов, которые решает группа KVERT. Например, на рис. 3 д хорошо видно значительное число инверсионных следов самолетов, поперек трасс которых прошел пепловый шлейф.

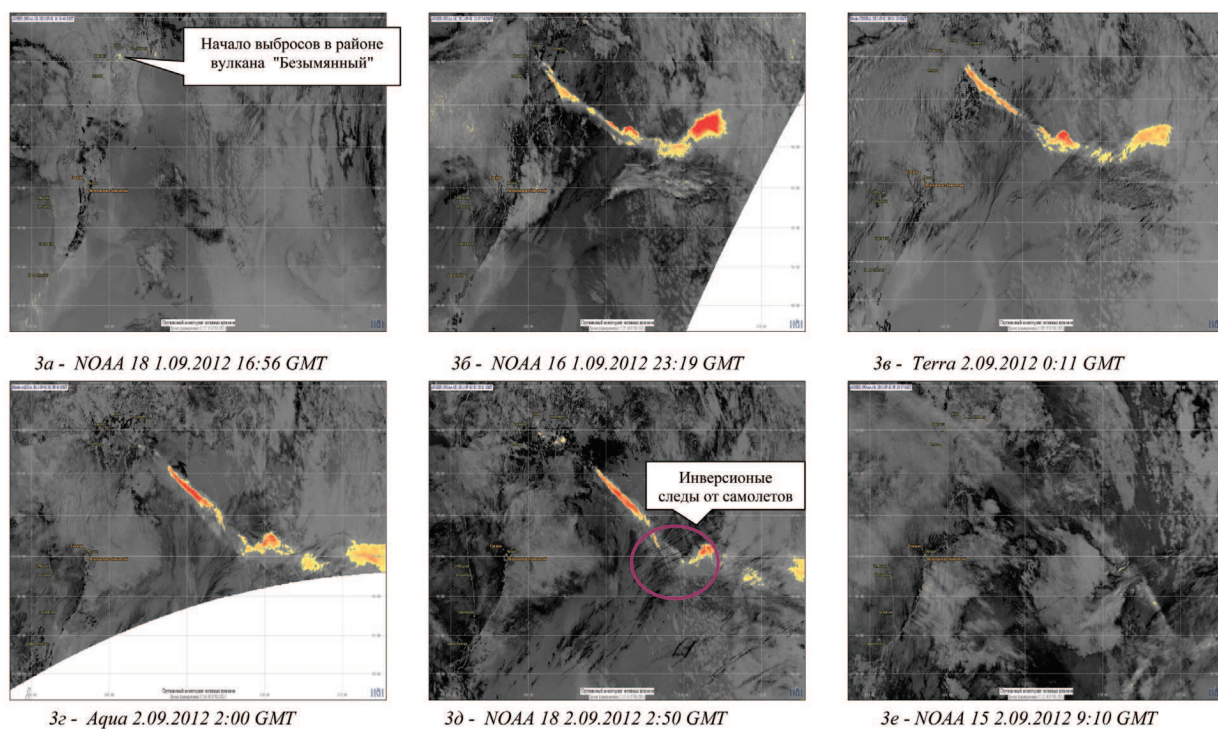


Рис. 3. Динамика развития пеплового шлейфа во время извержения вулкана Безымянный 1-2 сентября 2012 г. (стандартный продукт VolSatView, получаемый на основе данных со спутников Terra и Aqua (MODIS) и NOAA (AVHRR))

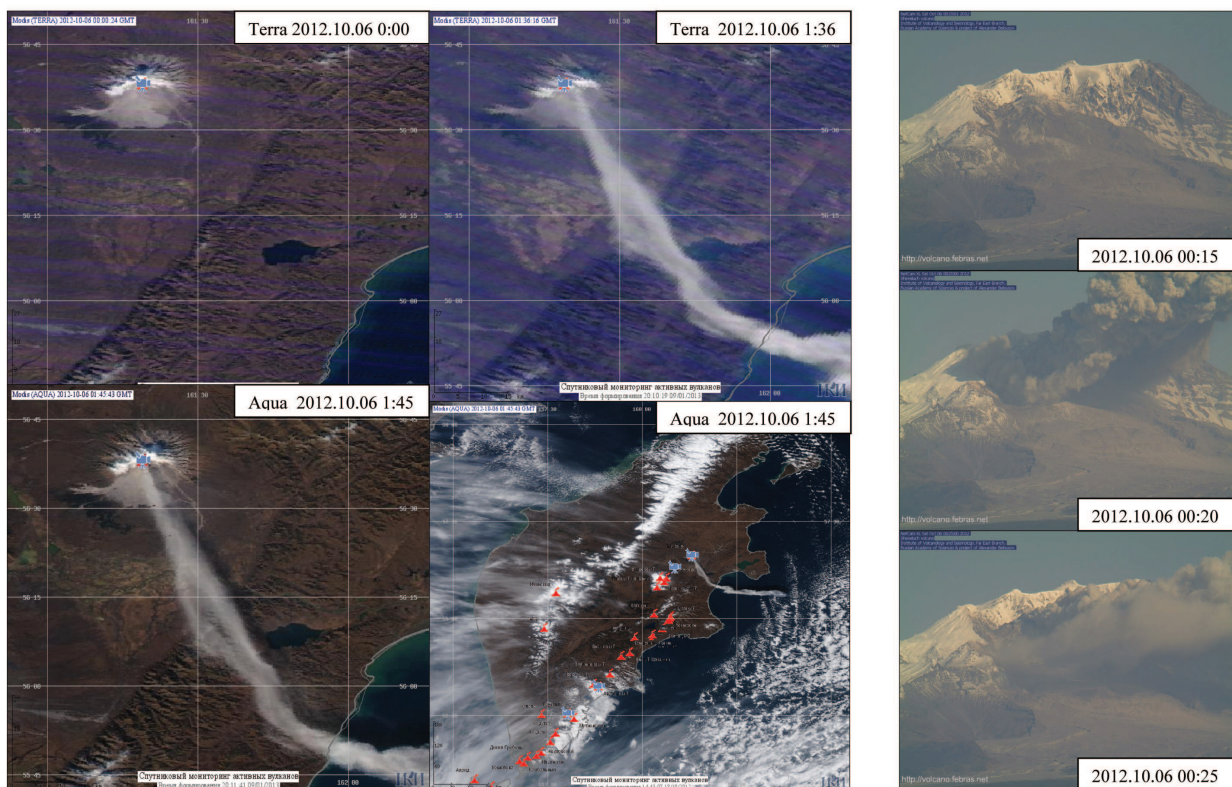


Рис. 4. Пример наблюдения извержения вулкана Шивелуч по данным спутников Terra и Aqua и информации со стационарных видеокамер

К сожалению, спутниковые методы не могут решить все задачи мониторинга вулканической активности, поэтому с самого начала развития вулканологии ученые используют комплексные методы наблюдений за вулканами. Например, для оценки вулканической активности и опасности на рис. 4 показано применение двух методов – видео наблюдение за вулканом и спутниковый мониторинг. Серия кадров с видеокамеры, направленной на Шивелуч, показывает состояние вулкана 6 октября 2012 года до и во время эксплозии пепла с вершины лавового купола; снимки, полученные с помощью спутников Terra и Aqua (MODIS) – распространение пеплового шлейфа на юго-восток от вулкана. То есть только комплексное использование данных об активности вулканов может позволить более точно говорить о вулканической опасности, в частности, для авиации.

Спутниковые данные полезны также для изучения долговременной активности вулканов, поскольку они позволяют получать сопоставимые, однородные во времени ряды наблюдений. Например, имеющийся в VolSatView архив «горячих точек», которые были автоматически детектированы в районах вулканов, может быть использован для оценки активности отдельных вулканов в различные промежутки времени. На рис. 5 приведен пример распределения детектированных горячих точек в районах вулканов Камчатки в 2012 году.

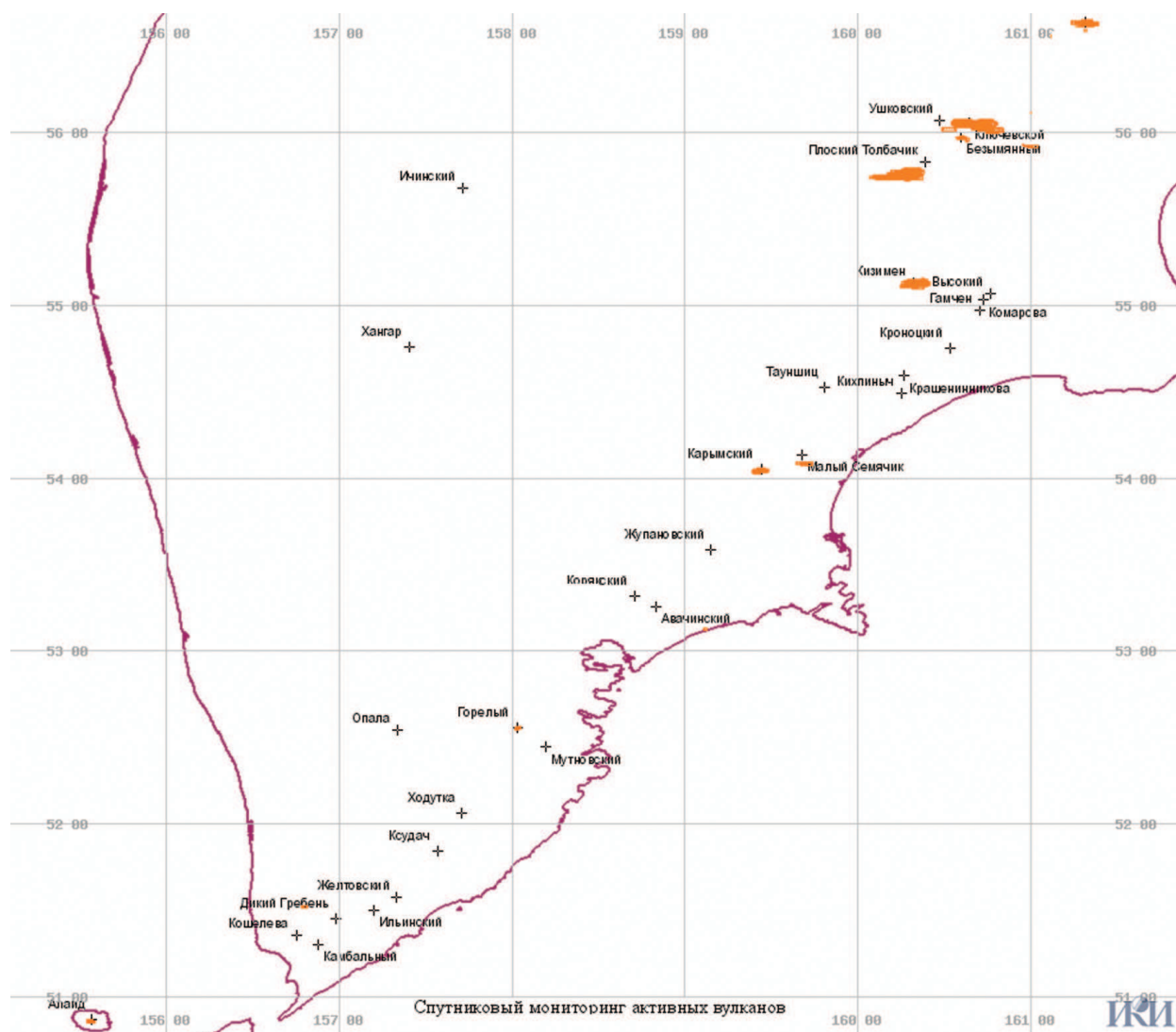


Рис. 5. Пример распределения «горячих точек» (выделены оранжевым цветом), полученных на основе автоматической обработки данных спутников Terra и Aqua (прибор MODIS) за 2010-2012 гг.

Заключение

Спутниковый сервис VolSatView, описанный в статье, в настоящее время готов к опытной эксплуатации, которая будет проводиться совместно ИВиС ДВО РАН, ВЦ ДВО РАН, ФГБУ НИЦ «Планета» и ИКИ РАН в 2013 году. Планируется, что Сервис будет в ближайшее время развиваться в следующих основных направлениях:

– расширение функциональности, связанной как с совершенствованием автоматических процедур обработки данных, так и инструментов для интерактивного анализа данных (в том числе, инструментов для анализа динамики различных характеристик вулканической активности и совершенствование методов автоматизированной обработки и представления данных для повышения оперативности получения информации);

– расширение числа используемых спутниковых систем, в том числе, включение в сервис информации, получаемой на основе данных как перспективных российских (Метеор М №2, Канопус В), так и зарубежных спутниковых систем (NPP, LANDSAT-8, Sentinel 2);

– совершенствование технической инфраструктуры сервиса, в первую очередь направленной на повышение оперативности его работы и удобства доступа к данным;

– расширение исторических архивов данных и возможностей инструментов для проведения анализа долговременных рядов данных;

– расширение возможностей, связанных с совместным анализом спутниковых данных и данных наземных наблюдений (в том числе и расширение состава доступных системе данных);

– инфраструктура (в том числе и инфраструктура обмена данными).

В заключение отметим, что настоящая работа выполнена при поддержке проектов РАН (тема «Мониторинг»), РФФИ (проект 11-07-12026-офи-м-2011).

Литература

1. Абушенко Н.А., Алтынцева Д.А., Семенов С.М. Оценка точности спутниковых методов обнаружения лесных пожаров // Солнечно-земная физика. 2004. № 5. С. 27-29.
2. Андреев М.В., Ефремов В.Ю., Лупян Е.А., Мазуров А.А., Наглин Ю.Ф., Прошин А.А., Флитман Е.В. Построение интерфейсов для организации работы с архивами спутниковых данных удаленные пользователи // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2004. № 1. С. 514-520.
3. Асмус В.В., Кровотынцева В.А., Милехин О.Е., Соловьев В.И., Успенский А.Б. Использование спутниковых данных ДЗЗ для решения задач гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. 2008. Т. 105. С. 6-16.
4. Балашов И.В., Ефремов В.Ю., Мазуров-мл. А.А., Мамаев А.С., Матвеев А.М., Прошин А.А. Особенности организации контроля и управления распределенных систем дистанционного мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2011. Т. 8. № 3. С.161-166.
5. Бурцев М.А., Антонов В.Н., Ефремов В.Ю., Кашицкий А.В., Крамарева Л.С., Лупян Е.А., Мазуров А.А., Матвеев А.М., Милехин О.Е., Прошин А.А., Соловьев В.И. Система работы с распределенными архивами результатов обработки спутниковых данных центров приема НИЦ Планета // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 5. С. 55-76.
6. Галеев А.А., Еришов Д.В., Барталев С.А., Крашенинникова Ю.С., Лупян Е.А., Мазуров А.А. Построение адаптивного алгоритма детектирования пожаров // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2008. Выпуск 5. Т. I. С.58-69.
7. Гирина О.А. О предвестнике извержений вулканов Камчатки, основанном на данных спутникового мониторинга // Вулканология и сейсмология. 2012, № 3. С. 14–22.

8. *Гирина О.А.* 15 лет деятельности Камчатской группы реагирования на вулканические извержения // *Материалы конференции, посвященной Дню вулканолога, 27-29 марта 2008 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2008. С. 52-59.*
9. *Гирина О.А., Гордеев Е.И.* Проект KVERT – снижение вулканической опасности для авиации при эксплозивных извержениях вулканов Камчатки и Северных Курил // *Вестник ДВО РАН. 2007. № 2 (132). С. 100-109.*
10. *Гирина О.А., Демянчук Ю.В.* Извержение вулкана Безымянный в 2012 г. по данным KVERT // «Вулканизм и связанные с ним процессы». Материалы традиционной региональной научной конференции, посвященной Дню вулканолога (к 50-летию ИВиС ДВО РАН), 29-30 марта 2012 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН. С. 24-27.
11. *Гирина О.А., Демянчук Ю.В., Мельников Д.В.* и др. Новая пароксизмальная фаза извержения вулкана Молодой Шивелуч, Камчатка, 27 февраля 2005 г. (предварительное сообщение) // *Вулканонология и сейсмология. 2006. № 1. С. 16-23.*
12. *Гирина О.А., Демянчук Ю.В., Мельников Д.В.* и др. Новая пароксизмальная фаза извержения вулкана Молодой Шивелуч, Камчатка, 27 февраля 2005 г. (предварительное сообщение) // *Вулканонология и сейсмология. 2006. № 1. С. 16-23.*
13. *Гришин С.Ю., Мелекесцев И.В.* Лавовые потоки (Извержение 2009) вулкана пик Сарычева, центральные Курилы // *Вестник Камчатской региональной организации «Учебно-научный центр». Серия: Науки о Земле. 2010. № 15. С. 232-239.*
14. *Гуценко И.И.* Извержения вулканов мира (каталог). М.: Наука, 1979. 476 с.
15. *Дядюченко В.Н., Селин В.А., Шилов А.Е., Волков С.Н., Горбунов А.В., Макриденко Л.А., Трифонов Ю.В., Асмус В.В., Милехин О.Е., Соловьев В.И., Успенский А.Б., Шмельков К.И.* Развитие космического комплекса гидрометеорологического и океанографического обеспечения на базе системы полярно-орбитальных ИСЗ серии «Метеор-М» // *Исследование Земли из космоса. 2010. № 1. С. 13-19.*
16. *Егоров В.А., Ильин В.О., Лупян Е.А., Мазуров А.А., Прошин Р.Р., Флитман Е.В.* Возможности построения автоматизированных систем обработки спутниковых данных на основе программного комплекса XV_SAT // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2004. № 1. С. 431-436.*
17. *Ефремов В.Ю., Крашенинникова Ю.С., Лупян Е.А., Мазуров А.А., Прошин А.А., Флитман Е.В.* Оптимизированная система хранения и представления географически привязанных спутниковых данных // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2007. Т.4 № 1. С.125-132.*
18. *Ефремов В.Ю., Лупян Е.А., Мазуров А.А., Прошин А.А., Флитман Е.В.* Технология построения автоматизированных систем хранения спутниковых данных // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2004. Т. 1. №.1. С. 437-443.*
19. *Котельников Р.В., Сементин В.Л., Щетинский В.Е., Барталев С.А., Галеев А.А., Ефремов В.Ю., Козочкина А.А., Крашенинникова Ю.С., Лупян Е.А., Мазуров А.А., Прошин А.А., Толпин В.А., Флитман Е.В., Ершов Д.В., Коровин Г.Н.* Применение информационной системы дистанционного мониторинга «ИСДМ-Рослесхоз» для определения пожарной опасности в лесах Российской Федерации : Учебное пособие Издание 6 // г. Пушкино (МО), ФБУ «Авиалесоохрана», 2012 год. – 364 с. (<http://smiswww.iki.rssi.ru/default.aspx?page=19&author=25,&from=2012&to=2012&subject=&type=2,&sort=desc>)
20. *Лупян Е.А., Балашов И.В., Бурцев М.А., Ефремов В.Ю., Мазуров А.А., Мальцев Д.В., Матвеев А.М., Прошин А.А., Толпин В.А., Халикова О.А., Крашенинникова Ю.С.* Возможности работы с долговременным архивом данных спутников LANDSAT по территории России и приграничных стран // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2012. Т. 9. № 3. С.307-315.*
21. *Лупян Е.А., Мазуров А.А., Назиров Р.Р., Прошин А.А., Флитман Е.В.* Технология построения автоматизированных информационных систем сбора, обработки, хранения и распространения спутниковых данных для решения научных и прикладных задач // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2004. С.81-89.*
22. *Лупян Е.А., Мазуров А.А., Назиров Р.Р., Прошин А.А., Флитман Е.В., Крашенинникова Ю.С.* Технологии построения информационных систем дистанционного мониторинга // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т.8. №1. С.26-43.*

23. *Лупян Е.А., Матвеев А.М., Уваров И.А., Бочарова Т.Ю., Лаврова О.Ю., Митягина М.И.* Спутниковый сервис See the Sea – инструмент для изучения процессов и явлений на поверхности океана // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*, 2012. Т. 9. № 2. С.251-262.
24. *Лупян Е.А., Савин И.Ю., Барталев С.А., Толпин В.А., Балашов И.В., Плотников Д.Е.* Спутниковый сервис мониторинга состояния растительности («ВЕГА») // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2011. Т. 8. № 1. С. 190-198.
25. *Прошин А.А., Бурцева Т.Н. Т.Н., Ефремов В.Ю., Лупян Е.А., Милехин О.Е., Мазуров А.А., Флитман Е.В., Ковалев А.Ф., Кормашева Т.Л.* Автоматизированная система сбора, обработки и представления спутниковых данных ФГБУ НИЦ «Планета» // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*, 2004. Выпуск 1. Т.1. С.317-323.
26. *Толпин В.А., Балашов И.В., Ефремов В.Ю., Лупян Е.А., Прошин А.А., Уваров И.А., Флитман Е.В.* 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.
27. *Carter A.J., Girina O.A., Ramsey M.S., Demyanchuk Y.V.* ASTER and field observations of the 24 December 2006 eruption of Bezymianny Volcano, Russia // *Remote Sensing of Environment*. V. 112. 2008. P. 2569–2577.
28. *Dehn J., Dean K., Engle K.* Thermal monitoring of North Pacific volcanoes from space // *Geology*. 2000. V. 28. № 8. P. 755-758.
29. *Glaze L., Francis P.W., Rothery D.A.* Measuring thermal budgets of active volcanoes by Satellite remote sensing // *Nature*. 1989. V. 338. P. 144-146.
30. *Justice, C.O., Giglio, L., Korontzi, S., Owens, J., Morisette, J. T., Roy, D., Descloitres, J., Al-leaume, S., Petitcolin, F., and Kaufman, Y.*, The MODIS fire products // *Remote Sensing of Environment*, 2002. 83. P. 244-262.
31. *Kearney C.S., Dean K., Realmuto V.J.* et al. Observations of SO₂ production and transport from Bezymianny volcano, Kamchatka using the MODERate resolution Infrared Spectroradiometer (MODIS) // *Int. J. Rem. Sens.* 2008. V. 29. №. 22. P. 6647–6665.
32. *Khanchuk A.I., Smagin S.I., Sorokin A.A., Makogonov S.V.* Regional Network of the Far Eastern Branch of RAS // *First Russia and Pacific Conference on Computer Technology and Applications (RussiaPacificComputer 2010)*, 6 – 9 September, 2010; Russian Academy of Sciences, Far Eastern Branch, Vladivostok, Russia, 2010. P. 233-234.
33. *Lanari, R., P. Lundgren, and E. Sansosti.* Dynamic deformation of Etna volcano observed by satellite radar interferometry // *Geophys. Res. Lett.*, 1998. 25. P. 1541-1544.
34. *Lundgren, P., P. Berardino, M. Coltelli, G. Fornaro, R. Lanari, G. Puglisi, E. Sansosti, and M. Tesauro.* Coupled magma chamber inflation and sector collapse slip observed with synthetic aperture radar interferometry on Mt. Etna volcano // *J. Geophys. Res.*, 2003. 108(B5), 2247, doi:10.1029/2001JB000657.
35. *Miller T.P., Casadevall T.J.* Volcanic ash hazards to aviation // *Encyclopedia of Volcanoes*. Academic Press, San Diego, California. 2000. P. 915-930.
36. *Neal Ch., Girina O, Senyukov S.* et al. Russian eruption warning systems for aviation // *Natural Hazards*. Springer Netherlands. 2009. V. 51. № 2. P. 245-262.
37. *Prata A.J.* Observation of volcanic ash clouds using AVHRR-2 radiances // *Int. J. Rem. Sens.* 1989. V 10 (4). P. 751–761.
38. *Ramsey M., Dehn J.* Spaceborne observations of the 2000 Bezymianny, Kamchatka eruption: the integration of high-resolution ASTER into near real-time monitoring using AVHRR // *J. Volcanol. Geoth. Res.* 2004. V. 135. P. 127–146.
39. *Schneider D.J., Dean K.G., Dehn J.* et al. Monitoring and Analyses of Volcanic Activity Using Remote Sensing Data at Study for Kamchatka, Russia, December 1997 // *Remote Sensing of Active Volcanism*. Geophysical Monograph. 2000. P. 65-85.
40. *Schneider D.J., Rose W.I.* Observations of the 1989-1990 Redoubt volcano eruption clouds using AVHRR satellite imagery // *US Geological Survey Bull.* 1994. V. 2047. P. 405-418.
41. *Siebert L., Simkin T.* (2002). *Volcanoes of the World: an Illustrated Catalog of Holocene Volcanoes and their Eruptions*. Smithsonian Institution, Global Volcanism Program Digital Information Series, GVP-3. 2002. URL: <http://www.volcano.si.edu/world/>.
42. *Simkin T., Siebert L.* *Volcanoes of the World* // Smithsonian Institution. Washington DC. 1994. 350 p.

43. *Watson I.M., Realmuto V.J., Rose W.I. et al.* Thermal infrared remote sensing of volcanic emissions using the moderate resolution imaging Spectroradiometer // *J. Volcanol. Geoth. Res.* 2004. V. 135 (1–2). P. 75–89.
44. *Wen S., Rose W.I.* Retrieval of sizes and total masses of particles in volcanic clouds using AVHRR bands 4 and 5 // *J. Geophys. Res.* 1994. V. 99(D3). P. 5421–5431.
45. *Yu T., Rose W.I., Prata A.J.* Atmospheric correction for satellite-based volcanic ash mapping and retrievals using “split window” IR data from GOES and AVHRR // *J. Geophys. Res.* 2002. V. 107 (D16). P. 4311.

Creating an Information Service “Remote Monitoring of Active Volcanoes of Kamchatka and the Kuril Islands”

**V.Yu. Efremov¹, O.A. Girina², L.S. Kramareva³, E.A. Loupian¹, A.G. Manevich²,
D.V. Melnikov², A.M. Matveev¹, A.A. Proshin¹, A.A. Sorokin⁴, E.V. Flitman¹**

¹ *Space Research Institute of Russian Academy of Sciences
117997, Moscow, Profsoyuznaya str., 84/32*

E-mail: evgeny@iki.rssi.ru;

² *Institute of Volcanology and Seismology of Russian Academy of Sciences (Far Eastern Branch)*

E-mail: girina@kscnet.ru

³ *SRC «Planeta»*

123242 Moscow, Bolshoy Predtechensky lane, 7

E-mail: asmus@planet.iitp.ru

⁴ *Computer Center of Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences*

680000 Khabarovsk, Kim Yu Chen str., 65

E-mail: alsor@febras.net

In this paper we discuss the possibility of creating an information system aimed at providing operational remote sensing data for the tasks of monitoring volcanic activity in Kamchatka and the Kuril Islands. The paper provides a brief analysis of the experience in satellite techniques for monitoring volcanoes gained in recent decades. The available technical and technological capabilities, which can form the basis of the information system being developed, are analyzed. The paper describes the system architecture, the capabilities of current working prototype and perspectives of its further development. The examples of information products generated by the system are shown.

Keywords: volcanic activity, volcanoes of Kamchatka and the Kuril Islands, satellite systems, satellite data, distributed archives, information systems, monitoring systems, technologies for building automated systems.