

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ АНАЛИЗА ДАННЫХ О ВУЛКАНАХ КАМЧАТКИ И КУРИЛ

© 2018 И.М. Романова, О.А. Гирина

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский; e-mail: roman@kscnet.ru

За многие годы исследований вулканов Камчатки и Курильской островной дуги в Институте вулканологии и сейсмологии (ИВиС) ДВО РАН накоплен большой объем уникальных научных данных. Распределенный характер хранения информации затрудняет поиск данных и их эффективное использование в научных исследованиях. Актуальными задачами являются интеграция данных в тематические информационные ресурсы, организация доступа к данным в сети Интернет, а также создание инструментов для их комплексного анализа. Описываются разработанные в ИВиС ДВО РАН информационные веб-системы VOKKIA и KVERT. VOKKIA предназначена для интеграции и систематизации гетерогенных научных данных по наземным вулканам Камчатки, Курильских островов и подводным вулканам омывающих морей, в том числе данных об исторических извержениях действующих вулканов. Система KVERT содержит краткую информацию о действующих вулканах Камчатки и Северных Курил, в том числе об их опасности; обеспечивает сбор и хранение оперативных данных визуального, видео-, и спутникового мониторинга вулканов; автоматизированную подготовку и отправку KVERT-сообщений о состоянии вулканов. Дается описание организации обмена данными VOKKIA и KVERT с внешними информационными системами; сервисов графической визуализации и статистического анализа данных, помогающих обнаруживать взаимосвязи, закономерности и тенденции изменения вулканогенных процессов во времени.

Ключевые слова: информационная система, анализ данных, вулканы, Камчатка, Курильские острова.

ВВЕДЕНИЕ

На Камчатке насчитывается ~7100 вулканических построек, возникших за последние 2–2.5 млн лет, на Курильских островах — более 800 (Новейший..., 2005), из них 70 вулканов являются действующими: 30 на Камчатке (Новейший ..., 2005, <http://www.kscnet.ru/ivs/kvert/volcano>) и 40 на Курилах (Новейший ..., 2005). К «действующим» или «активным» относятся вулканы, для которых установлено хотя бы одно извержение за последние 3500 лет (Мелекесцев, 2006, 2009; Новейший ..., 2005). Исторические извержения, т. е. имеющие документальные свидетельства, известны для 23 действующих вулканов Камчатки (www.kscnet.ru/ivs/kvert/) и 29 Курил (www.imgg.ru/ru/svert). Для сравнения: исторические извержения известны для 29 действующих вулканов Японии (<http://www.data.jma.go.jp/>) и 36 вулканов США (<http://volcano.si.edu/>) (Гирина и др., 2018б).

На Камчатке в XX в. произошло три катастрофических извержения (Ксудач, 28 марта 1907 г.; Безымянный, 30 марта 1956 г.; Шивелуч, 12 ноября 1964 г.) с общим объемом эруптивного материала ~7.5 км³ и ~100 извержений умеренной силы продолжительностью до 1.5 лет 14-ти вулканов с объемом продуктов от 0.001 до 2.2 км³ (БТТИ, 1984; Горшков, 1957; Горшков, Дубик, 1969; Мелекесцев и др., 1995; Girina, 2013; <http://www.kscnet.ru/ivs/kvert/>). С начала XXI в. уже отмечено 55 извержений 12-ти вулканов, из которых пять (Корякский, Кизимен, Толбачик, Жупановский, Камбальный) извергались после продолжительного периода покоя — от 30 до сотен лет (Гирина и др., 2017). Объем эруптивных продуктов отдельных эксплозивных извержений, например, Шивелуча 27 февраля 2005 г., достигал 0.5 км³ (Гирина и др., 2006).

За многие годы исследований вулканов и их извержений в Институте вулканологии и сейсмологии (ИВиС) ДВО РАН накоплен большой

объем уникальных научных данных (публикации, данные в различных аналоговых и цифровых форматах и т.д.). Распределенный характер хранения информации, сформированной различными программными и аппаратными средствами и имеющей разные методы доступа, затрудняет поиск данных и не позволяет эффективно использовать их в научных исследованиях. Поэтому актуальной задачей являются интеграция данных в тематические информационные ресурсы, организация доступа к данным в сети Интернет, а также создание инструментов для их комплексного анализа.

Для обеспечения доступа всех заинтересованных пользователей к научной информации в ИВиС ДВО РАН с 2008 г. формируется инфраструктура пространственных данных на основе единых международных стандартов, обеспечивающих интероперабельность данных и сервисов в сетевой среде (Романова, 2015; Романова, Гирина, 2017).

С 2010 г. разрабатываются информационные веб-системы (ИС): ИС «Вулканы Курило-Камчатской островной дуги» (Volcanoes of Kurile-Kamchatka Island Arc Information System — VOKKIA IS) для интеграции данных по вулканам и их извержениям (Романова и др., 2012б, 2012в) и ИС Камчатской группы реагирования на вулканические извержения (Kamchatkan Volcanic Eruption Response Team Information System — KVERT IS) для подготовки и интеграции данных оперативного мониторинга активности вулканов (Романова, Гирина, 2017). Эти ИС позволяют проводить анализ данных на современном уровне с применением новейших информационных и вычислительных технологий. Для хранения атрибутивных данных в ИС служат базы данных (БД), созданные в среде СУБД MariaDB, распространяемой под лицензией GPL — GNU General Public License 9.

Единой точкой доступа к коллекциям данных, информационным системам и сервисам является геопортал ИВиС ДВО РАН (<http://geportal.kscnet.ru>) (Романова, 2013).

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА VOKKIA

ИС «Вулканы Курило-Камчатской островной дуги» (<http://geportal.kscnet.ru/volcanoes/>) предназначена для интеграции и систематизации гетерогенных научных данных по наземным вулканам Камчатки, Курильских островов и подводным вулканам омывающих морей. ИС обеспечивает хранение и представление данных об исторических извержениях из литературных источников и оперативных данных, полученных с использованием дистанционных, геологиче-

ских и геофизических методов за период с 1935 г. по настоящее время. Для хранения данных служит БД «Вулканы Курило-Камчатской островной дуги и их извержения» (Романова и др., 2012).

Веб-интерфейс VOKKIA на сегодняшний день представлен информационными модулями: «Вулканы», «Извержения», «Мониторинг», «Изображения», «Породы», «Отложения», «Библиография», «Геосервисы».

Главный модуль «Вулканы», обеспечивающий взаимосвязь всех модулей системы, содержит метаданные вулканов — название, синонимы, номер по каталогу Global Volcanism Program (GVP) (Siebert et al., 2010), географические координаты вершины, абсолютную высоту вулканической постройки. Кроме этого, для каждого вулкана приведены: географический регион, вулканический район, статус вулкана (действующий, потенциально действующий или потухший), период активности, тип постройки, состав пород, краткое описание вулкана со списком использованной литературы и др.

Первоочередным объектом описания в ИС стали действующие вулканы и их исторические извержения. Для Камчатки и Курильских островов такие извержения известны с конца XVII — начала XVIII вв. по настоящее время. Источниками информации о вулканах и извержениях стали научные статьи, книги и каталоги (Влодавец, Пийп, 1957; Геология ..., 1964; Горшков, 1957; Гущенко, 1979; Действующие ..., 1991; Новейший ..., 2005; Новограбленов, 1932; Огородов, 1972; Gorshkov, 1958 и др.).

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА KVERT

KVERT в составе ИВиС ДВО РАН выполняет функции Вулканологической обсерватории Российской Федерации по обеспечению информацией о вулканической деятельности на Дальнем Востоке международного аэронавигационного сообщества (Гирина, 2012; Гордеев, Гирина, 2014). Целью KVERT является снижение 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 (Гирина и др., 2018а; Гордеев, Гирина, 2014).

Сотрудники KVERT проводят ежедневный мониторинг 30 действующих вулканов Камчатки с 1993 г. и 6 вулканов северокурильских о-вов Атласова и Парамушир с 2003 г. По результатам мониторинга вулканов выпускаются KVERT-

сообщения, главным из которых является VONA (Volcano Observatory Notice for Aviation) — оперативное предупреждение авиационных служб об усилении активности вулкана с образованием пепловых облаков и шлейфов или о начале/окончании извержения вулкана. При выпуске VONA KVERT устанавливает Авиационный цветовой код (АЦК) вулкана — уровень опасности вулкана для авиации в зависимости от степени его активности (Гирина и др., 2018а; Гордеев, Гирина, 2014). Применение АЦК для вулканологических обсерваторий рекомендовано Международной организацией гражданской авиации (The International Civil Aviation Organization — ICAO)¹. Кроме VONA, для вулканов, АЦК которых не «Зеленый», то есть находящихся в состоянии извержения или активизации, KVERT выпускает Weekly Releases (еженедельные сообщения на русском и английском языках), включающие прогноз на предстоящую неделю опасности вулканов для авиации и описание их активности за предыдущую неделю; и Daily Releases (ежедневные сообщения на английском языке), в которых дается краткое описание активности вулканов за прошедшие сутки (Гирина и др., 2018а).

С 2012 г. мониторинг вулканов выполняется с использованием ИС KVERT (Гирина и др., 2018а; Гордеев, Гирина, 2014). Основное назначение системы — автоматизация процесса подготовки KVERT-сообщений, в том числе VONA, обеспечение хранения данных и их статистического анализа. Реализовано разграничение прав доступа к ресурсам системы в зависимости от статуса пользователя.

Доступная всем пользователям Интернет на официальном сайте KVERT (<http://www.kscnet.ru/ivs/kvert/>) часть ИС содержит каталог с краткими сведениями об активных вулканах (основные характеристики, виды мониторинга, потенциальная опасность для авиации и населения, даты последних извержений и т.д.) (<http://www.kscnet.ru/ivs/kvert/volcano>), описание АЦК опасности вулканов для авиации (<http://www.kscnet.ru/ivs/kvert/color>), архив KVERT-сообщений (VONA, Weekly и Daily Releases) (<http://www.kscnet.ru/ivs/kvert/van/>) и др. Справочная информация о вулканах, KVERT-сообщения об их состоянии и текущих АЦК и др. хранятся в БД «Активность вулканов Камчатки и Северных Курил» (Романова и др., 2016). В случае выпуска VONA о пепловом облаке или шлейфе, в БД поступает

детальная информация о событии — дата, время, минимальная и максимальная высоты эруптивной колонны над уровнем моря (н.у.м.), продолжительность события, направление и протяженность пеплового шлейфа, источник данных и т. д.

Доступная только сотрудникам KVERT часть ИС включает сервисы:

- управление справочными таблицами БД;
- оперативная подготовка и рассылка по e-mail VONA и других сообщений о состоянии активности вулканов заинтересованным службам и пользователям;
- графическая визуализация данных для их статистического анализа;
- поиск в архиве и просмотр результатов PUFF-моделирования распространения пепловых облаков от вулканов.

Реализована интеграция ИС KVERT и VOKKIA на уровне данных. Например, данные БД системы KVERT, такие как АЦК, сведения о текущем состоянии и прогнозе опасности активных вулканов, видах их мониторинга и др., отображаются в модуле «Мониторинг» ИС VOKKIA. В свою очередь, данные БД ИС VOKKIA используются в ИС KVERT: метаданные активных вулканов из модуля «Вулканы» — при формировании KVERT-сообщений и др.; даты последних извержений из модуля «Извержения» — в каталоге активных вулканов; фотографии и анимации из модуля «Изображения» — для демонстрации активности вулканов и т.д.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ИС VOKKIA И KVERT С ВНЕШНИМИ ИС

В 2014–2015 гг. реализован обмен данными между ИС VOKKIA, KVERT и автоматизированной ИС (АИС) «Сигнал» (ВЦ ДВО РАН, <http://signal.febras.net>), предназначенной для управления ресурсами инструментальных сетей наблюдений ДВО РАН (Гирина и др., 2017; Гордеев и др., 2016; Sorokin et al., 2016). В АИС «Сигнал» синхронно обновляется метаинформация об активных вулканах в случае ее изменения в ИС VOKKIA — названия вулканов, географические координаты, номер по каталогу GVP, абсолютная высота вулкана, а из ИС KVERT в АИС поступают оперативные данные, содержащиеся в сообщениях VONA: АЦК опасности вулканов для авиации и данные о пепловых облаках и шлейфах (дата, время, длительность события, высота н.у.м., номер VONA-сообщения). Передача данных организована посредством statement-based репликации соответствующих таблиц баз данных ИС, где СУБД ИС VOKKIA и KVERT (MariaDB) является master-сервером, а СУБД АИС «Сигнал» (MySQL) — slave-сервером (Королев и др., 2018).

¹ Handbook on the International Airways Volcano Watch (IAVW). Operational Procedures and Contact List (ICAO Doc 9766-AN/968). ICAO, 2004. [https://www.icao.int/safety/meteorology/iavwopsg/Handbook on the IAVW Doc 9766/Doc 9766 — Handbook on the International Airways Volcano Watch \(IAVW\).pdf](https://www.icao.int/safety/meteorology/iavwopsg/Handbook%20on%20the%20IAVW%20Doc%209766/Doc%209766%20-%20Handbook%20on%20the%20International%20Airways%20Volcano%20Watch%20(IAVW).pdf)

При публикации VONA об эксплозивном событии на вулкане в вычислительном модуле АИС «Сигнал» (Signal PUFFUAF module), реализованном на основе математической модели PUFF, создается задание на расчет траектории распространения пеплового облака или шлейфа (Сорокин и др., 2016). Результат PUFF-моделирования в виде анимированного gif-изображения (рис. 1) поступает в файловый архив сервера ИВиС ДВО РАН по протоколу синхронизации файлов rsync². PUFF-модели, актуальные на текущие сутки, отображаются на сайте KVERT в соответствующем этому событию сообщении VONA и в модуле «Мониторинг» ИС VOKKIA.

В 2016 г. реализован обмен данными между АИС «Сигнал» и ИС VolSatView («Дистанционный мониторинг активности вулканов Камчатки и Курил», <http://volcanoes.smislab.ru>), созданной коллективом ученых из ИВиС ДВО РАН, ИКИ РАН, ВЦ ДВО РАН и ДЦ «НИЦ Планета». ИС VolSatView

²<https://rsync.samba.org>

позволяет вулканологам комплексно работать с различными спутниковыми данными, а также метео- и наземной информацией для непрерывного мониторинга и исследования вулканической активности Камчатки и Курил (Гордеев и др., 2016; Лупян и др., 2015). Реализованное информационное взаимодействие между ИС VOKKIA, KVERT, «Сигнал» и VolSatView позволило создать новые инструменты для проведения комплексного анализа распространения пепловых облаков при эксплозивных извержениях вулканов Камчатки и Северных Курил (Гирина и др., 2017; Королев и др., 2018; Сорокин и др., 2016).

АНАЛИЗ ДАННЫХ В ИС

ИС VOKKIA. В настоящее время в системе описаны 289 вулканов (177 наземных и 112 подводных), в том числе 70 действующих наземных вулканов, для 52 из которых приведены краткие описания 345 исторических извержений и, если

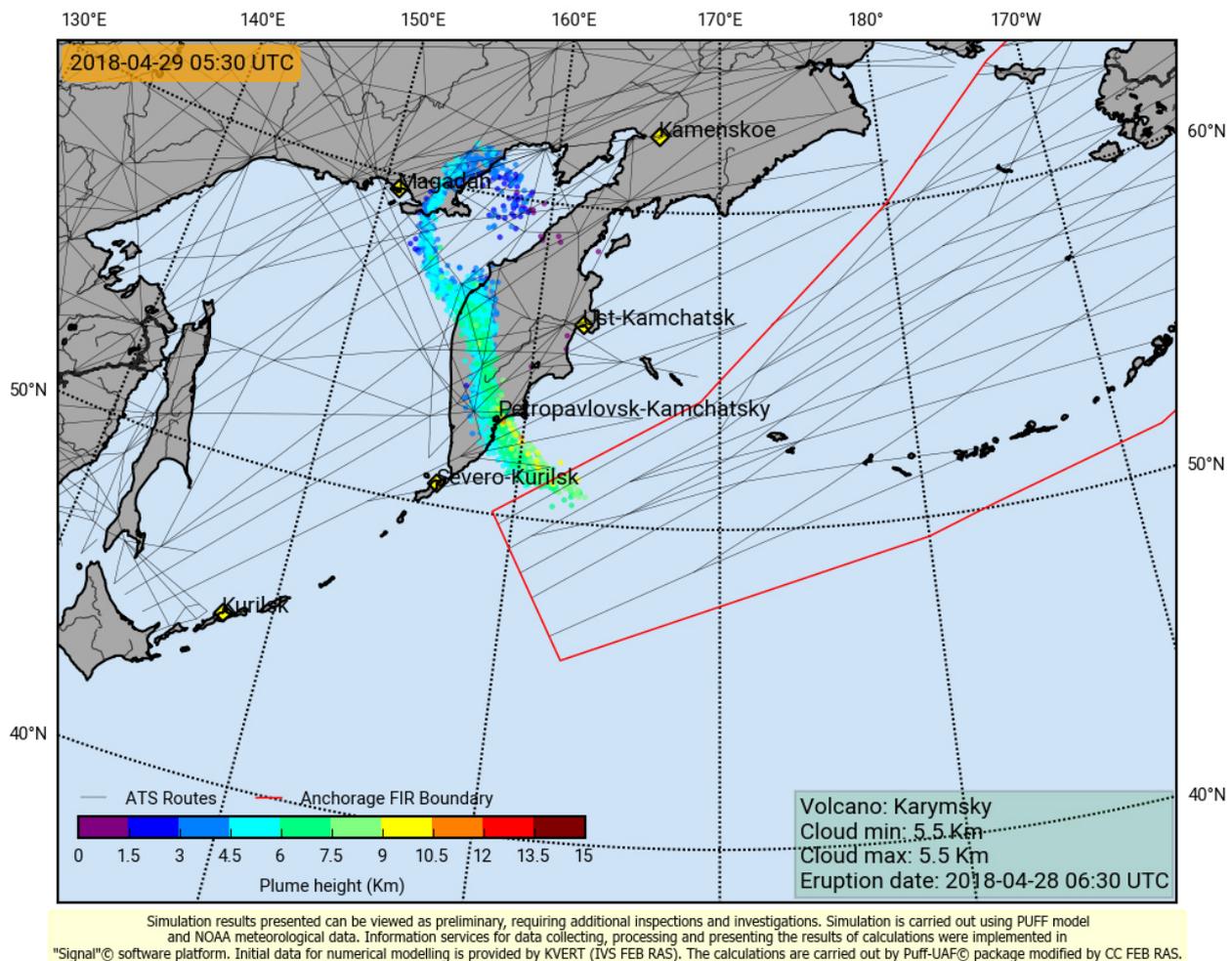


Рис. 1. Результат PUFF-моделирования распространения пеплового шлейфа от вулкана Карымский по состоянию на 05:30 UTC 29 апреля 2018 г. (начало эксплозивного события — 06:30 UTC 28 апреля 2018 г., VONA 2018-40). Данные ИС KVERT.

Fig. 1. The result of the PUFF simulation of ash plume propagation from Karymsky Volcano at 05:30 UTC on April 29, 2018 (the beginning of the explosive event is 06:30 UTC on April 28, 2018, VONA 2018-40). Data of the KVERT IS.

известны: точные или приблизительные даты их начала и окончания, предвестники, динамика, состав и объем изверженных продуктов (лавы и пирокластики), энергия, индекс эксплозивности VEI (Volcanic Explosivity Index), максимальная высота эруптивной колонны и др. (рис. 2).

Для наглядного представления ряда эруптивных событий в хронологической последовательности в системе используются интерактивные графики типа лент времени — таймлайн (от английского timeline), позволяющие выделять периоды покоя и активности вулканов. Например, для вулкана Безымянный насчитывается 51 эксплозивное извержение, наибольшее количество которых произошло в период 1977–2017 гг. (рис. 3).

Веб-интерфейс ИС включает поиск извержений по различным параметрам — названию вулкана, дате, характеру извержения (эффузивное, эксплозивное, экструзивное), типу эксплозивных событий (стромболианский, вулканский, плинианский, пелейский) и др. (рис. 4). Характер

извержения вулкана, форма его постройки, типы эруптивных продуктов обусловлены составом магматического вещества. Например, для вулканов, поставляющих на поверхность земли магму среднего и кислого составов, характерны экструзивные, эксплозивные и эффузивные извержения, форма построек вулканических аппаратов — экструзии или лавовые куполы, продукты эксплозивных извержений — тефра, пирокластические потоки, пирокластические волны, пеплы облаков пирокластических потоков; продукты эффузивных извержений — короткие вязкие лавовые потоки (Гирина, 1998).

ИС KVERT. В настоящее время база данных системы содержит основанные на VONA характеристики 813 эксплозивных событий 11 вулканов, извергавшихся в 2012–2018 гг. (Шивелуч, Ключевской, Безымянный, Плоский Толбачик (Толбачинский дол), Кизимен, Карымский, Жупановский, Камбальный — на Камчатке; Алайд, Эбеко, Чикурачки — на Северных Курилах).

Вулкан Ключевской. Извержения															
1697	1720	1727	1737	1762	1767	1770	1772	1788	1807	1812	1821	1829	1840	1848	1852
1865	1877	1882	1890	1896	1904	1907	1909	1913	1915	1922	1923	1925	1929	1931	1932
1937	1938	1944	1945	1946	1951	1953	1956	1960	1965	1966	1971	1974	1980	1983	1984
1988	1989	1993	1995	1997	1998	1999	2003	2005	2007	2008	2009	2012	2013	2015	2016
2017	2018														

Начало: 1720
Окончание: 1721

Характеристика: в центральном кратере, эксплозивное стромболианское, эксплозивное вулканское

Продукты извержения: андезибазальты

Описание: Из работы (Пийп, 1956. стр. 83-84): "Геодезисты Евреинов и Лужин, посланные Петром Первым исследовать Курильские острова, зимовали с октября 1720 г. по апрель 1721 г. в селении Ключи (тогдашний Нижнекамчатск), откуда они ежедневно могли наблюдать Ключевскую сопку. Очевидно, на основании этих наблюдений Евреинов в своем каталоге пунктов Камчатки сообщает о Ключевской сопке (Евтеев, 1950, стр. 96): «Гора каменная горит днем и ночью». Утверждение в этой фразе ясно говорит, что вулкан в это время находился в состоянии извержения, вероятнее всего умеренного. О состоянии вулкана между 1698 и 1720 гг. определенных сведений нет, но очевидно, что извержения происходили и в эти годы. На основании каких-то неизвестных нам данных Кулаков (1936) указывает, например, на одно из извержений, случившихся между 1702 и 1711 гг. О том, что Ключевская сопка в течение этого периода временами извергалась, можно судить из отдельных сообщений И. П. Козыревского, который с 1700 по 1720 г. безвыездно прожил на Камчатке. Например, «Санктпетербургские ведомости» (№25, 26 марта 1730 г.), сообщая о приезде Козыревского в Москву, говорят о нем: «В протчем привез он также о имеющейся недалеко от реки Камчатки огонь испущающей горе Сопке имянуемой, которая огонь дым горящие камни и пепел выбрасывает... обстоятельное известие»."

Литература:
 Евтеев О.А. Первые русские геодезисты на Тихом океане / Отв. ред. Салищев А.К. 1950. 105 с. 
 Кулаков В.С. О деятельности Камчатских вулканов // Природа. 1936. № 8. С. 21-28. 
 Пийп Б.И. Ключевская сопка и её извержения в 1944-1945 гг. и в прошлом // Труды лаборатории вулканологии. 1956. № 11. С. 3-303. 

Рис. 2. Описание извержения 1720 г. вулкана Ключевской в ИС VOKKIA.

Fig. 2. Description of the 1720 eruption of Klyuchevskoy Volcano in the VOKKIA IS.

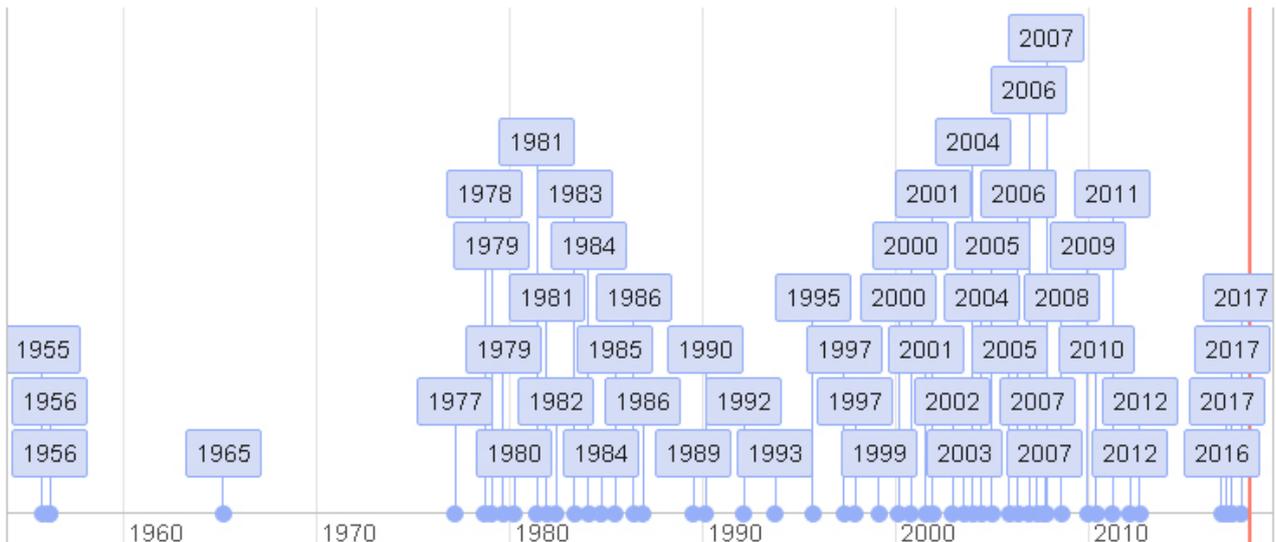


Рис. 3. Даты исторических извержений вулкана Безымянный. Данные ИС VOKKIA.

Fig. 3. The dates of the historical eruptions of Bezymianny Volcano. Data of the VOKKIA IS.

Запрос: Год: 2000-2017; Характеристика: эффузивное (лавовые потоки)

Найдено записей: 38

Вулкан Алаид
2015
Вулкан Безымянный
2000 2000 2001 2001 2002 2003 2004 2004 2005 2005 2006 2006 2007 2007 2007 2008 2009 2010 2011 2012 2012 2016 2017 2017
Вулкан Кизимен
2010
Вулкан Ключевской
2007 2009 2013 2015 2016
Вулкан Пик Сарычева
2009
Вулкан Плоский Толбачик
2012
Вулкан Шивелуч
2004 2005 2007 2010 2016

Рис. 4. Эффузивные извержения XXI века вулканов Камчатки и Курил. Данные ИС VOKKIA.

Fig. 4. The XXI century effusive eruptions of volcanoes of Kamchatka and Kuril Islands. Data of the VOKKIA IS.

Для анализа постоянно растущего объема данных, связанных с эксплозивными событиями, в системе создан сервис online-инструментов их графической визуализации.

Инструмент «Высота подъема пепловых облаков» позволяет выявлять наиболее активные вулканы в заданный отрезок времени; частоту выбросов пепла, максимальную высоту подъема пепловых облаков для одного, нескольких или всех вулканов и т.д. Для визуализации результа-

тов выборки событий в хронологической последовательности используются интерактивные диаграммы (столбчатые, линейные или точечные), размещенные на шкале таймлайн (рис. 5). Для любого события во всплывающем окне показываются: название вулкана, дата и время события, высота подъема пеплового облака. В случае построения диаграммы для одного вулкана, под ней отображаются распределение количества выбросов по месяцам и изменение

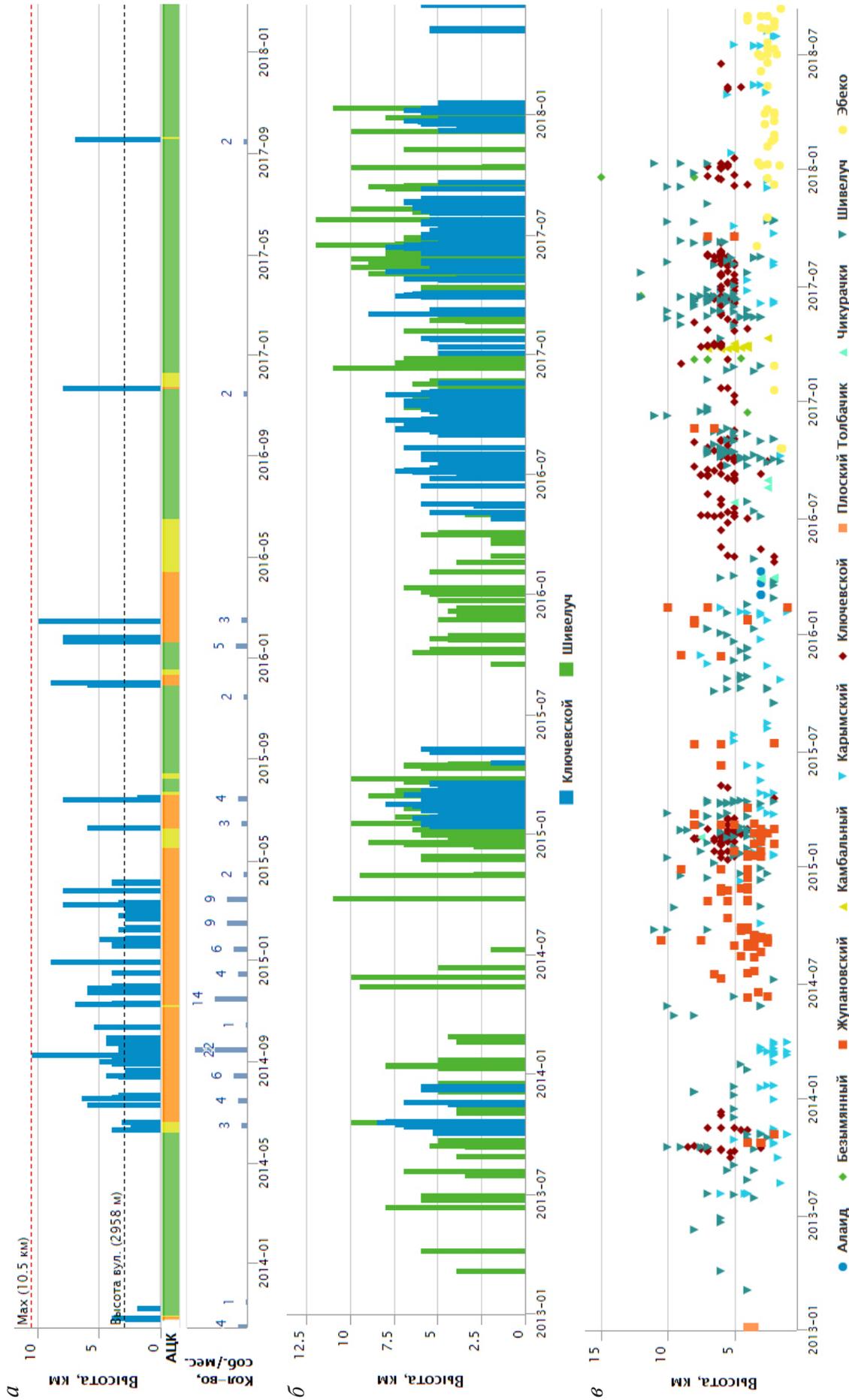


Рис. 5. Эксплозивные события на вулканах в 2013–2018 гг.: Жупановский (а), Ключевской и Шивелуч (б), Камчатки и Северных Курил (в). Данные ИС KVERT. АЦК — Авиационный цветовой код вулкана¹.
Fig. 5. Explosive events on the volcanoes in 2013–2018: Zhupanovsky (a), Klyuchevskoy and Sheveluch (б), Kamchatka and Northern Kuriles (в). Data of the KVERT IS.

АЦК вулкана в течение рассматриваемого периода времени. Например, в 2013–2018 гг. во время извержения вулкана Жупановский пепловые облака при эксплозиях поднимались максимально на 10.5 км н.у.м. (7 сентября 2014 г.), в этот же месяц отмечалось наибольшее количество пепловых выбросов — 22 (рис. 5а). Максимальный подъем пепловых облаков на вулкане Ключевской был на 9 км н.у.м. (2 марта 2017 г.), на вулкане Шивелуч — на 12 км н.у.м. (14 июня и 23 июля 2017 г.) Время от времени эксплозивные события на Ключевском и Шивелуче происходили одновременно (рис. 5б). Среди вулканов Камчатки и Северных Курил, извергавшихся в этот период, максимальным, на 15 км н.у.м., был подъем пепловых облаков на вулкане Безымянный (20 декабря 2018 г.). На 10 км н.у.м. и выше неоднократно поднимались пепловые облака вулканов Шивелуч, Безымянный и Жупановский (рис. 5в).

Инструмент «Распространение пепловых облаков» дает возможность анализировать направления и дальность распространения пепловых облаков и шлейфов как для всех вулканов одновременно, так и для отдельных или нескольких за различные периоды наблюдений (рис. 6). Например, с октября 2012 г. по апрель 2018 г. отмечено 275 событий для вулкана Ключевской, 272 для вулкана Шивелуч и 106 для вулкана Жупа-

новский. Интерактивные диаграммы повторяемости показывают, что во время эксплозивных событий с выносом пепла выше 4 км н.у.м. (64.1%) преобладающим направлением распространения пепловых облаков от вулкана Шивелуч было восточное (23.1%), а дальность распространения наибольшего количества пепловых облаков была < 100 км (17.2%) (рис. 6а). Преобладающим направлением распространения пепловых облаков для всех извергавшихся вулканов Камчатки и Северных Курил также было восточное (20.1%) (несомненный вклад Шивелуча), наибольшее количество эксплозий поднимало пепловые облака на 3–6 км н.у.м. (56.4%). Преобладающими направлениями перемещения пепловых облаков далее 200 км от вулканов были восточные (3.04%) и восток-юго-восточные (3.4%), далее 1000 км от вулканов — также восточные (0.2%) и восток-юго-восточные (0.1%) (рис. 6б).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

За многие годы исследований вулканов и их извержений в ИВиС ДВО РАН накоплен большой объем научных данных. Для их систематизации и интеграции в единую среду, доступную в сети Интернет, формируется инфраструктура пространственных данных, создан геопортал как единая точка доступа к данным и сервисам,

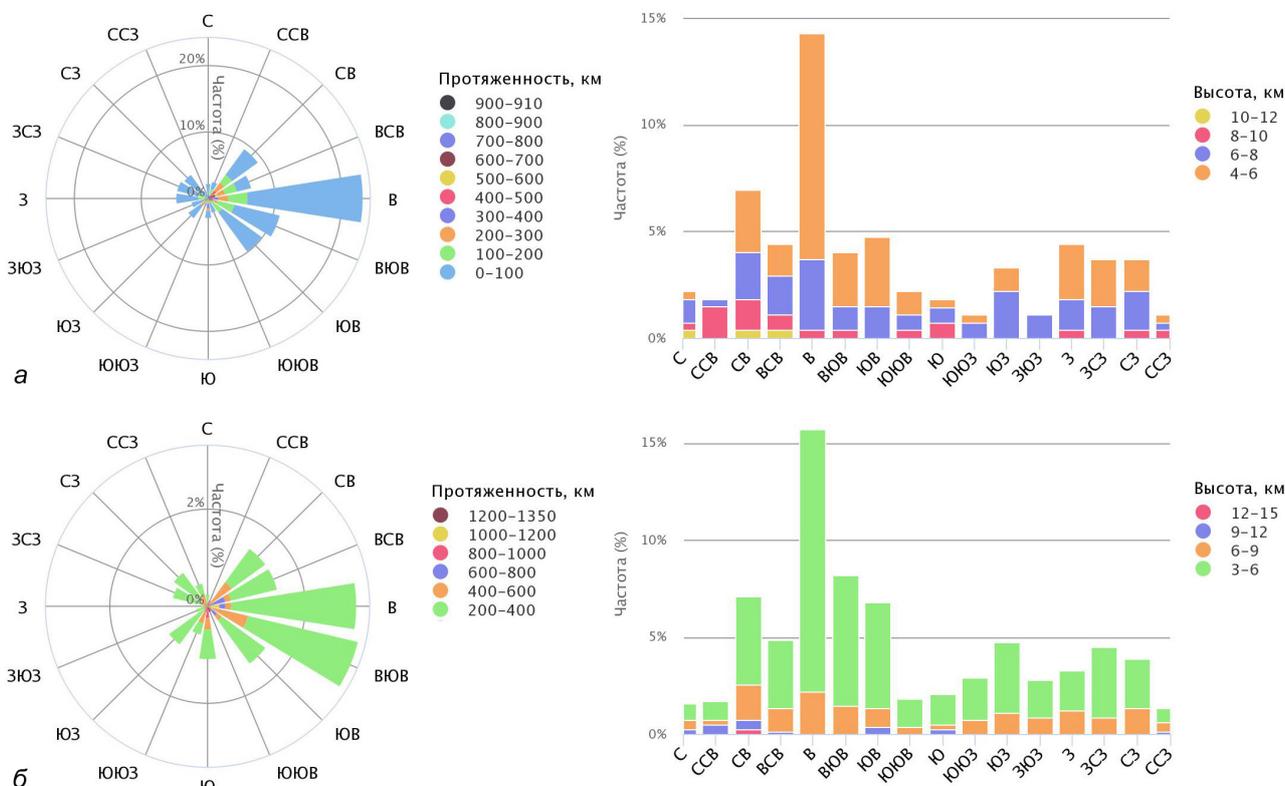


Рис. 6. Направления распространения пепловых шлейфов в 2012–2018 гг.: от вулкана Шивелуч (а), от всех вулканов Камчатки (б). Данные ИС KVERT.

Fig. 6. Directions of ash plumes propagation in 2012–2018: from Sheveluch Volcano (a), from all Kamchatka volcanoes (b). Data of the KVERT IS.

разработаны ИС VOKKIA и KVERT, обеспечивающие хранение и представление исторических и оперативных вулканологических данных и позволяющие проводить их анализ с применением новейших информационных и вычислительных технологий.

Созданные инструменты для графической визуализации данных и их статистического анализа могут помочь обнаружить взаимосвязи, закономерности и тенденции изменения вулканогенных процессов во времени — например, периоды активизаций вулканизма на полуострове, одновременность извержений тех или иных вулканов и т.д. Анализ оперативных данных, содержащихся в ИС KVERT, позволяет выявлять наиболее активные вулканы в определенный период времени; частоту и высоту выбросов пепла, преобладающие направления перемещения и протяженность пепловых облаков и шлейфов за различные периоды наблюдений.

Дальнейшее развитие информационных систем будет направлено на расширение их функциональных возможностей, в том числе на создание новых сервисов и инструментов для анализа вулканологических данных.

Авторы выражают благодарность сотрудникам ИВиС ДВО РАН к.г.-м.н. А.П. Максимову, Д.В. Мельникову и А.Г. Маневичу за большую работу, связанную с развитием ИС VOKKIA и KVERT, а также к.т.н. В.А. Рашидову за полезные советы и замечания в процессе подготовки статьи к публикации.

Работа выполнена при поддержке проекта ДВО РАН «Дальний Восток» (№ 18-5-091).

Список литературы [References]

- Большое трещинное Толбачинское извержение (1975–1976 гг., Камчатка) / Отв. ред. С.А. Федотов. М.: Наука, 1984. 637 с. [Large Tolbachik fissure eruption (1975–1976, Kamchatka) / Ed. by S.A. Fedotov. Moscow: Nauka, 1984. 637 p. (in Russian)].
- Влодавец В.И., Пийп Б.И. Каталог действующих вулканов Камчатки // Бюллетень вулканологической станции. 1957. № 25. С. 5–95. [Vlodavets V.I., Piip B.I. Catalogue of Kamchatkan Active Volcanoes // Byulleten' vulkanologicheskoy stantsii. 1957. № 25. P. 5–95. (in Russian)].
- Геология СССР. Т. XXXI. Камчатка, Курильские и Командорские острова. Часть 1. Геологическое описание / Отв. ред. Г.М. Власов. М.: Недра, 1964. 734 с. [USSR Geology. Vol. XXXI. Kamchatka, Kurile and Komandore Islands. Part 1. Geological Description / Ed. G.M. Vlasov. Moscow: Nedra, 1964. 734 p. (in Russian)].
- Гирина О.А. Современные пирокластические отложения андезитовых вулканов и их инженерно-геологические особенности. Владивосток: Дальнаука, 1998. 174 с. [Girina O.A. Pyroclastic Deposits from Resent Andesitic Volcano Eruptions in Kamchatka and their Engineering-Geological Features. Vladivostok: Dal'nauka, 1998. 174 p. (in Russian)].
- Гирина О.А. О предвестнике извержений вулканов Камчатки, основанном на данных спутникового мониторинга // Вулканология и сейсмология. 2012. № 3. С. 14–22. [Girina O.A. On precursor of Kamchatkan volcanoes eruptions based on data from satellite monitoring // Journal of Volcanology and Seismology. 2012. V. 6. Iss. 3. P. 142–149. <https://doi.org/10.1134/S0742046312030049>].
- Гирина О.А., Гордеев Е.И., Маневич А.Г. и др. Камчатской группе реагирования на вулканические извержения (KVERT) — 25 лет // Вулканизм и связанные с ним процессы. Материалы региональной конференции, посвященной Дню вулканолога, 29–30 марта 2018 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2018а. С. 24–27. [Girina O.A., Gordeev E.I., Manevich A.G. Kamchatka Response Team for Volcanic Eruptions (KVERT) — 25 years // Vulkanizm i svyazannyye s nim protsessy. Materialy konferentsii, posvyashchennoy Dnyu vulkanologa, 29–30 marta 2018 g. Petropavlovsk-Kamchatskiy: IViS DVO RAN, 2018a. P. 24–27. (in Russian)].
- 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) // Вулканология и сейсмология. 2006. № 1. С. 16–23. [Girina O.A., Demyanchuk Yu.V., Mel'nikov D.V. et al. The paroxysmal phase of the February 27, 2005 eruption on Young Shiveluch volcano, Kamchatka. A preliminary report // Vulkanologiya i seismologiya. 2006. № 1. P. 6–23. (in Russian)].
- Гирина О.А., Мельников Д.В., Маневич А.Г. Спутниковый мониторинг вулканов Камчатки и Северных Курил // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2017. Т. 14. № 6. С. 194–209. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2017-14-6-194-209> [Girina O.A., Melnikov D.V., Manevich A.G. Satellite monitoring of Kamchatkan and Northern Kuriles volcanoes // Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. 2017. V. 14. № 6. P. 194–209. (in Russian)].
- Гирина О.А., Романова И.М., Мельников Д.В. и др. Возможности анализа данных о вулканах Камчатки с помощью информационных технологий // Вулканизм и связанные с ним процессы. Материалы региональной конференции, посвященной Дню вулканолога,

- 29–30 марта 2018 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2018б. С. 32–35. [Girina O.A., Romanova I.M., Mel'nikov D.V. et al. Capabilities for analyzing data on Kamchatka volcanoes using information technology // Vulkanizm i svyazannyye s nim protsessy. Materialy konferentsii, posvyashchenoy Dnyu vulkanologa, 29–30 marta 2018 g. Petropavlovsk-Kamchatskiy: IViS DVO RAN, 2018b. P. 32–35. (in Russian)].
- Гордеев Е.И., Гирина О.А. Вулканы и их опасность для авиации // Вестник Российской академии наук. 2014. Т. 84. № 2. С. 134–142. <https://doi.org/10.7868/S0869587314020121> [Gordeev E.I., Girina O.A. Volcanoes and their hazard to aviation // Herald of the Russian Academy of Sciences. 2014. V. 84. № 1. P. 1–8. <https://doi.org/10.1134/S1019331614010079>].
- Гордеев Е.И., Гирина О.А., Лупян Е.А. и др. Информационная система VolSatView для решения задач мониторинга вулканической активности Камчатки и Курил // Вулканология и сейсмология. 2016. № 6. С. 62–77. <https://doi.org/10.7868/S0203030616060043> [Gordeev E.I., Girina O.A., Lupyan E.A. et al. The VolSatView information system for Monitoring the Volcanic Activity in Kamchatka and on the Kuril Islands // Journal of Volcanology and Seismology. 2016. V. 10. Iss. 6. P. 382–394. <https://doi.org/10.1134/S074204631606004X>].
- Горшков Г.С. Извержение сопки Безымянной (предварительное сообщение) // Бюллетень вулканологической станции. 1957. № 26. С. 19–72 [Gorshkov G.S. Eruption of Bezymianny hills (preliminary report) // Byulleten' vulkanologicheskoy stantsii. 1957. № 26. P. 19–72. (in Russian)].
- Горшков Г.С. Каталог действующих вулканов Курильских островов // Бюллетень вулканологической станции. 1957. № 25. С. 96–178. [Gorshkov G.S. Catalogue of Kurile Islands Active Volcanoes // Byulleten' vulkanologicheskoy stantsii. 1957. № 25. P. 96–178. (in Russian)].
- Горшков Г.С., Дубик Ю.М. Направленный взрыв на вулкане Шивелуч // Вулканы и извержения / Отв. ред. Г.С. Горшков. М.: Наука, 1969. С. 3–37 [Gorshkov G.S., Dubik Yu.M. Directed blast on Sheveluch volcano // Volcanoes and Eruptions / Ed. by G.S. Gorshkov. Moscow: Nauka, 1969. P. 3–37. (in Russian)].
- Гущенко И.И. Извержения вулканов мира (каталог) / Отв. ред. К.Н. Рудич. М.: Наука, 1979. 476 с. [Guschenko I.I. Eruptions of Volcanoes of the World: A Catalog / Ed. by K.N. Rudich. Moscow: Nauka, 1979. 476 p. (in Russian)].
- Действующие вулканы Камчатки / Отв. ред. С.А. Федотов, Ю.П. Масуренков. В 2-х т. М.: Наука, 1991. Т. 1. 302 с. Т. 2. 415 с. [Active Volcanoes of Kamchatka / Ed. S.A. Fedotov, Yu.P. Masurenkov. Moscow: Nauka, 1991 (in two volumes). V. 1. 302 p., V. 2. 415 p.].
- Королев С.П., Романова И.М., Мальковский С.И., Сорокин А.А. Сервис-ориентированный интерфейс для доступа к научным данным в области исследования и оперативного мониторинга состояния вулканов Камчатки и Северных Курил // Системы и средства информатики. 2018. Т. 28. № 2. С. 88–98. <https://doi.org/10.14357/08696527180207>. [Korolev S.P., Romanova I.M., Mal'kovskiy S.I., Sorokin A.A. Service-oriented interface to access scientific data for study and state operational monitoring of volcanoes of Kamchatka and Northern Kuriles // Sistemy i sredstva informatiki. 2018. V. 28. № 2. P. 88–98. (in Russian)].
- Лупян Е.А., Прошин А.А., Бурцев М.А. и др. Центр коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных ИКИ РАН для решения задач изучения и мониторинга окружающей среды // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. № 5. С. 263–284. [Loupian E.A., Proshin A.A., Burtsev M.A. et al. IKI center for collective use of satellite data archiving, processing and analysis systems aimed at solving the problems of environmental study and monitoring // Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. 2015. V. 12. № 5. P. 263–284. (in Russian)].
- Мелекесцев И.В. Действующие и потенциально активные вулканы Курило-Камчатской островной дуги в начале XXI в.: этапы исследований, определение термина «действующий вулкан», будущие извержения и вулканическая опасность // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2006. № 1. Вып. 7. С. 15–35. [Melekestsev I.V. Active and potentially active volcanoes of the Kamchatka-Kurile Island Arc in the beginning of XXI century: stages of study, definition of a term «active volcano», the impending eruptions and volcanic hazard // Vestnik KRAUNTs. Nauki o Zemle. 2006. № 1(7). P. 15–35. (in Russian)].
- Мелекесцев И.В. Проблема выявления и диагностики действующих и потенциально активных вулканических образований Курило-Камчатской и Командорского звена Алеутской островных дуг // Вулканология и сейсмология. 2009. № 4. С. 3–29. [Melekestsev I.V. The identification and diagnostics of active and potentially active volcanic features in the Kuril-Kamchatka island arc and the Commander Islands link of the Aleutian arc // Journal of Volcanology and Seismology. 2009.

- V. 3. Iss. 4. P. 221–245. <https://doi.org/10.1134/S0742046309040010>.
- Мелекесцев И.В., Брайцева О.А., Пономарева В.В., Сулержицкий Л.Д.* Катастрофические кальдерообразующие извержения вулкана Ксудач в голоцене // *Вулканология и сейсмология*. 1995. № 4–5. С. 28–53. [*Melekestsev I.V., Braitseva O.A., Ponomareva V.V., Sulerzhitskii L.D.* Catastrophic caldera-forming eruptions of Ksudach volcano in the Holocene // *Vulkanologiya i seismologiya*. 1995. № 4–5. P. 28–53. (in Russian)].
- Новейший и современный вулканизм на территории России / Отв. ред. Н.П. Лаверов. М.: Наука, 2005. 604 с. [Modern and holocene volcanism in Russia / Ed. by N.P. Laverov. Moscow: Nauka, 2005. 604 p. (in Russian)].
- Новограбленов П.Т.* Каталог вулканов Камчатки // *Известия государственного географического общества*. 1932. Т. XIV. Вып. 1. С. 88–99. [*Novograblenov P.T.* Catalogue of Kamchatka Volcanoes // *Izvestiya gosudarstvennogo geograficheskogo obshchestva*. 1932. V. XIV. Iss. 1. P. 88–99. (in Russian)].
- Огородов Н.В.* Каталог вулканов Срединного хребта // *Вулканы и четвертичный вулканизм Срединного хребта Камчатки* / Отв. ред. Э.Н. Эрлих. М.: Наука, 1972. С. 119–190 [*Ogorodov N.V.* Catalogues of Sredinny Range Volcanoes // *Volcanoes and Quaternary Volcanism of the Sredinny Range of Kamchatka* / Ed. by E.N. Erlich. Moscow: Nauka, 1972. P. 119–190. (in Russian)].
- Подводный вулканизм и зональность Курильской островной дуги / Отв. ред. Ю.М. Пушаровский. М.: Наука, 1992. 528 с. [Submarine volcanism and zonality of the Kuril Island Arc / Ed. by Yu.M. Pushcharovskiy. Moscow: Nauka, 1992. 528 p. (in Russian)].
- Романова И.М.* Геопортал ИВиС ДВО РАН как единая точка доступа к вулканологическим и сейсмологическим данным // *Геоинформатика*. 2013. № 1. С. 46–54. [*Romanova I.M.* IVS FEB RAS Geportal as a single point of access to volcanological and seismological data // *Geoinformatika*. 2013. № 1. P. 46–54. (in Russian)].
- Романова И.М.* Инфраструктура пространственных данных Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН: текущее состояние и перспективы развития // *Вестник КРАУНЦ*. Серия: Науки о Земле. 2015. № 1. Вып. 25. С. 72–78. [*Romanova I.M.* Spatial data infrastructure in the Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS: current state and future evolution // *Vestnik KRAUNTs. Nauki o Zemle*. 2015. № 1(25). P. 72–78. (in Russian)].
- Романова И.М., Гирина О.А.* Инфраструктура пространственных данных для информационного обеспечения вулканологических исследований // *Информационные технологии и высокопроизводительные вычисления*. Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции, 11–14 сентября 2017 г. Хабаровск: ТГУ, 2017. С. 163–166. [*Romanova I.M., Girina O.A.* Spatial Data Infrastructure for information support volcanology research // *Informatsionnyye tekhnologii i vysokoproizvoditel'nyye vychisleniya. Materialy IV Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, 11–14 sentyabrya 2017 g. Khabarovsk: TGU, 2017. P. 163–166. (in Russian)].*
- Романова И.М., Гирина О.А., Максимов А.П., Мелекесцев И.В.* А. с. о регистрации базы данных № 2012621071 от 16.10.2012 «Вулканы Курило-Камчатской островной дуги и их извержения». 2012а. [*Romanova I.M., Girina O.A., Maksimov A.P., Melekestsev I.V.* Author's certificate on registration of the Volcanoes of the Kurile-Kamchatka Island Arc and their eruptions Database, № 2012621071 dated 16.10.2012. 2012a. (in Russian)].
- 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*. 2012б. Вып. 33. № 3. С. 179–187. [*Romanova I.M., Girina O.A., Maksimov A.P., Melekestsev I.V.* Creation of complex information web system «Volcanoes of the Kurile-Kamchatka Island Arc» (VOKKIA) // *Informatika i sistemy upravleniya*. 2012b. V. 33. № 3. P. 179–187. (in Russian)].
- Романова И.М., Гирина О.А., Мелекесцев И.В., Максимов А.П.* Информационная веб-система «Вулканы Курило-Камчатской островной дуги»: текущее состояние и перспективы развития // *Вестник КРАУНЦ*. Серия: Науки о Земле. 2012в. № 1. Вып. 19. С. 128–137. [*Romanova I.M., Girina O.A., Melekestsev I.V., Maksimov A.P.* Information system «Volcanoes of the Kurile-Kamchatka Island Arc»: current state and development prospect // *Vestnik KRAUNTs. Nauki o Zemle*. 2012v. V. 19. № 1. P. 128–137. (in Russian)].
- Романова И.М., Гирина О.А., Мельников Д.В. и др.* А. с. о регистрации базы данных № 2016620357 от 17.03.2016 «Активность вулканов Камчатки и Северных Курил». 2016. [*Romanova I.M., Girina O.A., Mel'nikov D.V. et al.* Author's certificate on registration of the Volcano Activity of Kamchatka and Northern Kuriles Database, № 2016620357 dated 17.03.2016. 2016. (in Russian)].
- Сорокин А.А., Королев С.П., Гирина О.А. и др.* Интегрированная программная платформа для комплексного анализа распространения пепловых шлейфов при эксплозивных извер-

- жениях вулканов Камчатки // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 4. С. 9–19. <http://doi.org/10.21046/2070-7401-2016-13-4-9-19> [Sorokin A.A., Korolev S.P., Girina O.A. et al. The integrated software platform for a comprehensive analysis of ash plume propagation from explosive eruptions of Kamchatka volcanoes // *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. 2016. V. 13. № 4. P. 9–19. (in Russian)].
- Girina O.A. Chronology of Bezymianny Volcano Activity, 1956–2010 // *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 2013. V. 263. P. 22–41. <http://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2013.05.002>
- Gorshkov G.S. Catalogue of the active volcanoes of the World including solfatara fields. Part VII. Kurile Islands. Napoli, Italia: Inter. Volcanological Assoc. 1958. 99 p.
- Siebert L., Simkin T., Kimberly P. Volcanoes of the World. Third edition. Smithsonian Institution. Washington DC: University of California Press, 2010. 551 p.
- Sorokin A.A., Girina O.A., Korolev S.P. et al. The system of computer modeling of ash cloud propagation from Kamchatka volcanoes // 6th International Workshop on Computer Science and Engineering, WCSE 2016, Tokyo, Japan. 2016. P. 730–733.

INFORMATION TECHNOLOGIES FOR DATA ANALYSIS OF THE KAMCHATKA AND KURILES VOLCANOES

I.M. Romanova, O.A. Girina

*Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky
roman@kscnet.ru*

A large amount of unique scientific data has been collected in the Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS (IVS FEB RAS) over the past years of investigations of the Kamchatka and the Kurile Island Arc volcanoes. The distributed storage of data makes it difficult to search data and to use them effectively in scientific research. Actual tasks are the integration of data into thematic information resources, organization of data access on the Internet, as well as the creation of tools for their comprehensive analysis. The paper describes VOKKIA and KVERT information web-systems developed in the IVS FEB RAS. VOKKIA is designed to integration and systematization of heterogeneous scientific data on the terrestrial volcanoes of Kamchatka, the Kurile Islands and submarine volcanoes on the surrounding seas including data on historical eruptions of active volcanoes. The KVERT system contains brief information about active volcanoes of Kamchatka and the Northern Kuriles including their hazard; provides collection and storage of operational data of visual, video, and satellite monitoring of volcanoes; automated preparation and sending KVERT releases on volcanic activity. Besides, the article describes the organization of data exchange between VOKKIA and KVERT and external information systems; describes graphical visualization services and statistical data analysis that helps to detect the relationship, patterns and trends in volcanic processes over time.

Keywords: information system, data analysis, volcanoes, Kamchatka, Kurile Islands.