

Информационные системы VOKKIA и KVERT для интеграции данных по вулканам Курило-Камчатского региона и анализа их активности*

И. М. РОМАНОВА

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

Описаны особенности реализации, структура и возможности информационных веб-систем, созданных в Институте вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, цель которых — обеспечить доступ к большому объему распределенных вулканологических данных для комплексного использования в научных исследованиях. Информационная система VOKKIA предназначена для интеграции и систематизации данных по наземным и подводным вулканам Курило-Камчатского региона и их извержениям, KVERT — для сбора и интеграции данных оперативного мониторинга активности вулканов. Реализованные в информационных системах сервисы поиска и визуализации данных помогают обнаруживать взаимосвязи, закономерности и тенденции изменения вулканогенных процессов во времени.

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

Библиографическая ссылка: Романова И.М. Информационные системы VOKKIA и KVERT для интеграции данных по вулканам Курило-Камчатского региона и анализа их активности // Вычислительные технологии. 2019. Т. 24, № 6. С. 108–116. DOI: 10.25743/ICT.2019.24.6.013.

Введение

С появлением новых методов сбора, обработки и хранения информации, развитием информационных и телекоммуникационных технологий в Институте вулканологии и сейсмологии (ИВиС) ДВО РАН неуклонно растет объем научных данных в различных форматах. Распределенный характер хранения информации и разные методы доступа к ней затрудняют поиск данных и их эффективное использование в научных исследованиях. Актуальными задачами являются интеграция данных в тематические информационные ресурсы, организация доступа к ним в сети Интернет, а также создание инструментов для их комплексного анализа.

Для решения этих задач созданы информационные веб-системы (ИС): VOKKIA (Volcanoes of Kurile-Kamchatka Island Arc — “Вулканы Курило-Камчатской островной дуги” (<http://geoportal.kscnet.ru/volcanoes/>)) для интеграции данных по вулканам и их извержениям и KVERT (Kamchatkan Volcanic Eruption Response Team — “Камчатская группа реагирования на вулканические извержения”) для интеграции данных

*Title translation and abstract in English can be found on page 116.

© ИВТ СО РАН, 2019.

оперативного мониторинга активности вулканов [1, 2]. Единой точкой доступа к информационным системам VOKKIA, KVERT, другим коллекциям данных и сервисам института является Геопортал ИВиС ДВО РАН (<http://geoportal.kscnet.ru>) [3].

1. Особенности реализации ИС

При разработке ИС VOKKIA и KVERT использованы технологии веб-ориентированных баз данных (БД) в сочетании с технологиями геоинформационных веб-сервисов (гео-сервисов), основанных на международных стандартах открытого геопространственного консорциума (Open Geospatial Consortium, OGC) — WMS (Web Map Service), WFS (Web Feature Service) и KML (Keyhole Markup Language).

Архитектуры ИС реализованы на базе свободного программного обеспечения с открытым исходным кодом, распространяемого по лицензиям GPL (GNU General Public License) и Apache 2.0. Для хранения атрибутивных данных используются реляционные БД, созданные в среде системы управления базами данных (СУБД) MariaDB. Растровые и векторные слои пространственных данных публикуются на картографическом сервере GeoServer. Реализовано его взаимодействие с СУБД MariaDB, позволяющее генерировать слои на основе хранящейся в БД пространственной информации об объектах. Геосервисы созданы с помощью ПО GeoExplorer из пакета OpenGeo Suite, а также платформы Google Maps JavaScript API. Веб-приложения, обеспечивающие доступ к вулканологическим данным и сервисам ИС, созданы на языках программирования PHP и JavaScript с использованием JavaScript-библиотек jQuery, Vis JS, Highstock и др.

Системы имеют русский и английский интерфейсы, что значительно расширяет аудиторию их пользователей. Двуязычность ИС основана на применении php-расширения gettext, файлы локализации строковых элементов интерфейсов созданы в кроссплатформенном редакторе языковых файлов poEdit.

2. Организация взаимодействия ИС

Реализована интеграция ИС KVERT, VOKKIA и других веб-систем института на уровне данных — с помощью SQL-запросов к соответствующим БД ИС. Например, метаинформация о действующих вулканах и даты их извержений, извлекаемые из БД ИС VOKKIA, используются в ИС KVERT, в свою очередь, в ИС VOKKIA данные о текущем состоянии активных вулканов поступают из БД ИС KVERT. Аналогичным способом в ИС VOKKIA списки литературы по каждому вулкану и извержению формируются на основе библиографических метаданных из БД архива научных публикаций — Репозитория ИВиС ДВО РАН¹ [3, 4], а данные о химическом составе и магнитных свойствах пород подводных вулканов Курильской островной дуги извлекаются из БД “Позднекайнозойские подводные вулканы Тихого океана”². Кроме этого, ИС VOKKIA и KVERT обмениваются данными с удаленной автоматизированной ИС (АИС) “Сигнал”³, управляющей ресурсами инструментальных сетей наблюдений ДВО РАН [5] (рис. 1). Принципы и технология реализации взаимодействия систем VOKKIA, KVERT и “Сигнал” описаны в работах [2, 6, 7].

¹<http://repo.kscnet.ru>

²http://geoportal.kscnet.ru/submarine_volcanoes/

³<http://signal.febras.net>

3. ИС VOKKIA: назначение, структура, анализ данных

Для систематизации и интеграции в единую информационную веб-среду большого объема гетерогенных данных по наземным вулканам Камчатки, Курил и подводным вулканам омывающих морей в 2010 г. создана и продолжает развиваться комплексная ИС “Вулканы Курило-Камчатской островной дуги”. Информационная система обеспечивает хранение и представление данных об исторических извержениях вулканов из литературных источников и оперативных данных, полученных с использованием дистанционных, геологических и геофизических методов исследований. Сложность создания такой системы связана с многоплановостью проявления вулканических процессов, уникальностью каждого вулкана и неповторимостью каждого отдельного извержения. В связи с этим одной из первоочередных задач при разработке системы стала формализация разнородной информации по вулканам и их извержениям и выбор основных критериев для их описания.

Содержание и возможности ИС подробно описаны в [1, 8, 9]. Система включает информационные модули, соответствующие разным видам данных: “Вулканы”, “Извержения”, “Мониторинг”, “Изображения”, “Породы”, “Библиография”, “Геосервисы” (рис. 1). Например, модуль “Вулканы”, обеспечивающий взаимосвязь всех других модулей системы, содержит метаинформацию о действующих и потухших вулканах (название, номер по каталогу Global Volcanism Program (GVP) [10], географические координаты, абсолютную высоту, а также краткое описание и характеристики: статус (действующий или потухший), состав пород, тип постройки и др. К “действующим” или “активным” относятся вулканы, для которых датировано хотя бы одно извержение за последние 3500 лет [11]. В настоящее время в системе имеются описания 289 вулканов (177 наземных и 112 подводных).

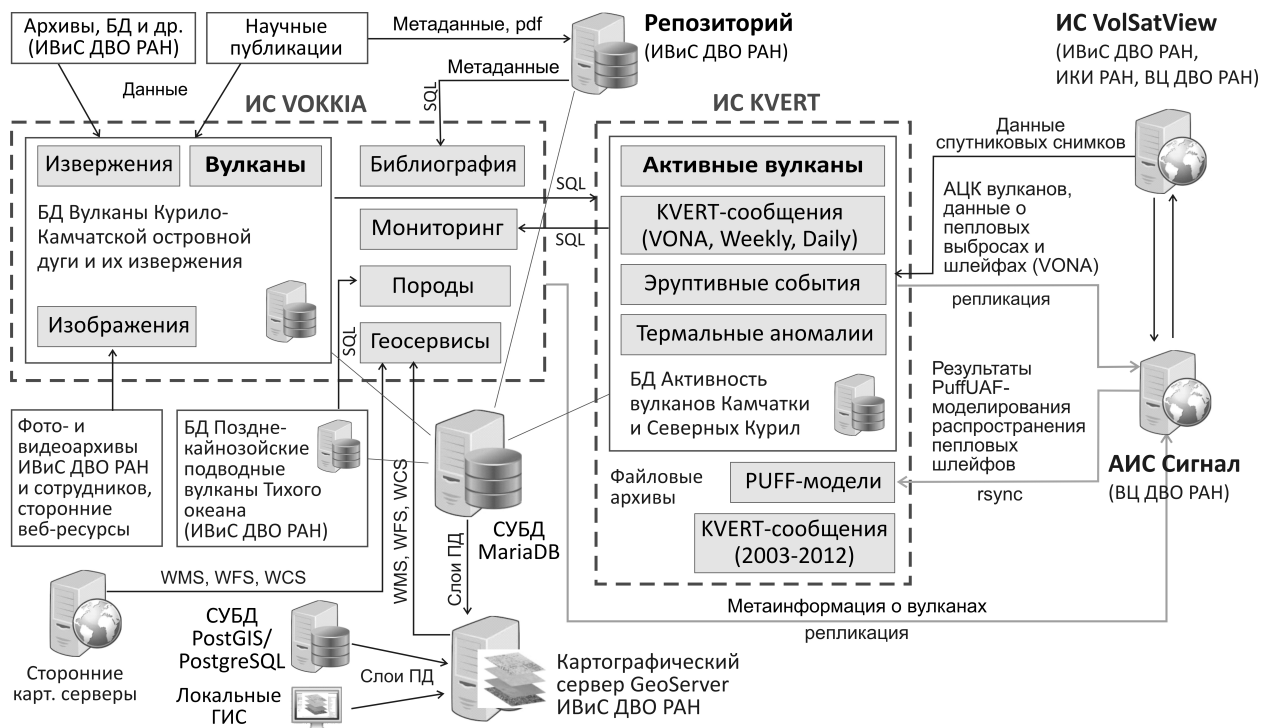


Рис. 1. Структура, источники данных и взаимодействие ИС VOKKIA и KVERT

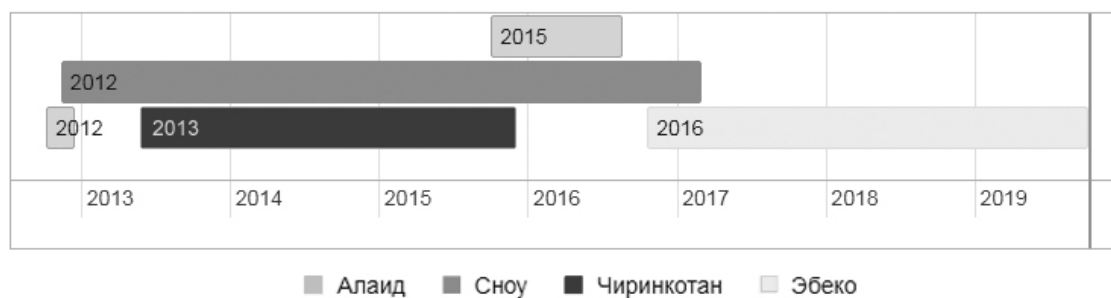


Рис. 2. Даты и продолжительность извержений вулканов Курил в 2012–2019 гг. Данные ИС VOKKIA

В модуле “Извержения”⁴ с различной степенью детальности описаны исторические извержения, т. е. имеющие документальные свидетельства (с конца XVII в.), наземных вулканов Камчатки и Курильских островов. Для 55 из 68 действующих вулканов приведены краткие описания 363 извержений и, если 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.

Модуль “Мониторинг” содержит консолидированную информацию об активности действующих вулканов Камчатки и Курил из разных источников. Оперативные сведения о текущем состоянии вулканов и прогнозе их опасности для авиации поступают с помощью sql-запросов из БД ИС KVERT. Кроме того, реализована возможность визуализации в интерфейсе системы изображений, получаемых по http-протоколу с удаленных веб-ресурсов, например фотоснимков вулканов Камчатки с веб-камер систем видеонаблюдения ИВиС ДВО РАН/ВЦ ДВО РАН⁵ [2, 7] и КФ ФИЦ ЕГС РАН⁶, спутниковых снимков Камчатки и Курил Himawari-8 с пепловыми облаками и шлейфами с сайта Токио VAAC⁷ и Terra и Aqua (MODIS), с термальными аномалиями на вулканах близко к реальному времени с сайта Гавайского университета⁸ и др.

Логическая структура ИС обеспечивает согласованность и взаимодействие ее компонентов, возможность расширения системы дополнительными модулями и программными решениями для повышения ее функциональности.

Обеспечено разграничение прав доступа к ресурсам системы в зависимости от статуса пользователя: неавторизованный пользователь, авторизованный пользователь, редактор, администратор.

Веб-интерфейс ИС дает возможность поиска информации по различным параметрам, например, для извержений — по названию вулкана, дате или временному периоду, характеру извержений, VEI и др., а также поиска и отображения объектов на интерактивных картах в геосервисах системы с помощью многокритериальных запросов к атрибутивным таблицам слоев пространственных данных карт. Неавторизованные пользователи имеют возможность просмотра данных об извержениях с некоторыми ограничениями. Для авторизованных пользователей доступны все данные системы, а также

⁴<http://geoportal.kscnet.ru/volcanoes/eruptions>

⁵<http://volcano.febras.net>

⁶<http://www.emsd.ru/video/>

⁷<http://ds.data.jma.go.jp/svd/vaac/data/>

⁸<http://modis.higp.hawaii.edu>

инструменты их графической визуализации, например интерактивные графики типа лент времени (таймлайн — от английского *timeline*), позволяющие ученым наглядно представить ряд эруптивных событий одного или нескольких вулканов в хронологической последовательности и выделить периоды их покоя и активности, сравнить продолжительность извержений или выявить их одновременность и т. д. (рис. 2).

4. ИС KVERT: назначение, структура, анализ данных

Сотрудники KVERT в течение многих лет проводят ежедневный мониторинг активных вулканов Камчатки и Курил, по результатам которого выпускают KVERT-сообщения о состоянии вулканов и прогнозе их опасности для авиации и населения [12, 13]. С 2012 г. выпуск таких сообщений выполняется с использованием ИС KVERT [1]. Основное назначение системы — автоматизация процесса подготовки и рассылки KVERT-сообщений заинтересованным службам и пользователям. Система обеспечивает сбор и хранение оперативных данных в БД и предоставляет инструменты для их статистического анализа.

Реализовано три уровня доступа к ресурсам системы — любого пользователя Интернет, сотрудника KVERT и администратора системы. Доступная всем пользователям сети Интернет на сайте KVERT⁹ часть ИС содержит каталог с краткими сведениями об активных вулканах (основные характеристики, виды мониторинга, потенциальная опасность для авиации и населения, даты извержений и т. д.), описание авиационных цветовых кодов (АЦК) опасности вулканов, интерактивную карту активных вулканов с их АЦК, архив KVERT-сообщений и др. Пользовательский веб-интерфейс позволяет просматривать сообщения из БД для одного или всех вулканов за любую дату, начиная с 2012 г., а также информационные и оперативные сообщения в текстовом формате за период 2003–2012 гг.

Сотрудники KVERT имеют доступ ко всем архивам оперативных данных и к специализированным сервисам для работы с ними в закрытой части ИС [1]. На сегодня реализованы следующие сервисы.

Подготовка и рассылка сообщений. KVERT выпускает четыре вида сообщений [12]: Volcano Observatory Notice for Aviation (VONA) — об обнаружении пепловых облаков и изменении АЦК вулкана, Weekly и Daily Releases на английском языке и еженедельные на русском языке¹⁰. Процесс создания сообщения состоит из пошагового заполнения полей веб-форм, разработанных для каждого вида сообщений. При этом метаданные о вулканах (номер GVP, географические координаты, название, абсолютная высота) извлекается из БД ИС VOKKIA. Сформированное KVERT-сообщение автоматически отправляется по электронной почте всем заинтересованным службам и пользователям, сохраняется в БД системы и отображается на сайте KVERT и в модуле “Мониторинг” ИС VOKKIA. В случае выпуска VONA о пепловом облаке или смене АЦК в БД поступает детальная информация о событии — дата, время, минимальная и максимальная высота эруптивной колонны, продолжительность события, направление и протяженность пеплового шлейфа над уровнем моря, источник данных, АЦК и т. д. Оперативные данные (АЦК вулкана и данные о пепловом облаке и шлейфе) одновременно поступают в АИС “Сигнал”. Передача данных организована посредством statement-based-репли-

⁹<http://www.kscnet.ru/ivs/kvert/>

¹⁰<http://www.kscnet.ru/ivs/kvert/van/>

кации соответствующих таблиц баз данных ИС [6]. В зависимости от АЦК в системе видеонаблюдения АИС “Сигнал” меняется интервал фотосъемки вулкана [7].

Puff-модели. На основе данных об эксплозивном событии в АИС “Сигнал” выполняется численное моделирование с помощью математической модели PUFF траектории распространения пеплового облака или шлейфа [2, 5], результат моделирования в виде анимированного gif-изображения поступает в файловый архив ИС KVERT с помощью утилиты синхронизации файлов и каталогов rsync Unix-подобных систем [6] (см. рис. 1). На сайте KVERT отображаются Puff-модели за последние 24 ч, сотрудникам KVERT доступен архив всех результатов моделирования, полученных по данным VONA с марта 2016 г. Веб-интерфейс ИС позволяет выбрать и отобразить Puff-модели для одного или всех вулканов за конкретную дату или период времени.

Данные спутникового мониторинга. С февраля 2019 г. сотрудники KVERT в оперативном режиме вводят в БД информацию о термальных аномалиях на вулканах и эксплозиях пепла, обнаруженных на спутниковых снимках в системе VolSatView [2, 13, 14]. Частично выполнена работа по загрузке в БД данных за 2003–2018 гг. из архивных файлов формата Microsoft Office Excel. Сервис включает веб-формы ввода/редактирования и выборки данных с возможностью экспорта результатов поиска в формат csv.

Статистика. Для анализа постоянно растущего объема оперативной информации о состоянии и активности вулканов в системе созданы инструменты поиска данных и отображения результатов выборки на интерактивных диаграммах различного типа (столбчатых, линейных, точечных, пузырьковых и др.):

- 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. В случае построения диаграммы для одного вулкана дополнительно отображаются распределение количества выбросов по месяцам и хронология изменения АЦК вулкана в течение рассматриваемого периода времени (рис. 3);
- инструмент “Распространение пепловых облаков” с помощью диаграмм типа розы ветров и гистограмм распределения дает возможность выявить преобладающие направление распространения, протяженность и высоту пепловых облаков и шлейфов как для всех вулканов одновременно, так и для отдельных или нескольких за различные периоды наблюдений [1, 2]. При построении диаграмм оптимальное количество интервалов определяется по формуле Стерджеса $N = 1 + 3.322 \lg N$, где N — количество эксплозивных событий;

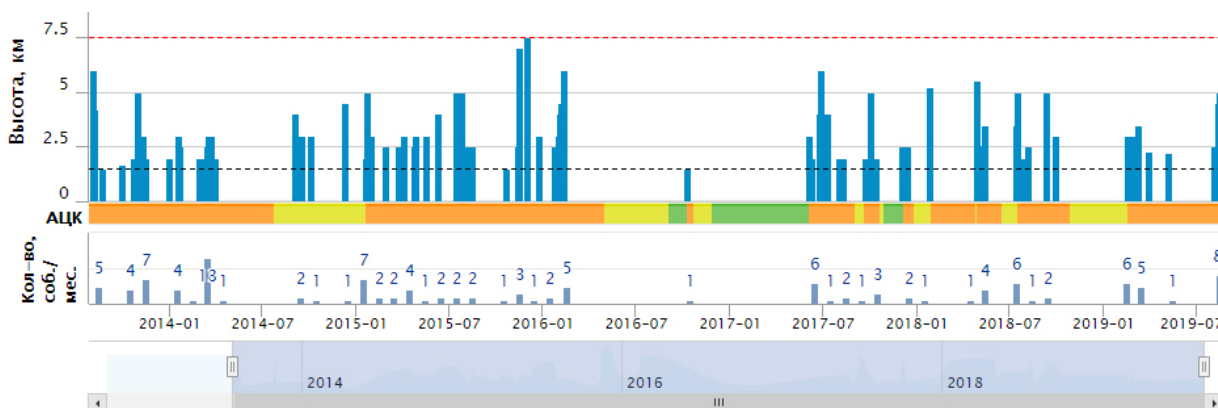


Рис. 3. Эксплозивные события на вулкане Карымский в 2013–2019 гг. Данные ИС KVERT

- инструмент “Термальные аномалии” позволяет отображать и анализировать значения температуры и размеры термальных аномалий (в пикселях) для одного, нескольких или для всех вулканов за любой период наблюдений, определять тенденцию изменения температуры и т. д.

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, 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 поиска и графической визуализации данных для их статистического анализа помогают обнаружить взаимосвязи, закономерности и тенденции изменения вулканогенных процессов во времени; выявить наиболее активные вулканы и определить максимальную высоту выбросов пепла, преобладающие направления перемещения и протяженность пепловых облаков и шлейфов за различные периоды наблюдений и др.

Благодарности. Работа выполнена при частичной поддержке программы “Приоритетные научные исследования в интересах комплексного развития ДВО РАН” (№ 18-5-091).

Автор выражает признательность сотрудникам ИВиС ДВО РАН к.г.-м.н. О.А. Гириной, к.г.-м.н. А.П. Максимова, Д.В. Мельникову, А.Г. Маневичу, А.А. Нуждаеву, в той или иной степени принявшим участие в обсуждении концепции и задач описанных информационных систем и способствовавших их реализации.

Список литературы / References

- [1] **Романова И.М., Гирина О.А.** Информационные технологии для анализа данных о вулканах Камчатки и Курил // Вестн. КРАУНЦ. Науки о Земле. 2018. Т. 39, № 3. С. 42–53.
Romanova, I.M., Girina, O.A. Information technologies for data analysis of the Kamchatka and Kuriles volcanoes // Bulletin of Kamchatka Regional Association “Educational-Scientific Center”. Earth Sciences. 2018. Vol. 39, No. 3. P. 42–53. (In Russ.) DOI: 10.31431/1816-5524-2018-3-39-42-53.
- [2] Комплексный мониторинг эксплозивных извержений вулканов Камчатки / О.А. Гирина, Е.А. Лупян, А.А. Сорокин, Д.В. Мельников и др. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2018. 192 с.
Comprehensive monitoring for explosive volcanic eruptions of Kamchatka / O.A. Girina, E.A. Loupian, A.A. Sorokin, D.V. Melnikov et al. Petropavlovsk-Kamchatsky: IVS FEB RAS, 2018. 192 p. (In Russ.)
- [3] **Романова И.М.** Инфраструктура пространственных данных Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН: текущее состояние и перспективы развития // Вестн. КРАУНЦ. Науки о Земле. 2015. Т. 25, № 1. С. 72–78.
Romanova, I.M. Spatial data infrastructure in the Institute of volcanology and seismology FEB RAS: current state and future evolution // Bulletin of Kamchatka Regional Association “Educational-Scientific Center”. Earth Sciences. 2015. Vol. 25, No. 1. P. 72–78. (In Russ.)

- [4] **Романова И.М.** Репозиторий открытого доступа Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН: принципы создания и опыт реализации // Вестн. КРАУНЦ. Науки о Земле. 2013. Т. 22, № 2. С. 78–90.
Romanova, I.M. Open access repository of the Institute of volcanology and seismology FEB RAS: principles of creation and implementation experience // Bulletin of Kamchatka Regional Association "Educational-Scientific Center". Earth Sciences. 2013. Vol. 22, No. 2. P. 78–90. (In Russ.)
- [5] **Korolev, S.P., Sorokin, A.A., Verkhoturov, A.L. et al.** Automated information system for instrument-data processing of the regional seismic observation network of FEB RAS // Seismic Instruments. 2015. Vol. 51, No. 3. P. 209–218. DOI: 10.3103/S0747923915030068.
- [6] **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.
Korolev, S.P., Romanova, I.M., Malkovsky, 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 // Systems and Means of Informatics. 2018. Vol. 28, No. 2. P. 88–98. (In Russ.) DOI: 10.14357/08696527180207.
- [7] **Korolev, S.P., Romanova, I.M., Girina, O.A. et al.** Software platform for volcano video monitoring // 10th Biennial Work. on Japan – Kamchatka – Alaska Subduction Proc. (JKASP-2018). Petropavlovsk-Kamchatsky: IVS FEB RAS, 2018. P. 117–119.
- [8] **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 // Вестн. КРАУНЦ. Серия: Науки о Земле. 2012. Т. 19, № 1. С. 128–137.
Romanova, I.M., Girina, O.A., Melekestsev, I.V., Maximov, A.P. Information system "Volcanoes of the Kurile-Kamchatka Island Arc": current state and development prospect // Bulletin of Kamchatka Regional Association "Educational-Scientific Center". Earth Sciences. 2012. Vol. 19, No. 1. P. 128–137. (In Russ.)
- [9] **Романова И.М., Гирина О.А., Максимов А.П., Мелекесцев И.В.** Создание комплексной информационной веб-системы "Вулканы Курило-Камчатской островной дуги" (VOKKIA) // Информатика и системы управления. 2012. Т. 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) // Information Science and Control System. 2012. Vol. 33, No. 3. P. 179–187. (In Russ.)
- [10] **Siebert, L., Simkin, T., Kimberly, P.** Volcanoes of the world. Third edition. Washington DC, Smithsonian Institution: Univ. of California Press, 2010. 551 p.
- [11] 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. 60 p. (In Russ.)
- [12] **Gordeev, E.I., Girina, O.A.** Volcanoes and their hazard to aviation // Herald of the RAS. 2014. Vol. 84, No. 1. P. 1–8. DOI: 10.1134/S1019331614010079.
- [13] **Girina, O.A., Melnikov, D.V., Manevich, A.G.** Satellite monitoring of Kamchatkan and Northern Kuriles volcanoes // Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space. 2017. Vol. 14, No. 6. P. 194–209. DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-6-194-209.

- [14] Gordeev, E.I., Girina, O.A., Loupian, E.A. et al. The VolSatView information system for monitoring the volcanic activity in Kamchatka and on the Kuril Islands // J. of Volcanology and Seismology. 2016. Vol. 10, No. 6. P. 382–394. DOI: 10.7868/S0203030616060043.

Поступила в редакцию 9 октября 2019 г.

VOKKIA and KVERT information systems for data integration on the volcanoes of the Kuril-Kamchatka region and analysis of their activity

ROMANOVA, IRAIDA M.

Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky,
683006, Russia;

Corresponding author: Romanova, Iraida M., e-mail: roman@kscnet.ru

A large amount of unique scientific data has been collected in the Institute of Volcanology and Seismology (IVS) FEB RAS over the past years of investigations of the Kamchatka and the Kurile Island Arc volcanoes. The distributed nature of information storage makes it difficult to search and effectively use data in scientific research. Actual tasks include the integration of data into thematic information resources, organization of data access on the Internet, as well as the designing of tools for their comprehensive analysis.

VOKKIA (Volcanoes of Kurile-Kamchatka Island Arc) and KVERT (Kamchatkan Volcanic Eruption Response Team) information web-systems have been developed in the IVS FEB RAS to solve these tasks. VOKKIA is designed to integrate and systematize the heterogeneous scientific data for the terrestrial volcanoes of Kamchatka, the Kurile Islands and submarine volcanoes of 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. It provides collection and storage of operational data of visual, video, and satellite monitoring of volcanoes as well as automated preparation and sending KVERT releases on volcanic activity.

The paper describes the development technology, structure and content of VOKKIA and KVERT. Besides, it describes data search and visualization services and statistical data analysis. The created services allow detecting the relationship, patterns and trends in volcanic processes over time.

Keywords: information system, data analysis, volcano, Kamchatka, Kurile Islands Arc.

Cite: Romanova, I.M. VOKKIA and KVERT information systems for data integration on the volcanoes of the Kuril-Kamchatka region and analysis of their activity // Computational Technologies. 2019. Vol. 24, No. 6. P. 108–116. (In Russ.) DOI: 10.25743/ICT.2019.24.6.013.

Acknowledgements. This work was partially supported by the program "Priority Scientific Research for the Comprehensive Development of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences" (No. 18-5-091).

Received October 9, 2019