

УДК 550.34:551.21

## Развитие системы комплексного инструментального мониторинга вулканов Дальневосточного региона

© 2012 г. В.Н. Чебров<sup>1</sup>, Д.В. Дрознин<sup>1</sup>, С.Я. Дрознина<sup>1</sup>,  
Н.З. Захарченко<sup>2</sup>, Ю.А. Кугаенко<sup>1</sup>, Д.В. Мельников<sup>3</sup>,  
В.Н. Мишаткин<sup>2</sup>, Я.Д. Муравьев<sup>3</sup>, И.Н. Нуждина<sup>1</sup>,  
А.В. Рыбин<sup>4</sup>, С.Л. Сенюков<sup>1</sup>, В.А. Сергеев<sup>1</sup>,  
С.С. Сероветников<sup>1</sup>, Н.Н. Титков<sup>1</sup>, П.П. Фирстов<sup>1</sup>, В.В. Ящук<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Камчатский филиал Геофизической службы РАН, г. Петропавловск-Камчатский, Россия

<sup>2</sup> Геофизическая служба РАН, Калужская обл., г. Обнинск, Россия

<sup>3</sup> Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский, Россия

<sup>4</sup> Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск, Россия

Представлен проект первой очереди системы комплексного инструментального мониторинга вулканической деятельности на Камчатке и Курильских островах. Система создается в целях обеспечения безопасности населения, полетов авиации и снижения экономических потерь от извержений вулканов. Первоочередные объекты мониторинга – наиболее активные и опасные вулканы: на Камчатке – Северная и Авачинская группы вулканов, на Курилах – вулканы о-вов Кунашир и Парамушир. Для осуществления проекта на вулканах создаются специализированные пункты, включающие комплекс наблюдений (сейсмические с расширенным частотным и динамическим диапазоном регистрации, деформационные, газовые, акустические, электромагнитные и видеонаблюдения) и обеспечивающие оперативную передачу данных в информационно-обрабатывающие центры, разрабатываются методы и алгоритмы автоматической и автоматизированной идентификации уровня активности вулканической деятельности и вероятностной оценки ее развития.

**Ключевые слова:** вулкан, извержение, мониторинг, сейсмичность, инструментальные наблюдения, Камчатка, Курильские острова.

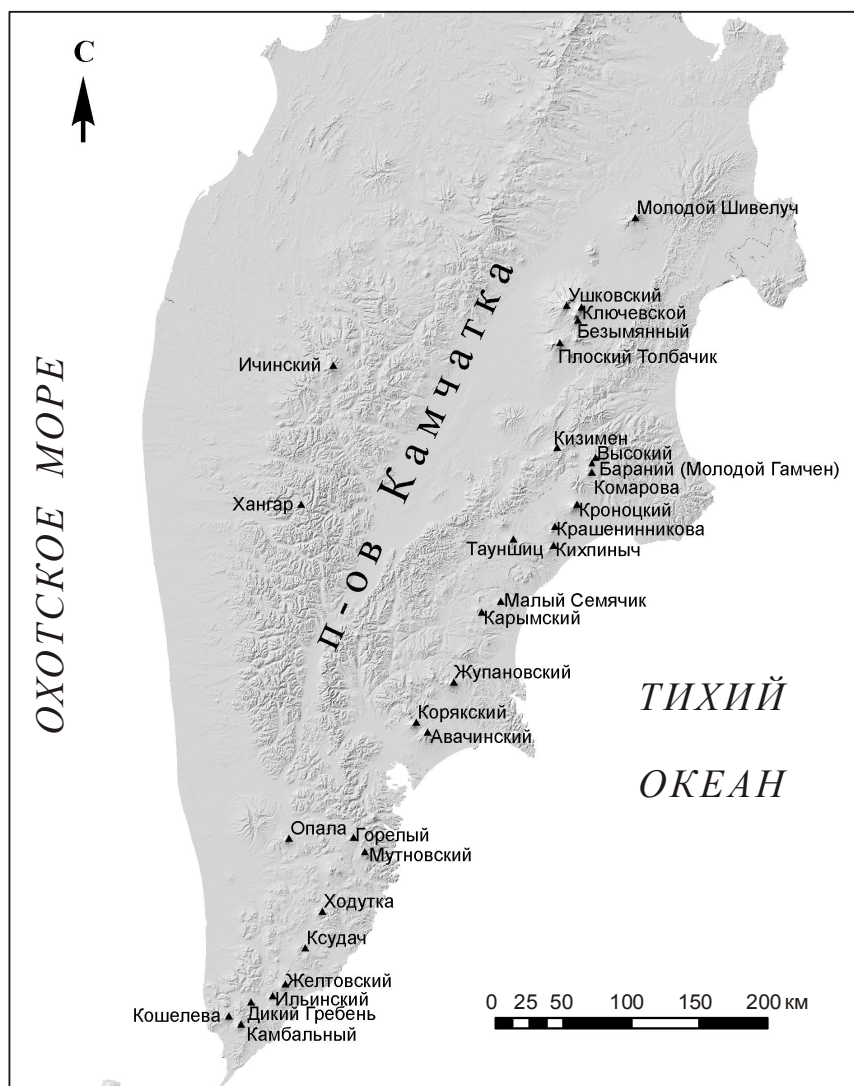
PACS: 91.40.Zz, 91.40.Yt, 91.30.Tb

### Введение

Главными задачами вулканологии при изучении извержений вулканов являются познание механизма вулканической деятельности в различных геодинамических обстановках, прогноз извержений и заблаговременная оценка вулканической опасности для регионов Российской Федерации, имеющих в своих пределах действующие или потенциально активные вулканы.

На Камчатке насчитывается более 7000 вулканических построек разных типов, размеров, возраста и сохранности, возникших за последние 2–2.5 млн. лет, на Курильских островах – более 800 [Влодавец, Пуйн, 1957; Действующие..., 1991; Simkin, Siebert, 1994; Новейший..., 2005]. По результатам проведенных многолетних работ действующими было предложено считать вулканы, для которых однозначно установлено и датировано хотя бы одно извержение за последние 3000–3500 лет [Мелекесцев и др., 2001]. Согласно выбранному критерию на Камчатке и Курилах выделено 84 действующих и потенциально активных вулканических образований, среди которых многоактные вулканы, кальдеры, поля ареального вулканизма, подводные эруптивные центры и пр. (рис. 1, 2).

В последнее десятилетие наблюдается усиление вулканической активности в Курило-Камчатской вулканической зоне. На фоне постоянно находящихся в состоянии извержения

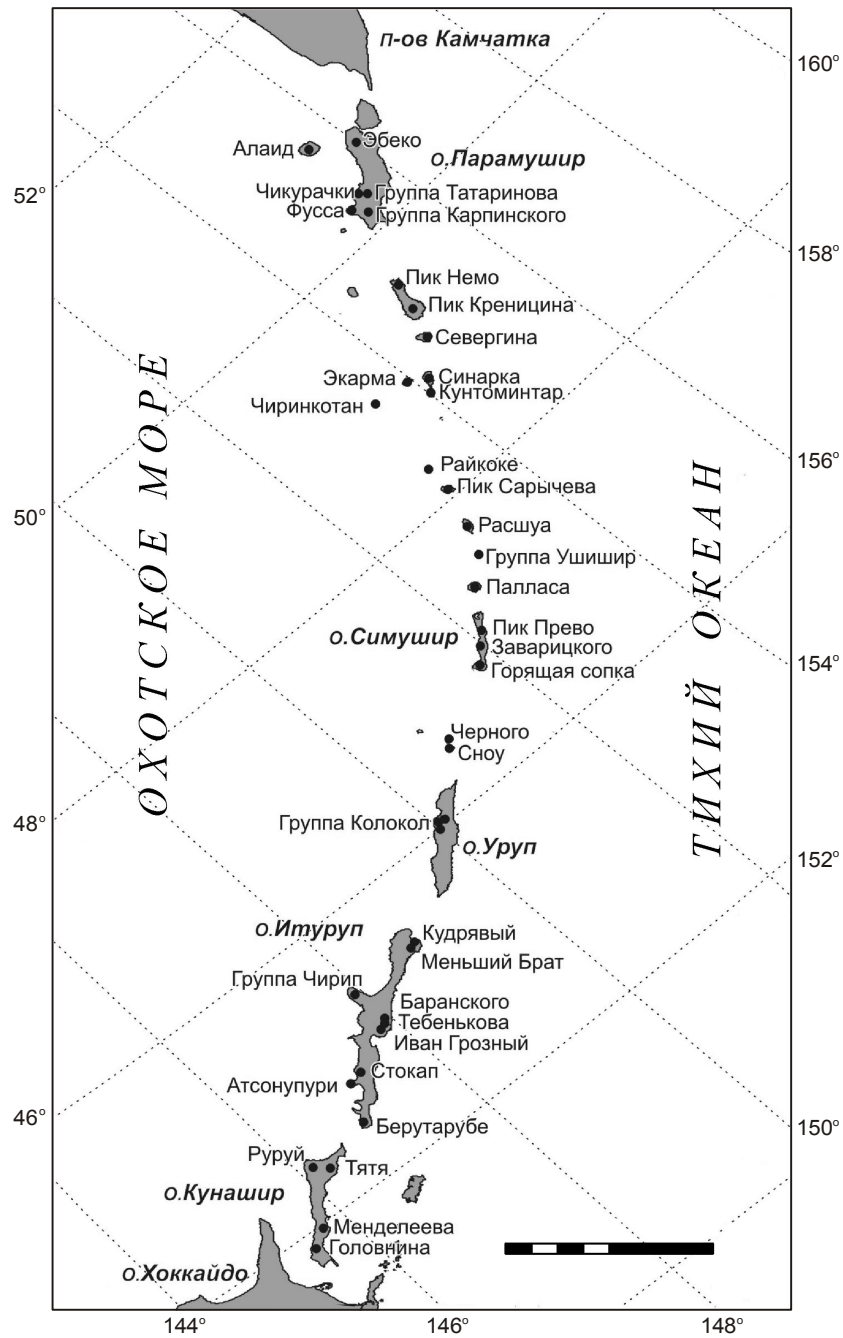


**Рис. 1.** Действующие и потенциально активные вулканы Камчатки, для которых однозначно установлено и датировано хотя бы одно извержение за последние 3000–3500 лет (по: [Мелекесцев и др., 2001])

вулканов Шивелуч, Ключевской, Безымянный и Карымский, на Камчатке происходили фреатические извержения Мутновского вулкана (2000, 2007 гг.), эксплозивное извержение вулкана Кизимен (2010–2012 гг.), активизации Авачинского (2001 г.) и Корякского (2008–2010 гг.) вулканов; на Курильских островах – извержения вулканов Чикурачки (2002–2007 гг.), Эбеко (2002, 2006, 2009 гг.), Пик Сарычева (2009 г.), Экарма (2010 г.).

Извержения вулканов могут сопровождаться опасными процессами: образованием пепловых выбросов, палящих туч, пирокластических, грязекаменных и лавовых потоков. Высота пепловых выбросов может достигать 10–20 км, протяженность пирокластических и грязекаменных потоков – нескольких километров. Пирокластические и грязекаменные потоки могут привести к возникновению чрезвычайных ситуаций, связанных с разрушением зданий, сооружений, пожарами, нарушением транспортного сообщения, а также гибелью людей.

Вдоль Курильских островов и Камчатки проходит большое количество авиатрасс, соединяющих Аляску с Восточно-Азиатским регионом. Эксплозивные извержения вулканов представляют опасность для авиалайнеров. В последние десятилетия в связи с расширением объема и географии авиаперевозок участились случаи попадания авиалайнеров в облака вулканических пеплов, авиакомпании несут значительные убытки.



**Рис. 2.** Действующие и потенциально активные вулканы Курильских островов (по: [Рыбин, 2009; Рыбин и др., 2010])

Например, при извержении вулкана Пик Сарычева 12–17 июня 2009 г. были изменены 65 маршрутов, проходящих вдоль Курильских островов, 6 – отклонены от курса, 2 борта вернулись в аэропорт отправления, совершено 12 незапланированных посадок для дозаправки, дополнительные затраты авиаперевозчиков от этого извержения оценены в 1.8 млн. долл. [Salinas, 2010].

Этим определяется актуальность организации мониторинга вулканической активности региона и обеспечения заинтересованных структур (МЧС, Росавиации, Росгидромета, территориальных администраций) информацией о состоянии вулканов, масштабах произошедших извержений и высоте пепловых облаков с вероятностными оценками развития вулканической деятельности.

## Проблемы и недостатки существующей системы мониторинга вулканов Дальневосточного региона

В настоящее время мониторинг вулканов Камчатки и Курильских островов ведется с разной степенью детальности по данным сейсмологических, видео, визуальных и спутниковых наблюдений [Сенюков, 2006; Гордеев и др., 2006; Гирина, Гордеев, 2007; Чебров, 2007, 2009; Рыбин и др., 2010]. Число действующих сейсмических станций вместе с пунктами регистрации сильных движений, которые осуществляют контроль сейсмичности Дальневосточного региона, в 2012 г. составляет более 100. Сейсмические станции обеспечивают уверенную регистрацию землетрясений разного энергетического уровня в зависимости от плотности сейсмической сети в том или ином районе. Так, на всей территории Дальневосточного региона обеспечена регистрация всех землетрясений с магнитуды  $M \geq 4.0-4.5$ , на территории Камчатского края – с  $M \geq 3.5$ , для Авачинской и Ключевской групп вулканов – с  $M \geq 1.0$ . За вулканами Ключевской, Авачинский, Корякский, Безымянный, Шивелуч и Кизимен установлены видеонаблюдения ([www.emsd.ru](http://www.emsd.ru), <http://www.kscnet.ru/ivs/index.html>). Для изучения активности вулканов используется информация со спутников MTSAT, NOAA (AVHRR), TERRA (MODIS и AQUA), AURA (OMI), ASTER, LANDSAT и др. На Камчатке и в меньшей степени на Курильских островах уже имеется опыт организации наблюдений за процессами подготовки и реализации извержений, которые отражаются в параметрах физических полей (пространственно-временные характеристики сейсмичности, современные движения земной коры, волновые возмущения в атмосфере, параметры электромагнитного поля и др.).

В последнее десятилетие имеющаяся система мониторинга вулканической активности на Камчатке и Курильских островах показала свою эффективность [Сенюков и др., 2004, 2009; Сенюков, 2006; Гирина, Гордеев, 2007; Гирина, 2008], однако она обладает рядом существенных недостатков:

- на необходимом уровне детальности не обеспечивается сейсмический мониторинг активных вулканов Камчатки, а на Курильских островах он отсутствует;
- технические характеристики сейсмометрических каналов пунктов наблюдений на вулканах не отвечают современным требованиям по частотному и динамическому диапазону, что не позволяет надежно контролировать процессы подготовки и реализации извержений вулканов;
- в системе комплексных наблюдений за активностью вулканов не используются на должном уровне такие виды наблюдений, как акустические, деформационные и дистанционные наблюдения за эмиссией газов;
- не используются в полном объеме данные спутниковых наблюдений.

## Первая очередь системы комплексного мониторинга вулканов Дальневосточного региона

Для повышения эффективности и оперативности прогнозов вулканической опасности создается система комплексного мониторинга вулканов (СКМВ) Дальневосточного региона. Работы направлены на обеспечение безопасности населения и авиалиний в районе Камчатского полуострова и Курильских островов при извержениях вулканов.

Создание СКМВ ведется в рамках ФЦП “Снижение рисков и смягчение последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в Российской Федерации до 2015 года”. Проект рассчитан на 2011–2015 гг.

Основной исполнитель работ – Геофизическая служба (ГС) РАН, соисполнители – Институт вулканологии и сейсмологии (ИВиС) ДВО РАН и Институт морской геологии и геофизики (ИМГиГ) ДВО РАН.

СКМВ должна обеспечить:

- обнаружение и регистрацию извержений действующих вулканов Камчатки и Курильских островов;
- обработку данных сейсмических, видео, спутниковых и других наблюдений в автоматическом и автоматизированном режиме с целью быстрой оценки типа извержения и его масштабов;
- взаимодействие с МЧС, Росавиацией, Росгидрометом, обеспечение их оперативной информацией о вулканической активности;
- сбор, накопление, систематизацию и анализ данных комплексных наблюдений на действующих вулканах Дальневосточного региона.

В 2011 г. были разработаны и обоснованы концептуальные и технические требования к СКМВ и ее информационному и научно-методическому обеспечению.

Технические требования ориентированы на организацию цифровой регистрации параметров физических полей, в которых проявляются происходящие на вулканах природные явления, создание системы сбора данных в режиме реального времени, разработку методов и алгоритмов автоматической и автоматизированной вероятностной оценки состояния и развития активности вулканов.

Основные результаты работы по разработке концептуальных и технических требований к СКМВ:

- на основе многолетнего изучения вулканов Дальневосточного региона и исследования их эруптивной деятельности проведен выбор первоочередных объектов комплексного мониторинга вулканической деятельности в Дальневосточном регионе;
- обоснованы и разработаны предложения по размещению пунктов наблюдений на вулканах (ПНВ) на базе имеющейся инфраструктуры системы сейсмологических наблюдений в Дальневосточном регионе;
- определены основные виды наблюдений для ПНВ: сейсмические с расширенным частотным и динамическим диапазоном регистрации, деформационные, газовые, акустические, электромагнитные и видео;
- разработаны структура макета специализированного ПНВ, требования к техническим средствам ПНВ на общесистемном уровне, требования к составным частям ПНВ;
- проведено опробование элементов макета ПНВ на сейсмических станциях Камчатского филиала ГС РАН.

Учитывая изученность вулканов, их опасность для населения и полетов авиации, а также наличие опыта наблюдений и мониторинга, в качестве первоочередных объектов выбраны:

- на п-ове Камчатка – вулканы Северной (Шивелуч, Ключевской, Безымянный) и Авачинской (Авача, Корякский) групп, а также вулканы Кизимен, Карымский, Мутновский и Горелый;
- на Северных Курильских островах – вулкан Эбеко на о. Парамушир;
- на Южных Курильских островах – вулканы о. Кунашир (Тятя, Менделеева, Головнина).

СКМВ должен включать следующие структурные компоненты:

- специализированные ПНВ, оснащенные техническими и программными средствами каналов связи для передачи данных наблюдений в реальном масштабе времени (табл. 1);
- региональные сейсмические станции ГС РАН;
- информационно-обрабатывающие центры (ИОЦ) данных комплексных наблюдений с коммуникационной системой сбора информации.

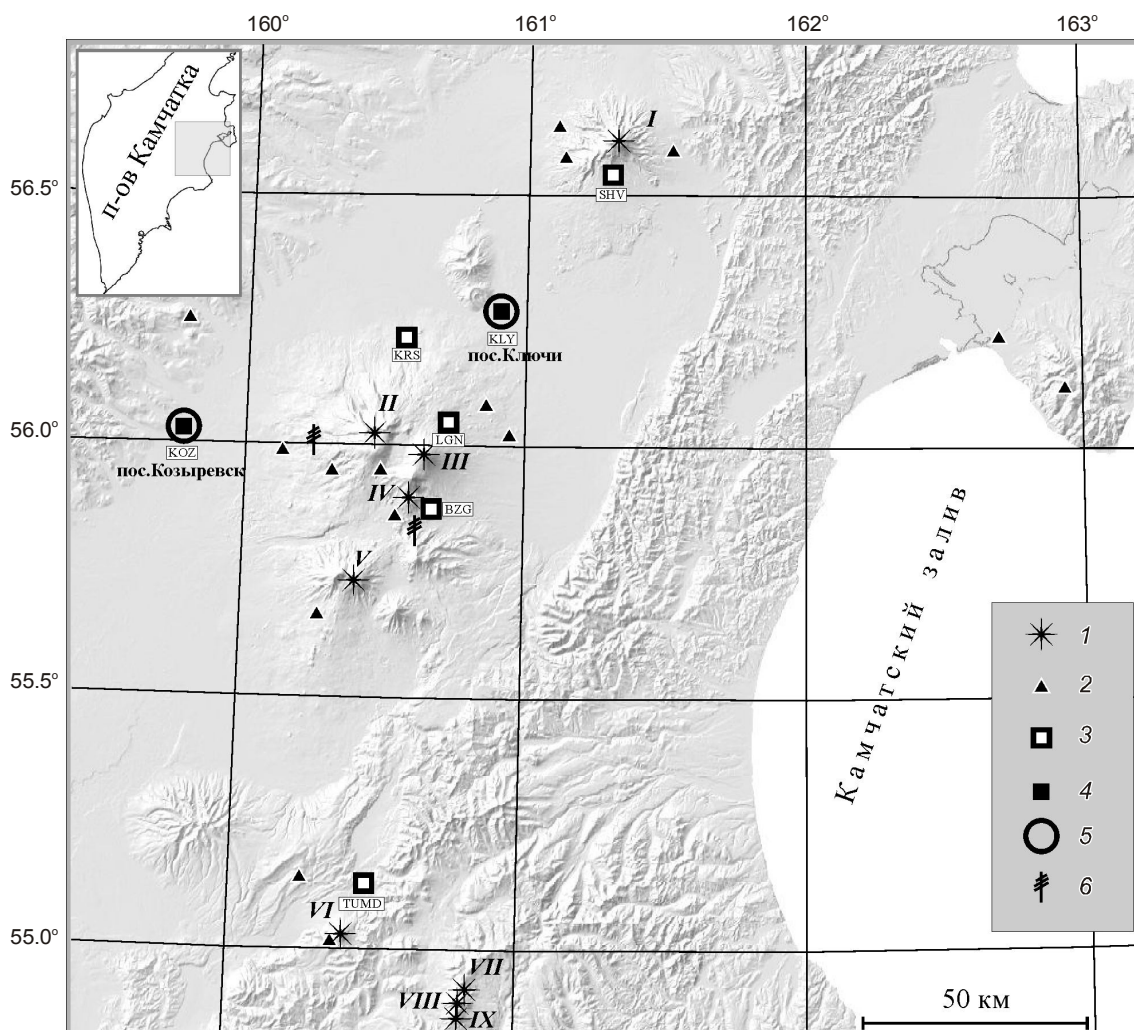
**Таблица 1.** Планируемые специализированные пункты инструментальных наблюдений за вулканической деятельностью Дальневосточного региона

Пункт наблюдений за вулканами		Координаты, высота	Виды наблюдений	Способ передачи данных	Электропитание	Совмещение ПНВ с элементами имеющейся инфраструктуры
Название	Тип					
Шивелуч (SVL)	А	56.577 °с.ш., 161.22 °в.д., 840 м	С, А, Г, В, М	WiFi (VSAT)	ФЭС	Стационар ИВиС ДВО РАН
Крестовский (KRS)	А	56.217 °с.ш., 160.565 °в.д., 1181 м	С, Г, В	WiFi	ФЭС	Региональная сейсмическая станция ГС РАН
Безымянный-Грива (BZG)	А	55.940 °с.ш., 160.696 °в.д., 1152 м	С, А, В, Д, М	WiFi	ФЭС	Региональная сейсмическая станция ГС РАН
Логонов (LGN)	А	56.083 °с.ш., 160.69 °в.д., 2530 м	С, Д	WiFi	ФЭС	Региональная сейсмическая станция ГС РАН
Козыревск (KOZ)	С	56.058 °с.ш., 159.873 °в.д., 45 м	С, А, В, Д, Э	DSL, VSAT	Сеть 220 В/ИБП	Приемный центр РТСС ГС РАН
Ключи (KLY)	С	56.313 °с.ш., 160.852 °в.д., 100 м	С, А, В, Д, Э	WiFi, DSL, VSAT	Сеть 220 В/ИБП	Приемный центр РТСС ГС РАН, ИОЦ ГС РАН
Тумрок-источники (TUMD)	А	55.203 °с.ш., 160.399 °в.д., 486 м	С, А, Г, В, Д, М	VSAT	ФЭС	Региональная сейсмическая станция ГС РАН
Карымский (KRY)	А	54.036 °с.ш., 159.449 °в.д., 900 м	С, А, Г, В, Д, Э, М	VSAT	ФЭС	Региональная сейсмическая станция ГС РАН
Авача (AVH)	С	53.265 °с.ш., 158.738 °в.д., 900 м	С, А, Г, В, Д, Э, М	WiFi	ФЭС	Региональная сейсмическая станция ГС РАН, стационар ИВиС ДВО РАН
Арик (ARK)	А	53.359 °с.ш., 158.649 °в.д., 1413 м	С, В, Д	WiFi	ФЭС	Региональная сейсмическая станция ГС РАН
Петропавловск (PET)	С	53.024 °с.ш., 158.653 °в.д., 100 м	С, А, В, Д	WiFi, DSL, VSAT	Сеть 220 В/ИБП	Региональный ИОЦ ГС РАН
Карымшина (KRM)	С	52.830 °с.ш., 158.130 °в.д., 100 м	С, А, Д, Э, М	VSAT	ФЭС	Комплексная геофизическая обсерватория ГС РАН
Южно-Курильск (YUK)	С	44.035 °с.ш., 145.862 °в.д., 42 м	С, А, Г, В, Д, Э	WiFi, VSAT	Сеть 220 В/ИБП	Стационары ГС РАН, ИМ-ГиГ ДВО РАН
Северо-Курильск (SKR)	С	50.670 °с.ш., 156.116 °в.д., 37 м	С, А, Г, В, Д, Э, М	WiFi, DSL, VSAT	Сеть 220 В/ИБП	Стационар ГС РАН
Южно-Сахалинск (YSS)	С	46.9587 °с.ш., 142.7604 °в.д., 150 м	С	DSL, VSAT	Сеть 220 В/ИБП	Региональный ИОЦ ГС РАН

*Примечание.* Тип ПНВ: А – автономный пункт, С – стационарный пункт; виды наблюдений: С – сейсмические, А – акустические, Г – газовые, В – видео, Д – деформационные, Э – электромагнитные, М – метеокомплекс; РТСС – радиотелеметрическая сеть сейсмических станций; ФЭС – автономная система питания на солнечных панелях. ИБП – источник бесперебойного питания.



ПНВ должны представлять собой программно-технические комплексы в стационарном (ПНВ-С) или автономном (ПНВ-А) вариантах. Объекты контроля ПНВ – проявления вулканической деятельности: вулканические землетрясения, лавовые потоки, вулканические взрывы, пирокластические потоки, фумарольная деятельность, вулканические газы, пепловые шлейфы и тучи, акустические эффекты, деформации земной коры. Программно-технический комплекс ПНВ предназначен для непрерывной регистрации данных инструментальных наблюдений. На рис. 3, 4 приведены схемы размещения создаваемых ПНВ и сейсмических станций в районах Северной и Авачинской групп вулканов на Камчатке.



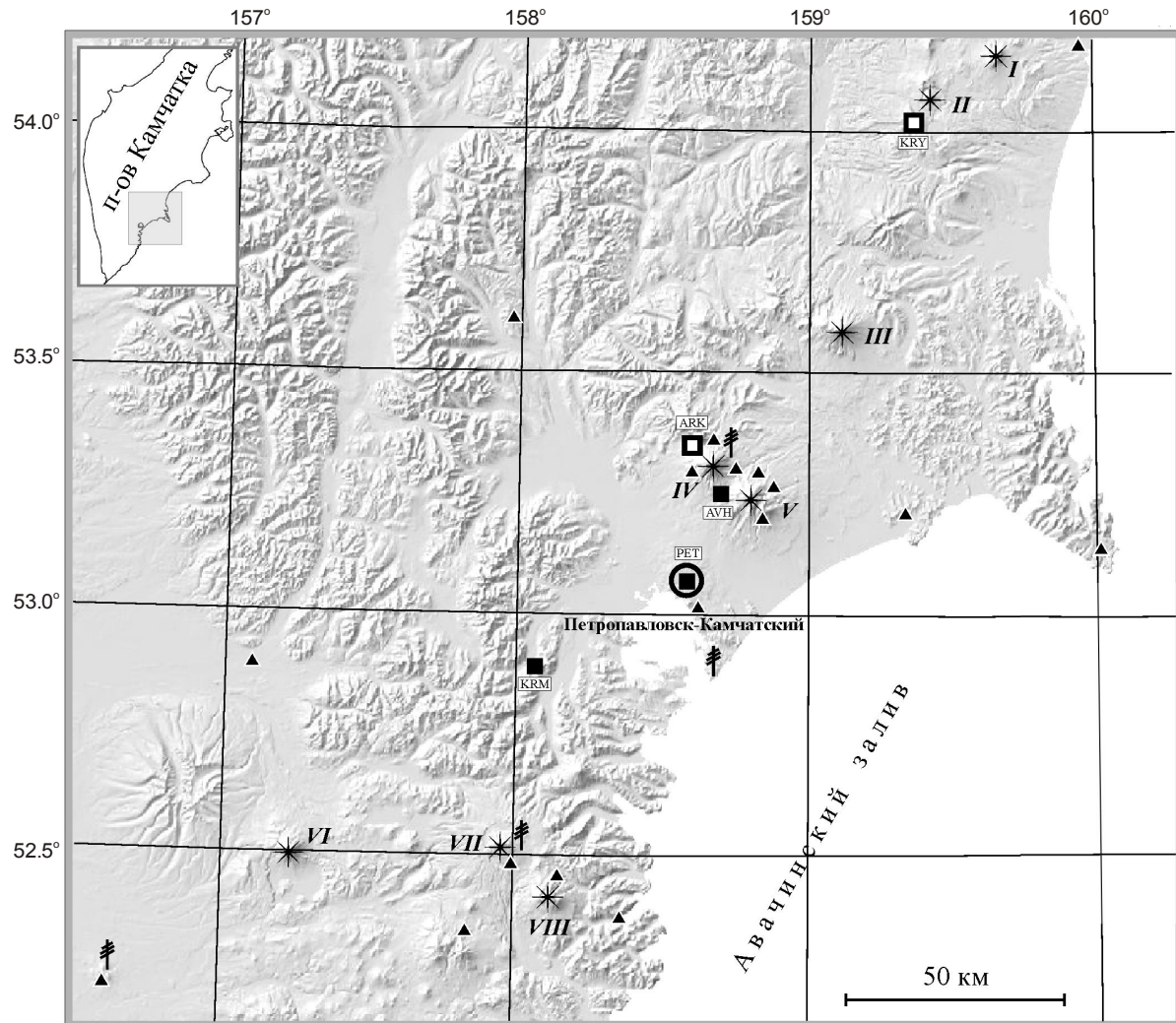
**Рис. 3.** Схема размещения пунктов наблюдения за вулканической деятельностью в районе Северной группы вулканов

*I* – вулканы: *I* – Молодой Шивелуч, *II* – Ушковский, *III* – Ключевской, *IV* – Безымянный, *V* – Плоский Толбачик, *VI* – Кизимен, *VII* – Высокий, *VIII* – Бараний (Молодой Гамчен), *IX* – Комарова; 2 – стационарные сейсмические станции ГС РАН; 3 – автономные ПНВ; 4 – стационарные ПНВ; 5 – информационно-обрабатывающие центры; 6 – радиоретрансляторы

Основные технические требования к ПНВ:

- возможность длительной автономной работы;
- низкое энергопотребление;
- непрерывный режим регистрации;
- передача данных в режиме реального времени;

- возможность автоматической и/или ручной диагностики аппаратуры;
- модульная конструкция, допускающая модернизацию и расширение регистрирующего комплекса;
- устойчивость к сложным погодным условиям, сейсмостойкость;
- совместимость выходных данных с программным обеспечением информационно-обрабатывающих центров ГС РАН и соответствие форматов данных международным стандартам.



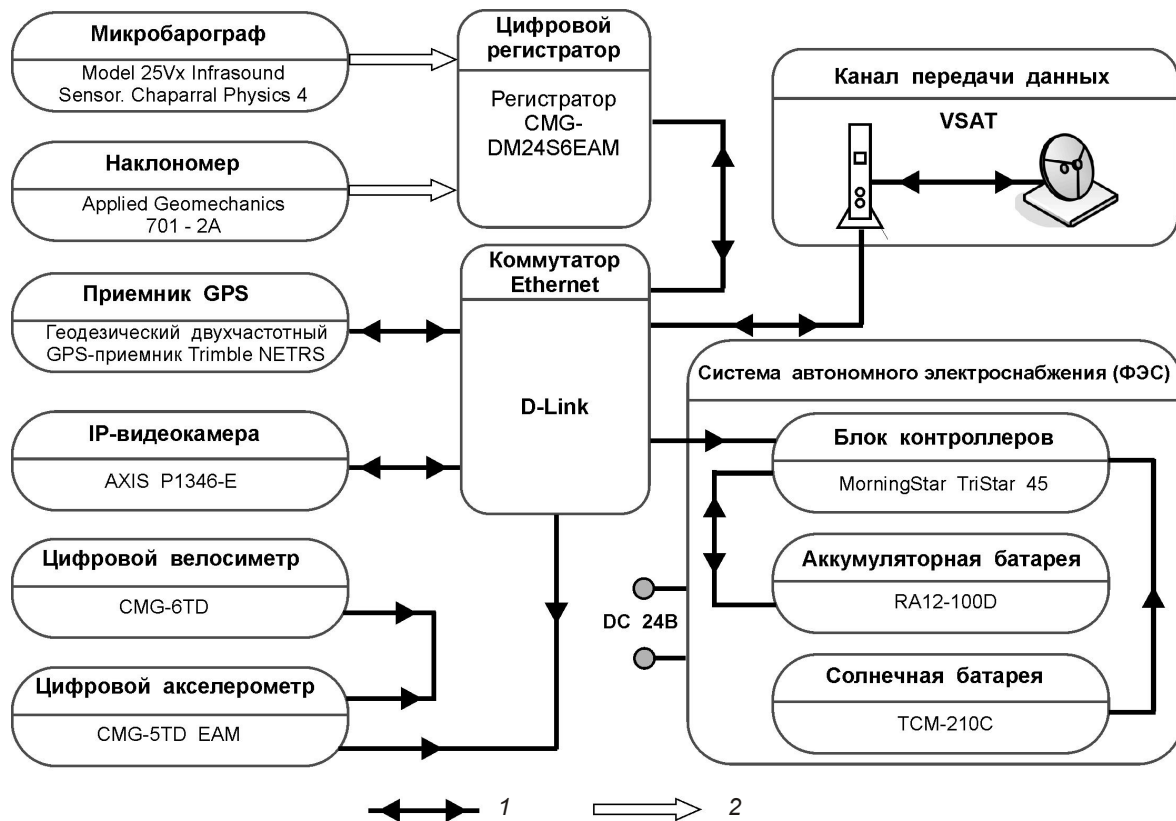
**Рис. 4.** Схема размещения пунктов наблюдения за вулканической деятельностью в районе Авачинской группы вулканов

Вулканы: *I* – Малый Семячик, *II* – Крымский, *III* – Жупановский, *IV* – Авачинский, *V* – Корякский, *VI* – Опала, *VII* – Горелый, *VIII* – Мутновский. Условные обозначения см. на рис. 3

Основные элементы типового ПНВ (рис. 5):

- комплекс регистрирующей аппаратуры: сейсмометры (широкополосный цифровой велосиметр и/или акселерометр), микробарограф, газоанализатор, GPS, наклонномер, IP-видеокамера, метеокомплекс и пр.;
- цифровой накопитель аналоговых данных;
- канал передачи данных спутниковый и/или RadioEthernet;
- система автономного электропитания на базе солнечных батарей и аккумуляторов.





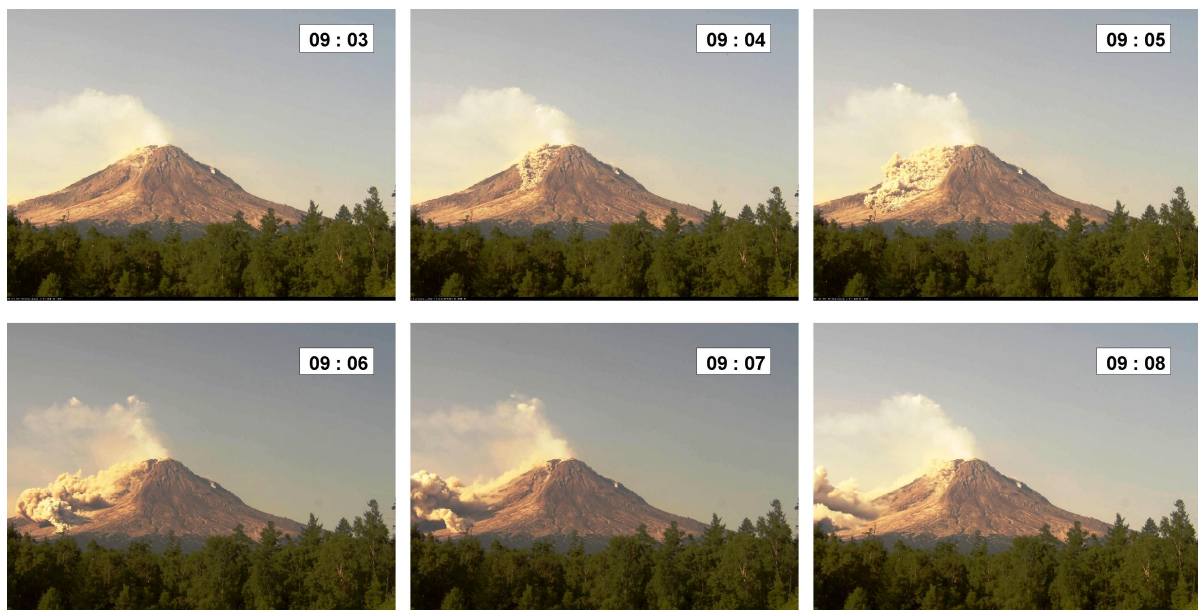
**Рис. 5.** Блок-схема типичного пункта наблюдений за вулканической деятельностью  
 1 – линии Ethernet; 2 – аналоговые сигналы

Элементы макета ПНВ были опробованы в пунктах AVH и TUMD, совмещенных с сейсмическими станциями КФ ГС РАН. На рис. 6 представлено оборудование технологической связи VSAT и система автономного питания на солнечных батареях, установленные в пункте TUMD вблизи вулкана Кизимен. Видеоинформация о состоянии вулкана Кизимен (рис. 7) передается из TUMD в информационно-обрабатывающий центр в Петропавловск-Камчатский в режиме реального времени, обновляется ежеминутно и доступна на сайтах Камчатского филиала ГС РАН ([www.emsd.ru](http://www.emsd.ru)) и ИВиС ДВО РАН (<http://www.kscnet.ru/ivs/index.html>).

При разработке научного, информационного и методического обеспечения к СКМВ рассмотрены и обобщены возможности различных видов инструментального мониторинга в целях оценки состояния вулкана, развития вулканической активности и идентификации извержений (табл. 2). Показано, что сейсмические методы применимы для всех трех целей мониторинга. Деформационный мониторинг информативен на этапах оценки состояния вулкана и прогноза его возможной динамики. Акустический и электромагнитный методы эффективны для идентификации (распознавания) извержений и мониторинга динамики вулканической активности при развитии сильных взрывных извержений, в особенности на территориях с редким покрытием сейсмическими станциями [Matoza et al., 2011]. Информативные источники наблюдений на всех стадиях деятельности вулкана – видео и спутниковые наблюдения, однако они обладают рядом недостатков, ограничивающих возможность их использования. Это зависимость от погодных условий, а для спутниковых данных – дискретность и задержка получения снимков в оперативном режиме. Существенным дополнением к методам комплексного мониторинга вулканической деятельности является внедрение контроля в реальном времени концентрации диоксида серы для средне- и краткосрочного прогноза извержений, а также для идентификации начала извержения.



**Рис. 6.** Специализированный пункт наблюдений за вулканической деятельностью TUMD  
 1 – сейсмокамера; 2 – оборудование технологической связи VSAT; 3 – IP-видеокамера;  
 4 – система автономного питания на солнечных панелях



**Рис. 7.** Кадры видеозаписи с камеры видеонаблюдения за вулканом Кизимен, установленной в пункте TUMD 6 августа 2011 г., 09 ч 03 мин – 09 ч 08 мин (местное время). Зафиксирован сход пирокластического потока

На основе имеющегося опыта мониторинга сформулированы основные подходы (принципы) разработки методов автоматической и автоматизированной идентификации пепловых выбросов и вероятностной оценки их высоты по данным инструментальных наблюдений; методов автоматизированной оценки мощности и высоты пепловых выбросов вулканов и их распространения по спутниковым данным.

**Таблица 2.** Использование различных методик и алгоритмов для оценки вулканической активности действующих и потенциально активных вулканов на разных этапах их деятельности

Методики, алгоритмы	Оценка состояния вулкана	Прогноз развития вулканической активности	Идентификация (распознавание) извержений
Анализ эруптивной истории вулкана	<input checked="" type="checkbox"/>		
Анализ пространственно-временного распределения землетрясений	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Анализ пространственно-временного распределения выделившейся сейсмической энергии	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Распознавание типов землетрясений по спектральным и другим характеристикам сейсмических сигналов	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Распознавание природных явлений на вулканах по спектральным и другим характеристикам сейсмических сигналов	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Пороговая оценка сейсмической активности по превышению фонового уровня по [Сенюков и др., 2009]	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Оценка уровня сейсмической активности по шкале “СОУС-09” [Салтыков, 2011]	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Мониторинг диоксида серы SO <sub>2</sub>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Деформационный мониторинг	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Акустический метод			<input checked="" type="checkbox"/>
Электромагнитный метод (ЭМИ от “вулканических молний”)			<input checked="" type="checkbox"/>
Спутниковый мониторинг	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Видеомониторинг	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Метод типового сценария	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Оценка состояния и активности вулкана на основе использования информационно-консультационной системы	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Предложена стратегия разработки типовых сценариев извержений с учетом имеющегося опыта дистанционного инструментального мониторинга на примере Северной группы вулканов на Камчатке. Сценарий – система предположений о течении изучаемого процесса, на основе которой разрабатывается один из возможных вариантов прогноза. Построение сценария – аналитический метод прогнозирования [Прогностика..., 1978], основанный на установлении логической последовательности состояний объекта прогнозирования (вулкана) и прогнозного фона во времени при различных условиях для определения целей развития этого объекта. Информационной основой для разработки типовых сценариев служат результаты изучения эруптивной деятельности вулканов (публикации, базы данных), каталоги действующих вулканов Камчатки и Северных Курильских островов, каталоги и архив волновых форм вулканических землетрясений, архивы данных деформационного и акустического мониторинга; спутниковые снимки; результаты исследований атмосферно-электрических явлений в пепловых облаках (данные мировой сети регистрации гроз WWLLN), архив эталонных сейсмических сигналов, сопровождающих различные процессы на вулканах, архивы видео,

фото, визуальных наблюдений. Метод типового сценария применим для всех трех целей мониторинга вулкана. Типовой сценарий извержения вулкана включает:

- реконструкцию истории эруптивной активности вулкана за последние 10 тыс. лет, детальное описание известных извержений. Выявление стадии развития, в которой находится вулкан и будет находиться в ближайшем будущем. Определение типа и параметров возможных извержений;

- определение набора опасных естественных процессов, приводящих к возникновению чрезвычайных ситуаций при потенциальном извержении. Составление карты вулканической опасности. Вулканическое районирование территорий с выделением зон повышенной опасности;

- выявление характерных предвестников извержений и количественные оценки их характеристик по данным инструментального мониторинга;

- оценки характерных количественных параметров извержений по данным инструментального мониторинга.

Предложена предварительная структура информационно-консультационной системы (ИКС) “Извержения вулканов Камчатки и Курильских островов”. Потенциальные источники информации для ИКС – имеющиеся в КФ ГС РАН, ИВиС и ИМГиГ ДВО РАН электронные ресурсы [Гордеев и др., 2008, 2010; Муравьев и др., 2010]: каталоги и базы данных по активным вулканам, каталоги вулканических землетрясений, научные публикации, архивы, локальные ГИС, информация о существующих и планируемых пунктах инструментального мониторинга на вулканах, включая технические характеристики аппаратуры. ИКС должна содержать типовые сценарии извержений, детальное описание известных извержений, результаты инструментального мониторинга вулканической активности. Целью создания ИСК является возможность получения вероятностной оценки развития деятельности вулкана на основе данных комплексного инструментального мониторинга.

### Заключение

В Дальневосточном регионе начаты работы по созданию первой очереди системы комплексного инструментального мониторинга вулканической деятельности в целях обеспечения безопасности населения и полетов авиации и оперативного оповещения официальных структур (МЧС, Росавиации, Росгидромета, территориальной администрации) об извержениях вулканов.

Первоочередные объекты мониторинга: наиболее активные и опасные вулканы Камчатки – Северная и Авачинская группы вулканов, на Курилах – вулканы о-вов Кунашир и Парамушир.

Разработаны и обоснованы концептуальные и технические требования к СКМВ и ее информационному и научно-методическому обеспечению.

Для инструментального мониторинга на вулканах создаются специализированные пункты, обеспечивающие ведение комплекса наблюдений и оперативную передачу данных в информационно-обрабатывающие центры. Комплексы включают приборы (устройства) для регистрации сейсмических данных с расширенным частотным и динамическим диапазоном записи, деформационные, газовые, акустические, электромагнитные и видеонаблюдения.

Для получения вероятностной оценки развития вулканической деятельности разрабатываются типовые сценарии извержений для каждого вулкана, создается ИКС “Извержения вулканов Камчатки и Курильских островов”.

Работы ведутся Геофизической службой РАН в сотрудничестве с Институтом вулканологии и сейсмологии ДВО РАН и Институтом морской геологии и геофизики

ДВО РАН в рамках федеральной целевой программы “Снижение рисков и смягчение последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в Российской Федерации до 2015 года”.

### Литература

- Влодавец В.И., Пийп Б.И.* Каталог действующих вулканов СССР // Бюл. Вулканологической станции. 1957. № 25. 92 с.
- 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.
- Гирина О.А., Гордеев Е.И.* Проект KVERT – снижение вулканической опасности для авиации при эксплозивных извержениях вулканов Камчатки и Северных Курил // Вестн. ДВО РАН. 2007. № 2. С.100–109.
- Гордеев Е.И., Чебров В.Н., Левина В.И., Сеньюков С.Л., Шевченко Ю.В., Яцук В.В.* Система сейсмологических наблюдений на Камчатке // Вулканология и сейсмология. 2006. № 3. С.6–27.
- Гордеев Е.И., Чебров В.Н., Левина В.И., Бахтиярова Г.М., Сеньюков С.Л., Пантюхин Е.А.* Банк сейсмологических данных Камчатки // Открытое образование. 2008. № 4. С.16–22.
- Гордеев Е.И., Чебров В.Н., Сеньюков С.Л., Гирина О.А., Бахтиярова Г.М., Казанцев В.А.* Информационные ресурсы для вулканологических исследований на Камчатке // Открытое образование. 2010. № 5. С.73–82.
- Действующие вулканы Камчатки / Под ред. С.А. Федотова, Ю.П. Масуренкова. М.: Наука, 1991. Т. 1, 2. Т. 1. 302 с.; Т. 2. 415 с.
- Мелекесцев И.В., Брайцева О.А., Пономарева В.В.* Новый подход к определению понятия “действующий вулкан” // Геодинамика и вулканизм Курило-Камчатской островодужной системы. Петропавловск-Камчатский: ИВГиГ ДВО РАН, 2001. С.191–203.
- Муравьев Я.Д., Клименко Е.С., Дмитриева Ю.А.* К созданию ГИС “Вулканоопасность” // ARCREVIEW. 2010. № 2. С.12–13.
- Новейший и современный вулканизм на территории России / Отв. ред. Н.П. Лавров. М.: Наука, 2005. 604 с.
- Прогностика. Терминология. М.: Наука, 1978. Вып. 92. 32 с.
- Рыбин А.В.* Действующие и потенциально активные вулканы (Карта, масштаб 1:2500000) // Атлас Курильских островов. Владивосток: ИПЦ ДИК, 2009. С.124–125.
- Рыбин А.В., Чибисова М.В., Коротеев И.Г.* Проблемы мониторинга вулканической активности на Курильских островах // Вестн. ДВО РАН. 2010. № 3. С.64–71.
- Салтыков В.А.* Статистическая оценка уровня сейсмичности: методика и результаты применения на примере Камчатки // Вулканология и сейсмология. 2011. № 2. С.53–59.
- Сеньюков С.Л.* Мониторинг активности вулканов Камчатки дистанционными средствами наблюдений в 2000–2004 г. // Вулканология и сейсмология. 2006. № 3. С.68–78.
- Сеньюков С.Л., Дрознина С.Я., Дрознин Д.В.* Опыт выделения пепловых выбросов и оценка их высоты по сейсмическим данным на примере вулкана Шивелуч (Камчатка) // Комплексные сейсмологические и геофизические наблюдения на Камчатке. Петропавловск-Камчатский: “Камчатский печатный двор”, 2004. С.292–300.
- Сеньюков С.Л., Дрознина С.Я., Нурждина И.Н., Гарбузова В.Т., Кожевникова Т.Ю.* Исследования активности вулкана Ключевской дистанционными методами с 01.01.2001 г. по 31.07.2005 г. // Вулканология и сейсмология. 2009. № 3. С.50–59.
- Чебров В.Н.* Развитие системы сейсмологических наблюдений для целей предупреждения о цунами на Дальнем Востоке России // Вестн. КРАУНЦ. Сер. Науки о Земле. 2007. № 1, вып. 9. С.27–36.
- Чебров В.Н.* Развитие комплексного геофизического мониторинга Камчатки и Командорских островов (к 30-летию КФ ГС РАН) // Вестн. КРАУНЦ. Сер. Науки о Земле. 2009. № 2, вып. 14. С.13–18.



- Salinas L.J.* United Airlines Flight Dispatch, Congressional Hazards Caucus. 2010. <http://www.agiweb.org>
- Simkin T., Siebert L.* Volcanoes of the world: a regional directory, gazetteer, and chronology of volcanism during the last 10,000 years. Tucson, Arizona: Geosci. Press, 1994. 349 p.
- Matoza R.S., Le Pichon A., Vergoz J., Herry P., Lalande J., Lee H., Che I., Rybin A.* Infrasonic observations of the June 2009 Sarychev Peak eruption, Kuril Islands: Implications for infrasonic monitoring of remote explosive volcanism // *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 2011. V. 200. № 1/2. P.35–48. doi:10.1016/j.jvolgeores.2010.11.022

*Сведения об авторах*

**ЧЕБРОВ Виктор Николаевич** – кандидат технических наук, директор Камчатского филиала Геофизической службы РАН. 683006, г. Петропавловск-Камчатский, б-р Пийпа, д. 9. Тел.: 8-415-243-18-01. E-mail: chebr@emsd.ru

**ДРОЗНИН Дмитрий Валериевич** – начальник группы программного обеспечения Камчатского филиала Геофизической службы РАН. 683006, г. Петропавловск-Камчатский, б-р Пийпа, д. 9. Тел.: 8-415-221-81-06. E-mail: ddv@emsd.ru

**ДРОЗНИНА Светлана Ярославовна** – научный сотрудник Камчатского филиала Геофизической службы РАН. 683006, г. Петропавловск-Камчатский, б-р Пийпа, д. 9. Тел.: 8-415-221-81-30. E-mail: dsv@emsd.ru

**ЗАХАРЧЕНКО Наталья Зиновьевна** – кандидат технических наук, старший научный сотрудник Геофизической службы РАН. 249035, Калужская обл., г. Обнинск, пр. Ленина, д. 189. Тел.: 8-484-394-28-82. E-mail: vulcan@obninsk.com

**КУГАЕНКО Юлия Александровна** – кандидат физико-математических наук, ученый секретарь Камчатского филиала Геофизической службы РАН. 683006, г. Петропавловск-Камчатский, б-р Пийпа, д. 9. 8-415-243-18-52. E-mail: ku@emsd.ru

**МЕЛЬНИКОВ Дмитрий Владимирович** – старший научный сотрудник Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН. 683006, г. Петропавловск-Камчатский, б-р Пийпа, д. 9. Тел.: 8-4152-29-77-08. E-mail: dvm@kscnet.ru

**МИШАТКИН Владимир Николаевич** – кандидат технических наук, ученый секретарь Геофизической службы РАН. 249035, Калужская обл., г. Обнинск, пр. Ленина, д. 189. Тел.: 8-484-394-28-82. E-mail: vulcan@obninsk.com

**МУРАВЬЕВ Ярослав Дмитриевич** – кандидат географических наук, заместитель директора Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН. 683006, г. Петропавловск-Камчатский, б-р Пийпа, д. 9. Тел.: 8-4152-29-79-13. E-mail: murjd@kscnet.ru

**НУЖДИНА Ирина Николаевна** – научный сотрудник Камчатского филиала Геофизической службы РАН. 683006, г. Петропавловск-Камчатский, б-р Пийпа, д. 9. Тел.: 8-415-221-81-19. E-mail: irina@emsd.ru

**РЫБИН Александр Викторович** – кандидат геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией вулканологии и вулканопасности Института морской геологии и геофизики ДВО РАН. 693022, г. Южно-Сахалинск, ул. Науки, д. 16. Тел.: 8-4242-793769. E-mail: rybin@imgg.ru

**СЕНЮКОВ Сергей Львович** – заведующий лабораторией исследований сейсмической и вулканической активности Камчатского филиала Геофизической службы РАН. 683006, г. Петропавловск-Камчатский, б-р Пийпа, д. 9. Тел.: 8-415-221-81-16. E-mail: ssl@emsd.ru

**СЕРГЕЕВ Василий Александрович** – заведующий сектором вычислительных сетей и системного сопровождения Камчатского филиала Геофизической службы РАН. 683006, г. Петропавловск-Камчатский, б-р Пийпа, д. 9. Тел.: 8-415-243-18-00. E-mail: sba@emsd.ru

**СЕРОВЕТНИКОВ Сергей Сергеевич** – научный сотрудник Камчатского филиала Геофизической службы РАН. 683006, г. Петропавловск-Камчатский, б-р Пийпа, д. 9. Тел.: 8-415-243-18-58. E-mail: sssu@emsd.ru

**ТИТКОВ Николай Николаевич** – старший научный сотрудник Камчатского филиала Геофизической службы РАН. 683006, г. Петропавловск-Камчатский, б-р Пийпа, д. 9. Тел.: 8-415-243-18-58. E-mail: nik@emsd.ru

**ФИРСТОВ Павел Павлович** – доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией акустического и радонового мониторинга Камчатского филиала Геофизической службы РАН. 683006, г. Петропавловск-Камчатский, б-р Пийпа, д. 9. Тел.: 8-415-243-18-07. E-mail: firstov@emsd.ru

**ЯЦУК Василий Васильевич** – заведующий отделом Камчатского филиала Геофизической службы РАН. 683006, г. Петропавловск-Камчатский, б-р Пийпа, д. 9. Тел.: 8-415-243-18-37. E-mail: yvv@emsd.ru

## The development of a complex instrumental monitoring of the Far East volcanoes

V. N. Chebrov<sup>1</sup>, D. V. Droznin<sup>1</sup>, S. Ya. Droznina<sup>1</sup>, N. Z. Zakharchenko<sup>2</sup>,  
Yu. A. Kugaenko<sup>1</sup>, D. V. Melnikov<sup>3</sup>, V. N. Mishatkin<sup>2</sup>, Ya. D. Muraviev<sup>3</sup>,  
I. N. Nuzhdina<sup>1</sup>, A. V. Rybin<sup>4</sup>, S. L. Senyukov<sup>1</sup>, V. A. Sergeev<sup>1</sup>,  
S. S. Serovetnikov<sup>1</sup>, N. N. Titkov<sup>1</sup>, P. P. Firstov<sup>1</sup>, V. V. Jaschuk<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Kamchatkan Branch of the Geophysical Survey RAS (KB GS RAS), Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia

<sup>2</sup> Geophysical Survey, Russian Academy of Sciences, Obninsk, Kaluzhskaya obl., Russia

<sup>3</sup> Institute of Volcanology and Seismology, Far East Division RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia

<sup>4</sup> Institute of Marine Geology and Geophysics, Far East Division RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

**Abstract.** There was presented the first phase of project of a complex instrumental monitoring of volcanic activity in Kamchatka and the Kuril Islands. The system is creating in order to ensure public safety, aviation safety and reduce the economic losses caused by volcanic eruptions. First and regular monitoring objects are the most active and dangerous volcanoes in Kamchatka - North and Avacha volcano groups, volcanoes in the Kuril Islands - Kunashir and Paramushir. New observation points will be installed on volcanoes within this project. These points will include: broadband seismic station with large dynamic range, tiltmeter, GPS, infrasound, gas and electromagnetic devices, and video camera. All data will be passed to Information Processing Centers in real time. New methods and algorithms of automatic and automated identification of the volcanic activity level and the probabilistic assessment of volcano hazard are developing.

**Keywords:** volcano, eruption, monitoring, seismicity, instrumental observations, Kamchatka, Kuril Islands.