

ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТ ПО МОНИТОРИНГУ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ И ПРОГНОЗУ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА КАМЧАТКЕ**MONITORING OF SEISMIC ACTIVITY AND EARTHQUAKES PREDICTION IN KAMCHATKA***В.Н. Чебров**Камчатский филиал Геофизической службы РАН*

In the given report we present monitoring system for seismic activity and earthquakes prediction in Kamchatka. Monitoring is based on seismic and geophysical observational networks. Methods and techniques for earthquakes prediction, used by Kamchatkan Branch of Russian Expert Council of Earthquake Prediction are presented. On the basis of these methods complex assessment of seismic hazard for Kamchatka is developed.

В России мониторинг опасных эндогенных процессов осуществляется в рамках Федеральной системы сейсмологических наблюдений и прогноза землетрясений. Под системой мониторинга понимается информационная система, включающая ведение наблюдений, обработку и анализ данных, прогноз исследуемых явлений.

Камчатка и Командорские острова относятся к регионам мира, где сейсмичность, опасность цунами и вулканическая активность достигают наивысшей интенсивности на нашей планете. В среднем землетрясения с магнитудой 7.0 и выше происходят на Камчатке каждые три года. На Камчатке 29 действующих вулканов, среди которых вулкан Ключевской (4750 м) – самый высокий действующий вулкан Евразии. Ежегодно происходит несколько извержений, пепловые выбросы которых угрожают безопасности полетов в северной части Тихого океана, в том числе на авиатрассах между США, Россией и Японией. По уровню угрозы природных катастроф Камчатка, наряду с Курильскими островами, является одной из наиболее опасных территорий России. Нет никаких сомнений в том, что природные катастрофы на Камчатке будут возникать и впредь. В ближайшие 3–5 лет на Камчатке сильное землетрясение с интенсивностью сотрясений 7 баллов и более ожидается с вероятностью более 50%.

Основной задачей Камчатского филиала Геофизической службы РАН (КФ ГС РАН) является обеспечение в режиме реального времени сейсмического мониторинга Камчатского региона, в том числе действующих вулканов, участие в сейсмическом мониторинге России и мира. Основная цель мониторинга - информирование органов государственной власти и МЧС о сейсмической опасности и вулканической активности региона.

На рисунке 1 приведена функциональная схема организации работ по мониторингу сейсмической и вулканической активности Камчатки.

Система мониторинга сейсмической и вулканической активности Камчатки включает в себя: (1) сети сейсмических станций; (2) технические и программные средства сбора, обработки и хранения данных, каналы связи; (3) методические и программные средства обработки сейсмических сигналов в автоматическом и автоматизированном режимах; (4) оценку сейсмической обстановки по ряду параметров на базе оперативного каталога землетрясений; (5) визуальные и видео наблюдения за действующими вулканами; (6) оценку состояния действующих вулканов по комплексу дистанционных методов, (7) экспертную оценку текущего состояния сейсмической и вулканической опасности.

Система оперативного контроля сейсмичности Камчатки основывается на радиотелеметрических сейсмических станциях (РТСС) [7]. Информация о сейсмических сигналах по радиоканалу поступает на приемные центры в г. Петропавловске-Камчатском, г. Ключи и п. Козыревск в реальном масштабе времени. Оценка параметров наиболее сильных землетрясений Камчатки ($M > 4.0$) производится в автоматическом и автоматизированном режимах. Система обработки сейсмологической информации в

зависимости от времени выходных данных имеет три уровня: (1) служба срочных донесений (задержка 20-30 мин.); (2) оперативная обработка (задержка до 24 часов); (3) окончательная (сводная) обработка (задержка 1 год). На заключительном этапе формируется банк сейсмологической информации, который доступен всем заинтересованным исследователям через сеть Internet.

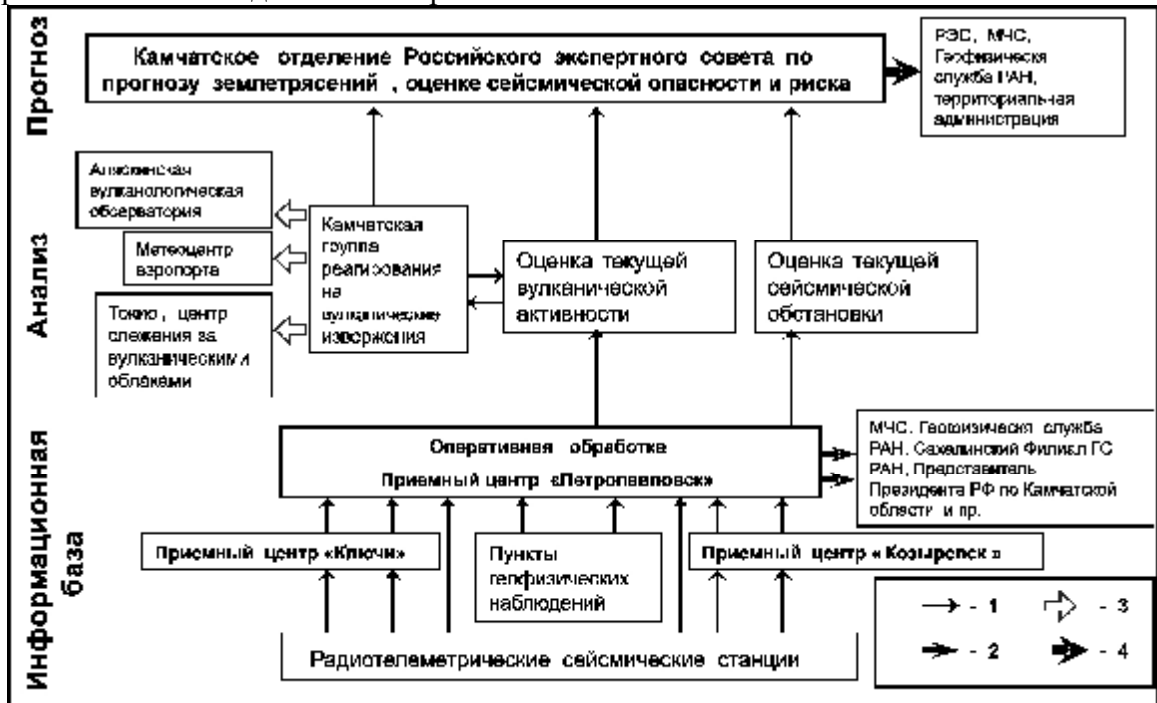


Рис.1. Блок-схема организации работ по мониторингу сейсмической и вулканической активности Камчатки. 1 – потоки информации; 2 – оперативные сообщения о сейсмической активности Камчатки; 3 – сообщения об активности камчатских вулканов в целях обеспечения безопасности авиа-полетов в Северо-Западном секторе Тихого океана; 4 – экспертные заключения о сейсмической и вулканической опасности на основе комплексной оценки сейсмической и вулканической активности Камчатского региона.

В основе всех работ по сбору, обработке и хранению сейсмологической и геофизической информации лежит корпоративная компьютерная сеть КФ ГС РАН [7]. По компьютерной сети организована непрерывная передача информации о землетрясениях с удаленных сейсмических станций радиотелеметрической сети. Кроме сейсмологической информации, сеть обеспечивает передачу низкоскоростных видео потоков с систем видеонаблюдения за вулканами, расположенных в г. Ключи и п. Козыревск. Разработка и внедрение оригинальных методических и программных средств обработки сейсмических сигналов позволили создать систему контроля сейсмичности в регионе в режиме реального времени. Включение корпоративной компьютерной сети в Internet дало возможность обмена информацией на всех уровнях без ограничения количества пользователей.

Оценка сейсмической обстановки в районе Камчатки производится по параметрам, характеризующим состояние сейсмичности: сейсмическая активность A_{10} ; наклон графика повторяемости γ ; параметры, определяемые по прогностическим методикам RTL и Z-тест; вариации площади сейсмогенных разрывов ΔS ; форшоковая кластеризация [13].

Мониторинг состояния вулканов ведется дистанционными методами на основе сейсмических, визуальных, видео- наблюдений и анализа спутниковых снимков [16]. Установленные и включенные в корпоративную компьютерную сеть видеокамеры позволяют наблюдать в реальном времени за состоянием вулканов Шивелуч, Ключевской и Безымянный. Информация о текущем состоянии контролируемых вулканов, полученная на основе результатов оперативной обработки сейсмических данных, распознавания физических явлений на контролируемых вулканах с использованием базы знаний

извержений, ежедневно размещается на странице КФ ГС РАН в Internet. Через Камчатскую группу реагирования на вулканические извержения (KVERT, <http://www.kscnet.ru/ivs/kvert/index.html>, [8]) информация о состоянии вулканов Камчатки передается во все крупнейшие авиакомпании мира и распространяется в России через Федеральную Авиационную Службу. В рамках научно-технического сотрудничества с Вулканологической Обсерваторией Университета штата Аляска (США), Центрами Слежения за Пепловыми Облаками в Токио (Япония) и Анкоридже (США) ведется обмен информацией о состоянии вулканов Камчатки, Северных Курил и Аляски для обеспечения безопасности полетов в северной части Тихого океана.

Камчатские сети сейсмических и геофизических наблюдений КФ ГС РАН обладают достаточной оснащенностью для осуществления непрерывного комплексного мониторинга геодинамических процессов, протекающих в регионе. Исследования ведутся на основе применения современных передовых технологий:

- цифровой регистрации сейсмических сигналов и параметров геофизических полей;
- широкополосных цифровых сейсмических станций;
- телекоммуникационных систем на базе спутниковых и кабельных каналов связи;
- системы спутниковой навигации GPS;
- компьютерной обработки информации в режиме, близком к реальному времени;
- снимков со спутников, используемых для дистанционного зондирования Земли.

Применение новых технологий обеспечивает исследователей новыми уникальными данными, что позволяет получить новые теоретические результаты, соответствующие динамике развития науки.

По состоянию на конец 2006 г. Камчатские сети сейсмических и геофизических наблюдений включают в себя:

- Камчатскую региональную сеть сейсмических станций, объединяющую 11 стационарных цифровых сейсмостанций, 32 радиотелеметрических сейсмостанций (из них 20 станций на активных вулканах), сейсмостанцию «Петропавловск» - опорную станцию Геофизической службы РАН на Дальнем Востоке, входящую в мировую сеть наблюдений, центры сбора сейсмометрической информации (Петропавловский, Козыревский и Ключеской приемные центры РТСС);

- сеть приборов регистрации сильных движений (16 станций);
- сеть гидрогеохимических наблюдений (12 водопунктов);
- пункты гидродинамических наблюдений (2 скважины);
- сеть GPS наблюдений KamNet (17 постоянных пунктов);
- пункты измерения электротеллурических потенциалов (4 системы профилей);
- пункты регистрации сейсмических шумов (2 станции);
- пункты геомагнитных наблюдений (3 трехкомпонентных индукционных магнитометра);
- комплексную геофизическую обсерваторию «Карымшина»;
- пункт экспериментальных газодинамических наблюдений и нейтронного мониторинга;

- пункты видео наблюдений за активными вулканами Шивелуч, Ключевской, Безымянный, Авачинский (в экспериментальном режиме).

В соответствии с Положением о Российском экспертном совете по прогнозу землетрясений, оценке сейсмической опасности и риска, утвержденного совместным решением Российской Академии наук и МЧС России 15 марта 2003 г., Камчатское отделение Федерального центра прогнозирования землетрясений в феврале 2006 года было реорганизовано и продолжает свою работу в качестве Камчатского филиала Российского экспертного совета (КФ РЭС).

Основная функция КФ РЭС – оперативная оценка сейсмической опасности, прогноз землетрясений и извержений вулканов, возможных последствий их воздействий. На этом этапе мониторинга производится комплексирование более 20 методов прогноза

[6]. В настоящее время в работе КФ РЭС принимают участие шесть научно-исследовательских организаций:

- Камчатский филиал Геофизической службы РАН (КФ ГС РАН);
- Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН (ИВиС ДВО РАН);
- Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН (ИКИР ДВО РАН);
- ФГУП "Камчатгеология";
- Институт физики Земли РАН (ИФЗ РАН, Москва);
- Физико-технический институт РАН (ФТИ РАН, Санкт-Петербург).

Кроме того, рассматриваются прогностические оценки, сделанные частными лицами.

С 2006 г. в работе РЭС регулярно участвует представитель Центра мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций ГУ МЧС по Камчатской области. При оценке сейсмической опасности рассматриваются следующие основные методы наблюдений за предвестниками сильных землетрясений (в скобках указаны авторы заключений о сейсмической опасности):

сейсмологические

- вариации крутизны спада огибающей коды слабых местных землетрясений (А.А. Гусев, И.Р. Абубакиров, КФ РАН, ИВиС ДВО РАН) [1, 22];
- алгоритм М6 - комплексное использование большой совокупности различных сейсмологических параметров (В.А. Широков, ИВиС ДВО РАН) [21];
- обнаружение сейсмических затиший методами RTL и Z-тест (Г.А. Соболев, ИФЗ РАН; Н.М.Кравченко, В.А. Салтыков, КФ ГС РАН) [14, 18, 23];
- параметр TAU (вариации отношения скоростей сейсмических волн V_p/V_s), данные поля напряжений, (Л.Б. Славина, ОИФЗ РАН) [17].;
- мониторинг сдвиговых напряжений по азимутальным вариациям отношения скоростей сейсмических волн (И.А. Гарагаш, ОИФЗ РАН) [5]
- прогноз магнитуды и времени землетрясения методом «Критическое ускорение сейсмичности (КУС)» (Г.А. Соболев, ИФЗ РАН);
- временные изменения средних значений временных интервалов между сейсмическими событиями и их коэффициент вариации (Н.Г.Томилин, ФТИ РАН) [19];

геофизические

- скважинные гидрогеодинамические предвестники – вариации уровня воды в скважин (Г.Н. Копылова, КФ ГС РАН) [9];
- Гидрогеодеформационный (ГГД) мониторинг – гидрогеологический эффект Варганияна-Куликова (Н.Н. Смолина, ФГУП "Камчатгеология") [3];
- анализ атмосферно-ионосферных процессов (сводное заключение, ИКИР ДВО РАН) [2];
- вариации параметров высокочастотного сейсмического шума, связанные с изменением приливной чувствительности среды перед сильными землетрясениями (В.А. Салтыков, Ю.А.Кугаенко, КФ ГС РАН) [12, 15];
- вариации электротеллурического поля (Ю.Ф. Мороз, ИВиС ДВО РАН) [11];
- скважинные геоакустические измерения; измерения электрической составляющей электромагнитного поля Земли в СНЧ-диапазоне частот с помощью подземной антенны; мониторинг изменений плотности воды в скважине (В.А. Гаврилов, Ю.В. Морозова, ИВиС ДВО РАН) [4];

геохимический

- вариации химического состава воды в скважинах и источниках (Ю.М. Хаткевич, Г.В. Рябинин, КФ ГС РАН) [20];

геодезический

- изменения положения GPS пунктов (В.Е. Левин, КФ ГС РАН) [10];

астрономический

- расчет силового воздействия на конкретную территорию по данным движения объектов Солнечной системы (А.Я. Лездиньш, частное лицо).

Заседания КФ РЭС проводятся еженедельно. Заключение о сейсмической и вулканической опасности передаются в РЭС, Областную и Городскую администрацию, Главное Управление МЧС России по Камчатской области, Геофизическую службу РАН; центр "Антистихия" МЧС РФ; управление ФСБ по Камчатской области. Передача заключений в средства массовой информации осуществляется через пресс-центр ГУ МЧС по Камчатской области.

Ежедневно информация о происшедших в регионе землетрясениях и о состоянии вулканов размещается на сервере КФ ГС РАН (<http://emsd.iks.ru>) в Интернете:

<http://data.emsd.iks.ru/regquake/> - карта эпицентров землетрясений Камчатки, Северных Курильских и Командорских островов;

<http://data.emsd.iks.ru/klyquake/index.htm> – карта эпицентров землетрясений Северной группы вулканов;

<http://data.emsd.iks.ru/avhquake/index.htm> – карта эпицентров землетрясений Авачинско-Корякской группы вулканов;

<http://emsd.iks.ru/~ssl/monitoring/main.htm> – информация о состоянии активных вулканов Камчатки.

Камчатка является ценнейшим исследовательским полигоном с высоким уровнем современной тектонической активности, определяющим ее сейсмичность и вулканическую активность. В связи с этим в регионе существует постоянная угроза возникновения чрезвычайных ситуаций природного и природно-техногенного, что требует выработки мер по снижению риска катастроф на основе современных научных разработок, в том числе совершенствование получения комплексной оценки сейсмической и вулканической опасности для Камчатского региона.

Список литературы

1. Абубакиров И.Р., Гусев А.А., Гусева Е.М. Отражение процесса подготовки Кроноцкого землетрясения 05.12.97 во временных вариациях скорости спада огибающих кода-волн слабых землетрясений // Кроноцкое землетрясение на Камчатке 5 декабря 1997 года: предвестники, особенности, последствия. 1998. Петропавловск-Камчатский. КГАРФ. С. 112-120.
2. Богданов В.В., Бузевич А.В., Винницкий А.В., Дружин Г.И., Купцов А.В., Поддельский И.Н., Смирнов С.Э., Чернева Н.В., Шевцов Б.М. О влиянии солнечной активности на атмосферные и сейсмические процессы Камчатки // Комплексные сейсмологические и геофизические исследования Камчатки. Петропавловск-Камчатский. 2004. «Камчатский печатный двор». С. 259-278.
3. Вартанян Г.С., Куликов Г.В. Гидрогеодеформационное поле Земли // ДАН. 1982. Вып. 2. С. 310-314.
4. Гаврилов В.А., Власов Ю.А., Денисенко В.П., Морозова Ю.В., Яковлева Ю.Ю. Опыт комплексных скважинных геофизических наблюдений в целях мониторинга состояния геосреды // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2006. №2. Вып.8. С. 43-53.
5. Гарагаш И.А. Анализ изменений напряженного состояния земной коры при подготовке Кроноцкого землетрясения // Кроноцкое землетрясение на Камчатке 5 декабря 1997 года: предвестники, особенности, последствия. 1998. Петропавловск-Камчатский. С. 106-111.
6. Гордеев Е.И., Салтыков В.А., Серафимова Ю.К. Предвестники камчатских землетрясений (по материалам Камчатского отделения Федерального центра прогнозирования землетрясений, 1998-2004 гг.) // Вулканонология и сейсмология. 2006. №4. С. 3-13.
7. Гордеев Е.И., Чебров В.Н., Левина В.И., Сенюков С.Л., Шевченко Ю.В., Ящук В.В. Система сейсмологических наблюдений на Камчатке // Вулканонология и сейсмология. 2006. №3. С. 6-27

8. Кирьянов В.Ю., Чубарова О.С., Сенюков С.Л., Евдокимова О.А., Гарбузова В.Т. Группа по обеспечению безопасности полетов от вулканических пеплов (КВЕРТ): 8 лет деятельности // Геодинамика и вулканизм Курило-Камчатской островодужной системы. ИВГиГ ДВО РАН. Петропавловск-Камчатский. 2001. С. 408-423.
9. Копылова Г.Н. Сейсмичность как фактор формирования режима подземных вод // Вестник КРАУНЦ. Серия науки о Земле. 2006. № 1. Вып. № 7. С. 50-66.
10. Левин В.Е., Магуськин М.А., Бахтиаров В.Ф., Павлов В.М., Титков В.Н. Мультисистемный геодезический мониторинг современных движений земной коры на Камчатке и Командорских островах // Вулканология и сейсмология. 2006. №3. С.54-67.
11. Мороз Ю.Ф., Мороз Т.А., Назарец В.П., Нечаев С.А., Смирнов С.Э. Электромагнитное поле земли в изучении геодинамических процессов // Комплексные сейсмологические и геофизические исследования Камчатки. Петропавловск-Камчатский. 2004. «Камчатский печатный двор». С. 152-170.
12. Рыкунов Л.Н., Салтыков В.А., Сеницын В.И., Чебров В.Н. Характерные параметры высокочастотного сейсмического шума перед сильными камчатскими землетрясениями 1996 г. // Доклады РАН. 1998. Т.361. №3. С. 402-404.
13. Салтыков В.А., Кравченко Н.М. Параметры сейсмичности Камчатки в 2003 г. // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2004. №3. С. 36-45.
14. Салтыков В.А., Кугаенко Ю.А. Сейсмические затишья перед двумя сильными землетрясениями 1996 г. на Камчатке // Вулканология и сейсмология. 2000. №1. С. 57-65.
15. Салтыков В.А., Сеницын В.И., Кугаенко Ю.А. Мониторинг сейсмических шумов и его использование для прогноза сильных землетрясений на камчатке // Девятые геофизические чтения им. В.В. Федынского. Тезисы докладов. Москва, 1-3 марта 2007 г. М.: ЦГЭ, 2007. С. 84.
16. Сенюков С.Л. Мониторинг активности вулканов Камчатки дистанционными средствами наблюдений в 2000-2004 гг. // Вулканология и сейсмология. 2006. №3. С. 68-78.
17. Славина Л.Б., Мячкин В.В., Левина В.И. Опыт применения кинематических предвестников сейсмического поля для прогноза землетрясений на Камчатке // Комплексные сейсмологические и геофизические исследования Камчатки. Петропавловск-Камчатский. 2004. «Камчатский печатный двор». С. 216-227.
18. Соболев Г.А., Тюпкин Ю.С. Аномалии в режиме слабой сейсмичности перед сильными землетрясениями Камчатки // Вулканология и сейсмология. 1996. №4, С.64-74
19. Томилин Н.Г., Дамастинская Е.Е., Павлов П.И. Статистическая кинетика разрушения и прогноз сейсмических явлений // Физика твердого тела. 2005. Т.47. Вып.5. С. 955-959.
20. Хаткевич Ю. М., Рябинин Г. В. Гидрогеохимические исследования на Камчатке в связи с поиском предвестников землетрясений // Вулканология и сейсмология. 2006. № 4. С. 34-42.
21. Широков В.А. Опыт краткосрочного прогноза времени, места и силы камчатских землетрясений 1996-2000 гг. с магнитудой $M=6-7.8$ по комплексу сейсмологических данных // Геодинамика и вулканизм Курило-Камчатской островодужной системы. Петропавловск-Камчатский. 2001. С. 95-116.
22. Gusev A. Temporal variations of the coda decay rate on Kamchatka: are they real and precursory? // JGR. 1997. Vol.102. No. B4. P. 8381-8396.
23. Wyss M., Habermann R.E. Precursory seismic quiescence // Pageoph. 1988. V.126. P. 319-332.