

Грант РФФИ 07-05-00225

Отклик сейсмических шумов на приливы как индикатор напряженно-деформированного состояния среды при подготовке сильных землетрясений: экспериментальные исследования и моделирование

Сроки выполнения: 2007 - 2009
Руководитель: к.ф.-м.н. Кугаенко Ю.А.
Основные исполнители: к.ф.-м.н. Салыков В.А., к.ф.-м.н. В.М.Павлов, Сеницын В.И., Коновалова А.А.

Краткая аннотация:

Проект направлен на изучение возможности контроля напряженно-деформированного состояния среды по изменению параметров высокочастотного сейсмического шума (ВСШ), связанных с приливным воздействием. Гравитационное воздействие Луны и Солнца рассматривается как природный эталон деформирующих сил, имеющий точное математическое описание и идеально прогнозируемый в пространстве и времени.

На основе материалов многолетней регистрации ВСШ в трех пунктах наблюдений: Начики и Карымшина (Южная Камчатка) и Шикотан (Южные Курилы) будет проведено сопоставление получаемых данных с процессом подготовки и реализации сильных местных землетрясений в сейсмоактивных регионах (Камчатка и Малые Курилы). Большое внимание будет уделено математическому моделированию зон дилатансии, возникавших при подготовке сильных камчатских землетрясений 1992-2009 гг., и разработке модели, обосновывающей возможность контроля напряженного состояния среды по изменению отклика ВСШ на приливы на значительном расстоянии от готовящегося очага сильного землетрясения.

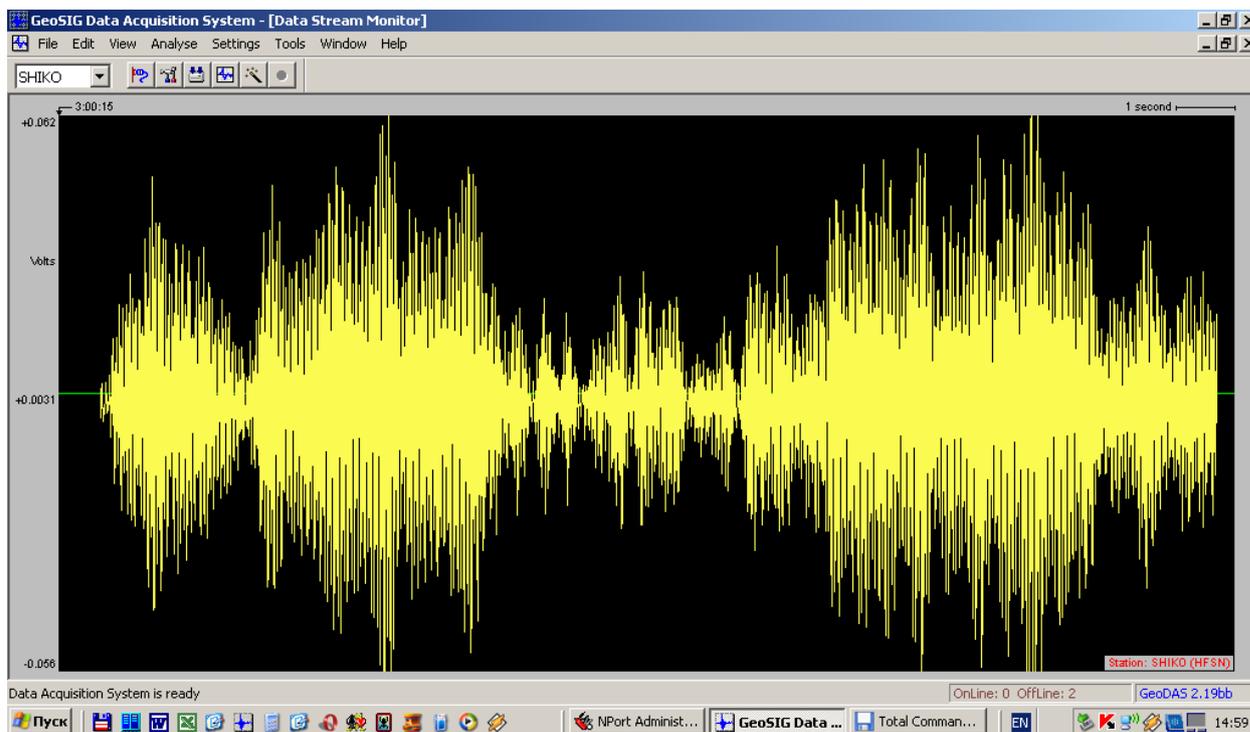
Основные результаты

ВЕДЕНИЕ РЕЖИМНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

В рамках проекта ведутся режимные наблюдения ВСШ в трех пунктах – «Начики», «Карымшина» (Южная Камчатка) и «Шикотан» (о.Шикотан, Малая Курильская гряда). Работы направлены на получение исходного фактического материала для последующего изучения связи ВСШ с изменениями напряженного состояния среды. Продолжены непрерывные ряды данных.

Создана новая станция регистрации ВСШ «Баксан» на геодинамическом полигоне в Приэльбрусье. Подготовлен к автономной работе регистрирующий комплекс, включающий датчик ВСШ, цифровой регистратор GSR-24, портативный компьютер для длительного накопления данных, кабельную линию связи, аккумулятор, блок бесперебойного питания. Аппаратура установлена в штольне нейтринной обсерватории ИЯИ РАН в 15 км от вулкана Эльбрус и работает в автономном режиме.

В ходе выполнения проекта станции регистрации переведены в режим регистрации волновых форм. Переход с регистрации огибающей на волновые формы был осуществлен на базе цифровых регистраторов GSR -24, приобретенных при финансовой поддержке РФФИ. На удаленной станции «Шикотан» обеспечен выход регистратор GSR -24 в Интернет. Станция передает первичные цифровые данные непосредственно на сервер КФ ГС РАН в Петропавловск-Камчатский. Регистрирующий комплекс переведен в режим полной автономии. С декабря 2009 г. система функционирует в режиме опытной регистрации, идет отладка канала передачи данных. В состав регистрирующего комплекса «Начики» включена цифровая метеостанция Vantage Pro2. Установка метеостанции предполагает детальное исследование влияния метеофакторов на ВСШ на новом качественном уровне для их учета при исследовании связи ВСШ с геодинамическими процессами.



Фрагмент записи в реальном времени сигнала ВСШ станции «Шикотан»

ФЕНОМЕНОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИНХРОНИЗАЦИИ ПРИЛИВНОЙ КОМПОНЕНТЫ ВСШ С ВОЛНОЙ ГРАВИТАЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА ПЕРЕД СИЛЬНЫМИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМИ

В основу модели положены:

- концепция активной геофизической среды (Садовский, 2004; Николаев, 1991);
- результаты многочисленных лабораторных экспериментов, выполненных на образцах горных пород при различных величинах сжимающего напряжения и внешнем вибровоздействии (Садовский и др., 1981; Мирзоев и др., 1991; Трапезников и др., 2000; Богомолов и др., 2001; Соболев, Пономарев, 2003; Куксенко и др., 2003; Куксенко, 2005);
- гипотеза о возможном развитии в процессе подготовки землетрясения протяженных приповерхностных зон дилатансии (Алексеев и др., 2001);
- феноменологическая модель эмиссионного отклика геосреды на внешние физические поля, разработанная для описания общих закономерностей сейсмо- и акустоэмиссионных сигналов в нагруженных образцах горных пород при дополнительном внешнем энерговоздействии (Богомолов и др., 2006)
- экспериментальные результаты исследований связи сейсмической эмиссии с приливными процессами перед сильными землетрясениями, полученные на Камчатке и на о. Шикотан, в естественных условиях сейсмоактивного региона.

В последние годы получено достаточно много результатов лабораторных экспериментов с образцами горных пород, которые находились под нагрузкой. Аналогом приливов служили слабые вибрации с малыми амплитудами, много меньше среднего уровня квазистационарного напряжения. Установлено, что степень воздействия вибраций на нагруженные образцы горных пород (Богомолов и др., 2001, Соболев, Пономарев, 2003) зависит от величины изначально приложенного напряжения. Нагрузки, при которых в лабораторных условиях удалось наблюдать акустическую эмиссию при слабых вибрациях, соответствуют дилатансионной стадии деформации. Согласно гипотезе (Алексеев и др., 2001), в реальных условиях на стадии подготовки землетрясений большие по сравнению с готовящимся очагом объемы среды приходят в метастабильное состояние. Процесс концентрации и роста напряжений в очаговой области приводит к появлению протяженных приповерхностных зон развития трещиноватости. При приближении среды к стадии неустойчивости и дилатансии нагруженные горные породы, выведенные из стационарного состояния, начинают отдавать накопленную упругую энергию через микросейсмическую эмиссию. Приливы в данной ситуации можно рассматривать в качестве триггера. По мере приближения к неустойчивости порог эффективного дополнительного внешнего воздействия, необходимого для синхронизации процессов, снижается, что подтверждено лабораторными исследованиями. Отклик

сейсмической эмиссии на приливной процесс на стадии метастабильного состояния среды объединяет взаимодополняющие процессы активизации излучения и релаксации.

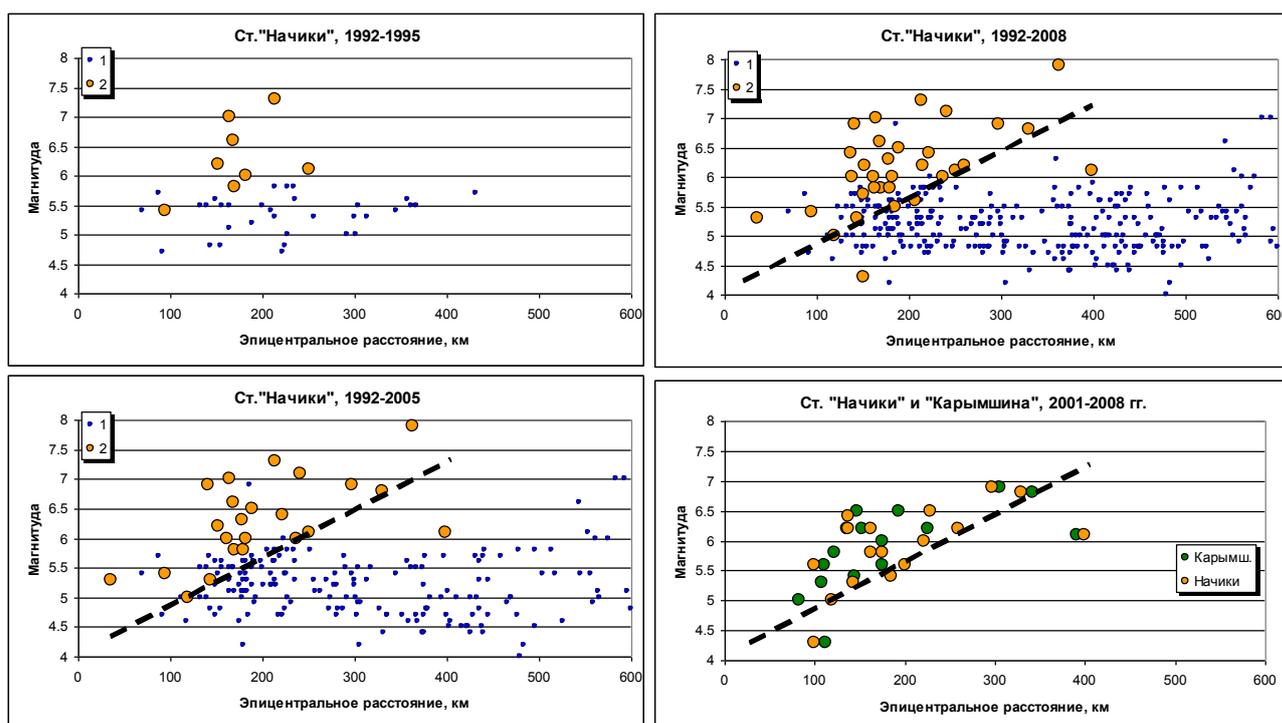
ЭМПИРИЧЕСКАЯ ЗАВИСИМОСТЬ МАГНИТУДЫ ПРОГНОЗИРУЕМОГО СОБЫТИЯ ОТ ЭПИЦЕНТРАЛЬНОГО РАССТОЯНИЯ

В работе (Гольдин, 2005) выдвинут принцип масштабного соответствия, который может быть использован при разработке методов среднесрочного и краткосрочного сейсмического прогноза. Для любого землетрясения существует некоторая пространственная область с линейными размерами D и расположенная в ней сеть наблюдений, для которых изменение характеристик среды, связанное с подготовкой землетрясения с магнитудой M , не может остаться незамеченным. В соответствии с этим принципом на основе достаточно большого объема данных может быть получена зависимость, связывающая пространственные и энергетические характеристики прогнозируемого события. Обобщение данных многолетних работ по выявлению предвестников по результатам мониторинга ВСШ позволило уточнить зависимость «магнитуда-расстояние» для Камчатки.

Рассмотрим нижнюю границу облака точек, соответствующих землетрясениям, имеющим предвестник. Предложено рассматривать эту границу как множество критических значений, связывающих минимальное значение магнитуды возможного землетрясения с его эпицентральным расстоянием от точки наблюдения.

В настоящее время используется следующая эмпирическая зависимость магнитуды M прогнозируемого события от эпицентрального расстояния Δ : $M = 4.0 + 0.008 * \Delta$, где $\Delta < 400$ км (на больших расстояниях от точки наблюдения за время исследований предвестник по данной методике не наблюдался ни разу).

В будущем, при накоплении дополнительных данных, эмпирическая зависимость может быть уточнена.

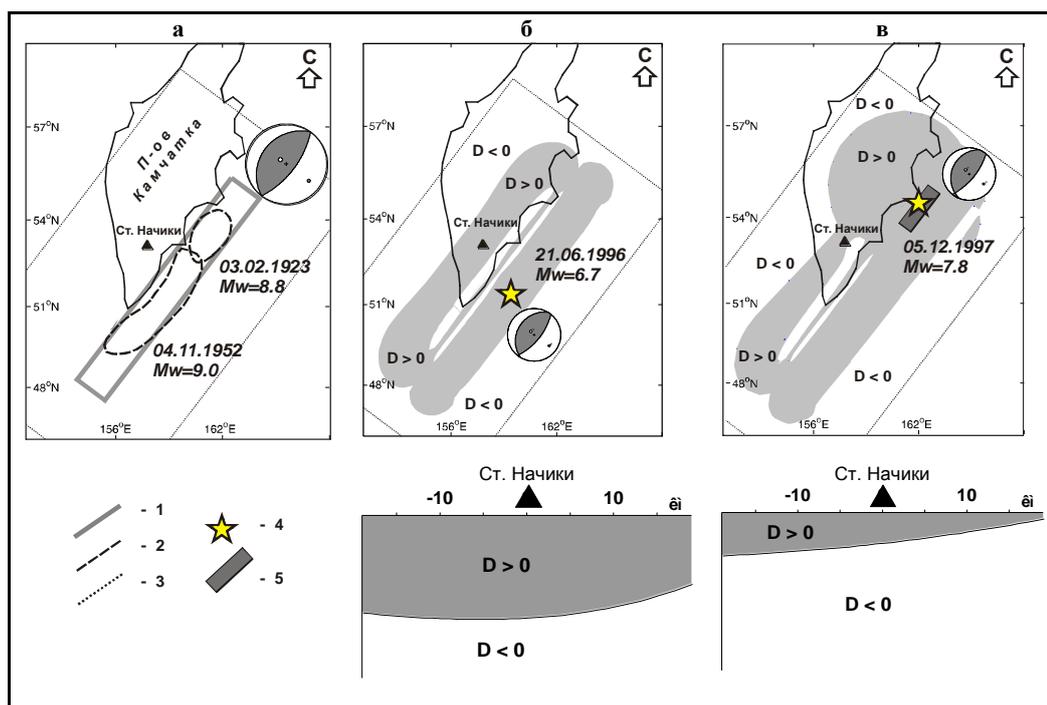


Эмпирическая зависимость магнитуды прогнозируемого события от эпицентрального расстояния по данным станции «Начики» для разных периодов регистрации. Последний график – на диаграмму полученной эмпирической зависимости наложены точки, связывающие магнитуду и эпицентральное расстояние для станции «Карымшина». 1 - землетрясения, перед которыми наблюдался предвестник по данным станции «Начики»; 2 - землетрясения, перед которыми наблюдался предвестник по данным станции «Карымшина»; 3 - землетрясения, перед которыми предвестник по рассматриваемой методике выделен не был.

Для землетрясений с магнитудой $M > 6.0$ предвестник не наблюдался для единственного события (08.03.1999, $M_w = 6.9$). Для событий с меньшей магнитудой предвестник в рамках выявленной эмпирической зависимости фиксируется лишь эпизодически.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ ЗОН ДИЛАТАНСИИ

Ведутся работы по математическому моделированию приповерхностных зон дилатансии, развивающихся в среде на стадии подготовки сильных региональных землетрясений. Цель работы - показать, что для камчатских землетрясений 1992-2008 гг., перед которыми наблюдалась синхронизация выделенной из ВСШ приливной компоненты с гравитационным приливным потенциалом, возможно развитие приповерхностных зон дилатансии в точке ведения регистрации (на значительном расстоянии от инструментального эпицентра). Для выполнения расчетов и визуализации результатов моделирования разработан пакет программ, который позволяет: (1) варьировать входные параметры при расчете фоновых региональных напряжений; (2) производить расчет зон дилатансии, связанных с подготовкой интересующих нас конкретных камчатских землетрясений. Очаги землетрясений моделируются как протяженная дислокация (прямоугольник), соответствующая активному разлому в объеме Земли. Расчет деформаций и напряжений производится по (Okada, 1992). Автор программного обеспечения: к.ф.-м.н. В.М. Павлов. Пакет подготовлен к опытной эксплуатации, получены первые оценки. В расчетах используется понятие сейсмического КПД. Для вычисления суммарной энергии очага, определяющей напряженно-деформированное состояние региона, выделявшаяся сейсмическая энергия увеличивается путем введения повышающих коэффициентов. В качестве входных данных используются координаты центра, сейсмический момент и параметры механизма очага по Harvard CMT Catalog (<http://www.globalcmt.org>), каталог моментных магнитуд для камчатских землетрясений (Гусев, Шумилина, 2004). В ходе моделирования удалось выяснить, что существуют условия (набор параметров, не противоречащих физическим представлениям о реальных физических процессах, протекающих в регионе) при которых модель допускает развитие приповерхностных зон дилатансии в окрестностях регистрирующей станции. Дальнейшее развитие исследований видится в совершенствовании способов задания и расчета фоновых региональных напряжений. Выполненное моделирование является частью работ по разработке физических представлений об аномалиях отклика сейсмической эмиссии на земные приливы при изменениях напряженно-деформированного состояния среды, в частности, при подготовке региональных землетрясений.



Моделирование приповерхностных зон развития дилатансии в результате взаимодействия локальных и региональных тектонических напряжений. Серым цветом выделена область, в которой расчетное значение дилатансии положительно ($D > 0$).

а – задание очага модельного сильнейшего землетрясения для расчета потенциальных фоновых напряжений;

б, в – примеры результатов моделирования: вверху – горизонтальное сечение сканируемой области для глубины $z = 0$, внизу – вертикальное сечение по линии, проходящей через регистрирующую станцию «Начики» и эпицентр (ось X направлена на эпицентр, ось Y – в условных единицах). Показан разрез области, прилегающей к станции.

1 - граница проекции очага модельного сильнейшего землетрясения на земную поверхность;

- 2 – граница проекций очагов землетрясений 1923 и 1952 гг. на земную поверхность;
- 3 - граница области сканирования;
- 4 – «эпицентр» – проекция на земную поверхность центроида (по Harvard CMT Catalog);
- 5 – проекция модели очага Кронцокого землетрясения на земную поверхность.

ОЦЕНКИ ПРИЛИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ВСШ В ХОДЕ ПОДГОТОВКИ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Для исследования связи приливных параметров ВСШ с процессами подготовки землетрясений использовались подходы, разработанные ранее. Многолетний опыт работы по прогнозированию землетрясений на Камчатке в оперативном режиме обобщен в статье *Салтыков В.А., Кугаенко Ю.А., Синицын В.И., Чебров В.Н. Предвестники сильных землетрясений на Камчатке по данным мониторинга сейсмических шумов // Вулканология и сейсмология. 2008. №2. С.110-124*

Накопление новых данных о синхронизации приливных гармоник ВСШ с гравитационным потенциалом в процессе подготовки сильных землетрясений позволило усовершенствовать оригинальную прогностическую методику, разработанную ранее авторами проекта (патент 2105332 от 20.02.1998).

В 2007 г. в оперативном режиме обнаружен предвестник землетрясения 30 мая 2007 г. $M=6.4$ по данным станции "Начики" (Камчатка). Прогноз от 18.05.2007.

В 2008 г. в оперативном режиме по данным камчатских станций «Начики» и «Карымшина» обнаружены предвестники трех локальных землетрясений. Предвестники зафиксированы по данным обеих станций:

01 марта 2008 г., $M_w=5.6$ (Прогноз от 8 февраля 2008 г.)

01 июня 2008 г. , рой, $M_w=5.4$, (Прогноз от 23 мая 2008 г.)

18 сентября 2008 г., $M_w=5.8$ (Прогноз от 20 августа 2008 г.)

Перед землетрясением 24 июля 2008 г., $M_w=6.2$ предвестник выявлен ретроспективно по данным станции «Карымшина». Станция «Начики» по техническим причинам имела в это время перерывы в записи

В 2009 г. землетрясений с $M>6.0$ на расстояниях до 400 км от регистрирующих станций не происходило. На менее значительные события предвестниковой реакции не наблюдалось.

Прогнозные заключения хранятся в архиве Камчатского филиала Российского экспертного совета по прогнозу землетрясений.

[Подробнее](#)

СОПОСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ СЕЙСМИЧЕСКИХ ШУМОВ С АНОМАЛИЯМИ ДРУГИХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ (НА ПРИМЕРЕ КАРЫМСКОГО СЕЙСМОВУЛКАНИЧЕСКОГО КРИЗИСА)

Проанализированы результаты выявления обширных аномалий параметров сейсмичности различных энергетических уровней, которые имели место в ходе подготовки Карымского сейсмо-вулканического кризиса 1-2 января 1996 г. В качестве разномасштабной сейсмичности рассматриваются: (1) землетрясения камчатского каталога; (2) сейсмические шумы (амплитуда 10^9-10^{12} м, частотный диапазон – первые десятки Гц), являющиеся проявлением сейсмического процесса в низшем диапазоне энергий.

Ретроспективно применяются методики анализа параметров фоновой сейсмичности, внедренные в КФ ГС РАН для анализа динамики сейсмического процесса: (1) RTL (Соболев и др., 1996); (2) Z-тест (Wyss, Nabertmann, 1988). Для анализа микросейсмичности перед Карымским землетрясением применяется оригинальная методика, основанная на слежении за откликом высокочастотных сейсмических шумов (ВСШ) на приливное воздействие (Патент..., 1998, Салтыков, 2007). Накопленный опыт исследования ВСШ в 1992-2007 гг. позволяет сопоставить ситуацию перед Карымским землетрясением с другими, выделенными перед сильными региональными землетрясениями. Впервые перед коровым землетрясением Камчатки, связанным с началом долговременной вулканической активизации, выделен комплекс синхронных аномалий в независимых параметрах сейсмичности, имеющих прогностический характер. Представленные результаты иллюстрируют принципиальную возможность выявления в режиме реального времени предвестниковой ситуации перед аналогичным комплексом опасных природных явлений, которые могут произойти, в частности, в наиболее населенном районе Камчатки – в окрестностях г. Петропавловска-Камчатского.

Результаты обобщены в сатье: *Кугаенко Ю.А., Кравченко Н.М., Салтыков В.А. Подготовка Карымского сейсмо-вулканического кризиса в параметрах разномасштабной сейсмичности // Вулканология и сейсмология. 2009. №3. С.27-37.*

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕДИЦИЙ

В 2007-2009 гг. участники проекта приняли участие в трех экспедициях, организованных при финансовой поддержке РФФИ:

Грант 07-05-02107 2007. Организация и проведение экстренных сейсмологических наблюдений в районе Долины Гейзеров на Камчатке. Руководитель: К.т.н. Чебров В.Н. Развернутый отчет по экспедиции представлен по адресу: http://www.emsd.iks.ru/rffigr/07_05_02107.pdf

Грант 08-05-10043 2008 Организация и проведение сейсмологических наблюдений в районе Долины Гейзеров на Камчатке, экспериментальное профилирование концентрации водорода Руководитель: к.ф.-м.н. Кугаенко Ю.А. Развернутый отчет по экспедиции представлен по адресу: http://www.emsd.iks.ru/rffigr/08_05_10043.pdf

Грант 09-05-10067 2009. Организация и проведение комплексной экспедиции в районе Долины Гейзеров для выполнения сейсмологических, геофизических, инженерно-геологических работ. Руководитель: к.ф.-м.н. Кугаенко Ю.А. Развернутый отчет по экспедиции представлен по адресу: http://www.emsd.iks.ru/rffigr/09_05_10067.pdf

Основные результаты полевых сейсмологических работ:

1. Организован локальный полигон для регистрации микросейсмичности в районе «Долина Гейзеров – вулканический массив Кихпинич». Для регистрации использовались широкополосные портативные сейсмометры GURALP CMG-6TD.
2. Обследованы возможные районы организации пункта долговременных наблюдений (стационарной региональной сейсмической станции и станции регистрации высокочастотных сейсмических шумов) в непосредственной близости от стационаров Кроноцкого заповедника «Узон» и «Долина Гейзеров».
3. Обнаружена локальная сейсмичность исследуемого района не регистрируемая региональной сетью, локализуемая в районе восточного борта Узон-Гейзерной вулканно-тектонической депрессии и западного борта вулканического массива Кихпинич. Обнаружено значительное увеличение числа зарегистрированных микроземлетрясений по сравнению с полевым сезоном 2008 г. Отмечен неравномерный, роевой характер сейсмичности. В районе вулкана Кихпинич рои землетрясений пространственно связаны с основными зонами современной гидротермальной активности. Глубина гипоцентров не превышает 5 км. В целом сейсмичность исследуемого района распределена не равномерно, а сконцентрирована в зоне купольного поднятия, выявленного ранее по данным спутниковой интерферометрии 2000-2003 гг. Поднятие интерпретируется как внедрение магматического силла в верхние горизонты коры на границе Узон-Гейзерной вулканно-тектонической депрессии и вулканического массива Кихпинич. Полученные в 2007-2009 гг. сейсмологические данные могут рассматриваться как подтверждение локальной скрытой вулканической активизации.
4. В ходе полевых работ на высокотемпературном гидротермальном поле (Гейзерная гидротермальная система, Центральный участок гейзерного поля) обнаружен подземный стабильный длиннопериодный деформационный источник. Он может рассматриваться как природный эталон при изучении микросейсмического отклика флюидонасыщенной среды на периодическое воздействие – модель прилива в естественных условиях.
5. Проведено микросейсмическое профилирование исследуемой территории. Пройдено три профиля с шагом 500 м: один - вкост Долины Гейзеров и 2 параллельных вдоль восточного борта депрессии с захватом части Кихпиничского вулканического массива. Общая длина профилей 27 км. Регистрировался фоновый сейсмический сигнал. Время регистрации в каждой точке – 2-3 часа. Общее количество пунктов регистрации: 57. Цель профилирования: построение модели глубинного строения под исследуемым районом.

Основные публикации по проекту:

СТАТЬИ В РЕЦЕНЗИРУЕМЫХ ЖУРНАЛАХ

1. *Салтыков В.А., Кугаенко Ю.А., Сеницын В.И., Чебров В.Н.* 20 лет исследованию сейсмических шумов на Камчатке: от экспериментальных наблюдений к прогнозу землетрясений и моделированию // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2007. №1. Вып.9. С.37-50.
2. *Салтыков В.А., Кугаенко Ю.А., Сеницын В.И., Чебров В.Н.* Предвестники сильных землетрясений на Камчатке по данным мониторинга сейсмических шумов // Вулканология и сейсмология. 2008. №2. С.110-124
3. *Кугаенко Ю.А., Салтыков В.А., Сеницын В.И., Шшикин А.А.* Первые результаты исследования сейсмических шумов на о. Шикотан по данным долговременных наблюдений // Тихоокеанская геология. 2008. Т.27. №3. С.33-43.

4. *Кугаенко Ю.А., Кравченко Н.М., Салтыков В.А.* Подготовка Карымского сейсмо-вулканического кризиса в параметрах разномасштабной сейсмичности // *Вулканология и сейсмология*. 2009. №3. С.27-37.
5. *Салтыков В.А., Сеницын В.И., Чебров В.Н., Кугаенко Ю.А.* Специализированная станция регистрации сейсмических шумов «Начики» в системе геофизического мониторинга Камчатки // *Сейсмические приборы*. 2009. Т.45. № 2. С. 24-41.

СТАТЬИ В СБОРНИКАХ

1. *Кугаенко Ю.А., Салтыков В.А.* Лунно-солнечные приливы в вариациях сейсмоакустоэмиссионных процессов: сопоставление результатов режимных наблюдений и лабораторного моделирования // *Солнечно-земные связи и предвестники землетрясений. Сборник докладов IV международной конференции. 14-17 августа 2007 г. с. Паратунка Камчатской области. Петропавловск-Камчатский: ИКиР ДВО РАН, 2007. С. 104-110.*
2. *Салтыков В.А.* Приливные эффекты в сейсмоакустических шумах: индикатор напряженно-деформированного состояния среды в сейсмоактивном регионе // *Сборник трудов XX сессии Российского акустического общества*. Т.1. М.: ГЕОС, 2008. С. 305- 309.
3. *Салтыков В.А., Кугаенко Ю.А.* Синхронизация фоновой сейсмичности и сейсмических шумов с приливами в областях подготовки сильных землетрясений // *Геофизика XXI столетия: 2007 г. Сборник трудов Девярых геофизических чтений им. В.В. Федынского (1-3 марта 2007 г., Москва). Тверь: ООО «Издательство ГЕРС», 2008. С. 170-176.*
4. *Кравченко Н.М., Кугаенко Ю.А., Салтыков В.А.* Аномалии параметров разномасштабной сейсмичности при подготовке Карымского сейсмо-вулканического кризиса // *Материалы конференции, посвященной Дню вулканолога, 27–29 марта 2008 г. – Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2008. С.154-162.*
5. *Салтыков В.А., Сеницын В.И., Кугаенко Ю.А., Шишкин А.А.* Регистрация и исследование сейсмических шумов на о.Шикотан (Малая Курильская гряда): выявление эффектов подготовки локальных землетрясений // *Геофизический мониторинг и проблемы сейсмической безопасности Дальнего Востока России. Петропавловск-Камчатский: ГС РАН, 2008. Т.1. С.110-114.*
6. *Салтыков В.А., Кугаенко Ю.А.* Опыт использования сейсмических шумов для прогноза сильных землетрясений на Камчатке в 1996-2007 гг. // *Геофизический мониторинг и проблемы сейсмической безопасности Дальнего Востока России. Петропавловск-Камчатский: ГС РАН, 2008. Т.1. С.54-58.*
7. *Сеницын В.И., Волович О.Г., Салтыков В.А., Кугаенко Ю.А.* Модернизация аппаратурно-программного комплекса регистрации сейсмических шумов на станции «Начики» // *Геофизический мониторинг и проблемы сейсмической безопасности Дальнего Востока России. Петропавловск-Камчатский: ГС РАН, 2008. Т.2. С.135-138.*
8. *Кугаенко Ю. А., Кравченко Н.М., Салтыков В.А.* Предвестниковые аномалии в разномасштабной сейсмичности при подготовке Карымского сейсмо-вулканического кризиса и сильнейшего корового землетрясения Камчатки 01.01.1996, Mw=6.8 // *Материалы международной конференции «Сейсмичность Северной Евразии». Обнинск: ГС РАН, 2008. С. 118-122.*
9. *Кугаенко Ю.А., Салтыков В.А.* Приливная чувствительность микросейсмичности как индикатор напряженного состояния среды перед сильным землетрясением // *Разломообразование и сейсмичность: тектонофизические концепции и следствия. Материалы Всероссийского совещания (18-21 августа 2009 г.). Иркутск: ИЗК СО РАН, 2009. Том 2. С. 101-104.*
10. *Салтыков В.А., Кугаенко Ю.А.* Развитие приповерхностных зон дилатансии перед камчатскими землетрясениями как возможная причина аномалий в параметрах сейсмоэмиссионных сигналов: сопоставление математических моделей и натуральных данных // *Материалы научного симпозиума «Проблемы сейсмичности и современной геодинамики Дальнего Востока и Восточной Сибири». Хабаровск, 1-4 июня 2010 г.*