

## Научные статьи

УДК 550.348.432:550.344.37

### 20 ЛЕТ ИССЛЕДОВАНИЮ СЕЙСМИЧЕСКИХ ШУМОВ НА КАМЧАТКЕ: ОТ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ К ПРОГНОЗУ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ И МОДЕЛИРОВАНИЮ

© 2007 В. А. Салтыков<sup>1,2</sup>, Ю. А. Кугаенко<sup>1</sup>, В. И. Сеницын<sup>1</sup>, В. Н. Чебров<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Камчатский филиал Геофизической службы РАН, г. Петропавловск-Камчатский, 683006; e-mail: salt@emsd.ru

<sup>2</sup>Камчатский государственный университет им. Витуса Беринга, г. Петропавловск-Камчатский, 683032

В 2007 году исполняется 20 лет с начала изучения на Камчатке высокочастотных сейсмических шумов (ВСШ). В статье рассмотрены основные этапы исследований. Обобщены результаты использования ВСШ для выявления предвестников сильных землетрясений. Предложена концептуальная модель синхронизации приливной компоненты ВСШ с волной гравитационного потенциала перед сильными землетрясениями.

#### ВВЕДЕНИЕ

В 2007 году исполняется 20 лет с начала исследований на Камчатке такого нетрадиционного и спорного источника информации о динамике и состоянии геофизической среды как высокочастотный сейсмический шум (ВСШ). Эти исследования были инициированы членом-корреспондентом АН СССР Львом Николаевичем Рыкуновым, профессором кафедры физики Земли Московского государственного университета им. М.В.Ломоносова. В настоящее время имеющиеся на Камчатке ряды непрерывных данных ВСШ по длительности не имеют аналогов в мировой практике сейсмологических наблюдений и являются базой как для фундаментального изучения этого процесса, так и для прикладных исследований, связанных с проблемой прогноза землетрясений.

В 1983 г. Л.Н. Рыкуновым с соавторами было зафиксировано первое в отечественной геофизике научное открытие о модуляции сейсмических шумов в диапазоне 10–60 Гц естественными деформирующими процессами: собственными колебаниями Земли, земными приливами и пр. (Рыкунов и др., 1984). Оно имело принципиальное значение, так как обнаруженная модуляция микросейсмического излучения деформацион-

ными процессами означала наличие в сейсмических шумах эндогенных компонент, что выводило их из разряда помех и позволяло рассматривать как самостоятельное информативное явление. Открытие вызвало бурную научную дискуссию, продолжавшуюся несколько лет. Стало очевидным, что серьезные исследования сейсмической эмиссии невозможны без организации специально спланированных долгосрочных наблюдений в районах с низким уровнем индустриальной активности.

Так в 1987 г. стала рассматриваться возможность организации станции регистрации сейсмических шумов в центральной части Южной Камчатки, в районе Ганальского хребта (рис. 1), где уже имелся пункт сейсмологических наблюдений: обвалованный термостатированный бункер и сеймопостамент на коренных породах. Эта станция регистрации ВСШ получила название «Начики» в соответствии с наименованием ближайшего населенного пункта. Удаленность этого объекта от источников интенсивных антропогенных помех обеспечила возможность регистрации сейсмических шумов естественного происхождения.

С 1992 г. станция «Начики» переведена из опытной эксплуатации в состояние непрерывной режимной регистрации. В январе 2007 г. имею-

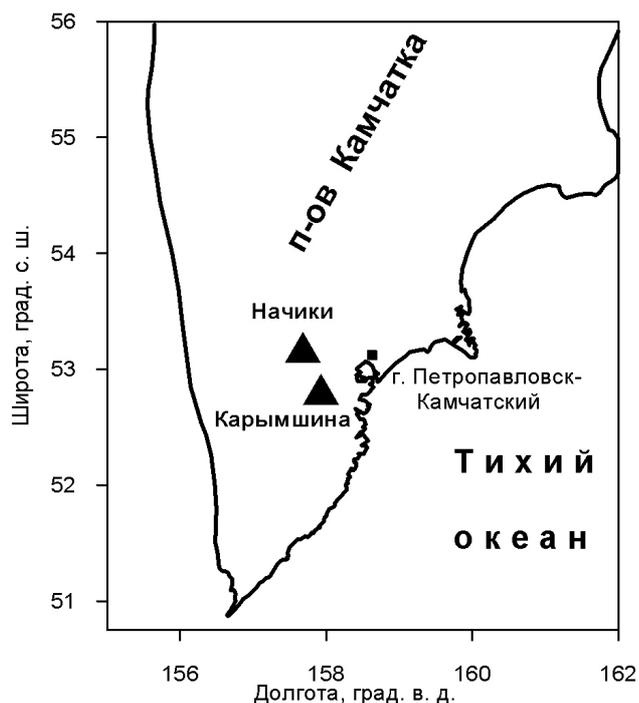


Рис. 1. Станции регистрации ВСШ.

щийся ряд данных этой станции превысил 15 лет. В статье рассмотрены основные этапы исследований ВСШ на Камчатке на основе развития наблюдений на станции «Начики».

#### АППАРАТУРНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РЕГИСТРАЦИИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ШУМОВ

Сейсмическая эмиссия занимает младшие энергетические уровни разномасштабного сейсмического процесса и может использоваться для изучения его общих закономерностей. Под ВСШ понимается сейсмическое излучение с амплитудой  $10^{-9} \dots 10^{-12}$  м в диапазоне первых десятков Гц.

Рассмотрение эндогенного сейсмического шума как нового сейсмологического объекта потребовало создания новой аппаратурно-методической базы исследований. Одним из направлений создания такой базы является организация долговременных режимных наблюдений, другим — более качественное метрологическое обеспечение исследований и в первую очередь — повышение чувствительности аппаратуры. Широко использовавшийся в 80-х годах XX в. стандартный сейсмометр СМ-3 не позволял достичь достаточной чувствительности для надежной регистрации сейсмического шума в диапазоне частот 10-100 Гц. Это привело к созданию высокочувствительных сейсмометров резонансного типа с коэффициентом преобразования  $(2 \dots 7) \times 10^6$  В/м и диапазоном рабочих частот 15-40 Гц, являющихся по сути датчиками

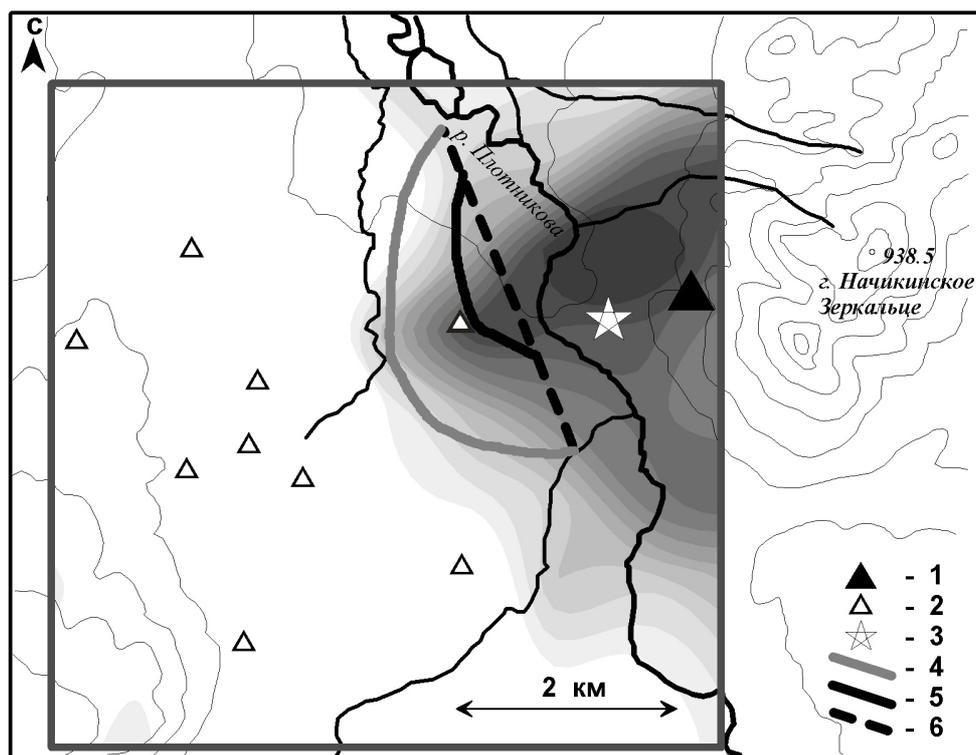
интенсивности спектральных компонент шума (Рыкунов и др., 1978). В качестве электромеханического преобразователя используется пьезокерамический элемент. Высокая добротность ( $Q \sim 100$ ) позволяет добиться необходимой чувствительности и одновременно обеспечивает частотную фильтрацию сигнала.

Следует отметить, что апробация этого сейсмометра на Камчатке проводилась летом 1987 г. в районе вулкана Ключевской при работе отряда сейсмометрии кафедры физики Земли Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова (Смирнов и др., 1990). Пробная регистрация велась в шурфе на глубине 15 м. Была отработана процедура импульсной калибровки датчика. Эксплуатация сейсмометра в полевых условиях показала его надежность и удобство работы с ним.

Именно такие сейсмометры используются в настоящее время на станциях регистрации ВСШ «Начики» и «Карымшина» на Камчатке, «Эримо» на о. Хоккайдо, «Шикотан» на одноименном острове Малой Курильской гряды (Салтыков и др., 2006). Как правило, датчики настроены на рабочую частоту 30 Гц. Ведется запись огибающей сигнала. Более подробно система регистрации описана в работе (Салтыков и др., 2006).

#### ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ОБЛАСТИ, КОНТРОЛИРУЕМОЙ СТАНЦИЕЙ «НАЧИКИ»

При исследованиях сейсмического излучения возникает вопрос о размерах области сбора информации, примыкающей к месту регистрации, для того или другого частотного диапазона. В работе (Лутиков, 1992) показано, что для сейсмического сигнала на частоте 30 Гц эффективный радиус влияния источников эндогенного микросейсмического шума составляет около 8 км. Таким образом, можно говорить о том, что станция ВСШ «Начики» ( $53.1^\circ$  с.ш.,  $157.8^\circ$  в.д.) регистрирует микросейсмическое поле, генерируемое геофизической средой в радиусе первых километров от станции. Что представляет собой эта область? Район регистрации принадлежит к долгоживущей глубинной разломной зоне северо-западного простирания, пересекающей южную часть п-ва Камчатка, так называемой Петропавловско-Малкинской зоне поперечных дислокаций. С ней связано внедрение цепочки крупных интрузивных тел и интенсивная палеогеново-неогеновая гидротермальная деятельность (Гидротермальные ..., 1976). Сейсмопостамент установлен на склоне горы Начикинское зеркальце, относящейся к системе Ганальского хребта в центральной части Южной



**Рис. 2.** Схема района, прилежащего к станции регистрации ВСШ «Начики». 1 - станция ВСШ; 2 - станции сейсмической антенны (1999 г.); 3 - термальная площадка Начикинского месторождения термальных вод; 4 - контур отрицательной магнитной аномалии по уровню  $-2000$  нТл; 5 - контур отрицательной магнитной аномалии по уровню  $-4000$  нТл; 6 - северо-восточная граница зоны магнитометрических исследований (Чебров, 1999)<sup>1</sup>. На схему района наложена карта распределения интенсивности источников сейсмической эмиссии по (Кугаенко и др., 2004). Наибольшей интенсивности излучения соответствует более темный цвет. Размеры сканируемой области - квадрат  $6 \times 6$  км. Приведен результат расчетов для глубины  $1000$  м.

Камчатки. Гора Начикинское зеркальце имеет высоту  $936$  м и представляет собой крупную интрузию миоценового возраста, породы которой представлены гранодиоритами и кварцевыми диоритами и имеют сильно трещиноватую структуру. Важной особенностью области сбора микросейсмической информации является наличие гидротермальной системы - Начикинского месторождения низкотемпературных ( $T < 100^\circ\text{C}$ ) термальных вод. Водовмещающими являются непроницаемые породы, которые пересечены относительно изолированными трещинами и зонами дробления, по ним и происходит циркуляция теплоносителя. Современные гидротермы Начикинской зоны трудно увязать с какими-либо недавними вулканическими процессами. Гидротермальную деятельность, по-видимому, вызывают тепловые аномалии, приуроченные к активизированным разломным зонам. Формирование гидротерм можно объяснить поступлением снизу по глубокопроникающим тектоническим трещинам горячего водного флюида, генерация которого не связана с внутрикоровыми магматическими телами, а является следствием самостоятельного глубинного процесса (Гидро-

термальные ..., 1976). Термальная площадка (зона разгрузки Начикинского месторождения) находится на расстоянии около  $1$  км от точки установки датчика ВСШ.

Исследуемая территория малонаселена, инфраструктура не оказывает существенного антропогенного влияния на регистрируемое поле. По данным Камчатской региональной сети сейсмических станций локальная сейсмичность в зоне регистрации не выявлена.

В 1999 г. в районе населенного пункта Начики был проведен комплекс геофизических и сейсмологических работ, одной из целей которых являлась оценка местного уровня микросейсмических шумов. Записи сейсмических сигналов, сделанные в ходе этих работ сейсмической антенной, были использованы для выявления эндогенных источников сейсмического излучения методом эмиссионной томографии (Кугаенко и др., 2004). В районе станции «Начики» в диапазоне глубин до  $5$  км выявлены источники

<sup>1</sup>Чебров В.Н. Отчет по теме «Обследование площадки для размещения МСМ PS36 (г. Петропавловск-Камчатский, Российская Федерация)». Фонды Камчатского филиала Геофизической службы РАН. Петропавловск-Камчатский, 1999. 120 с.

эндогенного сейсмического шума, согласующиеся с положением интрузивного массива Начикинское зеркальце и выходом гидротерм на дневную поверхность (рис. 2). Максимальный уровень излучения наблюдается на глубинах 2-4 км. Выход термальных вод на поверхность соответствует наиболее трещиноватым, раздробленным зонам вмещающих пород, и наблюдаемая в этом месте аномалия отвечает существующим представлениям о наиболее интенсивном излучении среды именно в зонах нарушений. Породы, окружающие зоны, проводящие на поверхность термальные воды, находятся в состоянии повышенного напряжения по отношению к фоновым напряжениям региона, повышенного температурного градиента и активных геохимических процессов. В этих условиях процесс релаксации накопленной породой упругой энергии проходит в виде последовательности актов сейсмической эмиссии, каждый из которых отражает локальный сброс напряжений в окрестности проводящих термальные воды каналов. При этом максимальная аномалия интенсивности микросейсмического излучения совпадает в плане и с отрицательной магнитной аномалией, выделенной здесь по данным исследований естественного геомагнитного поля (Чебров, 1999)<sup>1</sup>. Магнитная аномалия может быть связана как со скрытым интрузивным телом, возможность существования которого в этом районе под-тверждается геологическими данными, так и с погребенным под рыхлыми осадочными отложениями полем гидротермально измененных пород, связанных с эволюцией месторождения.

Таким образом, по результатам эмиссионной томографии доминирующая часть микросейсмической информации из зоны, ближней к станции ВСШ «Начики», обусловлена сильно трещиноватыми породами интрузивного массива горы Начикинское зеркальце и областью, вмещающей гидротермальную систему. Эти геологические объекты пространственно относятся к области, которая по (Лутиков, 1992) для станции «Начики» определяется как зона влияния источников ВСШ. Следовательно, столь удачное расположение регистрирующей ВСШ аппаратуры позволяет рассматривать этот пункт как перспективный в плане выделения эндогенных компонент ВСШ и исследования связи параметров ВСШ с вариациями напряженно-деформированного состояния земной коры.

### ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ВСШ

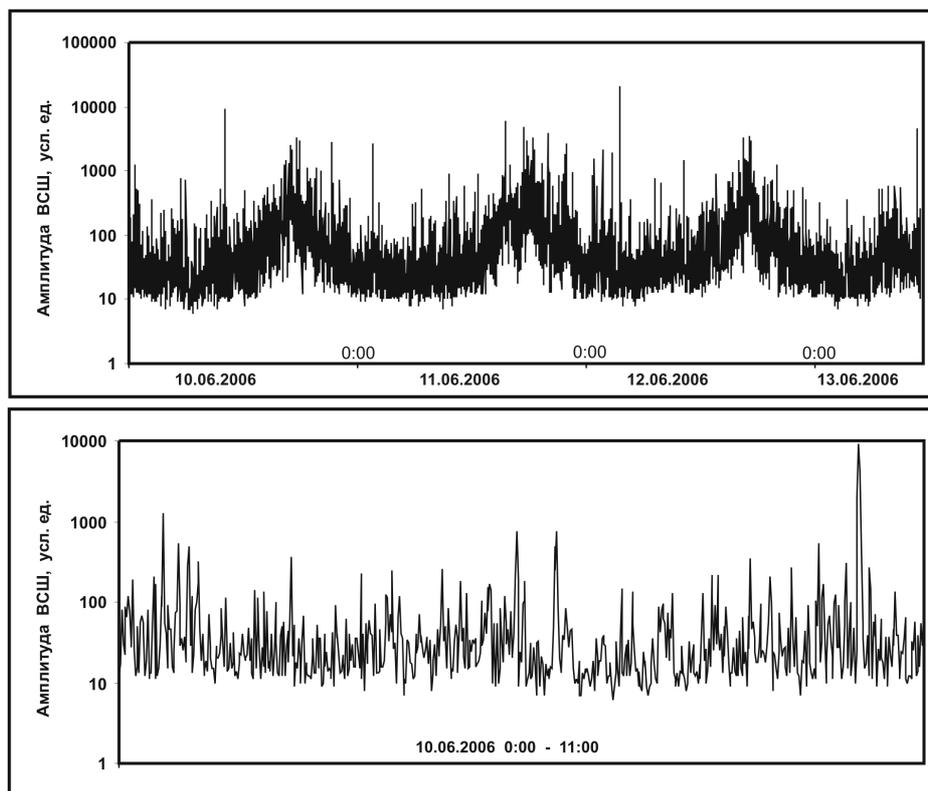
В ходе двадцатилетних исследований ВСШ на Камчатке было решено значительное число проблем, связанных как с методической стороной

ведения долговременных наблюдений, так и с получением новых знаний об этом геофизическом явлении. Условно весь комплекс выполненных работ можно разбить на три последовательных этапа.

**I. 1987-1995 гг.** Этот период связан с организацией наблюдений на станции «Начики» и получением первых важных научных результатов (Гордеев и др., 1991б). Из впервые полученных достаточно длинных рядов наблюдений (7 месяцев) были выделены гармоника с периодами основных волн приливного потенциала:  $O_1$  (период  $T = 25.82$  ч.),  $K_1$  ( $T = 23.93$  ч.),  $P_1$  ( $T = 24.07$  ч.),  $Q_1$  ( $T = 26.87$  ч.),  $M_2$  ( $T = 12.42$  ч.),  $S_2$  ( $T = 12.00$  ч.),  $N_2$  ( $T = 12.66$  ч.). Была убедительно показана модуляция сейсмических шумов земными приливами (Гордеев и др., 1995; Салтыков, 1994; Салтыков, 1995). К этому же периоду относятся исследования влияния на ВСШ экзогенных факторов: температуры, ветра, антропогенного воздействия (Гордеев и др., 1991а; Салтыков, 1994). Важнейшим достижением этого начального этапа является организация непрерывных наблюдений. Ряд ВСШ, начатый 30 января 1992 г., продолжает пополняться и в настоящее время и не имеет аналогов в мировой практике. В начале 90-х годов XX в. был разработан, создан и введен в эксплуатацию цифровой микропроцессорный регистратор «КРОТ» (Чебров и др., 1997), который позволил перевести станцию «Начики» с аналоговой на цифровую регистрацию, что и было осуществлено летом 1995 г. В процессе эксплуатации это устройство показало свою высокую надежность. С 1995 по 2006 г. цифровой регистратор «КРОТ» использовался на станции «Начики» в качестве основного записывающего устройства.

На рис. 3 представлен фрагмент записи огибающей ВСШ на станции «Начики» в начале июля 2006 г. В указанное время регистрация велась в исключительно благоприятных погодных условиях, в отсутствие интенсивных ветровых помех, в значительной мере влияющих на уровень регистрируемого сигнала. Характерной особенностью записи является суточный ход. Форма суточной вариации хорошо различима: она имеет «колоколообразный» вид с плавным увеличением, а затем спаданием уровня, с интенсивной флуктуационной составляющей. Амплитуды флуктуаций резко спонтанно меняются на 1-3 порядка. Такая интенсивная динамика сигнала иллюстрирует сложную мозаичную и постоянно меняющуюся картину активности источников микросейсмической эмиссии, локализованных в достаточно протяженной и неоднородной области, контролируемой данной станцией ВСШ.

Долговременные наблюдения ВСШ позволили обнаружить важное свойство отклика ВСШ



**Рис. 3.** Фрагмент записи огибающей ВСШ, полученной с использованием цифрового регистратора «КРОТ» на станции «Начики». Вверху — запись с 10.06.2006. 0 час. 0 мин. до 13.06.2006 10 час. 0 мин. по местному времени. Внизу более детально представлен 11-часовой участок этой записи. Каждая точка соответствует минутному среднеквадратичному значению амплитуды сигнала.

на приливное воздействие: эффект не является стабильным во времени. Участки существования приливной компоненты сменяются участками ее отсутствия, меняются амплитудно-фазовые соотношения между волнами прилива и компонентами ВСШ. Это объясняет сложность выявления приливных гармоник при анализе не столь продолжительных наблюдений. В 90-х годах XX в. по результатам исследований ВСШ на Камчатке выдвинута гипотеза о связи вариаций фазы приливной компоненты ВСШ с геодинамическими процессами в регионе (Салтыков, 1994; Салтыков и др., 1997а; Салтыков и др., 1998). В частности, выявлена устойчивая *синхронизация выделенной из ВСШ приливной компоненты с гравитационным приливным потенциалом*. По данным за 1992-1995 гг. этот эффект наблюдался от нескольких недель до двух месяцев перед сейсмическими событиями с магнитудой  $M \geq 6.0$ , происходившими на эпицентральной расстоянии  $\Delta$  до 250 км от пункта регистрации, и проявлялся как стабилизация фазового сдвига  $\Delta\phi$  между приливной компонентой ВСШ и приливной волной на определенном уровне. На этих интервалах времени отклик ВСШ на приливное воздействие может рассматриваться как устой-

чивый процесс. Обнаруженный эффект лег в основу метода контроля напряженного состояния земной коры перед сильными землетрясениями. С этими работами можно связать второй этап исследований ВСШ.

**II. 1996-2000.** Этот этап связан с дальнейшим накоплением данных и переходом на прогнозирование землетрясений в режиме, близком к реальному времени. Переход в 1995 г. на цифровую регистрацию позволил значительно улучшить качество данных и повысить надежность получаемых результатов. На основе описанного выше эффекта был разработан метод прогноза землетрясений по изменению характера отклика ВСШ на приливное воздействие. Он оформлен в виде патента (Пат. 2105332..., 1998). Оригинальным в данной методике является использование земных приливов, обусловленных лунно-солнечным гравитационным воздействием, в качестве калибровочного (эталонного) сигнала с известными характеристиками при изучении закономерностей микросейсмического излучения. В качестве опорного (пилот-) сигнала выбрана волна  $O_p$ , так как на Камчатке она имеет наибольшую помехозащищенность и относительно большую амплитуду.

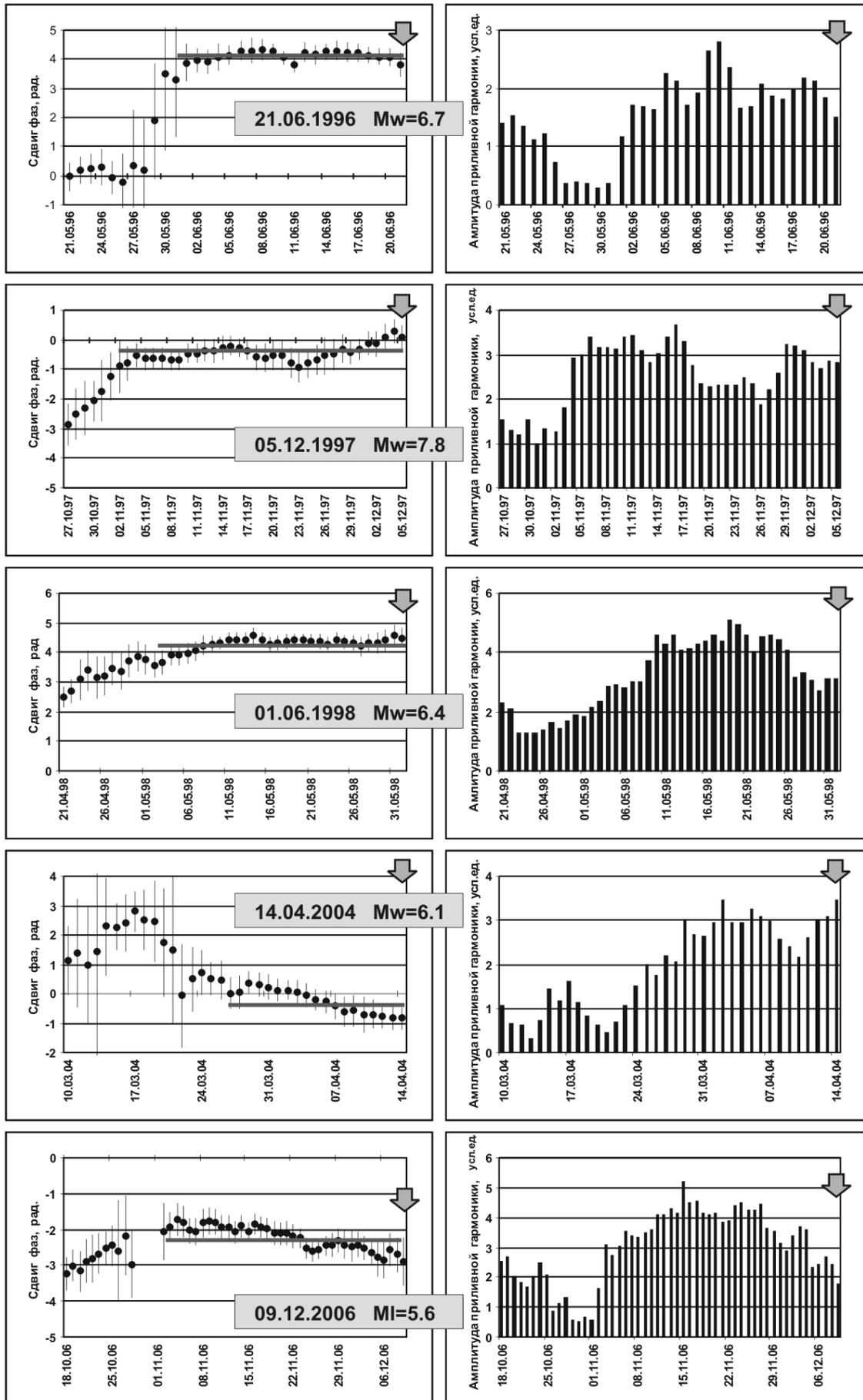


Рис. 4.

На рис. 4 представлены примеры стабилизации фазового сдвига  $\Delta\phi$  между приливной компонентой ВСШ и приливной волной  $O_1$  перед сильными землетрясениями, которые произошли на Камчатке за годы мониторинга ВСШ. Методика расчета описана в (Салтыков и др., 1997а).

Заключения о сейсмической опасности, основанные на мониторинге ВСШ по этой методике, с 1996 года еженедельно подавались в Общий совет по прогнозу землетрясений Института вулканологии ДВО РАН и Камчатской опытно-методической сейсмологической партии Геофизической службы РАН, работающий под руководством академика РАН С.А. Федотова. В 1998 г. было образовано Камчатское отделение Федерального центра прогнозирования землетрясений (с 2006 г. – Камчатский филиал Российского экспертного совета по прогнозу землетрясений), куда также регулярно передаются прогностические заключения. Основные результаты этого периода, включая выявление предвестников землетрясений, отражены в работах (Левина и др., 2003; Рыкунов и др., 1998; Салтыков и др., 1997а, 1997б, 1998).

**III. 2001 г. – настоящее время.** Начало третьего этапа совпадает с организацией на Камчатке второго пункта наблюдений. Новая станция ВСШ (рис. 1) вошла в состав комплексной геофизической обсерватории «Карымшина» ( $52.8^\circ$  с.ш.,  $158.15^\circ$  в.д.), созданной в 1999 г. в рамках совместного российско-японского научного проекта по комплексному исследованию предвестников землетрясений (Проект МНТЦ 1121). Летом 2001 г. наблюдения были переведены в режим непрерывной регистрации.

Значительный объем результатов, полученных за годы регистрации и исследований ВСШ, в том числе касающихся связи параметров ВСШ с процессами подготовки сильных землетрясений в регионе, позволил сделать ряд важных обобщений, на которых в данной статье мы остановимся кратко.

*1. Уточнение диапазона магнитуд и эпицентральных расстояний для прогнозируемого события.*

В настоящее время (1992–2006 гг.) по данным камчатских станций «Начики» и «Карымшина» зафиксированы предвестниковые ситуации для 27 землетрясений, произошедших в Камчатском регионе, в диапазоне магнитуд от 5.0 до 7.9 и эпицентральных расстояний до 400 км, из них 18 землетрясений – магнитудой  $M \geq 6.0$  (таблица). Для семи из них предвестник наблюдался по данным обеих станций одновременно.

Исследована зависимость магнитуды от эпицентрального расстояния для этих землетрясений (рис. 5). Предложено рассматривать нижнюю границу облака точек как множество критических значений, связывающих минимальное значение магнитуды возможного землетрясения с его эпицентральным расстоянием от точки наблюдения. Выявлена следующая эмпирическая зависимость:

$$M \geq 4.0 + 0.008 \times \Delta, \Delta < 400 \text{ КМ},$$

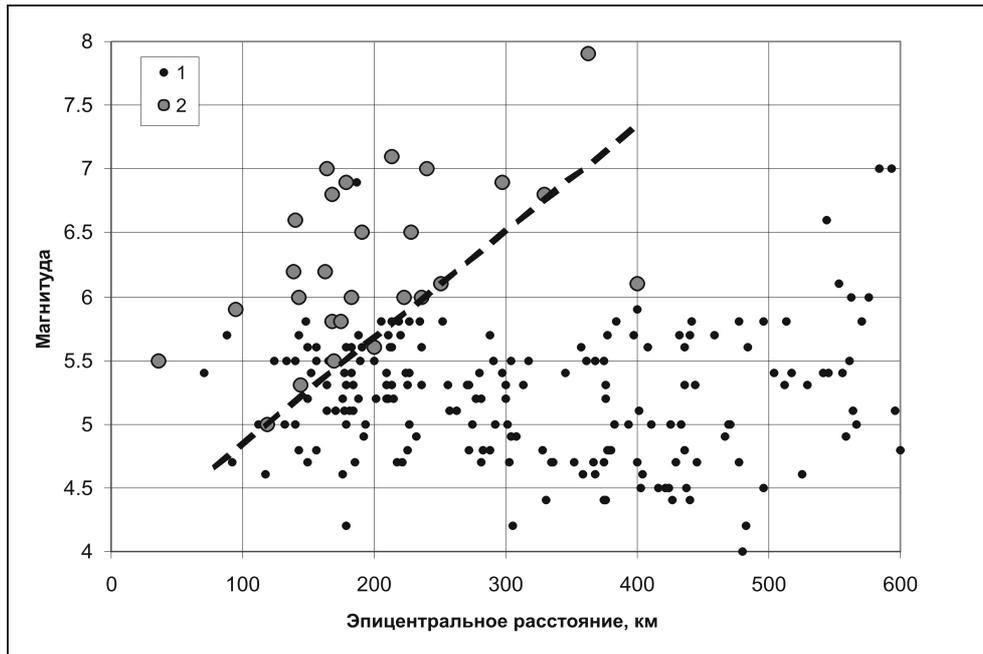
где  $M$  – магнитуда землетрясения,  $\Delta$  – эпицентральное расстояние. При обобщении данных отмечено, что максимальное эпицентральное расстояние, на котором процесс подготовки землетрясения сопровождался характерным предвестниковым поведением ВСШ, составляет около 400 км. Землетрясение 14.04.2004 с  $M_w=6.1$  (№ 15 в таблице), которое произошло на расстоянии почти в 400 км от станций, предварялось предвестниковой ситуацией, но к этому результату следует относиться с осторожностью, так как пока он зафиксирован лишь для единственного случая и не вписывается в общую тенденцию (рис. 5). Поэтому при определении коэффициентов эмпирической регрессионной зависимости «магнитуда – эпицентральное расстояние» это землетрясение не учитывалось.

Из всех землетрясений с  $M \geq 6.0$  и  $\Delta \leq 400$  км за 1992–2006 гг. для единственного события 08.03.1999  $M=7.0$  предвестник по методике выделен не был. Для землетрясений с  $M < 6.0$  стабилизация параметра  $\Delta\phi$  наблюдалась лишь в единичных случаях.

*2. Воспроизводимость наблюдаемых эффектов.*

16 июня 2003 г. и 10 июня 2004 г. на Камчатке произошли два глубоких землетрясения (№ 14 и 16 в таблице), перед которыми был выявлен предвестник по методике ВСШ. Основываясь на пространственной близости гипоцентров, схожести параметров очагов, высокой корреляции волновых форм, наличии афтершоков, не характерном для сильных камчатских землетрясений этого диапазона глубин, предлагается рассматривать пару этих землетрясений как дуплет – пару разнесенных во времени однотипных глубинных подвижек в локальной относительно упругой области. Предполагалось, что подготовка таких землетрясений должна иметь сходные черты. Именно такой эффект и наблюдался для этих землетрясений по данным обеих камчатских станций: «Начики» и «Карымшина» (группа I на

**Рис. 4.** Примеры стабилизации фазового сдвига  $\Delta\phi$  между приливной компонентой ВСШ и приливной волной  $O_1$  (слева) и диаграммы, иллюстрирующие увеличение амплитуды приливной гармоник перед сильными камчатскими землетрясениями. Стрелкой отмечен момент землетрясения, горизонтальной линией – участок стабилизации параметра.



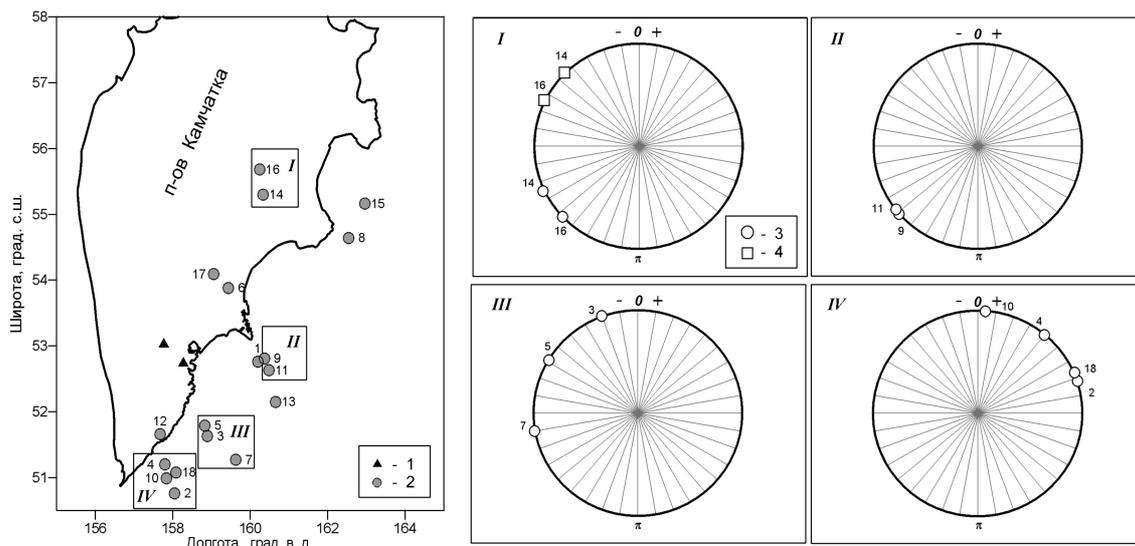
**Рис. 5.** Эмпирическая зависимость, связывающая минимальное значение магнитуды возможного землетрясения с его эпицентральным расстоянием от точки наблюдения. 1 – землетрясения, перед которыми предвестник по рассматриваемой методике не был выделен; 2 – землетрясения, сопровождавшиеся предвестниковой ситуацией.

рис. 6). Подробнее данная ситуация рассмотрена в (Кугаенко, Салтыков, 2005). Появление двух или более идентичных землетрясений в одном месте с разрывом во времени, достаточным для формирования предвестника, – явление редкое,

даже уникальное. Оно дало возможность проверить и принципиально подтвердить *воспроизводимость* наблюдаемых эффектов в естественных условиях сейсмоактивного региона. Полученные в результате этих исследований результаты под-

**Таблица.** Камчатские землетрясения 1992-2006 гг. с  $M \geq 6.0$ , перед которыми была выявлена синхронизация выделенной из ВСШ приливной компоненты с волной  $O_1$  гравитационного приливного потенциала.

	Дата, д. м. г.	Время, ч. мин. с			Широта, гр., с.ш.	Долгота, гр., в.д.	Глубина, км	Класс	Магнитуда		Эпицентральное расстояние, км	
		$M_C$	$M_W$	$\Delta_{\text{Начики}}$					$\Delta_{\text{Карым}}$			
1	02.03.1992	12	29	38.5	52.76	160.2	20	14.6		6.8	168	
2	13.07.1992	15	34	3.3	50.76	158.05	39	13.7		6.1	250	
3	19.12.1992	12	14	21.7	51.63	158.9	40	13.4		6.0	182	
4	08.06.1993	13	3	37	51.2	157.8	40	15	7.3	7.5	213	
5	13.11.1993	1	18	6.8	51.79	158.83	40	14.6	7.0	7.0	164	
6	01.01.1996	9	57	45.8	53.88	159.44	0	14.3	6.9		141	
7	21.06.1996	13	57	5.6	51.27	159.63	2	13.9	7.1	6.7	241	
8	05.12.1997	11	26	51	54.64	162.55	10	15.5	7.7	7.8	363	
9	01.06.1998	5	34	2.9	52.81	160.37	31	13.8	6.3	6.4	178	
10	18.09.1999	21	28	34.2	50.99	157.84	40	13.8	6.0	6.0	236	
11	08.10.2001	18	20	37.5	52.63	160.49	24	14.1		6.3	Не раб.	148
12	16.10.2002	10	12	22.6	51.66	157.68	108	13.2		6.2	162	137
13	15.03.2003	19	41	24.3	52.15	160.66	4	13.3	6.4	6.0	222	175
14	16.06.2003	22	8	1.8	55.3	160.34	190	14.7	6.6	6.9	297	306
15	14.04.2004	1	54	8.4	55.16	162.97	47	13.5	6.1	6.1	399	391
16	10.06.2004	15	19	54.9	55.68	160.25	208	14.9	6.6	6.8	330	342
17	22.05.2006	13	08	0	54.09	159.06	205	13.4	6.0	6.2	138	153
18	24.08.2006	21	50	37.0	51.08	158.09	40	13.8	6.4	6.5	228	194



**Рис. 6.** Слева: карта эпицентров землетрясений с  $M \geq 6.0$ , перед которыми наблюдалась синхронизация между приливной компонентой ВСШ и приливной волной  $O_1$  гравитационного потенциала в 1992-2006 гг. Нумерация землетрясений соответствует таблице. Справа: круговые диаграммы, на которые нанесены значения фазового сдвига  $\Delta\phi$  для пространственно близких событий (группы I-IV). I – станции регистрации ВСШ; 2 – эпицентры землетрясений; на круговых диаграммах – значения  $\Delta\phi$  на станциях «Начики» (3) и «Карымшина» (4).

тверждают: 1) выдвинутую ранее гипотезу об обусловленности уровня стабилизации фазы параметрами очага; 2) информативность анализируемого параметра.

*3. Пространственная связь параметров приливной компоненты сейсмических шумов с областями подготовки сильных землетрясений.*

Результаты многолетних исследований ВСШ позволили предположить, что существует определенная связь значения уровня стабилизации приливного параметра (фазового сдвига) с параметрами очага готовящегося землетрясения и его географическим положением (Салтыков и др., 1998).

Обобщение данных наблюдений за ВСШ на Камчатке в 1992-2006 гг. позволило из числа землетрясений, перед которыми наблюдался предвестник, выделить несколько пространственных групп. Для событий каждой группы стабилизация параметра  $\Delta\phi$  зафиксирована на близких значениях. На рис. 6 приведены пространственные группы, в которые входят землетрясения с  $M \geq 6.0$ . (Более слабые события в данной статье не рассматриваются). На круговых диаграммах отмечены значения параметра  $\Delta\phi$  для выделенных пространственных групп (рис. 6).

Таким образом, в ходе исследований ВСШ в последние годы удалось значительно уточнить и дополнить разработанную ранее прогностическую методику. Метод получил развитие в направлении, обеспечивающем уменьшение пространственной неопределенности при сейсмическом прогнозе.

Третий этап исследований также связан с работами по построению моделей, позволяющих понять причины экспериментально обнаруженного явления синхронизации приливной компоненты ВСШ с волной гравитационного потенциала перед сильными землетрясениями.

#### ВОЗМОЖНЫЙ ФИЗИЧЕСКИЙ МЕХАНИЗМ СИНХРОНИЗАЦИИ ПРИЛИВНОЙ КОМПОНЕНТЫ ВСШ С ВОЛНОЙ ГРАВИТАЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА ПЕРЕД СИЛЬНЫМИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМИ

Рассмотрим концептуальную модель явления. В ее основу положены:

- концепция активной геофизической среды (Николаев, 1991; Садовский, 2004);

- результаты многочисленных лабораторных экспериментов, выполненных на образцах горных пород при различных величинах сжимающего напряжения и внешнем вибровоздействии (Богомолов и др., 2001; Куксенко, 2005; Куксенко и др., 2003; Мирзоев и др., 1991; Садовский и др., 1981; Соболев, Пономарев, 2003; Трапезников и др., 2000);

- 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 законо-

мерностей сейсмо- и акустоэмиссионных сигналов в нагруженных образцах горных пород при дополнительном внешнем энерговоздействии (Богомоллов и др., 2006)

- рассмотренные выше результаты исследований связи сейсмической эмиссии с приливными процессами перед сильными землетрясениями, полученные на Камчатке, в естественных условиях сейсмоактивного региона.

Сейсмическая эмиссия является одним из свойств активной геофизической среды, характеризующейся, в частности, энергонасыщенностью и нелинейной тензо- и виброчувствительностью. Сейсмический шум является низшим энергетическим уровнем единого сейсмического процесса и, как и землетрясения, связан с разрушением среды и образованием разрывных нарушений, но на микро- и мезоуровнях. Спонтанно возникающие отдельные акты микроразрушения, часто следуя один за другим, сливаются в непрерывный процесс, интенсивность которого зависит от общего напряженного состояния среды, пространственных и временных градиентов напряжений и раздробленности структуры. Каждое такое событие ведет к локальному сбросу напряжений, а весь процесс в целом иллюстрирует тонкую структуру релаксации горных пород и сейсмического течения горных масс на уровне отдельных актов крипа. Особенно сильно сейсмическая эмиссия проявляется в объемах среды, характеризующихся развитыми дефектами структуры и динамической неустойчивостью, вызванной геодинимическими процессами и изменениями напряженного состояния.

В последние годы получено достаточно много результатов лабораторных экспериментов с образцами горных пород, которые находились под нагрузкой (Соболев, Пономарев, 2003). Исследовалась, в частности, акустическая эмиссия, которую в лабораторных масштабах можно рассматривать как аналог сейсмичности. Некоторые проявления приливных геодинимических процессов (таких как триггерное влияние вибраций на сейсмический режим) также были смоделированы в контролируемых лабораторных условиях (Богомоллов и др., 2001; Куксенко, 2005; Куксенко и др., 2003; Мирзоев и др., 1991; Садовский и др., 1981; Соболев, Пономарев, 2003; Трапезников и др., 2000; Lockner, Beeler, 1999). Аналогом приливов служили слабые вибрации с малыми амплитудами, много меньше среднего уровня квазистационарного напряжения. Результаты лабораторных экспериментов хорошо согласуются с результатами по исследованию отклика ВСШ на приливы.

В ходе экспериментов установлено, что вибрационные воздействия влияют и на кинетику микротрещин в гетерогенных средах, что отме-

чается как изменение активности акустической эмиссии под действием вибрационных полей. Были обнаружены нелинейные эффекты такого влияния, в частности, временная задержка эмиссионной реакции среды и последствие (Богомоллов и др., 2001). Время задержки реакции на действие вибраций может сильно различаться для различных материалов и условий нагружения (Соболев, Пономарев, 2003). Это явление отражено в модельных построениях (Богомоллов и др., 2006), описывающих эмиссионный отклик среды на действие физических полей при умеренных, заведомо докритических нагрузках, как взаимодополняющую альтернативу «релаксация-активация». Модель охватывает как процесс релаксации напряжений через сейсмическую эмиссию, так и рост эмиссионной активности при возрастании напряжений.

В работе (Манжиков, 2002) проведены анализ и сравнение распределений временных интервалов между акустическими сигналами в условиях постоянной нагрузки и во время виброосанса. Отмечено, что в присутствии вибраций генерация акустической эмиссии приобретает упорядоченный характер: изначально одномодальное, близкое к пуассоновскому, распределение, характерное для простейших стационарных потоков случайных событий без последствия, во время виброосанса сменяется полимодальным распределением со смещением основной моды в сторону увеличения временного интервала. При этом в распределении появляются моды, кратные частоте вибровоздействия. Это явление связывается с синхронизирующим эффектом вибраций.

Синхронизация акустической эмиссии с внешним периодическим слабым нагружением, имитирующем приливы, наблюдалась и в экспериментах (Lockner, Beeler, 1999; Ponomarev et al., 2006)

Как было отмечено выше, радиус сбора микросейсмической информации станцией ВСШ на частоте 30 Гц оценивается в 8 км (Лутиков, 1992). Станции регистрации ВСШ «Начики» и «Карымшина» удалены от сейсмофокальной зоны более чем на 100 км. Следовательно, зафиксированный нами эффект синхронизации ВСШ с приливами не относится непосредственно к очаговым зонам готовящихся сильных землетрясений, а связан с изменением состояния среды в областях, прилежащих к станции и имеющих линейные размеры до нескольких километров. Природа такого значительного дальнего действия при появлении предвестников на расстояниях в несколько сотен километров от очага землетрясения - вопрос дискуссионный и все еще не решенный до конца. Одним из возможных объяснений изменения тензочувствительности ВСШ в период подготовки сильных земле-

трясений на большом расстоянии от их очагов может стать гипотеза (Алексеев и др., 2001), в которой рассматриваются процессы развития системы микротрещин и формирования протяженных приповерхностных зон дилатансии и микротрещиноватости. Предполагается, что в результате взаимодействия региональных и локальных тектонических сил в сейсмоактивных зонах могут возникать области высокой концентрации тектонических напряжений. При этом изменение физических и реологических свойств горных пород и аномалии геофизических полей различной природы охватывают области земной коры с линейными размерами десятки и сотни километров, не всегда совпадая с областью готовящегося очага, что было показано авторами этой работы с помощью математического моделирования. Наиболее универсальным механизмом развития изменений в среде на стадии подготовки сильного землетрясения является активизация трещин некоторого масштабного уровня не только в области гипоцентра, но и в пределах протяженных зон верхней части земной коры, разуплотненных под действием скалывающих и растягивающих тектонических напряжений вблизи свободной от напряжений дневной поверхности. Впервые возможность использования эффекта дилатансии для прогноза землетрясений была отмечена В.Н. Николаевским (1982). В работе (Алексеев и др., 2001) расчет областей дилатансии был проведен для широкого набора реалистичных вариантов строения среды и условий нагружения при использовании альтернативных критериев разрушения материала под действием растяжения и скалывающих нагрузок. Это позволяет предположить, что приповерхностная зона дилатансии может существовать в реальных природных условиях, характеризующихся сложностью, мозаичностью, контрастностью свойств. Энергетической средой, в которой осуществляется связь очаговой и приповерхностной зон дилатансии, является единое поле напряжений, создаваемое силами в источнике готовящегося землетрясения.

Установлено, что степень воздействия вибраций на нагруженные образцы горных пород (Богомолов и др., 2001) зависит от величины изначально приложенного напряжения. Нагрузки, при которых в лабораторных условиях удалось наблюдать акустическую эмиссию при слабых вибрациях, соответствуют дилатансионной стадии деформации. Именно в этих условиях, при дилатансионном деформировании горных пород, проявляется удивительно высокая чувствительность неупругих процессов к действию слабых вибраций. В работах (Николаев, 1991; Садовский и др., 1987) это явление связывается с блочным, иерархически-неоднородным строе-

нием реальной активной энергонасыщенной геофизической среды, что и определяет закономерности диссипации энергии в горных породах и динамику системы.

Таким образом, 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.

Как теоретические представления о возможном развитии дилатансионных зон, так и результаты лабораторного моделирования акустоэмиссионных процессов согласуются с экспериментально полученными данными об особенностях сейсмоэмиссионного отклика на приливы на Камчатке в интервалах времени, предшествовавших сильным землетрясениям. В случае рассмотрения связи «приливная компонента ВСШ – приливной потенциал» приведенная выше схема может лечь в основу объяснения стабилизации отклика ВСШ на приливный деформационный процесс.

Следует отметить, что приведенную в работе (Алексеев и др., 2001) концепцию можно рассматривать как одну из возможных моделей формирующегося очага землетрясения. К сожалению, убедительных прямых экспериментальных доказательств вызванной очагом дилатансии в удаленных приповерхностных областях земной коры до сих пор не получено. Одной из возможных альтернатив может быть, например, одновременное независимое формирование как очага землетрясения, так и находящихся в метастабильном состоянии областей среды вблизи регистрирующих станций под действием вариаций регионального напряжения. Эта проблема требует дальнейшего изучения с привлечением дополнительных экспериментальных данных.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Несмотря на непростые для отечественной науки 90-е годы XX в., на Камчатке удалось сохранить и усовершенствовать исследования такого интересного и все еще не полностью понятного явления, как сейсмическая эмиссия. За свою 20-летнюю историю изучение ВСШ получило значительное развитие, и от стадии экспериментальных наблюдений исследования были переориентированы на более сложные проблемы, такие как прогноз землетрясений и моделирование явления. 15-летний ряд непрерывных режимных наблюдений, полученный на станции «Начики», является информационной основой для дальнейшего получения новых знаний об этом процессе.

Перспективы исследований ВСШ связаны с переводом регистрирующих станций с записи огибающей сигнала к волновым формам на основе современных регистраторов, обладающих возможностью ведения длительной непрерывной высококачественной записи исходного сигнала. На станции «Начики» с октября 2006 года параллельно с регистрацией огибающей сигнала ВСШ аппаратурой «КРОТ» производится экспериментальная запись оригинального сигнала ВСШ с помощью регистратора GSR-24, имеющего в своем составе 24-разрядный АЦП, привязку внутренней временной шкалы к времени UTC с помощью антенны GPS, большой объем (2 Гб) внутренней энергонезависимой памяти. При этом при частоте исходного сигнала 30 Гц, частота дискретизации составляет 100 Гц.

Планируется дальнейшее развитие моделирования в следующих направлениях:

- разработка физической модели, обосновывающей возможность контроля напряженного состояния среды в процессе подготовки сильного землетрясения по изменению отклика ВСШ на приливы на значительном расстоянии от готовящегося очага;

- построение зон напряженно-деформированного состояния для приграничных областей полупространства при действии внутренних статических сосредоточенных сил (с учетом гравитационных и тектонических сил) для заданного набора параметров очага;

- моделирование эффекта модуляции ВСШ приливами при распространении сигнала в гетерогенной среде, обладающей линейной диссипацией и нелинейной упругостью (Зайцев, Матвеев, 2006);

- моделирование приливного воздействия на систему сейсмических излучателей (трещин) в терминах теории синхронизации.

Исследования связи параметров ВСШ с приливами входят в проект «Изучение в режиме

реального времени тонкой структуры разномасштабных сейсмических процессов на территории России с целью создания параметрической основы для разработки и совершенствования методов прогноза землетрясений» по программе №16 фундаментальных исследований Президиума РАН «Изменения окружающей среды и климата: природные катастрофы». На разных этапах работы организация наблюдений и исследования ВСШ были поддержаны государственной программой «Ведущие научные школы России» (проект 96-15-98324, руководитель Лев Николаевич Рыкунов), Международным научно-техническим центром (проекты №№ 1121, 2990), Российским фондом фундаментальных исследований (гранты №№ 93-05-14104, 95-05-15113, 98-05-65443, 01-05-65325, 04-05-65210, в настоящее время - 05-05-64276, 07-05-00225).

## Список литературы

- Алексеев А.С., Белоносов А.С., Петренко В.Е.* О концепции многодисциплинарного прогноза землетрясений с использованием интегрального предвестника // Проблемы динамики литосферы и сейсмичности. Вычислительная сейсмология. Вып. 32. М.: ГЕО., 2001. С. 81-97.
- Богомолов Л.М., Манжиков Б.Ц., Сычев В.Н. и др.* Виброупругость, акустопластика и акустическая эмиссия нагруженных горных пород // Геология и геофизика. 2001. Т. 42. № 10. С. 1678-1689.
- Богомолов Л.М., Сычев В.Н., Ильичев П.В.* Феноменологическая модель потока возбужденных эмиссионных сигналов геосреды // Физика Земли. 2006. № 9. С. 71-80.
- Гидротермальные системы и термальные поля Камчатки / Под ред. В.М. Сугрובה. Владивосток, 1976. 284 с.
- Гордеев Е.И., Салтыков В.А., Сеницын В.И., Чебров В.Н.* Воздействие прогрева земной поверхности на высокочастотный сейсмический шум // Доклады АН СССР. 1991а. Т. 316. № 1. С. 85-88.
- Гордеев Е.И., Салтыков В.А., Сеницын В.И., Чебров В.Н.* К вопросу о связи высокочастотного сейсмического шума с лунно-солнечными приливами // Докл. РАН. 1995. Т. 340. № 3. С. 386-388.
- Гордеев Е.И., Чебров В.Н., Салтыков В.А., Сеницын В.И.* Первые результаты исследования высокочастотного сейсмического шума на Камчатке // Вулканология и сейсмология. 1991б. № 1. С. 104-111.
- Зайцев В.Ю., Матвеев Л.А.* Амплитудно-зависимая диссипация в микро неоднородных средах с линейным поглощением и упругой нелинейностью // Геология и геофизика. 2006. № 5. С. 695-710.

- Кугаенко Ю.А., Салтыков В.А.* Отклик параметров сейсмических шумов на подготовку глубоких камчатских землетрясений 2003-2004 гг. // Материалы ежегодной конференции, посвященной дню вулканолога. 30.03-01.04 2005 года. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2005. С. 114-119.
- Кугаенко Ю.А., Салтыков В.А., Сеницын В.И., Чебров В.Н.* Локация источников сейсмического шума, связанного с проявлением гидротермальной активности, методом эмиссионной томографии // Физика Земли. 2004. № 2. С. 66-81.
- Куксенко В.С.* Диагностика и прогнозирование разрушения крупномасштабных объектов // Физика твердого тела. 2005. Т. 47. № 5. С. 788-792.
- Куксенко В.С., Манжиков Б.Ц., Тилегенов К. и др.* Триггерный эффект слабых вибраций в твердых телах // Физика твердого тела. 2003. Т. 45. № 12. С. 2182-2186.
- Левина В.И., Гусев А.А., Павлов В.М. и др.* Кроноцкое землетрясение 5 декабря 1997 года с  $MW=7.8$ ,  $I_0=8$  (Камчатка) // Землетрясения Северной Евразии в 1997 году. Обнинск, 2003. С. 251-271.
- Лутиков А.И.* Оценка эффективного радиуса влияния источников эндогенного микросейсмического шума // Вулканология и сейсмология. 1992. № 4. С. 111-115.
- Манжиков Б.Ц.* Синхронизация акустической эмиссии при деформировании горных пород в поле низкочастотных вибраций // Физические основы прогнозирования разрушения горных пород. Материалы 1-ой Международной школы-семинара. Красноярск, 9-15 сентября 2001. Красноярск, 2002. С. 42-47.
- Мирзоев К.А., Виноградов С.Д., Рузибаев З.* Влияние микросейсм и вибраций на акустическую эмиссию // Физика Земли. 1991. № 12. С. 69-72.
- Николаев А.В.* Развитие нетрадиционных методов в геофизике // Физические основы сейсмического метода. М.: Наука, 1991. С. 5-17.
- Николаевский В.Н.* Обзор: земная кора, дилатансия и землетрясения // Механика очага землетрясения. М.: Мир, 1982. С. 133-215.
- Пат. 2105332 Российская Федерация. Способ контроля напряженного состояния земной коры для прогноза сильных землетрясений / Салтыков В.А., Сеницын В.И., Чебров В.Н. № 94042027/25 Заявл. 23.11.94. Опубл. 20.02.98. Бюл. № 5.
- Рыкунов Л.Н., Салтыков В.А., Сеницын В.И., Чебров В.Н.* Характерные параметры высокочастотного сейсмического шума перед сильными камчатскими землетрясениями 1996 г. // Докл. РАН. 1998. Т. 361. № 3. С. 402-404.
- Рыкунов Л.Н., Хаврошкин О.Б., Цыплаков В.В.* Аппаратура и методы для исследования слабых сейсмических эффектов // Деп. В ВИНТИ 28.08.78. № 2919-78. Москва, 1978. 31 с.
- Рыкунов Л.Н., Хаврошкин О.Б., Цыплаков В.В.* Явление модуляции высокочастотных сейсмических шумов Земли // «Открытия в СССР в 1983 г.». Москва: ВНИИПИ, 1984. С. 46.
- Садовский М.А.* Избранные труды: Геофизика и физика взрыва. М.: Наука, 2004. 440 с.
- Садовский М.А., Болховитинов Л.Г., Писаренко В.Ф.* Деформирование геофизической среды и сейсмический процесс. М.: Наука, 1987. 100 с.
- Садовский М.А., Мирзоев К.М., Негматуллаев С.Х., Саломов Н.Г.* Влияние механических вибраций на характер пластических деформаций материалов // Физика Земли. 1981. № 6. С. 32-42.
- Салтыков В.А.* Воздействие геофизических полей на высокочастотный сейсмический шум: Автореф. Дисс. ... канд. Физ.-мат. наук. М.: 1994, 18 с.
- Салтыков В.А.* Особенности связи высокочастотного сейсмического шума и лунно-солнечных приливов // Докл. РАН. 1995. Т. 341. № 3. С. 406-407.
- Салтыков В.А., Сеницын В.И., Чебров В.Н.* Вариации приливной компоненты высокочастотного сейсмического шума в результате изменений напряженного состояния среды // Вулканология и сейсмология. 1997а. № 4. С. 73-83.
- Салтыков В.А., Сеницын В.И., Чебров В.Н.* Изучение высокочастотного сейсмического шума по данным режимных наблюдений на Камчатке // Известия РАН. Физика Земли. 1997б. № 3. С. 39-47.
- Салтыков В.А., Сеницын В.И., Чебров В.Н.* Использование высокочастотного сейсмического шума для среднесрочного прогноза сильных камчатских землетрясений // Кроноцкое землетрясение на Камчатке 5 декабря 1997 года: предвестники, особенности, последствия. Петропавловск-Камчатский: КГАРФ, 1998. С. 99-105.
- Салтыков В.А., Чебров В.Н., Сеницын В.И. и др.* Организация наблюдений сейсмических шумов вблизи сейсмофокальной зоны Курило-Камчатской островной дуги // Вулканология и сейсмология. 2006. № 3. С. 43-53.
- Смирнов В.Б., Черепанцев А.С., Сергеев В.В.* Аппаратурно-методические аспекты регистрации высокочастотного сейсмического шума // Вулканология и сейсмология. 1990. № 2. С. 88-100.
- Соболев Г.А., Пономарев А.В.* Физика землетрясений и предвестники М.: Наука, 2003. 270 с.
- Трапезников Ю.А., Манжиков Б.Ц., Богомолов Л.М.* Влияние слабых вибраций на деформи-

рование горных пород при постоянной нагрузке // Вулканология и сейсмология. 2000. № 1. С. 66-71.

*Чебров В.Н., Воропаева Н.П., Синицын В.И., Салтыков В.А.* Универсальный микроконтроллер для геофизических исследований // Сейсмические приборы. Вып. 28. М.: ОИФЗ РАН, 1997. С. 26-30.

*Lockner D. A. and Beeler N. M.* Premonitory slip and tidal triggering of earthquakes. // Journal of

Geophysical Research - Solid Earth. 1999. V. 104. № B9. doi: 10.1029/1999JB900205.

*Ponomarev A.V., Smirnov V. B., Stroganova S.* Synchronization of acoustic flow by external force in laboratory experiment // 11th International Symposium on Natural and Human Induced Hazards & 2nd Workshop on Earthquake Prediction, June 22-25, 2006, Patras, Greece. Abstract volume. P. 94.

## 20 YEARS OF SEISMIC NOISE INVESTIGATION IN KAMCHATKA: FROM EXPERIMENTAL OBSERVATION TO EARTHQUAKE PREDICTION AND MODELING

**V. A. Saltykov<sup>1,2</sup>, Yu. A. Kugaenko<sup>2</sup>, V. I. Sinitsyn<sup>3</sup>, V. N. Chebrov<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>*Kamchatkan Branch, Geophysical Survey of RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683006;*

<sup>2</sup>*Kamchatka State University by Vitus Bering, 683032, Petropavlovsk-Kamchatsky, Pogranichnaya street, 4.*

20 years have passed since the beginning of investigation of high frequency seismic noise (HFSN) in Kamchatka. In given report the main stages of HFSN investigation are described. The results of HFSN used for search of earthquake precursors are generalized. Conceptual model for synchronization of HFSN and tidal potential before large earthquakes is proposed.