

Научные статьи

УДК 550.343.3+681.323

ОПЫТ КОМПЛЕКСНЫХ СКВАЖИННЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ В ЦЕЛЯХ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ГЕОСРЕДЫ

© 2006 В. А. Гаврилов, Ю. А. Власов, В. П. Денисенко, Ю. В. Морозова, Ю. Ю. Яковлева

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006
e-mail: vgavr@kscnet.ru*

Рассмотрены основные результаты непрерывных долговременных измерений в районе г. Петропавловска-Камчатского с использованием трех новых оригинальных методов геофизического мониторинга: скважинных геоакустических измерений с установкой датчиков на глубинах более 1000 м, измерений естественного электромагнитного излучения в СНЧ-диапазоне частот с использованием подземной электрической антенны, контроля изменений плотности воды в скважине. Сделан вывод, что комплексирование указанных видов геофизического мониторинга дает принципиальную возможность повышения надежности выявления предвестниковых аномалий, более глубокого исследования их физической природы и повышения эффективности краткосрочного прогноза землетрясений.

ВВЕДЕНИЕ

Курило-Камчатская зона является наиболее сейсмичным районом России и одним из самых сейсмоактивных районов мира. По оценкам академика С.А. Федотова (Федотов, 2005), наибольшая опасность в настоящее время существует для района г. Петропавловска-Камчатского, самого большого города Камчатки и Курильских островов. Вероятность землетрясения с магнитудой $M \geq 7.7$ на ближайшие годы для Авачинского залива Камчатки оценивается величиной 40%. Такое землетрясение может вызвать в г. Петропавловске-Камчатском сотрясения до 9 баллов, при том, что, по данным С.А. Федотова, около трети всего жилого фонда города рассчитана лишь на 7.5 баллов. В этом случае требуется практически полная замена этой части жилых домов. Хотя, как показывает практика, даже полное соблюдение норм сейсмостойкого строительства далеко не всегда может решить проблемы безопасности при сильных землетрясениях, не говоря уже об очень высоких фи-

нансовых затратах на сейсмостойкое строительство. В качестве примера, в частности, можно указать на события 1995 г. в г. Кобе (Япония), когда в результате сильного землетрясения оказались разрушенными и сооружения, сейсмостойкость которых была гарантирована строителями. По этим причинам разработка надежных методов прогноза сильных землетрясений для Курило-Камчатского региона, и в первую очередь для района г. Петропавловска-Камчатского, является крайне актуальной и важнейшей практической задачей.

Как известно (Страхов и др., 2005), по масштабу времени упреждения прогноз землетрясений можно подразделить на три категории: долгосрочный (десятилетия-годы), среднесрочный (месяцы) и краткосрочный (дни-часы). Наиболее важным с практической точки зрения является краткосрочный прогноз, так как на его основе администрация, население и персонал промышленных предприятий могут предупредиться о повышенной вероятности сильного землетрясения за несколько суток. Однако следует

признать, что проблема краткосрочного прогноза землетрясений оказалась гораздо более сложной, чем это представлялось в начале 70-х годов прошлого века. Несмотря на выявление предвестников перед рядом землетрясений и удачные примеры ретроспективного прогноза, примеров оправдавшихся прогнозов сильных и катастрофических землетрясений, сделанных в реальном времени, известно немного. В том числе не принесли ожидаемых результатов программы работ с высоким финансовым обеспечением, например, эксперимент по прогнозу землетрясений на разломе Сан-Андреас вблизи г. Паркфилда (США).

На Камчатке исследования по прогнозу землетрясений проводятся уже более 40 лет, а с 1995 г. достаточно активно ведутся работы в области краткосрочного прогноза. При этом за последние восемь лет специалистами Камчатского научного центра ДВО РАН в реальном времени было сделано более 40 официально зарегистрированных успешных краткосрочных прогнозов камчатских землетрясений с локальной магнитудой $M \geq 6$ (Широков, 2001; Дружин, 2002; Гаврилов и др., 2006). Указанные результаты дают основания для определенной степени оптимизма в отношении возможностей надежного краткосрочного прогноза землетрясений с $M \geq 7.7$, опасных для г. Петропавловска-Камчатского.

К первоочередным условиям, необходимым для успешного решения задач краткосрочного прогноза землетрясений, относится наличие сети комплексных геофизических измерений, обеспечивающей мониторинг изменений напряженно-деформированного состояния геосреды в зоне подготовки землетрясения (Страхов и др., 2005). Очевидно, что при этом большое значение имеет выбор используемых методов и видов геофизических наблюдений, от чего во многом зависят возможности адекватной оценки изменений напряженно-деформированного состояния геосреды и правильного прогноза места, времени и магнитуды землетрясения. Целью данной работы являлась оценка результатов (в приложении к задаче краткосрочного прогноза землетрясений), полученных в ходе непрерывных долговременных измерений в районе г. Петропавловска-Камчатского с использованием трех новых оригинальных методов геофизического мониторинга.

АППАРАТУРА И МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ

Основные результаты комплексных геофизических наблюдений получены к настоящему времени на измерительном пункте Г-1, расположенном в районе г. Петропавловска-Камчатского. Пункт оснащен скважиной глубиной 2540 м. Скважина самоизливающаяся, обсажена на всю

глубину. На пункте ведутся непрерывные измерения по трем видам геофизического мониторинга:

- скважинные геоакустические измерения с установкой датчиков на глубинах более 1000 м;
- измерения естественного электромагнитного излучения (ЭМИ) в СНЧ-диапазоне частот (30÷1200 Гц) с использованием подземной электрической антенны;
- мониторинг изменений плотности воды в скважине.

Указанные наблюдения в настоящее время не имеют аналогов в России.

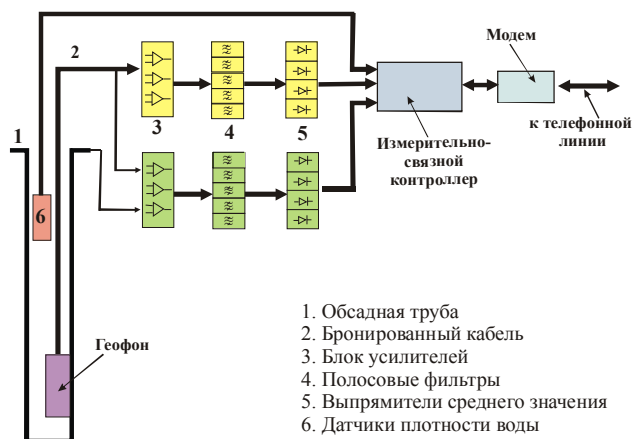
Для **геоакустических измерений** применяется геофон МАГ-3С с датчиками на основе магнитоупругих материалов (Беляков, 2000). Сигнал на выходе датчика такого типа пропорционален третьей производной от смещения грунта, а крутизна амплитудно - частотной характеристики датчика в пересчете к смещению составляет 60 дБ на декаду изменения частоты. Такая характеристика позволяет измерять уровень естественного геоакустического фона с амплитудами сигналов в пересчете к смещению грунта менее $1 \cdot 10^{-10}$ м. Геофон установлен на глубине 1035 м и прижат к обсадной трубе скважины рессорным прижимом. Предварительными усилителями геофона производится усиление сигналов датчиков на 60 дБ. Чувствительность вертикального канала геофона по выходу его предварительного усилителя составляет $0.15 \text{ В} \cdot \text{с}^3/\text{м}$, резонансная частота датчика - 1250 Гц. Чувствительность горизонтальных каналов составляет $0.60 \text{ В} \cdot \text{с}^3/\text{м}$, резонансная частота датчиков - 300 Гц.

Для **электромагнитных измерений** применена подземная электрическая антенна оригинальной конструкции, элементами которой являются свободная жила кабеля геофона, длиной более километра, и обсадная труба скважины.

Методика непрерывного автоматизированного **мониторинга изменений плотности воды в скважине** оригинальна, разработана к.т.н. В.А. Гавриловым (ноу-хау). Измерения ведутся с частотой 32 Гц с последующим усреднением данных. По результатам измерений делаются оценки изменений концентраций свободных и растворенных в воде газов.

На рис.1 приведена блок-схема аппаратного комплекса, используемого на пункте Г-1. Сигналы, поступающие с выходов геофона и подземной электрической антенны, подвергаются предварительной аналоговой обработке, которая заключается в дополнительном усилении и последующем разделении исходных сигналов полосовыми узкополосными третьоктавными фильтрами на четыре полосы с центральными частотами 30, 160, 560 и 1200 Гц с измерением средневывраженных значений сигналов на выходах каждого из фильтров. Дальнейшая цифро-

вая обработка сигналов производится измерительно-связным контроллером, в функции которого, в том числе, входит аналого-цифровое преобразование поступающих на вход сигналов, вычисление средних значений сигналов на интервале в одну минуту, а также запись данных в память. Сигналы с выходов датчиков плотности воды поступают на вход измерительно-связного контроллера непосредственно без предварительной аналоговой обработки (рис. 1). По запросу оператора данные измерений по телефон-



1. Обсадная труба
2. Бронированный кабель
3. Блок усилителей
4. Полосовые фильтры
5. Выпрямители среднего значения
6. Датчики плотности воды

Рис. 1. Блок-схема аппаратного комплекса пункта Г-1.

ному каналу связи передаются в центр сбора и обработки информации Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН.

Функциональная схема измерительно-связного контроллера, используемого в составе аппаратного комплекса пункта Г-1, представлена на рис. 2. Контроллер был разработан с учетом

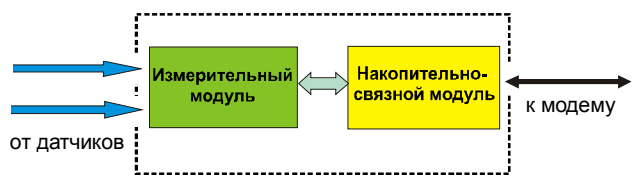


Рис. 2. Функциональная схема измерительно-связного контроллера.

эксплуатационных требований, предъявляемых при организации долговременных круглогодичных геофизических наблюдений (малая потребляемая мощность, возможность накопления большого объема данных, широкий диапазон рабочих температур, малые габаритные размеры). Функционально контроллер состоит из измерительного и накопительно-связного модулей. Модули выполнены в виде отдельных плат, размещаемых в общем корпусе с размерами 180×180×60 мм. В функции измерительного модуля

входит аналого-цифровое преобразование входных сигналов и предварительная обработка данных в реальном масштабе времени. На входы измерительного модуля сигналы в виде электрических напряжений поступают или непосредственно с выходов датчиков, или через предварительные усилители и полосовые фильтры (в случае геоакустических и электромагнитных измерений). С выхода измерительного модуля обработанные данные поступают для хранения в накопительно - связной модуль. По команде из центра сбора и обработки информации (запросу оператора) данные из флэш-памяти накопительно - связного модуля по проводному (телефонному) каналу связи передаются в компьютер центра сбора и обработки информации.

Основные технические характеристики измерительно-связного контроллера

Измерительный модуль	
Число каналов	16 недифференциальных
Допустимое входное напряжение	до +8 В
Разрешающая способность АЦП	14 бит
Частота квантования на канал	32 Гц
Время усреднения (задается программно)	1 ÷ 9 мин
Максимально допустимый объем памяти программ	128 кБ
Информационная емкость	7027 записей (253 кБ)
Максимальное время накопления данных при интервале осреднения 1 мин.	117 час (4.8 сут)
Скорость передачи данных	9600 бод
Интерфейс передачи данных	RS-232
Напряжение питания	9 ÷ 14 В постоянного тока
Максимальный ток потребления	60 мА
Диапазон рабочих температур	от -35 °С до +50 °С
Накопительно-связной модуль	
Информационная емкость	30037 записей (1 МБ)
Максимальное время накопления данных при интервале осреднения 1 мин.	500 час (20.8 сут)
Скорость передачи данных	до 9600 бод
Интерфейс передачи данных	RS-232
Напряжение питания	9 ÷ 14 В постоянного тока
Максимальный ток потребления	40 мА
Диапазон рабочих температур	от -35 °С до +50 °С

Измерительный модуль построен на базе шестнадцатиразрядного микроконтроллера P51XAG30JFA производства фирмы Philips. Управляющая программа хранится во флэш-памяти. Измеряемые сигналы через мультиплексор поступают на вход аналого-цифрового преобразователя (АЦП). С выхода АЦП сигналы в цифровом виде поступают в микроконтроллер, которым осуществляется их предварительная обработка (в данном случае осреднение на заданном временном интервале). Обработанные данные сохраняются в статической оперативной памяти измерительного блока.

Накопительно-связной модуль используется для накопления данных измерений, а также для приема и передачи команд и данных через модем. Ядром блока является восьмиразрядный микроконтроллер AT90S8515 фирмы Atmel. Поступающие в микроконтроллер данные измерений формируются в виде страницы, при накоплении которой данные передаются во флэш-память. При

поступлении соответствующей команды данные из флэш-памяти модуля поступают в модем для их последующей передачи в центр сбора и обработки информации.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Геоакустические наблюдения. Непрерывные геоакустические измерения на пункте Г-1 были начаты в августе 2000 г. Основной особенностью указанных измерений является использование датчиков, установленных в скважине на значительной глубине. Как показали результаты измерений, установка геофона на глубине около 1000 м привела к снижению уровня шумов техногенного происхождения примерно на два порядка и позволила практически полностью устранить влияние метеоусловий на результаты измерений (Гаврилов и др., 2006). Такие условия измерений дали возможность наблюдать тонкие эффекты отклика геосреды на изменения ее напряженно-деформированного состояния. В частности, как показано в (Гаврилов и др., 2006) по результатам геоакустических наблюдений в 2001÷2003 гг., в интервалах времени, соответствующим

ющих спокойной сейсмической обстановке в регионе, временные ряды измерений уровня геоакустической эмиссии (ГАЭ) содержат ярко выраженную суточную компоненту (24.0 ч), в то время, как перед всеми землетрясениями с $M_{\text{ЛН}} \geq 5.0$ в зоне радиусом $R \leq 300$ км от пункта наблюдений и землетрясениями с $M_{\text{ЛН}} \geq 5.5$ в зоне $R \leq 550$ км, отмечались нарушения (вплоть до исчезновения) суточного хода ГАЭ (рис. 3, 4). Выделение суточной компоненты (рис. 4) (суточного хода ГАЭ) проводилось, в основном, путем компьютерной обработки данных с использованием специально разработанной программы (автор – А.Н. Кролевец).

Результаты совместных геоакустических и электромагнитных измерений показали, что в периоды устойчивого суточного хода ГАЭ вариации уровня ГАЭ и вариации уровня электромагнитного поля практически идентичны (рис. 5, интервал 9-12 апреля 2004 г.). Вместе с тем, перед сильными землетрясениями (за сутки и более), а также в периоды релаксации, характер вариаций уровня ГАЭ и уровня электромагнитного поля существенно различается (рис. 5, интервал 12-19 апреля 2004 г.).

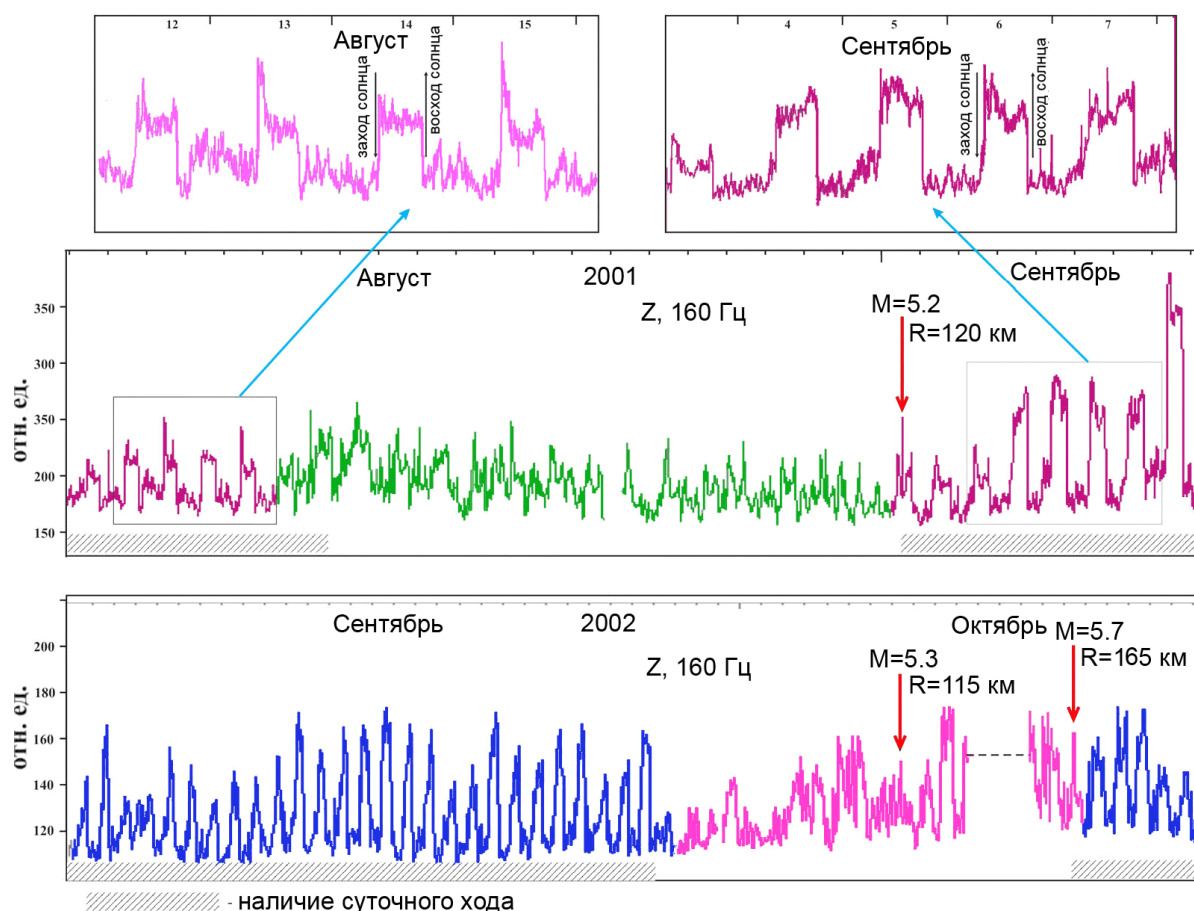


Рис. 3. Примеры нарушений суточного хода ГАЭ перед землетрясениями.

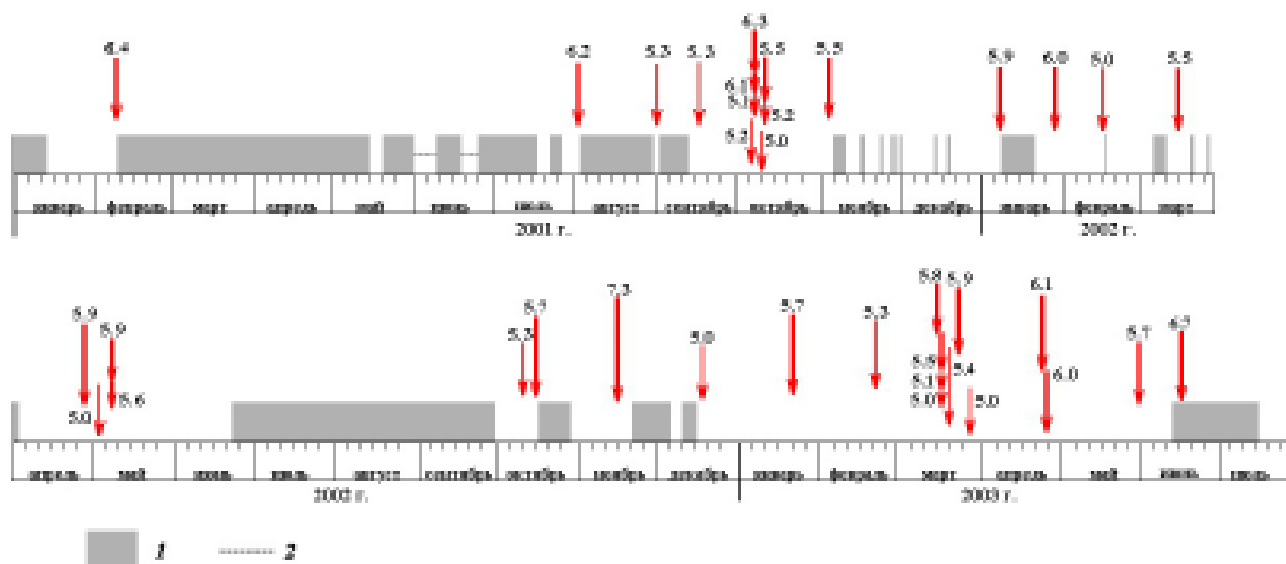


Рис. 4. Нарушения суточного хода геоакустической эмиссии в сопоставлении с сейсмической активностью. 1- наличие суточного хода, 2 – пропуски данных. Стрелками указаны моменты землетрясений с $M_{LH} \geq 5.0$ в зоне $Rd \leq 300$ км и $M_{LH} \geq 5.5$ в зоне $Rd \leq 550$ км.

Механизмы излучения и закономерности распространения радишумов в диапазонах СНЧ и ОНЧ (30 Гц – 30 кГц) достаточно хорошо изучены (Осинин, 1982; Ремизов, 1985). Основным источником естественного электромагнитного излучения Земли в этих диапазонах для северо – восточной части России являются удаленные грозовые очаги (Осинин, 1982). При этом основной энергетический вклад в естественное электромагнитное излучение в СНЧ-диапазоне для Камчатки вносит непрерывная флуктуационная компонента. Суточные вариации уровня электромагнитного поля в диапазонах СНЧ и ОНЧ связаны, прежде всего, с резким ухудшением условий распространения радиоволн в дневное время в волноводе ионосфера – Земля вследствие уменьшения в это время суток высоты ионосферы из-за появления слоя D на высоте около 80 км.

Исследование физического механизма суточного хода ГАЭ с привлечением данных синхронных электромагнитных измерений на пункте Г-1, а также результатов экспериментов на образцах горных пород (Ильичев и др., 2002), показывает, что суточный ход ГАЭ может являться следствием модуляции процесса микротрещинообразования геосреды естественным электромагнитным излучением. Исчезновение суточного хода ГАЭ перед достаточно сильными землетрясениями и последующее его восстановление может быть объяснено изменением чувствительности процесса микротрещинообразования к воздействию естественного электромагнитного излучения вследствие изменений напряженно – деформированного состояния геосреды (Гаврилов, 2005).

Указанные результаты дают принципиальную возможность разработки нового эффективного метода геофизического мониторинга напряженно-деформированного состояния геосреды, перспективного для целей краткосрочного прогноза землетрясений. При этом в качестве основного критерия могут использоваться параметры отклика ГАЭ на естественное электромагнитное излучение. В этом случае, как это следует из результатов, приводимых в (Гаврилов и др., 2006), с высокой степенью надежности в реальном времени можно прогнозировать, прежде всего, периоды, когда вероятность близких сильных землетрясений для Камчатского региона и Северных Курил очень мала. Значительно более сложным является вопрос достаточно точного прогнозирования на основе указанных данных времени, места и магнитуды землетрясений. Из данных, представленных на рис. 4, видно, что за период с 01.01. 2001 г. по 31.07 2003 г. суммарное время отсутствия суточного хода ГАЭ составило около 58% от общего времени наблюдений. Это означает, что при использовании при прогнозе землетрясений в качестве критерия только параметров отклика ГАЭ на естественное электромагнитное излучение, время тревоги будет весьма большим. Как указывалось выше, по мнению многих исследователей (Страхов и др., 2005), принципиальная возможность повышения надежности выявления предвестниковых аномалий и уменьшения времени тревоги связана с комплексированием различных видов геофизического мониторинга.

Измерения естественного электромагнитного излучения. Измерения ЭМИ в СНЧ-диапазоне

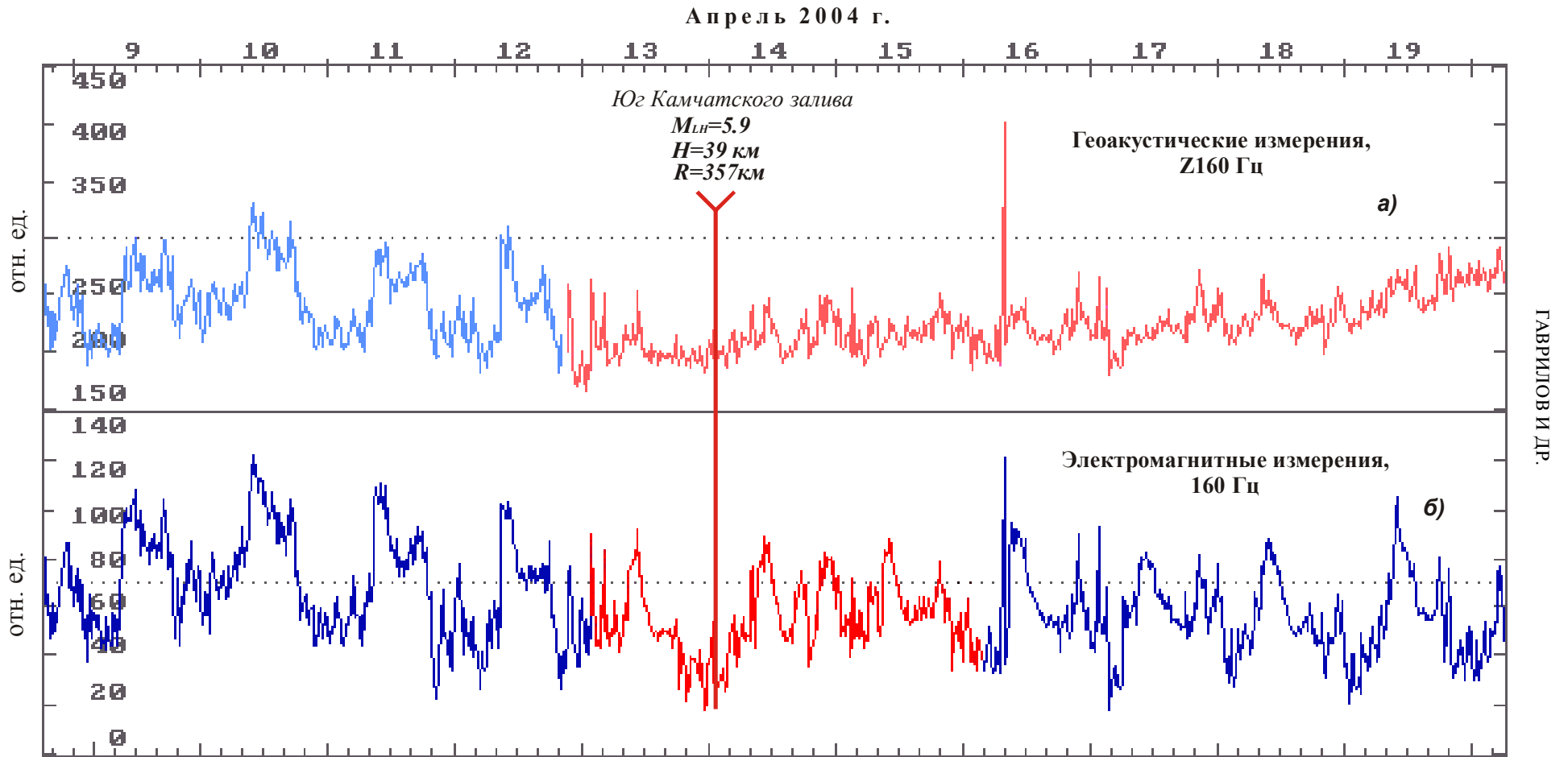


Рис. 5. Примеры результатов совместных геоакустических и электромагнитных измерений.

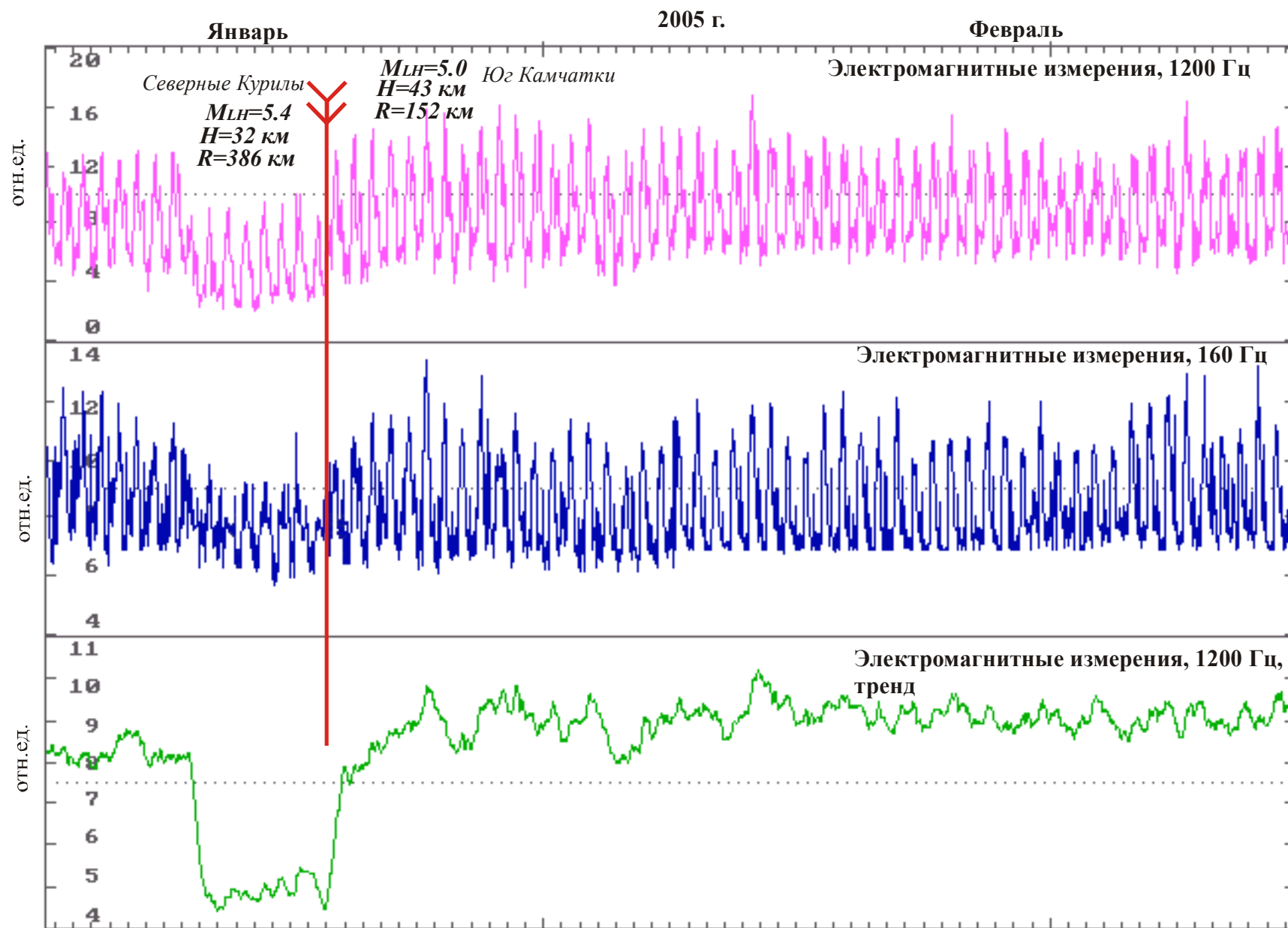


Рис. 6. Пример бухтообразных аномалий среднего уровня ЭМИ перед землетрясением.

частот на пункте Г-1 были начаты в мае 2003 г. К основным особенностям организованных на пункте Г-1 измерений ЭМИ следует отнести, во-первых, использование подземной электрической антенны, во-вторых, проведение измерений в СНЧ-диапазоне частот.

В сравнении с традиционными измерительными системами, использующими антенны, расположенные над поверхностью земли, системы с подземными антеннами позволяют более эффективно регистрировать ЭМИ литосферного происхождения. Согласно законам электродинамики, значительно более высокая в сравнении с воздухом проводимость земли делает маловероятным выход электромагнитного излучения из литосферы в атмосферу. В свою очередь, возможность регистрации ЭМИ литосферного происхождения имеет немаловажное значение для правильной интерпретации данных геофизического мониторинга.

На первом этапе результаты электромагнитных наблюдений использовались, прежде всего, для понимания физических причин суточных вариаций уровня ГАЭ. С этой задачей был связан и выбор диапазона частот (30÷1200 Гц) для электромагнитных измерений, совпадающий с диапазоном частот геоакустических измерений на пункте Г-1. Традиционно измерения различных параметров электромагнитных полей естественного происхождения в рамках задач прогноза землетрясений проводятся или в более высокочастотном (более 1.0 кГц) (Методы..., 1991; Дружин, 2002), или в значительно более низкочастотном диапазоне (менее 0.1 Гц), как в случае электротеллурических измерений. Как показали результаты полученных нами данных, электромагнитные измерения в диапазоне 30 ч1200 Гц представляют значительный интерес для исследования физической природы предвестниковых аномалий различных геофизических полей и поиска предвестников сильных землетрясений.

За время непрерывных электромагнитных измерений на пункте Г-1 были отмечены три вида аномалий ЭМИ, связанных, на наш взгляд, с из-

менениями напряженно-деформированного состояния геосреды перед землетрясениями: искажения суточного хода ЭМИ; бухтообразные аномалии среднего уровня ЭМИ продолжительностью до девяти суток с сохранением амплитуд суточного хода; кратковременные (менее суток) возмущения ЭМИ импульсного характера.

В качестве примера искажений суточного хода ЭМИ непосредственно перед землетрясением и после него можно указать на рис. 5б (интервал 13÷15 апреля 2004 г.). При этом следует отметить, что продолжительность ЭМИ с искаженным суточным ходом всегда была значительно меньше аналогичных аномалий среднего уровня ГАЭ и не превышала девяти суток.

На рис. 6 приведен пример бухтообразной аномалии среднего уровня ЭМИ, предшествовавшей землетрясениям на севере Курильских островов. Указанная аномалия, продолжительностью около восьми суток, наблюдалась на всех частотных диапазонах каналов измерений ЭМИ. Амплитуда суточного хода ЭМИ при этом не менялась, что свидетельствует о сохранении условий распространения атмосфериков. Согласно результатам лабораторных экспериментов (Гуфельд и др., 2003), такая аномалия может интерпретироваться, как результат сжатия горной среды в районе пункта наблюдений.

Яркий пример кратковременных импульсных возмущений ЭМИ, непосредственно предшествовавших и сопровождавших сильное землетрясение, представлен на рис. 7. В этом случае за 12 часов перед сильным глубоким землетрясением ($M_w=6.9$, $H=208$ км), произошедшем на эпицентральной расстоянии 312 км к западу от Камчатского залива, уровень ЭМИ в диапазоне 560 Гц увеличился более чем в 10 раз. Землетрясение произошло на спаде интенсивности ЭМИ. После землетрясения уровень ЭМИ оставался аномально высоким в течение последующих шести часов.

Мониторинг изменений плотности воды в скважине был организован в целях контроля изменений объемов свободных и растворенных в

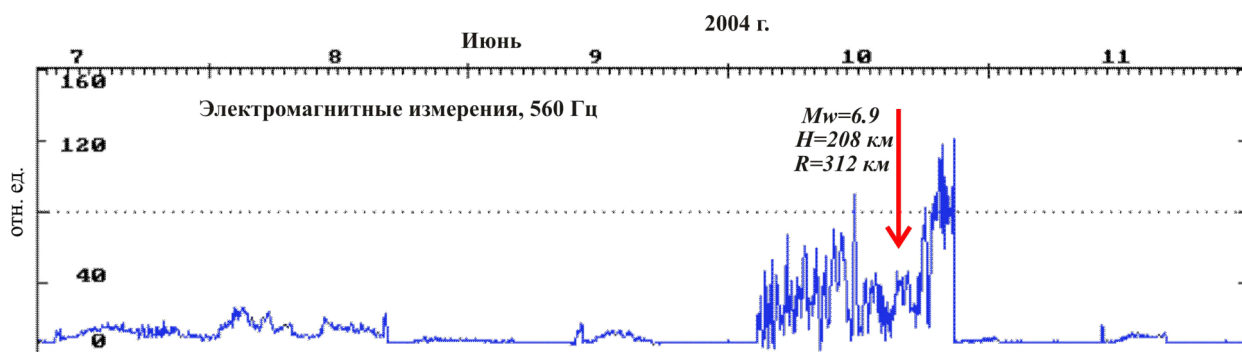


Рис. 7. Импульсные возмущения ЭМИ, предшествовавшие и сопровождавшие глубокое сильное землетрясение 10.06.2004 г. (р-н Кроноцкого п-ва).

воде газов. На высокую прогностическую эффективность измерений концентраций растворенных в воде газов указывают, в частности, результаты режимных измерений параметров морской среды, проведенных в 1991-1997 гг. в акватории Авачинской бухты в районе г. Петропавловска - Камчатского по методике, разработанной Г.Г. Ткаченко и Б.Б. Капочкиным (Желтухин, 1998). По своей физической сути изменения объемов свободных и растворенных в воде газов связаны, прежде всего, с процессами трещинообразования в результате деформирования горных пород. Непрерывные измерения в целях мониторинга изменений плотности воды в скважине пункта Г-1 были начаты в апреле 2004 г.

На рис. 8 представлены данные по изменению плотности воды за период июнь - сентябрь 2004 г. в сопоставлении с результатами измерений уровня ГАЭ и моментами землетрясений. Как следует из приводимых данных, наиболее уверенно аномальные изменения плотности воды проявились на временном интервале 14.07.2004 г. - 10.08. 2004 г., где они предшествовали землетрясению с $M_{LH}=5.4$, произошедшему 16.07. 2004 г. в северной части Курильских островов, и рою мелкофокусных землетрясений с максимальной магнитудой $M_{LH}=5.6$, имевших место в Авачинском заливе в августе 2004 г. Максимальные значения относительных изменений плотности воды при этом достигали 1% при средних значениях фоновых вариаций около 0.2%. Характер изменений уровня ГАЭ за тот же период соответствовал ранее полученным результатам - перед всеми сейсмическими событиями с $M_{LH} \geq 5.0$ нарушался суточный ход ГАЭ.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что наиболее значимые вариации основных характеристик временных рядов для рассмотренных трех видов геофизического мониторинга вызываются общими физическими причинами, к которым, в первую очередь, можно отнести изменения напряженно-деформированного состояния геосреды. Это указывает на принципиальную возможность повышения надежности выделения интервалов повышенной сейсмической опасности при проведении комплексных измерений. Вместе с тем, на основании полученных к настоящему времени данных пока трудно говорить о возможности значительного и надежного сокращения интервалов тревожного времени при комплексировании указанных видов геофизического мониторинга только на одном пункте наблюдений. Как показывают представленные выше результаты, вариации характеристик временных рядов электромагнитных измерений и плотности воды, также как и в случае геоакустических наблюдений, отражают, прежде всего, изменения напряженно-деформирован-

ного состояния геосреды регионального масштаба. Это означает, что по результатам комплексных геофизических наблюдений, проводимых только на одном измерительном пункте, достаточно надежно можно делать только общие краткосрочные оценки сейсмической опасности для зоны радиуса порядка 300-500 км от пункта наблюдений. Для более точных прогнозов места, времени и магнитуды землетрясений необходимо создание **территориально-распределенной** системы комплексных геофизических измерений с достаточно большой апертурой. В частности, необходимо создание дополнительных пунктов скважинных наблюдений южнее и севернее действующего пункта Г-1 на удалении от него на 250-500 км (в районах пос. Паужетка, пос. Усть-Камчатск, г. Ключи), что, по нашим оценкам, позволило бы значительно повысить точность прогнозов места, времени и магнитуды землетрясений.

ВЫВОДЫ

1. Полученные к настоящему времени результаты позволяют говорить о высокой эффективности разработанных методов геофизического мониторинга напряженно-деформированного состояния геосреды. Это утверждение справедливо как с позиций получения новых знаний о физических процессах, происходящих в зонах субдукции, так и в отношении перспективности применения разработанных методов для целей краткосрочного прогноза землетрясений. Прежде всего, это относится к методу, основанному на совместных геоакустических и электромагнитных измерениях в глубоких скважинах.

2. Вместе с тем, решение большинства задач, связанных с изучением современных геодинамических процессов Камчатского региона и оценками текущей сейсмической опасности, требует развития сети наблюдений, в том числе создания территориально-распределенной системы комплексных геофизических измерений с достаточно большой апертурой.

Авторы выражают признательность к.ф.-м.н. А.Н. Кролевцу (Камчатский государственный университет) за разработку программ для ПЭВМ и полезные замечания; к.ф.-м.н. В.А. Широкову (Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН) за полезные обсуждения полученных результатов.

Работа выполнена при финансовой поддержке ДВО РАН (проект 06-III-A-08-327) и РФФИ (проект 06-05-96071).

Список литературы

Беляков А.С. Магнитоупругие акустические геофоны для геофизических исследований //

- Сейсмические приборы. М.: ОИФЗ РАН, 2000. Вып. 33. С. 27 - 45.
- Гаврилов В.А.* К вопросу о физической природе суточных вариаций уровня геоакустической эмиссии. Материалы IV Всероссийского симпозиума «Сейсмоакустика переходных зон». Владивосток, 2005. С. 89-93.
- Гаврилов В.А., Морозова Ю.В., Сторчеус А.В.* Вариации уровня геоакустической эмиссии в глубокой скважине Г-1 (Камчатка) и их связь с сейсмической активностью // Вулканология и сейсмология. 2006. № 1. С. 52-67
- Гуфельд И. Л., Рожной А.А., Соловьева М.С.* Характеристики электромагнитного излучения трещин при разрушении образцов горных материалов. Моделирование геофизических процессов. М.: ОИФЗ РАН, 2003. С. 39-46.
- Дружин Г.И.* Опыт прогноза камчатских землетрясений на основе наблюдений за электромагнитным ОНЧ излучением // Вулканология и сейсмология. 2002. № 6. С. 51-62.
- Желтухин А.С.* Опыт-методические режимные наблюдения по проблеме краткосрочного прогноза землетрясений в морских сейсмогенных зонах // Тр. конфер. «Опыт комплексного изучения геофизических полей для целей сейсмопрогноза». М.: ВСЕГИНГЕО МПР РФ, 1998. С. 115-123.
- Ильичев П.В., Аладьев А.В., Богомолов Л.М. и др.* Влияние внешнего электромагнитного поля на активность акустической эмиссии нагруженных геоматериалов // Геодинамика и геоэкологические проблемы высокогорных регионов. Бишкек, 2002. С. 286-303.
- Осинин В.Ф.* Радишумы естественных источников на Востоке СССР. М.: Наука, 1982. 161 с.
- Ремизов Л.Т.* Естественные радиопомехи. М.: Наука, 1985. 198 с.
- Страхов В.Н., Соболев Г.А., Рукин М.Д. и др.* О необходимости федеральной программы работ по решению проблемы краткосрочного прогноза землетрясений. М.: ИФЗ РАН, 2005. 40 с.
- Федотов С.А.* Долгосрочный сейсмический прогноз для Курило-Камчатской дуги. М.: Наука, 2005. 302 с.
- Методы анализа сейсмоэлектромагнитных процессов / Отв. ред. О.М. Барсуков. М.: Наука, 1991. 104 с.
- Широков В.А.* Опыт краткосрочного прогноза времени, места и силы камчатских землетрясений 1996-2000 г.г. с магнитудой $M=6-7.8$ по комплексу сейсмологических данных // Геодинамика и вулканизм Курило-Камчатской островодужной системы. Петр.- Камч. 2001. С. 95-116.

RESULTS OF INTEGRATION OF DEEP WELL GEOPHYSICAL OBSERVATIONS WITH THE AIM OF MONITORING THE STATE OF THE GEOSPHERE

V.A. Gavrilov, Yu. A. Vlasov, V.P. Denisenko, Yu.V. Morozova, Yu.Yu. Yakovleva

*Institute of Volcanology and Seismology, Far East Division, Russian Academy of Sciences,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683006, Russia*

This paper presents results of continuous long-lasting observations made in the area of Petropavlovsk-Kamchatsky using three unique methods of geophysical study: geoacoustic measurements in deep wells with installation of sensors at depth more than 1000 m; monitoring of natural ULF electromagnetic emission by means of underground electrical antenna; monitoring of variations in water density in the well. The conclusions of the study reveal that complex facilities of geophysical monitoring leads to a possibility for reliable identification of premonitory anomalies, detailed study of their nature, and enhanced effectiveness of a short-term prediction of earthquakes.