

**Исследование
предвестников землетрясений и
извержений вулканов**

СЕЙСМОТЕКТОНИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА КАМЧАТКЕ

Авдейко Г.П.^{1,2}, Палуева А.А.¹

¹ *Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский,
gavdeiko@kscnet.ru*

² *Камчатский государственный университет им. В.Беринга, Петропавловск-Камчатский*

1. В результате сейсмоструктурного районирования, проведенного на основании ретроспективного анализа сейсмических событий, локализации очагов землетрясений и соотношения их с морфоструктурами континентального склона Восточной Камчатки в пределах взаимодействия Тихоокеанской и Евразийской плит выделено 10 сейсмоактивных сегментов, разделенных разломами сдвигового типа. Сегментация соответствует клавишно-блоковой модели Л.И. Лобковского, Б.В. Баранова. В пределах сегментов выделяются по два, реже 3 надвиговых блока.

2. Предложена модель образования сегментов, основанная на закономерностях пространственного положения очагов землетрясений, на основных положениях модели субдукции и на упоминаемой выше клавишно-блоковой модели. Сегментация является следствием неравномерного сцепления между подвигаемой Тихоокеанской и нависающей Евразийской плитами. Между участками сильного и слабого сцепления в нависающей плите возникают напряжения скола, приводящие к левостороннему или правостороннему сдвигу с вращением, направленным в сторону сегмента со слабым сцеплением.

3. Формирование надвиговых блоков в пределах сегментов происходит за счет сильного сцепления, когда предел прочности в нависающей плите достигается раньше, чем непосредственно в зоне субдукции. За счет этого происходит образование надвиговых сколов, выраженных в морфоструктуре дна возвышенностями и тектоническими террасами. Такие возвышенности являются показателем того, что в этом месте может произойти цунамигенерирующее землетрясение, особенно, если возвышенность совпадает с сейсмической брешью, а их высота – показателем магнитуды землетрясения.

В случае слабого сцепления при спокойном рельефе подвигаемой плиты и наличии илистых осадков на ее поверхности взаимодействие плит может ограничиваться криповым скольжением или слабыми землетрясениями. Показателем этого является спокойный рельеф континентального склона.

4. Максимальное число сильных землетрясений магнитудой 7 и более локализовано в зоне перегиба Тихоокеанской плиты, причем очаги обычно располагаются над этой зоной. Они приурочены к двум зонам разломов, одна из которых является продолжением зоны Вадати-Беньоффа, а вторая - идентична надвиговому блоку. Эта зона ведет себя как единая структура независимо от сегментации и представляет собой выдавливаемый вверх клин, чем и обусловлена положительная изостатическая аномалия.

5. Для долгосрочного прогноза времени и места сильных землетрясений необходимо проводить ретроспективный анализ последовательности сейсмических событий отдельно в каждом сегменте с учетом рельефа поддвигаемой плиты и вероятного коэффициента трения. Предварительный анализ показал, что в настоящее время наибольшую опасность представляет надвиговой блок Северо-Шипунского сегмента, который представляет собой сейсмическую брешь после цунамигенерирующего землетрясения 1923 г. Эта брешь оказалась незаполненной афтершоками ни после землетрясения 1992 г. ($M=7.1$), произошедшего в этом же сегменте, ни после Кроноцкого землетрясения 1997 г. ($M=7.9$). Сейсмическая брешь Южно-Камчатского сегмента, по нашему мнению, не представляет опасности, т.к. в рельефе дна отсутствуют надвиговые возвышенности, а в зоне перегиба этого сегмента сильные землетрясения были зарегистрированы в 1737 и 1993 гг. После землетрясения 1993 г. этот участок находится в самом начале постсейсмической стадии накопления энергии, а сейсмический цикл для зоны перегиба, судя по датам зарегистрированных сильных землетрясений, превышает 200 лет.

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ВЫЧИСЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДИК ПРОГНОЗА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Воропаев П.В.

Камчатский филиал Геофизической службы РАН, Петропавловск-Камчатский, chicoli@emsd.ru

В настоящее время накоплен обширный материал по прогнозам возникновения сильных землетрясений на полуострове Камчатка и прилегающих территориях. Насчитывается более тридцати методик предсказания землетрясений, авторы которых направляют свои прогнозы в Камчатский филиал Российского Экспертного Совета по прогнозу землетрясений, оценке сейсмической опасности и риска.

В рамках работы Экспертного совета существует необходимость в оперативном вычислении эффективности методик прогнозирования. Данные расчеты требуют большого количества операций, и при ручной обработке занимают много времени, поэтому создание системы вычисления эффективности прогнозов землетрясений, работающей в автоматическом или в полуавтоматическом режиме представляет собой актуальную задачу.

В лаборатории сейсмического мониторинга Камчатского филиала Геофизической Службы РАН ведутся работы над созданием подобной электронной системы, которая будет способна автоматизировано решать данную задачу.

В разрабатываемой системе можно выделить следующие структурные компоненты: блок ввода данных, модуль базы данных, блок вывода отфильтрованных данных, расчетный модуль, блок вывода результатов вычислений.

Модуль базы данных включает в себя камчатский региональный сейсмический каталог, а также таблицы формализованных прогнозов, содержащие: заявленные автором периоды времени в которые может произойти землетрясение, диапазоны энергетических классов и магнитуд, интервалы глубин, а также вероятные места реализации землетрясений, которые определяются произвольными замкнутыми полигонами географических координат.

Вычисление эффективности прогнозов производится по методике (Гусев, 1974), в которой за меру эффективности принято отношение вероятности сильных землетрясений в прогнозируемые периоды времени к их средней вероятности:

$$J = \frac{P_{(\text{землетрясение} / \text{прогноз})}}{P_{\text{безусловн.}(\text{землетрясение})}}$$

Процесс вычисления данной величины разбит на несколько этапов: 1) с помощью SQL запросов, а также с использованием алгоритма вычисления принадлежности точки произвольному полигону (Ласло, 1997), из базы данных извлекаются величины числа временных интервалов прогноза N_{1dot} , число интервалов, в которых наблюдались землетрясения со сходными энергетическими характеристиками N_{dot1} , число периодов, когда землетрясение было удачно предсказано N_{11} , а также полное число интервальных значений N_{dotdot} ; 2) рассчитывается математическое ожидание N_{11} , при отсутствии связи между прогнозом и землетрясением по следующей формуле:

$$\mu_{11} = \frac{N_{1dot} N_{dot1}}{N_{dotdot}};$$

3) вычисляется эффективность прогноза:

$$J = \frac{N_{11}}{\mu_{11}}$$

В настоящее время прототип системы способен вычислять эффективность отдельных прогнозов и групп прогнозов одного автора. Ведется работа над расширением возможностей системы: расчетом эффективности методов прогнозирования, созданием отчетов, улучшением пользовательского интерфейса.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АНАЛИЗА ВРЕМЕННОГО РЯДА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ДЛЯ ИХ ПРЕДСКАЗАНИЯ

Дубянский М.А.

*Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свеклы и сахара им.
А.Л.Мазлумова, Воронеж, art_pmd@sani-c.ru*

Предлагаемые предвестник и основанный на его использовании способ прогнозирования землетрясений - результат эмпирического исследования временных рядов объекта прогноза.

Наиболее информативные результаты получены при изучении отклонений вариантов временного ряда показателей сейсмической активности (энергетический класс землетрясений) от его центральной тенденции. Наметилась последовательность событий: большие отклонения сопровождаются сильными землетрясениями. Явление, скорее всего, причинно обосновано, поскольку обозначает выход системы из равновесного состояния.

На данном основании в основу предвестника землетрясений мы взяли указанные отклонения и назвали их для краткости «показателем неуравновешенности» (ПН), который вычисляют по наиболее удобной для расчета формуле:

$$ПН = \sum_{i=1}^n xi - \tilde{X}n; \text{ где } \sum xi - \text{сумма К-индексов землетрясений за интервал времени, } \tilde{X} -$$

выборочная средняя арифметическая, n – число землетрясений в интервале времени, ПН - отклонение суммы К-индексов от уровня центральной тенденции.

Расчет по формуле делают для месячного интервала исходного преобразуемого ряда К-индексов, зарегистрированных на территории одного географического градуса*.

В полученных временных рядах ПН выделяют квазициклы, а в последних максимумы (наибольшая алгебраическая сумма ПН за три смежных месяца).

Максимум квазицикла - это и есть предвестник сейсмической ситуации, после которого в течение шести месяцев на определенном участке должно подтвердиться предсказание: землетрясение или его отсутствие.

Для шести участков Камчатского полигона (50° - 56°с.ш.),** на которых с 2001 по 2006 гг. имели место самые сильные землетрясения, мы составили временные ряды ПН, выделили максимумы всех (25) квазициклов и расположили их модули по величине в общий упорядоченный ряд:

156, 46, 45, 43, 42, 38, 37, 27, 25, 23, 23,
27, 26, 24, 22, 22, 21, 20, 18, 17, 15, 13, 11, 10, 6,

причем разделили ряд на две выборки, левую, где после максимумов следовали сильные землетрясения ($\geq 5.8M_w$), и правую, где сильных землетрясений после максимумов не было.

Видно, что левая выборка превосходит правую по величине центральной тенденции ($P_u < 0.001$). Критерий $X^2(15.4)$ удостоверяет, что между величиной максимума и фактом землетрясения имеется надежная статистическая зависимость ($P x^2 < 0.001$). Коэффициент корреляции (К) между величиной предвестника и объектом прогноза обозначает тесную связь (0.812).

Можно предположить, что регистрация всех сильных отклонений К-индекса от центральной тенденции по предложенной методике обеспечит ценную информацию о предстоящих землетрясениях на подконтрольной территории.

По представленному алгоритму нами сделан пробный текущий (по принципу мониторинга) прогноз на 2007 г. Основные результаты: 1) правильно предсказана (с упреждением в 4-6 мес.) низкая сейсмическая активность в первом полугодии 2007 г., в том числе – отсутствие сильных и катастрофических землетрясений; 2) землетрясения с магнитудой ≥ 4.6 оказались привязанными к назначенным участкам.

Выявленные недостатки прогноза: недостаточная четкость пороговых значений предвестника и, как следствие, возможность ошибок, особенно – второго рода, т.е. «ложных тревог».

* Интервал и участок территории специфичны для регионов. Здесь - параметры для Камчатки.

**Выбран по характеру регистрации первичных данных.

МОДЕЛЬ МОДУЛЯЦИИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ШУМОВ ПРИЛИВНЫМИ ДЕФОРМАЦИЯМИ

Зайцев В.Ю.¹, Салтыков В.А.^{2,3}, Матвеев Л.А.¹

¹ *Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород*

² *Камчатский филиал Геофизической службы РАН, Петропавловск-Камчатский, salt@emsd.ru*

³ *Камчатский государственный университет им. Витуса Беринга, Петропавловск-Камчатский*

В 2007 году исполняется 20 лет с начала изучения на Камчатке высокочастотных сейсмических шумов (ВСШ). Был получен ряд результатов, имеющих как фундаментальный, так и прикладной характер (Салтыков и др., 2007). В первую очередь следует упомянуть подтверждение эффекта модуляции сейсмических шумов земными приливами и обнаружение вариаций параметров приливной компоненты в огибающей ВСШ перед сильными региональными землетрясениями. Для дальнейшего использования этого эффекта необходимо понимание механизма этих эффектов, то есть физическая интерпретация. Непонятными, в частности, являются:

- механизм влияния формирующегося очага землетрясения на ограниченный объем среды в окрестностях станции;
- механизм приливной модуляции;
- механизм появления предвестниковых вариаций ВСШ перед землетрясением.

Рассматривая механизм приливной модуляции ВСШ, можно выделить два случая, обусловленных принципиально различными причинами: приливное воздействие на источники ВСШ и приливные вариации свойств среды. В представляемом докладе рассмотрен второй случай.

Для горных пород, гранулированных сред и многих конструкционных (особенно поврежденных) материалов известны многочисленные проявления нелинейных упругих и неупругих свойств в диапазоне очень малых деформаций, при которых обычно ожидается, что поведение твердых тел должен быть практически идеально линейным. Исследования необычных нелинейных свойств данного класса сред привлекают большое внимание как в связи с интересными перспективами для разработки новых высокочувствительных диагностических методов в материаловедении и неразрушающем контроле, так и в связи с важностью нелинейных свойств среды для геофизических явлений. Наиболее распространенными моделями, используемыми для интерпретации нелинейных акустических явлений как в гео-, так и других структурно-неоднородных средах являются уравнения состояния, учитывающие нелинейно-упругие и гистерезисные (т.е. сочетающие нелинейную упругость и нелинейную диссипацию) свойства этих сред. В данной работе предлагается другой, негистерезисный механизм, также сочетающий в себе диссипативную и упругую нелинейные компоненты. Учет этого свойства позволяет, в частности, предложить объяснение эффекту модуляции эндогенных сейсмических шумов с типичной глубиной 10^{-2} .. 10^{-1} полей приливных деформаций (типичный уровень которых 10^{-8}). В качестве независимого сопоставления предложенный механизм используется также для интерпретации наблюдения приливной модуляции фаз (времен пробега) и амплитуд сейсмических волн, создаваемых искусственными стабильными источниками.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ (№№ 05-02-17355, 05-05-64276).

ОЦЕНКА СЕЙСМОПРОГНОСТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАТИВНОСТИ ДАННЫХ УРОВНЕМЕРНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ НА СКВАЖИНЕ Е1, КАМЧАТКА (ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ 1996-2007 гг.)

Копылова Г.Н.

Камчатский филиал Геофизической службы РАН, Петропавловск-Камчатский, gala@emsd.ru

В течение 1987 г. – настоящее время Камчатским филиалом ГС РАН осуществляется синхронная регистрация уровня воды и атмосферного давления на скважине Е1 с целью поиска гидрогеодинамических предвестников землетрясений. По данным наблюдений 1987-1998 гг. установлено, что при возникновении землетрясений с $M = 6-7$ на расстояниях 100-300 км от скважины в изменениях уровня воды проявляются однотипные сопутствующие и предшествующие вариации (Копылова, 2001). Перед землетрясениями наблюдалось понижение уровня воды с повышенной скоростью (≤ -0.062 см/сут). Продолжительность проявления такого «тревожного признака» перед землетрясениями изменялась от 3 недель до 7 месяцев, составляя в среднем 3.4 месяца или ~ 100 суток. Ретроспективная оценка эффективности «тревожного признака» по алгоритму А.А. Гусева, 1974 составила $I = 2.7$ при прогнозе землетрясений с $M \geq 6.6$.

Предполагалось, что использование «тревожного признака» в изменениях уровня воды в скважине Е1 может быть полезным в комплексе с другими сейсмопрогностическими данными для оценки времени возникновения землетрясений с $M \geq 6.6$ на Камчатке. В течение 2002 г. – настоящее время осуществляется мониторинг «тревожного признака» в реальном времени с предоставлением заключений в Камчатское отделение Российского экспертного совета по прогнозу землетрясений.

В процессе работ были обнаружены эпизоды увеличения скорости понижения уровня перед землетрясениями с M порядка 5-5.5. Проявление «тревожного признака» перед такими относительно слабыми землетрясениями требует уточнения прогнозной эффективности данных уровнемерных наблюдений на скважине Е1 и дополнительного изучения свойств «признака» в качестве предвестника. В работе проводится оценка сейсмопрогностической эффективности «тревожного признака» в изменениях уровня воды в скважине Е1 по данным наблюдений в 1996-2007 гг. и анализируется зависимость его проявления от параметров произошедших землетрясений – магнитуды и гипоцентрального расстояния.

Для времени 1996-2007 гг. получены ретроспективные величины эффективности «тревожного признака» $I = 2.12-3.18$ при прогнозировании землетрясений с $M \geq 5$ на расстояниях до 350 км. Вероятность связи «признака» и таких землетрясений, определяемая как отношение числа землетрясений, которым предшествовало проявление «признака», к общему числу землетрясений, составляет 0.7 (14/20). Установлена значимая положительная корреляция времен продолжительности и заблаговременности «признака» с величинами магнитуд сейсмических событий. Это означает, что при подготовке более сильных землетрясений «признак» может проявляться на более длительных интервалах времени и с большей заблаговременностью. Этот вывод согласуется с результатами наблюдений 1987-1998 гг., т. е. в течение периода более насыщенного сильными сейсмическими событиями (в 1987-1998 гг. произошло 8 событий с $M = 6.6-7.8$; за время уровнемерных наблюдений в 2002-2007 гг. произошло всего одно событие с $M = 6.9$, остальные имели $M = 5.0-6.2$).

Результаты работы подтверждают, что «тревожный признак» в изменениях уровня воды в скважине Е1 относится к полезным предвестникам землетрясений. Но, с учетом его относительно невысокой эффективности, использование его для оценки сейсмической опасности возможно только в комплексе с другими сейсмопрогностическими данными. Выполненный анализ вариаций уровня воды в скважине Е1 в сопоставлении с произошедшими землетрясениями показал также объективные сложности в использовании выявленного «тревожного признака» для прогноза сильных землетрясений. Дальнейшее продолжение наблюдений на скважине Е1 и обеспечение их непрерывности позволит более определенно оценить свойства «тревожного признака» и его информативность в качестве предвестника сильных землетрясений.

АЛГОРИТМ ПОИСКА ПЛОСКОСТЕЙ ГРУППИРОВАНИЯ ГИПОЦЕНТРОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Кролевец А.Н.

Камчатский государственный университет, Петропавловск-Камчатский, an@kamgpu.ru

Обычно считается, что гипоцентры землетрясений группируются у границ литосферных плит и границ блоков, составляющих плиты. Вопрос о том, что представляют собою эти границы, в частности, какова их геометрия, до конца не выяснен. В работе [1] показано, что гипоцентр Кроноцкого землетрясения 5 декабря 1997 г и пятнадцати афтершоков энергетического класса $K \geq 13$ попадают всего на четыре плоскости, разного положения и ориентации, с отклонениями, не превышающими 3 км. Вероятность случайного совпадения составляет не более 10^{-4} . Нами высказана гипотеза, которая согласуется с моделями геофизической среды, предложенными в работах Уломова, Кролевца, о том, что подобного группирования гипоцентров сильнейших землетрясений на небольшом числе плоскостей можно ожидать и для других сильных камчатских землетрясений, в том числе и не являющихся афтершоковыми.

Для возможности поиска плоскостей группирования, свободного от влияния субъективных факторов, были созданы алгоритм и реализующая его компьютерная программа, которые отыскивают плоскости группирования по двум формальным признакам. Одним из признаков является максимально допустимое расстояние D гипоцентров от плоскости. Другим – минимально допустимое число M гипоцентров, которые должны оказаться в пределах $\pm D$ от плоскости. Например, можно выбрать в качестве расстояния $D = 3$ км, а минимальное число гипоцентров $M = 5$. В принципе, вопрос выбора оптимальной комбинации признаков сам должен явиться предметом отдельного исследования.

Суть алгоритма поиска в следующем. Сначала все географические координаты отобранных заранее гипоцентров без искажений пространственных расстояний переводятся к декартовым координатам. Далее выполняется перебор возможных ориентаций плоскостей группирования гипоцентров. Каждой ориентации соответствует вектор нормали, поэтому перебор ориентаций сводится к перебору векторов нормали. Последние же все попадают на верхнюю часть единичной полусферы. Вся поверхность полусферы была покрыта более 91 000 точек так, чтобы угловое расстояние между соседними векторами нормали не превышало 0.5° . К каждой точке был «привязан» вектор нормали. Для каждой ориентации выполнялась проверка: не окажутся ли проекции радиус-векторов числа M или более гипоцентров на направление выбранного вектора нормали равными с погрешностью не превышающей $2D$. Для проверки сначала вычислялись проекции d_i радиус-векторов для каждого из гипоцентров, далее значения проекций сортировались и индексировались (перенумеровывались) в порядке возрастания. Затем вычислялась разность $d_{M+1}-d_i$. Если она оказывалась больше $2D$, оба индекса увеличивались на 1, и опять вычислялась разность - теперь уже $d_{M+2}-d_2$ и т.д., пока либо не достигался конец списка и делался вывод о том, что для данной ориентации (и близких по ориентации в пределах около 0.5°) плоскостей группирования нет, либо для какого-то индекса i обнаруживается, что $d_{M+i}-d_i \leq 2D$. Это значит, что все гипоцентры, начиная с i -го по $(M+i)$ -ый, оказываются близкими к плоскости выбранной ориентации, расположенной на расстоянии примерно d_i от начала координат. Далее список расширяется и проверяется, не окажется ли в группе также $(M+i+1)$ -ый гипоцентр (проверяется выполнение неравенства $d_{M+i+1}-d_i \leq 2D$) и так далее, пока не будет установлен весь список. Для каждой из найденных групп гипоцентров по методу, описанному в [1], определяются параметры плоскости, которые заносятся в базу данных плоскостей. После окончания перебора всех возможных ориентаций векторов нормалей в базе данных плоскостей отыскиваются и удаляются повторяющиеся записи.

Список литературы

1. Кролевец А.Н. Плоскости разломов Кроноцкого землетрясения 5 декабря 1997 г. // Геофизический мониторинг Камчатки. Материалы научно-технической конференции 17 – 18 января 2006 г. Петропавловск-Камчатский, Изд-во "Оттиск". 2006. С. 32-39.

БАЗА ДАННЫХ ПЛОСКОСТЕЙ ГРУППИРОВАНИЯ ГИПОЦЕНТРОВ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ КАМЧАТКИ

Кролевец А.Н.

Камчатский государственный университет, Петропавловск-Камчатский, an@kamgpu.ru

Разработанный алгоритм поиска плоскостей группирования гипоцентров сильных землетрясений Камчатки (тезисы в данном сборнике) был использован для поиска плоскостей группирования гипоцентров землетрясений энергетического класса не ниже 13, расположенных в пределах зоны с границами $0.890286 \cdot \varphi + 0.4554 \cdot \lambda - 115.828821 = 0$ (юго-западная, проходит через мыс Лопатка) и $0.862415 \cdot \varphi + 0.5062 \cdot \lambda - 131.092448 = 0$ (северо-восточная проходит через мыс Сивучий полуострова Камчатский), произошедшими с 1.01.1962 г по 1.09.2004 г. Здесь φ и λ - географические широта и долгота. Отобранными оказались около 320 событий. Составленная на настоящий момент компьютерная программа за разумное время позволяет обрабатывать данные о не более 70 гипоцентров, поэтому зона разбивалась дополнительно на 10 меньших зон с перекрытием $\frac{2}{3}$. Плоскость группирования считалась обнаруженной, если в группе оказывалось не менее 4 гипоцентров, а расстояния гипоцентров от плоскости не превышали 3 км [1]. Для каждой группы программа вычисляла по методу наименьших квадратов компоненты вектора нормали (n_x , n_y , n_z), и расстояние до начала координат C/N . Далее сравнивались нормали обнаруженных плоскостей в смежных областях. Если угол между нормальными не превышал 3° , а разности параметров C/N двух плоскостей не превышали 3 км, то группы гипоцентров, формирующих каждую из плоскостей объединялись, определялись параметры плоскости объединенной группы и рассчитывались расстояния от каждого из гипоцентров до уже объединенной плоскости. Гипоцентры, расстояния до которых превышали 3 км, из группы исключались, параметры плоскости пересчитывались для оставшихся гипоцентров. Таким образом, для рассматриваемой области было установлено 75 плоскостей, определены их параметры: номера событий по каталогу гипоцентры которых формируют плоскость и отдельно списки упорядоченных номеров, которые можно рассматривать как периметр плоскости-многоугольника, компоненты векторов нормали, площадь плоскости [1].

Для четырех крупнейших плоскостей группирования гипоцентров сильнейших афтершоковых землетрясений Кроноцкого землетрясения были отобраны события низших классов (9-11), произошедшие отдельно до и после Кроноцкого землетрясения, но гипоцентры которых при проектировании попадают на плоскости – многоугольники [1]. Далее были построены гистограммы распределения расстояний гипоцентров, отобранных так событий, до каждой из плоскостей. Было установлено, что для трех из четырех плоскостей гистограммы имеют общие особенности: на колоколообразную кривую налагается структура, особенности которой повторяются, если даже гистограммы строить для событий неперекрывающихся интервалов энергетических классов: (9-9.4; 9.5-10; 10.1-11). Для одной же из плоскостей (вторая по нумерации работы [1]) такие особенности не прослеживались, гистограмма носит характер скорее случайного распределения. Были сделаны выводы о том, что во-первых, группирование гипоцентров сильнейших событий (их всего четыре) поблизости у плоскости 2 является случайным, и наоборот, у плоскостей 1, 3, 4 не случайно. Во-вторых, построение гистограмм распределения расстояний и до других выявленных плоскостей позволяет отделять случайное группирование от неслучайного, выявляющего существующие в пространстве слоистые структуры.

Теперь уже для 75 выявленных плоскостей были построены гистограммы распределения расстояний до гипоцентров событий классов 9-11. Гистограммы с признаками структур были обнаружены лишь у 65 плоскостей. В базу данных плоскостей группирования гипоцентров сильных землетрясений Камчатки были включены **параметры** лишь этих 65 плоскостей, гистограммы распределений расстояний гипоцентров ($K = 9-11$) до каждой из плоскостей.

Список литературы

1. Кролевец А.Н. Плоскости разломов Кроноцкого землетрясения 5 декабря 1997 г. // Геофизический мониторинг Камчатки. Материалы научно-технической конференции 17 – 18 января 2006 г. Петропавловск-Камчатский, Изд-во "Оттиск". 2006. С. 32-39.

АНОМАЛИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА ОЗ. БАЙКАЛ

Мороз Ю. Ф.

Институт вулканологии и сейсмологии, ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, moroz@irk.ru

В 2006 г. со льда озера выполнен мониторинг горизонтальных и вертикальной составляющих электрического поля. Пункт расположен в глубоководной части озера. Одновременно производился мониторинг трех компонент электрического поля на суше в п. Тырган и геомагнитных вариаций в обсерватории Патроны. Дискретность наблюдений 1 и 0.02 с. Горизонтальные линии MN ориентированы вдоль и поперек озера. Длина основных линий 500 м, дублирующих – 250 м. В результате наблюдений зарегистрированы высокочастотные возмущения электрического поля различной природы. Особенности этих возмущений следующие.

1. В горизонтальных компонентах поля проявились высокочастотные вариации в период, когда произошло землетрясение с $K = 8.9$ на эпицентральной расстоянии 32 км. Аномальные возмущения проявились примерно за 1 час до землетрясения. Их интенсивность заметно уменьшилась через 20 мин после землетрясения. В вертикальной компоненте вариации отсутствуют. Они хорошо выражены на береговой станции и в обсерватории Патроны во всех компонентах электромагнитного поля. Это свидетельствует, что высокочастотные вариации имеют региональное распространение и связаны, скорее всего, с ионосферными, магнитосферными источниками электромагнитного поля. Возможно, высокочастотные возмущения поля послужили триггерным эффектом для землетрясения. Однако, не исключается случайное совпадение времени возмущений и землетрясения.

2. В электрическом поле зарегистрированы аномальные возмущения, которые приурочены во времени к приходу волны воды от землетрясения и образованию трещины в ледяном покрове. В вертикальной компоненте аномальное возмущение выражено в виде бухтообразной вариации с периодом около 2 мин. Вариация связывается с индукцией электрического тока при движении вертикальной линии в геомагнитном поле. В горизонтальных компонентах возмущение выражено в виде высокочастотных вариаций с периодом в первые секунды. Продолжительность этих колебаний около 50 с. Начинаются они резким изменением напряженности горизонтальных составляющих поля примерно за 10 с до образования трещины. Интенсивность колебаний от первых десятых долей мВ/км до первых единиц мВ/км. Характерно, что интенсивность высокочастотных вариаций в поперечных линиях MN почти в 2 раза выше, чем в продольных. Высокочастотные вариации не проявились на береговой станции Тырган и в обсерватории Патроны. Эти особенности являются принципиальным отличием от вариаций, связанных с внешним источником, которые более интенсивны в продольных линиях MN и проявились в п. Тырган и в обсерватории Патроны. Есть основания полагать, что высокочастотные колебания могут быть вызваны электромагнитными эффектами, возникшими при образовании трещины в ледяном покрове озера. Эти эффекты наводят в приемных линиях высокочастотные возмущения электрического поля. Интенсивность возмущений зависит от длины проекции линий MN на направление трещины. Проекция поперечных линий MN на направление трещины в 2 раза больше, чем продольных. Проекция вертикального канала равна нулю. Поэтому, интенсивность высокочастотных вариаций в поперечных линиях в два раза выше, чем в продольных, а в вертикальной компоненте близка к нулю.

МЕТОД ПРОГНОЗА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ПО ВЕРТИКАЛЬНОЙ И ГОРИЗОНТАЛЬНЫМ СОСТАВЛЯЮЩИМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ

Мороз Ю.Ф.

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск- Камчатский, moroz@irk.ru

Вокруг южной части оз. Байкал в 9 пунктах осуществляется мониторинг электрического поля с дискретностью в первые секунды. Регистрируются горизонтальные составляющие электрического поля на земной поверхности и его вертикальная составляющая в скважинах. Горизонтальные составляющие ориентированы по направлениям геоэлектрической неоднородности. К настоящему времени накоплен большой объем информации в пп. Узур и Тырган. На основе этих данных получены следующие результаты изучения электрического поля Земли.

1. Мониторинг вертикальной и горизонтальной составляющих электрического поля Земли в частотно-временной области дает возможность получить информацию о состоянии геологической среды в связи с геодинамическими процессами в Байкальской рифтовой зоне. Для извлечения этой информации предлагается (по аналогии с геомагнитным полем) ввести электрический типпер, связывающий вертикальную и горизонтальные составляющие электротеллурического поля. Типпер отражает распределение электрических токов в районе геоэлектрической неоднородности. Представление типпера в виде вещественных и мнимых электрических стрелок и электрического вектора позволяет оценить характер геоэлектрической неоднородности и вклад активных и реактивных токов в вертикальную составляющую электротеллурического поля. Особенно информативным является электрический типпер при изучении трехмерных геоэлектрических неоднородностей.

2. По данным мониторинга с 2003 по 2005 гг. выявлены аномальные изменения в параметрах электрического типпера на периодах от 100 до 1000 с, которые могут быть связаны с землетрясениями с $K = 12$ и $K = 12.4$. Аномалии проявляются в увеличении вещественного типпера в несколько раз примерно за 9 суток до землетрясения. Они вызваны перераспределением активных электрических токов в районе разлома, где возможны изменения уровня и минерализации вод перед землетрясением.

3. Анализ показал, что в южной части Байкальского рифта для определения магнитотеллурического импеданса можно использовать вариации геомагнитного поля на удаленных обсерваториях «Энхалук» и «Патроны». Для получения устойчивых значений импеданса в диапазоне периодов от первых десятков секунд до первых часов необходимы регистрации длительностью не менее 5 суток. По данным мониторинга магнитотеллурического импеданса на периоде 1000 с выявлены аномалии в виде ступеней, величина которых исчисляется десятками процентов. При этом фаза импеданса практически не меняется. Эти аномалии приурочены к землетрясению с $K = 12$. Они возникли примерно за месяц до землетрясения и прекратились через 10 суток после землетрясения. Аномалии импеданса вызваны изменением плотности и обводненности пород, изменением минерализации подземных вод, а также другими причинами, возможными при геодинамических процессах.

4. Для выделения вариаций электрического поля, связанных с внутриземными источниками, проведена фильтрация временных рядов среднечасовых значений напряженности электрического поля с окнами, равными 50 и 1000 часам. Получены низкочастотные вариации интенсивностью в первые сотни мВ/км. Они приурочены к землетрясениям с $K \geq 12$. Выявленные вариации электрического поля могут быть связаны с электрохимическими, электрокинетическими, пьезоэлектрическими и другими процессами, возникающими при землетрясениях.

ЗОНЫ ДИЛАТАНСИИ КАК ИНДИКАТОР ОЧАГА ГОТОВЯЩЕГОСЯ СЕЙСМИЧЕСКОГО СОБЫТИЯ

Назарова Л.А.¹, Козлова М.П.²

¹Институт горного дела СО РАН, Новосибирск

²Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, Новосибирск

В окрестности структурных неоднородностей земной коры различного масштабного уровня при техногенных и природных воздействиях (тектонические и гравитационные силы, приливы, заполнение водохранилищ, горные работы и т.п.) возникают области повышенных напряжений, которые являются потенциальными очагами сейсмических событий – горных ударов и землетрясений. В качестве критерия для описания таких зон В.Н.Николаевский предложил использовать функцию дилатансии $T = \tau_{\max} - \sigma_n \operatorname{tg} \varphi - C$, где $\tau_{\max} = (\sigma_1 - \sigma_3)/2$ – максимальное касательное напряжение, $\sigma_n = (\sigma_1 + \sigma_3)/2$, $\sigma_3 < \sigma_2 < \sigma_1$ – главные напряжения, φ – угол внутреннего трения, C – сцепление. В зонах дилатансии происходят необратимые изменения свойств среды, которые можно зарегистрировать геофизическими методами. Сравнивая параметры аномальных областей с результатами расчетов можно в рамках принятых теоретических моделей получить данные о местоположении и механизме очага возможного сейсмического события.

В качестве модели очага принята сосредоточенная сила, действующая в неоднородной упругой полуплоскости. Методом конечных элементов проанализировано поведение функции T при вариации параметров источника, типа тектонического режима и свойств среды. В частности, показано, что наличие слоя осадочных пород с пониженными деформационными свойствами вызывает увеличение (по сравнению с однородной средой) размеров приповерхностных зон дилатансии и уменьшение в окрестности очага.

Сформулирована и решена обратная задача об определении параметров очага (компонентов силы F_x , F_y и координат x_c , y_c) по известным горизонтальным деформациям свободной поверхности ε_{xx} , которые могут быть вычислены по данным космической геодезии. Разработан эффективный алгоритм минимизация целевой функции $\Phi(F_x, F_y, x_c, y_c)$, на первом этапе которого компоненты силы определяются методом наименьших квадратов, а на втором координаты очага находятся методом градиентного спуска. Численные эксперименты показали, что алгоритм устойчив при соотношении максимальных амплитуд шума и полезного сигнала $\xi < 0.5$, причем величина ξ практически не влияет на точность определения F_x и F_y , а относительная ошибка нахождения глубины источника y_c пропорциональна ξ .

Очаг реального сейсмического события представляет собой, как правило, локальную зону в окрестности тектонического разлома, которую следует моделировать (используя функцию Грина) системой сосредоточенных сил с неизвестными, подлежащими определению, параметрами. Решение этой обратной задачи не представляется возможным, поэтому целесообразно построить эквивалентный точечный источник, создающий на свободной поверхности поле дополнительных деформаций $\Delta\varepsilon_{xx}$, аналогичное таковому для реального очага. В качестве модели последнего принят участок (длина l) крутопадающего разлома с повышенными деформационными свойствами. Расчеты показали, что с увеличением “контрастности” η (отношения жесткостей участка и самого разлома) и уменьшением l относительная точность δ аппроксимации поля $\Delta\varepsilon_{xx}$ с помощью точечного источника увеличивается (например, при $l < 1$ км и $\eta > 4$ величина δ составляет менее 3%).

Используя синтезированные параметры эквивалентного источника можно определить фокальный механизм, а, дополнительно задаваясь сейсмическим КПД, – оценить и магнитуду предстоящего сейсмического события.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ФЛИККЕР-ШУМОВОЙ СПЕКТРОСКОПИИ В ЗАДАЧЕ ИДЕНТИФИКАЦИИ ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИХ ПРЕДВЕСТНИКОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Рябинин Г.В., Хаткевич Ю.М.

Камчатский филиал Геофизической службы РАН, Петропавловск-Камчатский, gena@emsd.iks.ru, khat@emsd.iks.ru

Оценка сейсмического риска, особенно для такого сейсмоактивного региона как Камчатка, является одной из важнейших прикладных задач современной геофизики. В основе самой возможности такой оценки лежит феномен предвестников – вариаций характеристик различного рода геофизических полей, наблюдаемых перед сильными землетрясениями. Идентификация предвестников землетрясений, в том числе и гидрогеохимических, сопряжена с целым рядом проблем. Одна, а может быть и главная из них связана с неопределенностью самого понятия «предвестник землетрясения», с тем, что именно следует понимать под этим термином и с помощью каких формальных критериев следует относить ту или иную вариацию в разряд предвестников.

В данной работе представлен один из возможных подходов к решению этой проблемы – метод фликкер-шумовой спектроскопии (ФШС), в основе которого лежат общие феноменологические представления об эволюции сложных динамических систем. Фликкер-шумовая природа вариаций динамических переменных связана с явлением интермиттанса – перемежаемости участков, где временная функция ведет себя достаточно регулярно, с участками, где наблюдаются различного рода нерегулярности (всплески, скачки, изломы производных различных порядков). Сущность ФШС подхода заключается в том, что подобным нерегулярностям придается исключительное значение. Фактически, они рассматриваются как носители информации о структурных перестройках исследуемой динамической системы на каждом из множества пространственно-временных уровней ее иерархической организации. Для описания совокупных свойств каждого из типов нерегулярностей, в рамках ФШС подхода, предлагается анализировать спектры мощности и переходные разностные моменты (переходные структурные функции). В качестве меры изменения спектров мощности и переходных структурных функций, ФШС процедура предполагает использование безразмерного критерия – параметра нестационарности. Расчет параметра нестационарности в скользящем временном окне позволяет выявлять те интервалы, где наблюдается нерегулярное поведение анализируемых динамических переменных.

Использование параметра нестационарности для анализа данных гидрогеохимических наблюдений показало, что в целом ряде случаев выявленные интервалы нестационарности предшествуют сильным сейсмическим событиям юго-востока полуострова Камчатка, произошедшим с 1985 по 2007 гг. Ясное определение понятия нерегулярности, максимально формализованная процедура выявления интервалов нерегулярного поведения исследуемых динамических переменных и простота оценки значимости вариаций параметра нестационарности, позволяют в значительной степени избежать тех неопределенностей, о которых упоминалось выше в связи с проблемой идентификации гидрогеохимических предвестников землетрясений.

Результаты применения метода фликкер-шумовой спектроскопии к анализу данных гидрогеохимических наблюдений, изложенные в настоящей работе, могут являться основанием для использования этого метода в системе мониторинга сейсмической опасности юго-востока полуострова Камчатка.

МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ТИПИЗАЦИЯ И АНАЛИЗ ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИХ ПРЕДВЕСТНИКОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ (НА ПРИМЕРЕ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ПОЛУОСТРОВА КАМЧАТКА)

Рябинин Г.В., Хаткевич Ю.М.

Камчатский филиал Геофизической службы РАН, Петропавловск-Камчатский, gena@emsd.iks.ru, khat@emsd.iks.ru

С 1977 г. на Камчатке проводятся непрерывные наблюдения за режимом подземных вод, организованные специально в связи с проблемой поиска и изучения гидрогеологических предвестников землетрясений. Сеть наблюдений состоит из 11 водопунктов (скважин и источников), объединенных в четыре гидрогеологические станции: Пиначево, Морозная, Хлебозавод и Верхняя Паратунка. Комплекс режимных наблюдений включает в себя измерения величин атмосферного давления и температуры воздуха, измерение температуры и расхода воды скважин и источников, отбор проб воды и газа для последующего их анализа в лабораторных условиях. В общей сложности, измеряется и анализируется более 20 параметров. Интервал между режимными наблюдениями для станций Пиначево, Морозная и Хлебозавод, находящихся в окрестности г. Петропавловска-Камчатского, составляет 3 суток, для станции Верхняя Паратунка – 6 дней.

Предметом исследований данной работы являются, выделяемые на основе определенных критериев, гидрогеохимические эффекты, предшествующие сильным сейсмическим событиям юго-востока полуострова Камчатка. Показано, что наиболее характерные морфологические типы предвестниковых изменений химического и газового состава подземных вод имеют положительную импульсную (длительностью до нескольких десятков суток) и отрицательную бухтообразную форму (продолжительностью до нескольких сотен суток). Установлено, что преобладающая форма проявления предвестникового признака оказывается различной для разных пунктов наблюдения, а также то, что последовательность предвестниковых эффектов импульсного и бухтообразного типов является уникальной для каждой конкретной системы «пласт – скважина».

Средствами статистического анализа проведена оценка распределения времен экстремальных значений гидрогеохимических предвестников, т. е. промежутков времени, отсчитываемых от экстремального значения предвестниковой кривой до момента сейсмического толчка. Показано, что это распределение хорошо аппроксимируется распределением вероятностей Вейбулла. Дана оценка параметров этого распределения. Результат этой оценки может быть использован для выдачи экспертного заключения о сейсмической опасности с указанием вероятного промежутка времени, в течение которого может произойти сильное землетрясение.

С помощью непараметрического критерия Спирмена, проведена оценка корреляции между параметрами бухтообразного и импульсного типов предвестников (временем предвестника, временем экстремума и амплитудой предвестника) и характеристиками землетрясений (магнитудой и эпицентральной дистанцией). Результаты корреляционного анализа, в целом, подтвердили результаты подобных оценок, полученных другими авторами, в которых показано, что время предвестника и время экстремума, в отличие от амплитуды и/или экстремального значения, являются более устойчивыми прогнозными характеристиками предвестниковых эффектов. Это дает основание говорить о принципиальной возможности предсказания времени сильного землетрясения. Возможность же прогноза энергии сейсмического толчка и/или удаленности его эпицентра от пунктов наблюдения, по крайней мере, по данным гидрогеохимических наблюдений на Камчатке, пока следует рассматривать как трудно реализуемую.

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ ШУМОВ ДЛЯ ПРОГНОЗА СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА КАМЧАТКЕ В 1996-2007 гг.

Салтыков В.А.^{1,2}, Кугаенко Ю.А.¹

¹ Камчатский филиал Геофизической службы РАН, Петропавловск-Камчатский, salt@emsd.ru

² Камчатский государственный университет им. Витуса Беринга, Петропавловск-Камчатский

Возможность использования сейсмических шумов для мониторинга напряженно-деформированного состояния среды и прогноза землетрясений основывается на присутствии в их составе информативных эндогенных компонент. Важнейшим этапом в исследованиях сейсмических шумов в диапазоне 10-60 Гц (далее мы будем использовать понятие высокочастотного сейсмического шума (ВСШ), под которым понимаются сейсмические осцилляции в частотном диапазоне первых десятков Гц с амплитудами около 10^{-9} - 10^{-12} м) является обнаружение их модуляции естественными деформирующими процессами: собственными колебаниями Земли, земными приливами и пр. Этот факт был зафиксирован в 1983 г. как научное открытие, авторами которого являются Л.Н. Рыкунов, О.Б. Хаврошкин, В.В. Цыплаков. Оно имело принципиальное значение, так как обнаруженная модуляция микросейсмического излучения деформирующими процессами подтвердила наличие в сейсмических шумах эндогенных составляющих, что вывело их из разряда помех и позволило рассматривать как самостоятельное информативное явление. Кроме того, обнаружение модуляции является дополнительным аргументом в пользу модели активной геофизической среды, которая включает как свойства активности и энергонасыщенности геоматериалов, так и возможность взаимодействия полей различной геофизической природы, их взаимовлияние, в том числе и синхронизацию процессов.

С конца 80-х годов на Камчатке ведутся исследования высокочастотного сейсмического шума. К основным направлениям этих работ относится исследование особенностей отклика ВСШ на приливы перед сильными локальными землетрясениями. В настоящее время эти исследования могут рассматриваться как *мониторинг ВСШ*, в который входят ведение непрерывных долговременных наблюдений, обработка и анализ данных, еженедельная подготовка прогностических заключений о сейсмической опасности.

Контролируемый параметр $\Delta\varphi$ – сдвиг фаз между определенной волной приливного гравитационного потенциала и компонентой огибающей ВСШ с соответствующим периодом. Синхронизация ВСШ с внешним приливным воздействием, проявляющаяся в виде стабилизации этого фазового сдвига, рассматривается как прогностический признак и является новым, ранее не обнаруженным предвестником землетрясений. Оригинальным в данной методике является использование земных приливов, обусловленных лунно-солнечным гравитационным воздействием, в качестве калибровочного (эталонного) сигнала с известными характеристиками. В качестве опорного (пилот-) сигнала выбрана волна O_1 (период 25.82 час.), так как на Камчатке она имеет наибольшую помехозащищенность и относительно большую амплитуду. В скользящем временном окне шириной 28 суток с шагом 1 сутки методом наименьших квадратов из огибающей ВСШ выделяется гармоническая компонента с периодом 25.82 часа и определяются ее параметры: амплитуда и начальная фаза, из которой может быть получена величина фазового сдвига $\Delta\varphi$.

В докладе представлены результаты мониторинга ВСШ на Камчатке в 1996-2007 гг. и их использования в оперативном режиме для прогноза сильных региональных землетрясений ($M \geq 6.0$) в диапазоне эпицентральных расстояний до 400 км. Из 15 рассмотренных землетрясений лишь единственное событие 08.03.1999 $M_w=6.9$ не сопровождалось стабилизацией $\Delta\varphi$. В 8 случаях предвестник был выявлен в режиме реального времени. Из них в 3 случаях прогноз оправдался по всем параметрам. К случаям оправдавшегося прогноза необходимо отнести и Кроноцкое землетрясение 05.12.1997 с $M_w=7.8$, протяженный очаг которого входит в прогнозируемую пространственную область. В двух случаях прогноз реализовался по времени и магнитуде, и была допущена ошибка при определении расстояния до эпицентра, что связано с использованием недостаточно обоснованного критерия, о чем было сказано выше. В одном случае землетрясение с спрогнозированными параметрами произошло через неделю после завершения срока прогноза.

Работа поддержана РФФИ, грант 07-05-00225.

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ АЛГОРИТМА ПРОГНОЗА ИЗВЕРЖЕНИЙ ВУЛКАНА БЕЗЫМЯННЫЙ В 2004-2007 гг. В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

Сенюков С.Л.

Камчатский филиал Геофизической Службы РАН, Петропавловск-Камчатский, ssl@emsd.ru

После 1000-летней паузы на вулкане Безымянный произошло катастрофическое извержение (VEI-5) в 1956 г. После этого события вулкан извергается 1-2 раза в год. Перед некоторыми извержениями были зафиксированы сейсмические предвестники в виде роев поверхностных землетрясений, но официально не было спрогнозировано ни одно извержение этого вулкана. Камчатский Филиал Геофизической Службы (КФГС) РАН начал мониторинг активности вулканов Камчатки в 2000 г. (<http://emsd.iks.ru/~ssl/monitoring/main.htm>) по сейсмическим, спутниковым, визуальным и видео наблюдениям. С февраля 2000 г. по февраль 2004 г. было зарегистрировано и изучено 7 извержений. В результате исследований в мае 2004 г. был определен алгоритм прогноза извержений вулкана Безымянный по сейсмическим и спутниковым данным [1]. Применение предложенного алгоритма в реальном режиме времени дало следующие результаты, сведенные в таблице.

Таблица. Прогнозы и результаты.

Сокращения в таблице: ИВС - Институт Вулканологии и Сейсмологии, АВО – Аляскинская Вулканологическая Обсерватория, КФ РЭС – Камчатский Филиал Российского Экспертного совета, ГУ МЧС КО – главное управление МЧС по Камчатской области, н.у.м. – над уровнем моря.

№	Время объявления прогноза (UTC)	Прогноз			Время извержения, высота пеплов. выброса н.у.м.	Подтверждение
		Время начала извержения	Высота пеплов. выброса	Был передан в организации		
1	2004, 15 июня	следующие 5 дней	-	ИВС, АВО и КФГС	18 июня 2004 г. с 19:40 до 20:20 UTC, более 8 км.	Сейсм., спутн., визуальные и видео данные
2	2005, 06 января	следующие 7 дней	-	ИВС, АВО и КФГС	11 января 2005 г. с 08:02 до 08:45 UTC	Сейсмические и спутниковые данные
	2005, 10 января	следующие 7 дней	6-10 км н.у.м.	КФ РЭС		
3	2005, 24 ноября	следующие 30 дней	6-10 км н.у.м.	КФ РЭС, ИВС, АВО и КФГС	30 ноября 2005 г. с 12:00 до 13:15 UTC, более 6 км	Сейсмические и спутниковые данные
	28 ноября (уточнение)	следующие 7 дней	6-10 км н.у.м.			
4	2006, 02 мая	следующие 30 дней	6-10 км н.у.м.	КФ РЭС, ИВС, АВО и КФГС	09 мая 2006 г. с 08:21 до 08:45 UTC, 12-15 км.	Сейсм., спутн., визуальные и видео данные
	06 мая (уточнение)	следующие 7 дней	6-10 км н.у.м.			
5	2006, 22 декабря	следующие 30 дней	6-10 км н.у.м.	КФ РЭС, ИВС, АВО, КФГС, ГУ МЧС КО	24 декабря 2006 г. с 09:17 до 10:20 UTC, 13 км	Сейсмические, спутниковые, и визуальные данные
	23 декабря (уточнение)	следующие 7 дней	6-15 км н.у.м.			
6	2007, 10 мая *)	следующие 14 дней	6-15 км н.у.м.	КФ РЭС, КФГС	11 мая 2007 г. с ~14:45 до ~15:10 UTC	Сейсмические и спутниковые данные

*) Прогноз был сделан по спутниковым данным, т.к. корректный сейсмический мониторинг влк. Безымянный был невозможен с апреля по июнь 2006 г. из-за сильного извержения влк. Ключевской.

Результаты: 1) прогнозы № 2-5 были признаны успешными в КФ РЭС; 2) прогноз № 6 пока не оценивался в КФ РЭС; 3) прогноз № 1 в КФ РЭС не передавался; 4) с июня 2004 г. по сентябрь 2007 г. ложных тревог и не спрогнозированных извержений не зафиксировано.

1. Senyukov Sergey L. 2006. Algorithm of the eruption prediction of Bezymianny volcano (Kamchatka) //Thesis of the presentations of 5th Biennial Workshop on Subduction emphasizing the Japan-Kuril-Kamchatka-Aleutian Arcs (JKASP-5). Sapporo. 2006. P.57.

РЕТРОСПЕКТИВНАЯ ОЦЕНКА СРЕДНЕСРОЧНЫХ ПРЕДВЕСТНИКОВ СИЛЬНЫХ (M≥6.6) ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ КАМЧАТКИ 1987-2007 гг.

Серафимова Ю.К., Копылова Г.Н.

Камчатский филиал Геофизической службы РАН, Петропавловск-Камчатский, yulka@emsd.ru

Проявление аномалий-предвестников в изменениях сейсмичности, деформаций земной коры, в режиме подземных вод и других параметров геофизического мониторинга в течение первых лет – месяцев перед сильными землетрясениями, указывает на возможность их среднесрочного прогноза. Практическая ценность среднесрочного прогноза состоит в оценке времени возникновения сильного землетрясения, сопровождающегося катастрофическими последствиями для населения, с заблаговременностью, позволяющей осуществить необходимые научные и социальные мероприятия в условиях ожидания чрезвычайной ситуации. На Камчатке с 1961 г. проводятся детальные сейсмологические наблюдения. С конца 70-х гг. XX века на территории Петропавловского полигона проводятся светодальномерные, гидрогеохимические, гидрогеодинамические и другие виды наблюдений. Результаты комплексных наблюдений рассматриваются на специализированных советах по прогнозу землетрясений.

В настоящей работе выполнена систематизация данных о проявлении среднесрочных (первые годы – месяцы) предвестников на примере тринадцати землетрясений с $M = 6.6-7.8$, произошедших в 1987-2007 гг. и сопровождавшихся ощутимыми сотрясениями с интенсивностью до 4-7 баллов на территории Камчатки. В основу работы положены следующие материалы:

- публикации по отдельным методам наблюдений - светодальномерные (Левин и др., 2006; Зобин и др., 1996), гидрогеохимические (Хаткевич, Рябинин, 2004, 1998), гидрогеодинамические (Копылова, 2001), метод RTL (Соболев, 1999, 2003; Кравченко, 2005), метод ВСШ (Салтыков и др., 1997, 1998; Салтыков, 2004; Кугаенко, Салтыков, 2005, 2006), в которых представлены результаты за многолетний период и приводится описание выявленных аномалий-предвестников;

- публикации, обобщающие результаты работы специализированных экспертных советов по прогнозу землетрясений – Межведомственного научно-технического экспертного совета по прогнозу землетрясений и извержений вулканов при Камчатском центре мониторинга сейсмической и вулканической активности (Копылова, Жалыева (Серафимова), 1999, 2000); Камчатского отделения Федерального центра прогнозирования землетрясений (Гордеев, Салтыков, Серафимова, 2006).

Для каждого землетрясения определялся состав среднесрочных предвестников, выявленных ретроспективно и в режиме реального времени. Основное внимание уделялось оценке зависимости между временем проявления различных предвестников и параметрами землетрясений (магнитуда, месторасположение). Обнаружено отсутствие связи между магнитудами последующих землетрясений и временами проявления следующих предвестников: (1) аномалий в режиме слабой сейсмичности на глубинах 30-100 км по параметру RTL (последовательное проявление стадий сейсмического затишья и активизации), (2) стабилизации фазы волны O1 в изменениях огибающей высокочастотного сейсмического шума, (3) аномальных понижений концентрации хлора в воде скважины ГК-1. Установлена прямая линейная зависимость времени проявления повышенной скорости понижения уровня воды в скважине Е1 («тревожный признак») от магнитуды последующего землетрясения. Аналогичная зависимость прослеживается также для интервалов времени укорачивания длин линий светодальномерных наблюдений перед тремя землетрясениями с $M \geq 6.6$.

Результаты работы показывают, что продолжительность среднесрочных предвестников, а также факт их выявления, не являются надежными параметрами для оценки магнитуды последующего землетрясения. По большинству рассмотренных методов оценки ожидаемой магнитуды или интенсивности сотрясений приводятся в форме ≥ 5 , ≥ 6 и т. д., которые являются не вполне корректными в связи с отсутствием опыта наблюдений в условиях катастрофического землетрясения. Вместе с тем, выполненная систематизация данных по среднесрочным предвестникам показывает, что в условиях камчатской наблюдательной сети они проявлялись по комплексу методов, главным образом, перед землетрясениями с $M \sim 7$ и более.

МОНИТОРИНГ ПРОГНОСТИЧЕСКОГО ПАРАМЕТРА τ ПО ДАННЫМ СЕЙСМИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ КАМЧАТКИ (ОПЫТ И АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ЗА ДЛИТЕЛЬНЫЙ ПЕРИОД ВРЕМЕНИ)

Славина Л.Б.¹, Левина В.И.², Бахтиярова Г.М.²

¹ *Институт физики Земли РАН, Москва, slavina@ifz.ru*

² *Камчатский филиал Геофизической службы РАН, Петропавловск-Камчатский*

Рассматриваются методические особенности и результаты применения разработанных авторами алгоритмов и программ кинематического метода долго- средне- и краткосрочного прогноза сильных землетрясений (извержений вулканов). Предпосылкой метода являются представления о направленных изменениях физических параметров среды, происходящих в период подготовки сильного землетрясения. Под воздействием роста поля напряжений, на последней стадии подготовки землетрясений среда теряет устойчивость, и это отражается в увеличении разброса значений параметров различных геофизических полей. В том числе и в поле времен пробега сейсмических Р- и S-волн от слабых, близких землетрясений. Наблюдая вариации времен пробега Р- и S-волн и их отношений - T_s/T_p (параметра τ - τ - TAU) в пространстве и времени, и проводя анализ флуктуаций относительно долговременного среднего, можно выявить временной интервал, где значения флуктуаций максимальны, и оконтурить область их локализации.

Из ретроспективного анализа установлено, что кинематический предвестник в средне- и краткосрочном варианте предвещает сильное событие в интервале времени от 1 суток до 15 – 45 дней. В долгосрочном аспекте аномалия при картировании параметра по площади выявляется за несколько лет. Длительность аномалии зависит от силы готовящегося землетрясения и тектонических особенностей региона. В краткосрочном варианте можно выделить тревожный интервал времени. По сопоставлению аномалий на прогностических кривых на ряде сейсмических станций можно оценить возможный район возникновения землетрясения. Учитывая ретроспективные результаты прогнозирования можно указать вероятный в той или иной степени диапазон магнитуд. Анализ последовательного ряда карт долгосрочного предвестника позволяет выявить и оконтурить зону аномалии и проследить ее развитие во времени. Аномальная зона долгосрочного предвестника формируется за время от нескольких месяцев до 5-10 лет, в зависимости от тектонического строения региона и энергии готовящегося события. Это позволяет развернуть систему наблюдений за краткосрочными предвестниками. Как в краткосрочном, так и в долгосрочном варианте аномальные изменения поля параметра τ появляются раньше на некотором (около 50-100 км) удалении от очага будущего землетрясения. Эти наблюдения приводят нас к выводу, что процесс подготовки землетрясения охватывает большие площади, и начинается в краевых зонах, в то время как "центр" (область очага) молчит. Выявленный образ долгосрочного предвестника позволил разработать программу RING, для установления стадии подготовки развивающейся аномалии. Предвестник выявлен при подготовке событий разного масштабного уровня, от горного удара в шахтах, извержений вулкана до сильного землетрясения. Показаны результаты расчетов прогностических кривых в периоды подготовки и реализации сильных землетрясений: Петропавловского 1971 г., $M = 7.1$, Кроноцкого 1997г., $M = 7.8$.

В течение последних пяти лет проводился мониторинг в оперативном режиме с передачей результатов расчетов и заключений в ФЦПЗ. Накопленный длинный ряд наблюдений и опыт прогнозирования в режиме близком к реальному времени позволяет выявить особенности появления предвестника, определить чувствительность станций. Результаты выявления и реализации аномалий в оперативном режиме достаточно обнадеживающие, что вселяет оптимизм.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ АНОМАЛИЙ КВАЗИСТАТИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ В ПРИЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЕ НА КАМЧАТКЕ

Смирнов С.Э.

*Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН,
Паратунка, Камчатский край*

Выполнен статистический анализ бухтообразного понижения напряженности E_z -компоненты квазистатического электрического поля в приземной атмосфере на Камчатке. В период с 1997 по 2002 гг. было обнаружено 103 случая таких аномалий. Наиболее вероятные длительности аномалий составляют величину 40 – 60 мин с дополнительным максимумом ~ 160 мин, а величины понижения напряженности поля ~ минус 100 – 300 В/м. Была исследована связь этих аномалий поля с землетрясениями. За положительное событие принималась ситуация, когда в интервале времени 24 ч после аномалии происходило одно или несколько землетрясений класса К от 11 до 15 ($M = 4.7 - 6.7$) с эпицентрами в области с координатами $(45-55)^\circ N$, $(155-165)^\circ E$, включающей пункт регистрации. В 37 (36%) случаях после аномалии через 1-24 ч происходили землетрясения. Не обнаружена зависимость длительности бухты и величины понижения напряженности поля ни от класса землетрясения, ни от расстояния до его эпицентра.

Природа наблюдаемых на Камчатке аномалий квазистатического электрического поля перед землетрясениями до сих пор не ясна. В литературе предложено несколько моделей этого явления. Одна из этих моделей предлагает причину аномалий в вариациях E_z в приземной атмосфере в результате изменения концентрации радона. Содержание его в земной коре и поступление в атмосферу тесно связаны с состоянием деформационных процессов в поверхностных слоях Земли в период активного образования трещин при подготовке землетрясений. Другая модель рассматривает образование зарядов на стенках трещин в горных породах, порождающих квазистатическое поле в атмосфере в дополнение к фоновой величине. Результаты совместных наблюдений напряженности электрического поля и электропроводности, выполненных в ИКИР, подтверждают факт влияния радона в период активного трещинообразования. Вместе с тем низкий процент аномалий электрического поля, сопровождаемых землетрясениями, указывает на то, что, по-видимому, должны существовать еще какие-то дополнительные условия.

МОНИТОРИНГ ГИДРОГЕОДЕФОРМАЦИОННОГО ПОЛЯ В КАМЧАТСКОЙ ОБЛАСТИ

Смолина Н.Н.

КРЦМСН ОАО «Камчатгеология», Елизово, Камчатский край

ОАО «Камчатгеология» в настоящее время проводит опытно-методические работы по мониторингу геологической среды для изучения эволюции гидрогеодеформационного поля (ГГД-поле) и выявления его особенностей. Исследования включают проведение режимных гидрогеологических наблюдений и их обработку в соответствии с «Методическими указаниями по ведению гидрогеодеформационного мониторинга для целей сейсмопрогноза (система R-STERS)» Москва, 2000 год.

Наблюдательная сеть, созданная в 2000-2006 гг., включает 5 пунктов наблюдения (ПН) и охватывает территорию в границах 53° – 56° с.ш. и 156° – 159° в.д. Наблюдательные пункты слежения за изменением гидрогеодеформационного поля размещены в разных по геодинамической характеристике блоках региона: Охотская неоплатформа (Большерецкая плита) - ПН1311; Центрально-Камчатский рифтогенный прогиб – ПН1306; Петропавловско-Малкинская зона (Авачинский региональный разлом) – ПН1303, 1301; Центрально-Камчатский вулканический пояс (зона сочленения вулканотектонических структур) – ПН1309.

Наиболее чувствительным компонентом геологической среды, реагирующим на физико-химические изменения, происходящие в массивах горных пород, является ее водная составляющая. Оставаясь «по существу несжимаемой субстанцией, подземные воды воспринимают всевозможные стрессы, которые испытывают горные породы, и поэтому представляют собой высокочувствительное «рабочее тело», дающее возможность отслеживать быстротекущие смены состояния обширных геологических толщ», в том числе и процессы эволюции напряженно-деформированного состояния земной коры. Выявленные закономерности функционирования гидрогеодеформационного поля Земли позволяют использовать информацию уровня режима при решении задач краткосрочного сейсмопрогноза.

В гидрогеологическом отношении исходным условиям в регионе отвечают структуры артезианских бассейнов различного типа, в пределах которых были выбраны пункты наблюдения.

Методика обработки данных, полученных в результате наблюдений на скважинах, в Камчатском региональном центре сводится к построению:

1. Карт состояния ГГД-поля, позволяющих контролировать характер и темпы эволюции короткоживущих структур деформации.

2. Графиков изменения уровня подземных вод, атмосферного давления и температуры воды.

На стадиях подготовки землетрясений могут проявляться различные нестандартные вариации тренда уровня, которые в ходе работ по данной теме, отнесены к аномалиям:

- синхронный ход кривых уровня подземных вод (УПВ) и атмосферного давления,
- аномальный подъем и спад УПВ с относительно большой амплитудой («бухты»),
- относительная стабилизация УПВ,
- ступенчатое понижение уровня воды.

Исследования показали, что заметные вариации происходят от 10-15 дней до нескольких часов до момента сильного сейсмического события. Поэтому анализ тренда уровня воды с целью выявления эффектов изменения напряженно деформированного состояния среды направлен на выделение интервалов времени его нестабильного поведения.

ИЕРАРХИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД

Томилин Н.Г., Куксенко В.С.

*Физико-Технический институт РАН, Санкт-Петербург, nikita.tomilin@mail.ioffe.ru,
victor.kuksenko@mail.ioffe.ru*

Работа посвящена исследованию развития разрушения в горных породах на различных масштабах. Статистический анализ накопления дефектов выделяет две стадии разрушения горных пород [1]. Первая стадия характеризуется дисперсным накоплением невзаимодействующих трещин, которые образуются под действием механической нагрузки. Предполагается, что размер трещин соответствует определенному размеру структурной неоднородности материала. Когда концентрация дефектов в локальной области достигает порогового значения, начинается ускоренное дефектообразование. Разрушение переходит на вторую, очаговую, стадию. В результате развития очага разрушения, образуется дефект большего размера, соответствующий следующему масштабному уровню структуры. Данные закономерности инвариантны масштабу процесса. Это означает, что если в материале имеет место полимодальность характерных размеров гетерогенности, как в горных породах [2], то разрушение происходит подобным образом на всех возможных масштабах.

Исследовались функции плотности вероятности (P_a) амплитуд АЭ сигналов, зарегистрированных при деформировании гранита. Эволюция амплитудных спектров во времени имеет характерные точки, связанные с качественно различными пространственно-временными этапами разрушения, которые свидетельствуют о многоуровневости процесса. Выявлены амплитудные диапазоны, соответствующие определенным рангам дефектообразования. Признаком границ этих диапазонов является постоянство значений P_a . Исследовалась кинетика формирования очага разрушения для различных рангов процесса. Определено корреляционное соотношение между объемом очага и амплитудой, характерной для каждого из рангов.

Работа выполнена при поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (грант № 07-05-00542).

1. Kuksenko V., Tomilin N., Damaskinskaya E., and Lockner D. A Two-stage Model of Fracture of Rocks // Pure Appl. Geophys. **146** (2). pp.253-263, 1996.

2. Садовский М.А., Голубева Т.В., Писаренко В.Ф., Шнирман М.Г. Характерные размеры горной породы и иерархические свойства сейсмичности // Изв. АН СССР, Физика Земли. - 1984. - N2 - с.3-15.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ КАМЧАТКИ

Томилин Н.Г.

Физико-Технический институт РАН, Санкт-Петербург, nikita.tomilin@mail.ioffe.ru

На основе кинетических представлений о прочности твердых тел и базирующейся на них иерархической модели разрушения горных пород сформулированы физически обоснованные критерии формирования очаговой стадии процесса. Разработана методика прогнозирования места, времени и энергии сейсмических явлений и описан ее алгоритм.

Проанализирована база данных сейсмического режима региона Камчатки, содержащая параметры более 50000 землетрясений (1962 – 2001 гг., $E = 10^4 - 10^{16}$ Дж). Ретроспективно выделены очаговые области всех 35 землетрясений с $\lg E \geq 14$, из которых в 31 случаях были обнаружены предвестники. Таким образом, вероятность равная ~ 0.89 позволяет судить о принципиальной возможности прогнозирования землетрясений в рамках рассматриваемой методики. Продемонстрирована возможность прогнозирования землетрясений и меньших энергий, вплоть до $\lg E \geq 11.5$ Дж.

Обнаружено, что в процессе формирования очага крупного землетрясения разрушение локализуется, гипоцентры на нестационарной стадии формируют поверхность, соответствующую, по всей видимости, имеющемуся готовому разлому в земной коре. Это позволяет предположить явление stick-slip в качестве механизма финальной стадии процесса.

Установлена корреляция между глубокофокусными землетрясениями и пространственной зоной очаговой стадии процесса глубиной до ~ 30 км. Выдвинуто предположение о влиянии Олюторского (2006) и Курильских (2006, 2007) землетрясений на сейсмичность Камчатки.

Приведены примеры документированного перспективного прогноза землетрясений рассматриваемого региона.

Автор благодарит КФ ГС РАН за предоставленные исходные материалы по сейсмичности Камчатки. Работа выполнена при поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (грант № 07-05-00542).

К ВОПРОСУ О ПРОГНОЗИРОВАНИИ МЕСТА И ВРЕМЕНИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ЮЖНОЙ ЯКУТИИ И СОПРЕДЕЛЬНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Трофименко С.В.¹, Гриб Н.Н.¹, Имаев В. С.², Никитин В.М.¹, Муллаяров В.А.³

¹Технический институт (филиал) ЯГУ, Нерюнгри, urovsky@yandex.ru

²Институт земной коры СО РАН, Иркутск

³Институт космофизических исследований и ионосферы (ИКФИИ) СО РАН

Введение

Рассматриваются вопросы геофизического мониторинга Олекмо-Становой сейсмической зоны (ОСЗ) методом регистрации естественного импульсного электромагнитного поля земли ЭМИ - ЕИЭПЗ. Анализ сейсмической активности в 1989 г. показал, что область активизации имеет протяженность более 3000 км. Делается предположение, что вариации ЭМИ - ЕИЭПЗ могут быть обусловлены источниками за пределами ОСЗ.

Вопросы прогнозирования места и времени землетрясений имеют самостоятельное значение и решаются независимо различными геофизическими методами.

Для Южной Якутии в пределах Алданского щита на современном этапе наиболее надежные прогнозные пространственные построения осуществляются на основе долгосрочных сейсмологических исследований, тектонических и геоморфологических признаков. Прогнозирование времени предстоящего события осуществляется проведением геофизического мониторинга.

К вопросу о прогнозе места землетрясения

Рассмотрение тектонических признаков произошедших землетрясений позволило выделить три блока в центральной части Алданского щита, составить схему сейсмогенных блоков, ограниченных разломами, входящими в систему Станового краевого шва.

По сейсмологическим признакам, эпицентр Южно – Якутского землетрясения 1989 г. (57.17° с.ш., 122.31° в.д.) находился в области сейсмического затишья (кольцевая структура). Аналогичные структуры были выделены северо–западнее (57.3°, 121.6°) и восточнее: (56.1°, 124.6°), (56.2°, 124.7°) на расстоянии более 200 км друг от друга. В центре ОСЗ (56.6°, 124.1°) имеется асейсмичная структура северо–восточного простирания, которая также может стать сейсмогенерирующей областью, а это, в свою очередь, многократно увеличивает степень сейсмического риска для промышленно развитого района Южной Якутии.

К вопросу о прогнозировании времени землетрясения

При исследованиях временных изменений геофизических полей вследствие сеймотектонических процессов возникает две задачи: поиск закономерностей «поле - землетрясение» и определение предельного радиуса (сферы) влияния экзогенных процессов на формирование геофизических предвестников землетрясений.

Многолетними геофизическими измерениями установлена связь между произошедшими землетрясениями и непериодическими изменениями геофизических полей на территории Южной Якутии.

Детальный анализ результатов геофизического мониторинга за 2005-2007 гг. с привлечением материалов за 1989 г. позволил проинтерпретировать аномалии ЭМИ с позиции сейсмического процесса в блоковой среде.

Выводы

Источником аномальных изменений ЭМИ выступает тектонический процесс, который охватывает территорию, превосходящую область Алданского щита или Олекмо - Становую сейсмическую зону.

Изучение периода повышенной сейсмической активности 1989 г. показало, что протяженность зоны активизации составила более 3000 км.

Выделенные области формирующихся очагов землетрясений по тектоническим и сейсмологическим признакам также могут быть источниками ЭМИ, но для подтверждения этих положений необходимо проведение площадного геофизического мониторинга.

ДОЛГОСРОЧНЫЙ СЕЙСМИЧЕСКИЙ ПРОГНОЗ ДЛЯ КУРИЛО-КАМЧАТСКОЙ ДУГИ И ОБЕСПЕЧЕНИЕ МЕР ПО СЕЙСМОБЕЗОПАСНОСТИ

Федотов С.А., Соломатин А.В., Чернышев С.Д.

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский

Метод долгосрочного сейсмического прогноза С.А. Федотова основан на закономерностях расположения очагов сильнейших землетрясений ("сейсмических брешей") и сейсмического цикла. Этот метод был предложен С.А. Федотовым в 1965-1967 годах для Курило-Камчатской дуги и Северо-Восточной Японии. Метод является известным в мировой сейсмологии, систематически используется и развивается для Курило-Камчатского региона с 1965 года по настоящее время. По этому методу прогнозируется ряд характеристик сейсмичности Курило-Камчатской дуги на пятилетние интервалы времени.

Наиболее активная полоса сейсмогенной зоны Курило-Камчатской дуги с глубинами очагов 0-80 км, имеющая длину 2100 км и ширину 100 км, делится на 17-21 участков. Для них прогнозируются стадии сейсмического цикла, указываются места "сейсмических брешей", определяется относительная опасность "сейсмических брешей", прогнозируются сейсмическая активность A_{10} (число слабых землетрясений энергетического класса $K_5=10$ или $M=3.5$ в год на площади 10^3 км²), магнитуды M землетрясений, ожидающихся с вероятностями 0.8, 0.5 и 0.15, максимальные магнитуды землетрясений и вероятности возникновения сильнейших землетрясений с $M \geq 7.7$.

Прогнозы обновляются через полгода или чаще, если происходят сильные землетрясения и существенно меняются параметры сейсмичности за предыдущие пять лет. На протяжении 40 лет применения метода прогнозы сильнейших землетрясений оправдывались с вероятностью 0.8-0.9. В 90-х годах были успешно предсказаны Шикотанское землетрясение 4.X 1994, $M=8.1$ на Курильских островах и Кроноцкое землетрясение 5.XI 1997, $M=7.8$ на Камчатке.

Последним примером успешного применения метода является заблаговременный прогноз землетрясения 15.XI 2006 г., $M=8.2$ в районе Средних Курильских островов. С начала детальных сейсмологических исследований по рассматриваемому методу, с 1965 г. крупная "сейсмическая брешь" в районе Средних Курильских островов считалась одним из вероятных мест следующих землетрясений с $M \geq 7.7$ на Курило-Камчатской дуге. Последние такие прогнозы давались дважды в 2006 г. - в апреле и в октябре 2006 г. перед землетрясением 15.XI 2006 г., $M=8.2$. Очаг этого землетрясения очень точно заполнил предсказанную "сейсмическую брешь".

13.I 2007 г. юго-восточнее эпицентра землетрясения 15.XI 2006 г. в границах его очага произошло второе сильнейшее землетрясение с магнитудой $M=8.1$. Для анализа использовался "сценарий афтершоков", применяемый для слежения за развитием афтершокового процесса землетрясений с $M \geq 7.7$, а также прогноза их афтершоков $M \geq 6.0$. Сделан вывод о том, что второе землетрясение скорее является очень сильным афтершоком, вероятность которого по "сейсмическому сценарию" равна 0.67. В целом развитие афтершокового процесса землетрясения 15.XI 2006 г., $M=8.2$ за первые десять месяцев соответствует "сейсмическому сценарию".

Метод может использоваться в сочетании с другими методами, а также применяться в других регионах мира, имеющих сходные структуру, геодинамику и сеймотектонику.

Составлен долгосрочный сейсмический прогноз для Курило-Камчатской дуги на IX 2007-VIII 2012 гг. Вероятность возникновения в течение этого времени землетрясений с $M \geq 7.7$, имеющих силу 7-9 баллов в г. Петропавловске-Камчатском, остается наиболее высокой и равна 52.7 %.

С 1978 г. прогнозы представляются в Совет ИВ (ИВиС) ДВО и КОМСП (КФ) ГС РАН, который рассылает их администрации Камчатской области (края), МЧС, РЭС МЧС и РАН и в другие адреса. С 1985 года прогнозы с пояснениями и приложениями сообщались президентам РАН, Правительству СССР - России и губернаторам Камчатской области (края), МЧС, представителям Президента РФ в Дальневосточном округе и послужили обоснованием шести распоряжений и Постановлений Правительства СССР - России в 1986 - 2001 гг., трех поручений Президента РФ В.В. Путина в 2006-2007 гг. (17.05.2006 г., 02.11.2006 г., 05.09.2007 г.) и распоряжения Правительства РФ (22.09.2007 г.) о мерах по обеспечению сейсмобезопасности и сейсмоукреплению в Камчатском крае.

ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТ ПО ОЦЕНКЕ СЕЙСМИЧЕСКОЙ И ВУЛКАНИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ НА КАМЧАТКЕ

Чебров В.Н.

Камчатский филиал Геофизической службы РАН, Петропавловск-Камчатский, chebr@emsd.ru

В России мониторинг опасных эндогенных процессов осуществляется в рамках Федеральной системы сейсмологических наблюдений и прогноза землетрясений. Мониторинг включает в себя ведение наблюдений, обработку и анализ данных, прогноз исследуемых явлений. Основной задачей Камчатского филиала ГС РАН является обеспечение в режиме реального времени сейсмического мониторинга Камчатского региона, в том числе действующих вулканов, участие в сейсмическом мониторинге России и мира. Основная цель мониторинга - информирование органов государственной власти и МЧС о сейсмической опасности и вулканической активности региона.

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

Оценка сейсмической обстановки в районе Камчатки производится по параметрам, характеризующим состояние сейсмичности: сейсмическая активность A_{10} ; наклон графика повторяемости γ ; параметры, определяемые по прогностическим методикам RTL и Z-тест; вариации площади сейсмогенных разрывов ΔS ; форшоковая кластеризация. Решение о состоянии контролируемых вулканов принимается на основе результатов оперативной обработки сейсмических данных, распознавания физических явлений на контролируемых вулканах, анализа спутниковых снимков, базы знаний извержений. Экспертная оценка сейсмической и вулканической опасности на территории Камчатской области проводится Камчатским филиалом Российского экспертного совета (РЭС) по прогнозу землетрясений. Основная функция КФ РЭС – оперативная оценка сейсмической опасности, прогноз землетрясений и извержений вулканов, возможных последствий их воздействий. На этом этапе мониторинга производится комплексирование более 20 методов прогноза: при оценке сейсмической опасности рассматривается несколько групп предвестников сильных землетрясений: сейсмологические, геофизические, геохимические. Заседания проводятся еженедельно. Заключение о сейсмической и вулканической опасности передаются в РЭС, территориальную администрацию, МЧС, Геофизическую службу РАН.

МОДЕЛИ ГЕОМАГНИТНЫХ ВАРИАЦИЙ, ОБУСЛОВЛЕННЫХ ПРОЦЕССАМИ В ЗЕМНЫХ ОБОЛОЧКАХ

Шереметьева О.В., Кролевец А.Н.

Камчатский государственный университет, Петропавловск-Камчатский, an@kamgpu.ru

Проблема прогноза землетрясений остается актуальной на сегодняшний день. С целью решения данной проблемы ведется наблюдение и регистрация изменений в геофизических полях. Использование накопленных данных в прогностических целях возможно только после их статистической обработки и интерпретации полученных результатов, на основании модели процесса подготовки землетрясения. Кроме того, во временных рядах данных должны быть разделены вклады, вносимые локальными и планетарными источниками, и определен основной источник вариаций локального геомагнитного поля в областях, сложенных намагниченными породами.

В работе разрабатываются модель намагниченного литосферного блока (магнитный диполь), подвергающегося тектоническому воздействию, и модель приливного воздействия на планетарные источники геомагнитного поля, расположенные в ядре и магнитосфере Земли. Проводимый в работе анализ использует данные о приливных волнах Земли O_1 и M_2 .

С использованием предложенной в работе модели магнитного источника вариаций характеристик электромагнитного поля, расположенного в литосфере, устанавливается, что абсолютная величина магнитных вариаций длительностью порядка 10^{-2} с, сопровождающих землетрясения с магнитудами $M = 5$ и $M = 6$, составляет для ферромагнитных пород значения от единиц до десятков нТл. Такие вариации могут быть уверенно зарегистрированы современными приборами. Имеющиеся в настоящее время экспериментальные данные свидетельствуют о тех же значениях косейсмических вариаций в течение промежутков времени более 1 с.

На основании разработанной модели приливного воздействия на источники геомагнитного поля, расположенные в ядре и магнитосфере Земли, в работе устанавливается, что эффекты вариаций геомагнитного поля, обусловленные приливной деформацией ядра, на четыре порядка меньше эффектов от деформаций токов в магнитосфере. Вариации геомагнитного поля, обусловленные приливной деформацией токов в магнитосфере, составляют $0.1 \div 1$ нТл.

Вариации магнитного поля Земли на основании геомагнитных данных обсерватории «Паратунка» за период 2001-2003 гг. содержат составляющие с частотами приливных волн O_1 (амплитуда 0.7 нТл) и M_2 (амплитуда 0.94 нТл). Результаты обработки экспериментальных данных обсерватории «Паратунка» качественно совпадают с теоретически рассчитанными вариациями, вызванными приливными деформациями токов в магнитосфере, что подтверждает адекватность разработанной модели.