

**РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОГО, НАУЧНОГО И МЕТОДИЧЕСКОГО  
ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ СРЕДНЕСРОЧНОГО ПРОГНОЗА И ОПЕРАТИВНОГО  
КОНТРОЛЯ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ОЧАГОВ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В  
КАМЧАТСКОМ СЕЙСМОАКТИВНОМ РЕГИОНЕ**

*Чебров В.Н.<sup>1</sup>, Абубакиров И.Р.<sup>1</sup>, Гаврилов В.А.<sup>3</sup>, Завьялов А.Д.<sup>2</sup>, Копылова Г.Н.<sup>1</sup>, Салтыков В.А.<sup>1</sup>, Серафимова Ю.К.<sup>1</sup>, Соболев Г.А.<sup>2</sup>, Сероветников С.С.<sup>1</sup>, Титков Н.Н.<sup>1</sup>, Фирстов П.П.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Камчатский филиал Геофизической службы РАН, Петропавловск-Камчатский,  
[chebr@emsd.ru](mailto:chebr@emsd.ru)*

<sup>2</sup>*Институт физики Земли РАН, Москва*

<sup>3</sup>*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский*

**Введение**

Сильные землетрясения - опасные природные явления, которые могут сопровождаться массовыми потерями среди населения, разрушением населенных пунктов, уничтожением инфраструктуры и экономического потенциала на сейсмоопасных территориях России. В настоящее время наука не может предсказать время, место и величину магнитуды будущего землетрясения в краткосрочном плане (от часов до нескольких недель) с точностью, достаточной для экономически и социально оправданной экстренной остановки потенциально опасных производств и эвакуации населения. Вместе с тем методы среднесрочного (от месяца до года) и долгосрочного прогнозов в России и мире наиболее разработаны и могут лежать в основе принятия решения о проведении превентивных мероприятий. Это даст возможность федеральным и региональным властям максимально подготовиться к возможной катастрофе. Среднесрочный прогноз сильных землетрясений основывается на закономерностях сейсмического режима конкретного региона и на отражении процессов подготовки этих землетрясений в параметрах геофизических полей.

Геофизической службой и другими институтами РАН в сейсмоактивных районах Дальнего Востока России в соответствии с планами НИР проводятся комплексные сейсмологические, геодезические, геофизические и др. виды наблюдений. Данные этих наблюдений лежат в основе работ по поиску и исследованиям предвестников сильных землетрясений. При этом особое внимание уделяется Камчатскому региону, где в соответствии с долгосрочным сейсмическим прогнозом академика РАН С.А. Федотова с вероятностью порядка 50% ожидается в ближайшее пятилетие сильнейшее землетрясение с магнитудой  $M \geq 7.7$  [3].

В 1998 г. на базе Камчатского филиала ГС РАН организован и функционирует в течение уже 15-ти лет Камчатский филиал Российского экспертного совета по прогнозу землетрясений, оценке сейсмической опасности и риска (КФ РЭС). КФ РЭС на регулярной основе (не реже одного раза в неделю) рассматривает данные и результаты их анализа более чем по 20-ти видам наблюдений и методам сейсмического прогноза. Результаты комплексных наблюдений и сделанные на их основе заключения о сейсмической опасности в Камчатском крае передаются в РЭС, администрацию Камчатского края, ГУ МЧС России по Камчатскому краю, в центр «Антистихия» МЧС РФ и др. организации [4].

Опыт изучения комплекса сейсмологических, гидрогеодинамических, гидрогеохимических, акустических, электромагнитных и др. видов предвестников показывает их приуроченность к заключительным стадиям подготовки сильных камчатских землетрясений, что позволяет уточнять место и время ожидаемого сейсмического события с точностью от первых лет до месяцев - недель.

Работа выполняется в рамках мероприятия "Разработка эффективных технологий среднесрочного прогноза и оперативного контроля за потенциальными очагами сильных землетрясений" ФЦП "Снижение рисков и смягчение последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в Российской Федерации до 2015 г." Исполнитель – Геофизическая служба РАН. Соисполнителями работы являются Институт физики Земли РАН и Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН.

Целью работы является формирование комплекса методов среднесрочного прогноза и оперативного контроля потенциальных очагов сильных землетрясений в Камчатском

сейсмоактивном регионе и их внедрение в сейсмоопасных районах России для информационного обеспечения работы Российского экспертного совета по прогнозу землетрясений, оценке сейсмической опасности и риска (РЭС).

### **Основные результаты 2011-2013 гг.**

Рассмотрены вопросы комплексного геофизического мониторинга на территории Камчатки и опыт прогнозирования сильных землетрясений специализированными Советами.

Рассмотрено современное состояние действующих и перспективных методов среднесрочного прогноза сильных землетрясений, в т. ч. их научные и экспериментальные основы, методика работ и информационное обеспечение, получаемая сейсмопрогностическая информация и ее использование. Выполнен анализ современного состояния комплекса методов сейсмического прогноза, используемых в Камчатском сейсмоактивном регионе, включающих:

- метод «регион-время-размер очага» (RTL);
- метод «карта ожидаемых землетрясений (КОЗ»);
- метод низкочастотного сейсмического шума (НЧСШ);
- метод мульти-фрактальной синхронизации (МФС);
- метод механизма глубоких землетрясений (МГЗ);
- комплексный мониторинг параметров сейсмичности Камчатки;
- мониторинг вариаций скорости спада амплитуд огибающей коды слабых землетрясений;
- мониторинг скорости сеймотектонического движения;
- мониторинг вариаций уровня воды в скважинах;
- мониторинг вариаций параметров приливной компоненты высокочастотного сейсмического шума (ВСШ);
- комплексные скважинные геофизические измерения;
- электромагнитные измерения с наземными антеннами;
- электротеллурические наблюдения;
- гидрогеохимические наблюдения на скважинах и источниках;
- мониторинг подпочвенного радона и водорода;
- геодезический метод динамики деформаций (ДД).

Сформулированы технические предложения по развитию отдельных сейсмологических, геофизических, геохимических и геодезических методов. С использованием результатов ретроспективной обработки данных за многолетний период и результатов прогнозирования землетрясений в реальном времени для некоторых из рассмотренных методов сделаны предварительные количественные оценки параметров их информативности для среднесрочного прогноза землетрясений.

Проведены экспериментальные работы по созданию новых методов и алгоритмов среднесрочного сейсмического прогноза, обеспечивающих вероятностную оценку параметров ожидаемого землетрясения по данным комплексных наблюдений (на примере Камчатки).

Разработаны и сформулированы основные требования, технические предложения и направления работ по созданию информационного, научного и методического обеспечения для разработки технологий среднесрочного прогноза и оперативного контроля за потенциальными очагами сильных землетрясений на примере Камчатского региона.

Разработаны технические предложения по структуре баз сейсмопрогностических данных. В составе баз сейсмопрогностических данных по функционирующим в Камчатском сейсмоактивном регионе отдельным методам предусматриваются информационные блоки данных, характеризующие:

- систему получения, сбора и обработки первичных данных наблюдений;
- описание алгоритма обработки первичных данных наблюдений для выделения сейсмопрогностического признака (предвестника);
- формализованное описание сейсмопрогностического признака (предвестника) и процедуры (алгоритма) его выделения для независимого контроля его достоверности;
- перечень параметров предвестника (продолжительность, заблаговременность и др.) и характеристик его связи с последующими сильными землетрясениями (сейсмопрогностической информативности) по результатам ретроспективного анализа (надежность и эффективность предвестника, отношение суммарного «времени тревоги» к общему времени наблюдений, отношение числа «ложных тревог» к общему числу проявлений предвестника и пр.);

- результаты практического использования предвестника (сейсмопрогностического признака) в системе прогнозирования землетрясений, включающие данные по выданным прогнозам и их реализации в отношении произошедших сильных землетрясений по материалам, содержащимся в архивах КФ РЭС.

Разработаны концептуальные вопросы создания и обеспечения эффективного функционирования технологий среднесрочного прогноза землетрясений по комплексу сейсмологических, геофизических, геохимических и геодезических данных. Создана блок-схема (сценарий) функционирования технологий среднесрочного прогноза сильных землетрясений на примере Камчатского региона.

При разработке концепции функционирования технологий среднесрочного прогноза и контроля потенциальных очагов сильных землетрясений (далее – технологии) учитывались стохастическая природа сейсмичности и неполнота научных знаний о закономерностях связи сейсмотектонического процесса с изменениями геофизических, деформационных и геохимических полей Земли. В соответствии с современными представлениями [Соболев, Пономарев, 2003; Соболев, 2011 и др.], сейсмический процесс является одной из разновидностей нелинейных диссипативных систем, проявляющих противоположные тенденции стремления к порядку и к хаосу. Этим можно объяснить то, что все эффекты, проявляющиеся перед землетрясениями (или предвестники), не однозначны в оценке потенциальной возможности их использования для среднесрочного сейсмического прогноза. Как показано в [Чебров и др., 2011], основанные на них прогнозы землетрясений, поданные в КФ РЭС, имеют высокий процент пропуска цели и ложных тревог. Представленные в указанной работе оценки сейсмопрогностической эффективности отдельных методов в отношении прогнозов землетрясений с величинами магнитуд порядка 6, представленных в режиме реального времени примерно за 10-летний период работы КФ РЭС, также невелики и составляют  $I = 1.1-1.7$ .

На рисунке 1 показана блок-схема функционирования технологий среднесрочного прогноза сильных землетрясений (на примере Камчатского региона).

Основные условия обеспечения процедуры получения вероятностной прогнозной оценки возникновения землетрясения с магнитудой  $M \geq 6$ , способного вызвать социально значимые последствия в населенных пунктах территории Камчатского края:

- непрерывность функционирования сетей сейсмологических, геофизических и других видов наблюдений;
- обеспечение устойчивого функционирования автоматизированной системы сбора, обработки данных и предоставление доступа к данным и результатам их обработки в оперативном режиме;
- обеспечение выполнения регламентов принятия прогнозных решений при выявлении аномалий (предвестников) по каждой частной методике прогнозирования (технологии) и по их комплексу.

Этапы процедуры:

1) Выявление аномалий по частным методикам, сопоставление их по формальным признакам с имеющимися предвестниками в базе данных, формирование параметров прогноза, загрузка его в экспертную систему. По каждому частному методу прогноза должны быть предоставлены основные материалы и заданы следующие параметры:

- оценка надежности выделения предвестника (качественная или количественная);
- координаты района (объема) прогноза [ $\varphi_1\lambda_1, \varphi_2\lambda_2, \varphi_i\lambda_i, \varphi_n\lambda_n$ ];
- интервал времени ( $T_2 - T_1$ ) прогноза;
- диапазон магнитуд ( $M_1 - M_2$ );
- вероятность успешной реализации прогноза с доверительным интервалом;
- вероятность «ложной тревоги» с доверительным интервалом;
- вероятностная карта прогноза по частному методу с поясняющими графиками, пространственно-временными диаграммами и пр.

2) Экспертиза прогноза: анализ параметров прогноза по каждой частной методике; проверка его на соответствие с алгоритмом в базе знаний; автоматическая выработка параметров прогноза по комплексу частных методов с вероятностной оценкой возможности землетрясения с магнитудой  $M \geq 6$ , способного вызвать интенсивные сотрясения ( $\geq 5$  баллов по шкале MSK-64) на территории Камчатского края. Комплексная вероятностная оценка прогноза вырабатывается с учетом



Рисунок 1 – Блок схема функционирования технологий среднесрочного прогноза сильных землетрясений (на примере Камчатского региона)

статистики возникновения предполагаемого события по данным сейсмологических наблюдений, результатов ОСР, ДСР и долгосрочных прогнозных оценок.

Содержание комплексной вероятностной прогнозной оценки:

- координаты района (объема) прогноза [ $\varphi_{1\lambda 1}$ ,  $\varphi_{2\lambda 2}$ ,  $\varphi_{1\lambda i}$ ,  $\varphi_{n\lambda n}$ ];
- интервал времени ( $T_2 - T_1$ ) прогноза;
- диапазон магнитуд ( $M_1 - M_2$ );
- вероятность успешной реализации с доверительным интервалом;
- таблица пункты – ожидаемая интенсивность сотрясений в баллах шкалы MSK-64.

3) Работа КФ РЭС в режиме повышенной опасности после получения комплексной вероятностной прогнозной оценки:

- контроль форшоковой активизации;
- контроль текущего состояния выявленных предвестников, на основе которых получена комплексная вероятностная оценка;
- контроль возможных краткосрочных предвестников;
- уточнение параметров комплексной вероятностной оценки;
- отмена тревоги.

4) Работа КФ РЭС при возникновении сильного землетрясения:

- контроль афтершокового процесса;
- прогноз сильных афтершоков с оценкой ожидаемой интенсивности сотрясений в населенных пунктах;
- сбор и систематизация всех данных об аномальных изменениях сейсмичности, наблюдаемых геофизических, геохимических и геодезических параметров, предшествующих сильному землетрясению;
- оценка качества комплексной вероятностной оценки прогноза сильного землетрясения и его параметров.

Разработаны требования и рекомендации для обеспечения эффективного функционирования технологий среднесрочного сейсмического прогноза и контроля потенциальных очагов сильных землетрясений в Камчатском регионе.

### **Заключение**

Перспективы развития системы среднесрочного прогнозирования землетрясений связаны с расширением числа эффективных методов среднесрочного сейсмического прогноза за счет существенного увеличения объема данных комплексных геофизических наблюдений, совершенствования способов их обработки и анализа для оперативного выделения сейсмопрогностической информации, разработки алгоритмов вероятностной оценки параметров ожидаемого землетрясения на основе комплекса сейсмопрогностических данных.

Разработанные алгоритмы, программы, методические рекомендации и технологии среднесрочного прогноза землетрясений внедряются в практику работы Геофизической службы и Камчатского филиала РЭС.

Реализация научно-технических и организационных мероприятий по созданию и развитию технологий среднесрочного сейсмического прогноза и контроля потенциальных очагов должна повысить надежность среднесрочных прогнозов сильных землетрясений с  $M \geq 6$  в районах Камчатки.

### **Список литературы**

1. *Соболев Г.А.* Концепция предсказуемости землетрясений на основе динамики сейсмичности при триггерном воздействии. М.: ИФЗ РАН, 2011. 56 с.
2. *Соболев Г.А., Пономарев А.В.* Физика землетрясений и предвестники. М.: Наука, 2003. 270 с.
3. *Федотов С.А., Соломатин А.В., Чернышев С.Д.* Долгосрочный сейсмический прогноз для Курило-Камчатской дуги на IX 2010–VIII 2015 гг., достоверность предыдущих прогнозов и их применение // Вулканология и сейсмология. 2011. № 2. С. 3-27.
4. *Чебров В.Н., Салтыков В.А., Серафимова Ю.К.* Прогнозирование землетрясений на Камчатке. По материалам работы Камчатского филиала Российского экспертного совета по прогнозу землетрясений, оценке сейсмической опасности и риска в 1998–2009 гг. М.: Светоч Плюс. 2011. 304 с.