

# ДОЛГОСРОЧНЫЙ СЕЙСМИЧЕСКИЙ ПРОГНОЗ ДЛЯ КУРИЛО-КАМЧАТСКОЙ ДУГИ: РАЗВИТИЕ, ПРОГНОЗ НА 2009-2014 гг., ОБОСНОВАНИЕ МЕР ПО СЕЙСМОЗАЩИТЕ В 1986-2009 гг.

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

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский 683006  
e-mail: karetn@list.ru; e-mail: fedotov@kscnet.ru; alf55@mail.ru; chernsd@gmail.ru

Сильные землетрясения принадлежат к числу наиболее тяжелых природных бедствий. В России более 2/3 землетрясений происходят на Курильских островах и Камчатке, где сейсмичность достигает наивысшего уровня, существующего на Земле. Прогноз сейсмической опасности и необходимые меры защиты от нее являются здесь первостепенными задачами государства и общества.

Основные направления фундаментальных научных исследований и научно-прикладных работ, необходимых для предотвращения и уменьшения потерь и ущерба от разрушительных землетрясений таковы: изучение сейсмичности и ее закономерностей, сейсмическое районирование и сейсмическое микрорайонирование, долгосрочный, среднесрочный и краткосрочный сейсмические прогнозы, изучение сильных движений при землетрясениях. В круг задач и вопросов долгосрочного сейсмического прогноза входят изучение закономерностей сейсмической деятельности, составление и совершенствование сейсмических прогнозов, получение данных об опасности сильных землетрясений, их сильнейших афтершоков, прогноз цунами, подготовка данных, необходимых для принятия государственных и административных решений и мер по предотвращению ущерба и потерь, планирования работ по их выполнению.

Имеется несколько методов долгосрочного сейсмического прогноза [Федотов, 1968, 2005; Моги, 1988; Кособоков, 2005; Матвиенко, 1998; Соболев, 1993, 2003; и др. Первым был предложен метод долгосрочного сейсмического прогноза для Камчатки, Курильских островов и северо-восточной Японии [Федотов, 1965, 1968]. Этот метод начал разрабатываться в 1958-1964 гг. при детальном сейсмологических исследованиях на Южных Курильских островах в областях очагов, форшоков и афтершоков Итурупского землетрясения 6 ноября 1958 г.,  $M = 8.2$ , и Урупского землетрясения 13 октября 1963 г.,  $M = 8.1$ , а также на Камчатке. Важным условием было то, что исследовалась единая протяженная структура Курило-Камчатской дуги. В 1965-1968 гг. были выделены вероятные места следующих сильнейших землетрясений («сейсмические бреши»), найдены свойства сейсмического цикла сильнейших землетрясений и на основе этих фундаментальных закономерностей был предложен метод долгосрочного сейсмического прогноза [Федотов, 1965, 1968]. Метод известен в мировой сейсмологии [Моги, 1988; [Соболев, 1993]. Его высокая эффективность подтверждена последующими сильнейшими курило-камчатскими землетрясениями 1969-2007 гг.

Первый долгосрочный сейсмический прогноз для Курило-Камчатской сейсмогенной зоны был построен на 1965-1970 годы. Курильские землетрясения 1969, 1973, 1978 и 1994 гг., а также камчатские землетрясения 1971 и 1997 гг. с  $M \geq 7.7$  происходили в «сейсмических брешах», выделенных еще в 1965 г. Заблаговременные предупреждения давались перед сильнейшими Шикотанским и Кроноцким землетрясениями (1994 и 1997 гг.) [Федотов, 2005; Федотов, Чернышев и др., 1998]. Общая оправдываемость прогнозов составляет 0.8.

15 ноября 2006 г. в районе Средних Курильских о-вов против о. Симушир и о. Шиашкотан произошло сильнейшее землетрясение с  $M_w = 8.3$ ,  $M_s = 8.2$ . С начала детальном сейсмологических исследований по рассматриваемому методу в 1965 г. крупная «сейсмическая брешь» в районе Средних Курильских о-вов считалась одним из вероятных мест следующих землетрясений с  $M \geq 7.7$  на Курило-Камчатской дуге. В соответствии с общими закономерностями сейсмического цикла подготовка Средне-Курильского (Симуширского) землетрясения 15 ноября 2006 г. сопровождалась усилением сейсмической активности в области будущего очага в непосредственной близости к эпицентру. По долгосрочному прогнозу, данному за 8 месяцев до этого землетрясения и подтвержденному 26 октября 2006 г., вероятность землетрясения с  $M \geq 7.7$  на следующие 5 лет в участке № 7 (о-ва Симушир и Шиашкотан) повысилась и стала наибольшей на Курильских островах [Федотов, Соломатин, Чернышев, 2006, 2008].

В настоящее время по методу долгосрочного сейсмического прогноза С.А. Федотова прогнозируется целый ряд характеристик сейсмичности Курило-Камчатской дуги. На пятилетний прогнозный период для 20 участков сейсмофокальной зоны выделяются наиболее вероятные места следующих сильнейших землетрясений с  $M \geq 7.7$  («сейсмические бреши», к ним относятся участки, в которых таких землетрясений не было в течение последних 80 лет), прогнозируются стадии сейсмического цикла, сейсмическая активность  $A_{10}$  (число слабых землетрясений энергетического класса  $K_s=10$  или  $M=3.6$  в год на площади  $10^3 \text{ км}^2$ ), магнитуды  $M$  землетрясений, ожидающихся с вероятностями 0.8, 0.5 и 0.15, максимальные магнитуды землетрясений и вероятности возникновения сильнейших землетрясений с  $M \geq 7.7$ , оценивается вероятность наступления III заключительной стадии сейсмического цикла. В дополнение к основным параметрам  $A_{10}$  и  $D$  в настоящее время используется параметр  $A_{11}$ , учитывающий число землетрясений среднего энергетического класса:  $K_s \geq 11.3$  или  $M=4.5$ . Данные прогнозов представляются в виде таблиц и карт. Долгосрочные сейсмические прогнозы обновляются через полгода или чаще, если происходят сильные землетрясения и существенно меняются параметры сейсмичности [Федотов и др., 2004, 2007, 2008].

Метод может применяться в других регионах мира, имеющих сходную структуру, геодинамику и сеймотектонику, его результаты могут служить для долгосрочных прогнозов цунами.

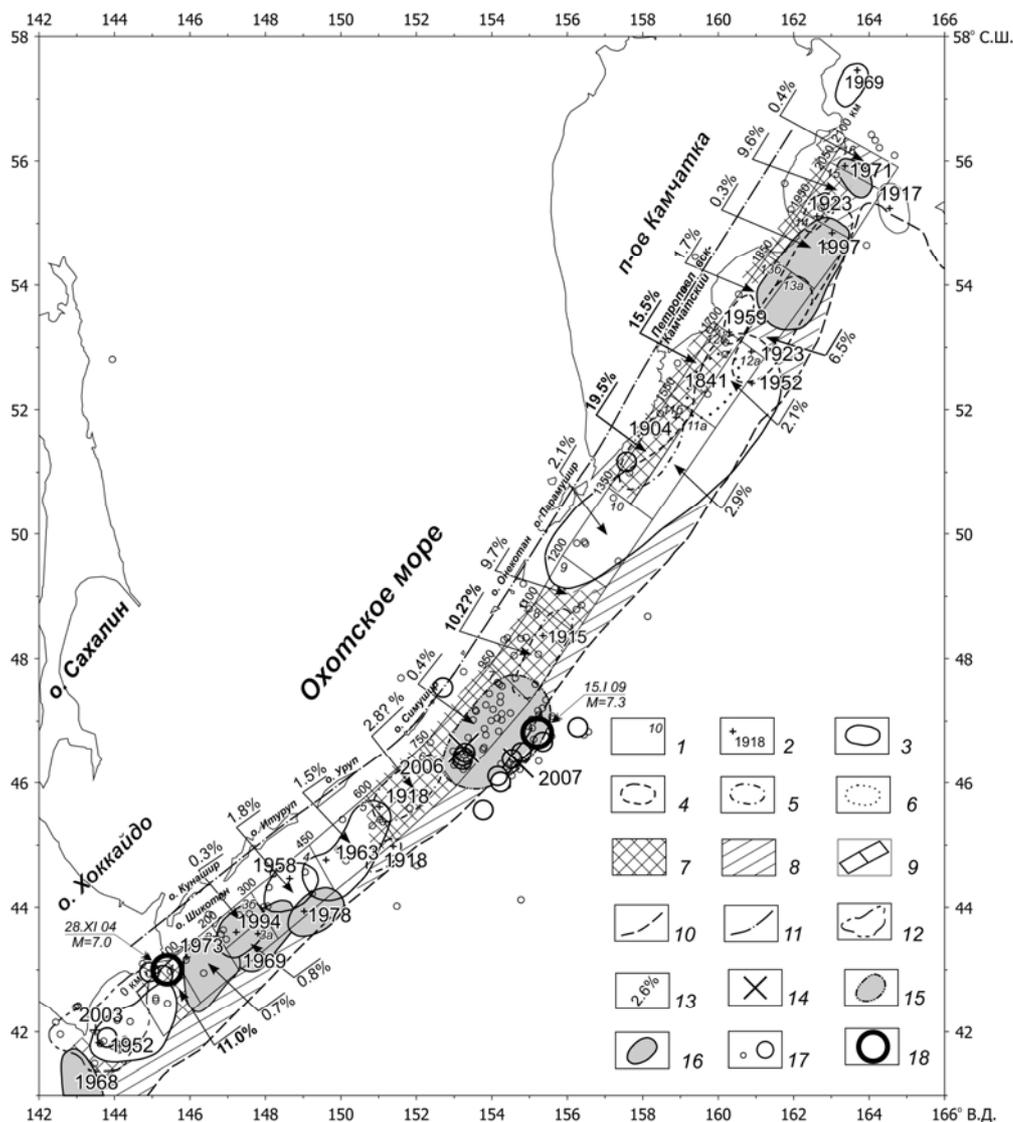
На период I.2009–I.2014 гг. для Курило-Камчатской дуги наиболее вероятными местами следующих сильнейших землетрясений с  $M \geq 7.7$  остаются участки, расположенные в районе г.Петропавловска-Камчатского: для южной Камчатки, участок 11б (рис. 1), вероятность землетрясения с  $M \geq 7.7$ , имеющего силу до 8 баллов в г. Петропавловске-Камчатском, равна 19.5%; для Авачинского залива, участок 12б, вероятность возникновения землетрясения с  $M \geq 7.7$ , имеющего силу до 9 баллов в г. Петропавловске-Камчатском, равна 15.5%; для юго-восточной части Кроноцкого залива, участок 13а, вероятность землетрясения  $M \geq 7.7$ , имеющего силу до 7 баллов в г. Петропавловске-Камчатском, равна 6.5%. По-прежнему значительна вероятность ( $P=9.6\%$ ) сильнейшего землетрясения с  $M \geq 7.7$  для района Камчатского залива, участок 15 (рис. 1).

**Суммарная вероятность землетрясений с  $M \geq 7.7$  в участках 11а, 11б, 12а, 12б, 13а, 13б, которые могут иметь силу 7–9 баллов в г. Петропавловске-Камчатском, может достигать 48.3% в период времени с I.2009–I.2014 гг. При этом вероятность возникновения в этот период времени в г. Петропавловске-Камчатском землетрясения силой 9 баллов равняется 15.5%, а землетрясений силой 8 и 7 баллов – 32.8%. В полной мере сохраняется необходимость неотложных мер по сейсмобезопасности, повышению устойчивости жилых домов, основных объектов и систем жизнеобеспечения в Камчатском крае.**

На Курильских островах сейсмическая опасность высока для участков 8 и 9, о-ва Матуа и Онекотан (рис. 1), где общая вероятность землетрясения с  $M \geq 7.7$  на период I.2009–I.2014 гг. равна 19.8%, и для участка 1, п-ов Немуро, где такая вероятность равна 11%. В остальных участках сейсмогенной зоны Курило-Камчатской дуги вероятность возникновения сильнейших землетрясений  $P(M \geq 7.7)$  равна средней или существенно, до 10–15 раз, ниже средней, которая равна 3.6–4.2%.

Сообщения и отчеты по долгосрочным прогнозам представлялись АН, МЧС РФ, Администрации Камчатской области, а также дирекции Федеральной целевой программы «Социально-экономического развития Курильских островов Сахалинской области...» и в другие учреждения. На основании данных, полученных этим методом, в 1986–2001 гг. года было принято шесть Распоряжений и Постановлений Правительства о заблаговременной подготовке Камчатской области к сильным землетрясениям [Федотов, 2005].

В 2006–2007 гг. на основании данных долгосрочных сейсмических прогнозов и обращений С.А. Федотова к президенту РАН академику Ю.С. Осипову, губернаторам Камчатской области (края) и полномочным представителям Президента РФ в Дальневосточном федеральном округе были приняты три поручения Президента РФ В.В. Путина от 17.05.2006, 02.11.2006 и 05.09.2007 г., а также распоряжение Председателя Правительства РФ В.А. Зубкова от 22.09.2007 о мерах по сейсмобезопасности и сейсмоусилению в Камчатском крае.



**Рис. 1.** Карта долгосрочного сейсмического прогноза для Курило-Камчатской дуги, очагов курило-камчатских землетрясений 1904-1.2009 гг. с  $M \geq 7.7$ ,  $H=0-80$  км, и вероятностей возникновения таких землетрясений в I.2009-I.2014 гг. во всех участках полосы прогноза: 1 - номер участка; 2 - инструментальные эпицентры главных толчков землетрясений с  $M \geq 7.7$ ; 3 - границы очагов землетрясений с  $M \geq 7.7$ , проведенные с точностью 10 км.; 4 - участки тех же границ, проведенные с меньшей точностью; 5 - вероятные области очагов землетрясений 1904-1918 гг. с  $M \geq 7.7$ ; 6 - предполагаемая область очага землетрясения 1841 г.; 7 - наиболее вероятные места следующих землетрясений с  $M \geq 7.7$ ; 8 - возможные места следующих таких землетрясений; 9 - границы участков прогноза; 10 - оси глубоководных желобов; 11 - ось вулканического пояса Курило-Камчатской дуги; 12 - предварительное определение границы очага землетрясения у Хоккайдо 25.IX.2003 г.,  $M=8.1$ ; 13 - вероятности землетрясений  $M \geq 7.7$  в I.2009-I.2014 гг.; 14 - эпицентры Средне-Курильских землетрясений 15.XI.2006 г.,  $M_W=8.3$ , и 13.I.2007 г.,  $M_W=8.1$ ; 15 - область очага предсказанного землетрясения 15.XI.2006 г.; 16 - области очагов других землетрясений с  $M \geq 7.7$ , которые произошли после 1965 г. в предсказанных «сейсмических брешах»; 17 - эпицентры землетрясений с  $M \geq 5.0$  (меньший кружок соответствует магнитуде  $M=5.0-5.9$ , больший –  $M \geq 6.0$ ),  $H = 0-80$  км, произошедших в период I.2004-XII.2008 гг.; 18 - эпицентры землетрясений с  $M \geq 7.0$ . Средняя вероятность возникновения курило-камчатских землетрясений с  $M \geq 7.7$  в одном месте в течение 5 лет равна 3.6-4.2%.

15 августа 2008 г. Правительством РФ утверждена Концепция Программы по повышению устойчивости жилых домов, основных объектов и систем жизнеобеспечения в сейсмических районах РФ на 2009-2013 гг., в которой уровень сейсмической опасности в Камчатском крае признан наивысшим в Российской Федерации. 16 октября 2008 г. Президент Российской Федерации Д.А. Медведев дал поручение выделить в 2009 г. Камчатскому краю и

Сахалинской области средства на мероприятия по повышению сейсмической устойчивости жилых домов.

При новом развертывании мероприятий по сейсмозащите и сейсмоукреплению в условиях высокой опасности совершенно необходимо продолжать и развивать апробированные работы и исследования по долгосрочному сейсмическому прогнозу для Курило-Камчатской дуги [Федотов, 2005; и др.]. Нужные сведения дают в настоящее время также другие методы сейсмического прогноза [Соболев, Пономарев, 2003; Кособоков, 2005; Завьялов, 2006; Шебалин, 2005; и др.]. Как и ранее [Федотов, Чернышев и др., 1998; Матвиенко, 1998; Федотов, 2005], более полные и определенные результаты смогут принести углубленные сейсмологические исследования и ведение прогнозов широким комплексом методов.

В течение десятилетий, прошедших со времени создания данного метода долгосрочного сейсмического прогноза, большую благожелательную поддержку продолжению работ и незаменимое содействие важнейшему применению их результатов оказывали многие ведущие ученые, руководители АН и государственные деятели. Среди них были директор ИФЗ АН СССР академик М.А. Садовский, сотрудники ИФЗ член-корреспондент АН СССР Ю.В. Ризниченко и д.т.н. С.В. Медведев, Президенты АН академики А.П. Александров и Ю.С. Осипов, академики – секретари ОНЗ РАН академики Ю.Г. Леонов и А.О. Глико, председатель ДВО РАН академик В.И. Сергиенко, Полномочный представитель Президента РФ в Дальневосточном округе К.Ш. Исхаков, губернаторы Камчатки М.Б. Машковцев и А.А. Кузьмицкий. Всем им приносится самая глубокая благодарность.

### Список литературы

**Завьялов А. Д.** Среднесрочный прогноз землетрясений: основы, методика, реализация, М.: Наука, 2006. 256 с.

**Кособоков В.Г.** Прогноз землетрясений и геодинамические процессы. // Вычислительная сейсмология. Вып. 36. Часть 1. Прогноз землетрясений: основы, реализация, перспективы. М.: ГЕОС, 2005. 179 с.

**Матвиенко Ю.Д.** Применение методики М8 на Камчатке: успешный заблаговременный прогноз землетрясения 5 декабря 1997 г. // Вулканология и сейсмология, 1998. № 6. С. 27-36.

**Моги К.** Предсказание землетрясений. М.: Мир, 1988. 382 с.

**Соболев Г.А.** Основы прогноза землетрясений. М.: Наука, 1993. 324 с.

**Соболев Г.А., Пономарев А.В.** Физика землетрясений и предвестники. М.: Наука, 2003. 270 с.

**Федотов С.А.** О закономерностях распределения сильных землетрясений Камчатки, Курильских островов и северо-восточной Японии // Тр. ИФЗ АН СССР, 1965. № 36. С. 66-93.

**Федотов С.А.** О сейсмическом цикле, возможности количественного сейсмического районирования и долгосрочном сейсмическом прогнозе // Сейсмическое районирование СССР. М.: Наука, 1968. С. 121-150.

**Федотов С.А.** Долгосрочный сейсмический прогноз для Курило-Камчатской дуги. М.: Наука, 2005. 302 с.

**Федотов С.А., Соломатин А.В., Чернышев С.Д.** Долгосрочный сейсмический прогноз для Курило-Камчатской дуги на 2004-2008 гг. и ретроспективный прогноз Хоккайдского землетрясения 25 сентября 2003 г.,  $M = 8.1$  // Вулканология и сейсмология, 2004. № 5. С. 3-32.

**Федотов С.А., Соломатин А.В., Чернышев С.Д.** Долгосрочный сейсмический прогноз для Курило-Камчатской дуги на 2006-2011 гг. и успешный прогноз Средне-Курильского землетрясения 15.XI 2006 г.,  $M_s = 8.2$  // Вулканология и сейсмология, 2007. № 3. С. 3-25.

**Федотов С.А., Соломатин А.В., Чернышев С.Д.** Афтершоки и область очага Средне-Курильского землетрясения 15.XI.2006 г.,  $M_s = 8.2$ ; долгосрочный сейсмический прогноз для Курило-Камчатской дуги на IV 2008-III 2013 гг. // Вулканология и сейсмология. 2008, № 6. С. 3-23.

**Федотов С.А., Чернышев С.Д., Матвиенко Ю.Д., Жаринов Н.А.** Прогноз Кроноцкого землетрясения 5 декабря 1997 г.,  $M = 7.8-7.9$ , Камчатка и его сильных афтершоков с  $M \geq 6$  // Вулканология и сейсмология, 1998. № 6. С. 3-16.

**Шебалин П.Н.** Цепочки эпицентров как индикатор возрастания радиуса корреляции сейсмичности перед сильными землетрясениями // Вулканология и сейсмология, 2005. № 1. С. 3-15.