

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, г. Петропавловск-Камчатский,
fedotov@kscnet.ru, karetn@online.ru, alf55@mail.ru*

Введение

Долгосрочный сейсмический прогноз - одно из самых важных направлений исследований и работ по прогнозу и оценке сейсмической опасности. Курило-Камчатская дуга является наиболее сейсмичным регионом России. Сейсмичность достигает здесь наивысшего уровня, существующего на Земле. Именно для этого региона и сходных с ним структур в 1965 г. С.А. Федотовым был предложен метод долгосрочного сейсмического прогноза, основанный на закономерностях размещения вероятных мест следующих сильнейших землетрясений («сейсмических брешей») и сейсмического цикла [11, 12, 13 и др.].

В круг задач и вопросов долгосрочного сейсмического прогноза входят изучение закономерностей сейсмического процесса, получение данных об опасности сильнейших землетрясений, составление и совершенствование долгосрочных сейсмических прогнозов, необходимых для подготовки к сильнейшим землетрясениям и для принятия мер по предотвращению вероятных ущерба и потерь.

Метод непрерывно применяется с 1965 г., совершенствуясь со временем [13, 15, 16, 18, 19 и др.]. В настоящее время по этому методу прогнозируется ряд характеристик сейсмичности Курило-Камчатской дуги на следующие пять лет. Выделяются места следующих сильнейших землетрясений с $M \geq 7.7$ («сейсмические брешки»); к ним относятся участки, в которых таких землетрясений не было в течение последних 80 лет. Наиболее активная полоса сейсмогенной зоны Курило-Камчатской дуги с глубинами очагов 0-80 км, имеющая длину 2100 км и ширину 100 км, делится в среднем на 20 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 $K_s = 10$ или $M = 3.6$ в год на площади 10^3 км^2), магнитуды M землетрясений, ожидающихся с вероятностями 0.8, 0.5 и 0.15, максимальные магнитуды землетрясений и вероятности возникновения сильнейших землетрясений с $M \geq 7.7$.

Долгосрочные сейсмические прогнозы составляются на 5 следующих лет, что приблизительно равно средней повторяемости сильнейших землетрясений во всей Курило-Камчатской дуге. Предшествующий интервал времени, необходимый для определения параметров, на основании которых составляются прогнозы, также выбран равным 5 годам.

При построении принимается, что, в первом приближении, уровень сейсмичности одинаков в больших сегментах Курило-Камчатской сейсмогенной зоны, длина которых в среднем равна 150 км. Это условие оправдывается, так как в 1965-2006 гг. долгосрочные сейсмические прогнозы выполнялись с вероятностью 0.8-0.9.

Прогнозы обновляются через полгода или чаще, если происходят сильные землетрясения и существенно меняются параметры сейсмичности за предыдущие пять лет. Полученные прогнозы сопоставляются с долгосрочными сейсмическими прогнозами, полученными другими методами (М8 и др.) [13, 15, 18, 20 и др.].

Для оценки сейсмической опасности при проведении спасательных и восстановительных работ после сильнейших землетрясений необходимо использовать прогнозы, основанные на методе «сейсмического сценария», разработанного в 1993 г. и успешно применяемого с тех пор при оценках развития афтершоковых процессов, в том числе при оценках вероятности афтершоков по магнитуде практически равных магнитуде основного события [14, 20, 22, 23 и др.].

Метод одновременно является долгосрочным прогнозом цунами для Курило-Камчатской дуги, а также может применяться в других регионах мира, имеющих сходные структуру, геодинамику и сеймотектонику. Последнее описание метода дано в статье [16].

Развитие афтершокового процесса и область очага Средне-Курильского (Симушир-ского) землетрясения 15.XI 2006 г., $M_w = 8.3$

15 ноября 2006 г. в «сейсмической брешии» на Средних Курильских о-вах, выделенной еще в 1965 г. [11], и являвшейся второй по степени опасности для всей Курило-Камчатской сейсмофокальной зоны по прогнозу на 2006-2011 гг. [16, 17], в самом опасном ее участке против о-вов Симушир и Шиашкотан (участок №7, рис. 1), произошло сильнейшее землетрясение с $M_w = 8.3$, $M_s = 8.2$.

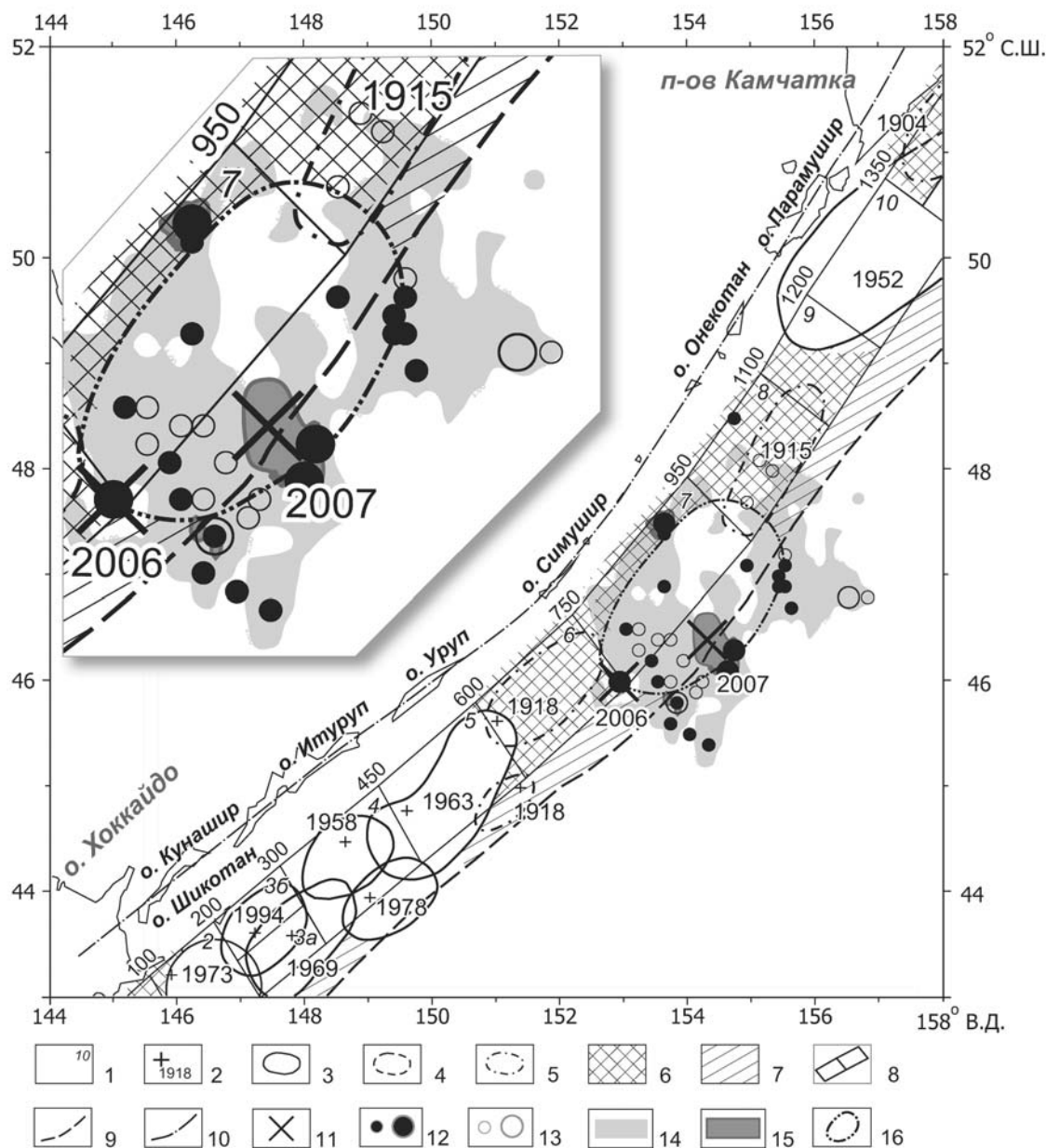


Рис. 1. Изолинии параметров A_{10} и D , афтершоки Средне-Курильского землетрясения 15.XI 2006 г. за десять месяцев по данным ГС РАН и область его очага: 1 - номер участка; 2 - инструментальные эпицентры главных толчков землетрясений с $M \geq 7.7$; 3 - границы очагов землетрясений с $M \geq 7.7$, проведенные 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 - наиболее вероятные места следующих землетрясений с $M \geq 7.7$; 7 - возможные места следующих таких землетрясений; 8 - границы участков прогноза; 9 - оси глубоководных желобов; 10 - ось вулканического пояса Курило-Камчатской дуги; 11 - эпицентр Средне-Курильского землетрясения 15.XI 2006 г., $M_w = 8.3$, и сильнейшего события в его очаге 13.I 2007 г., $M_w = 8.1$; 12 - эпицентры афтершоков: $M = 5.0-5.9$, $M \geq 6.0$ за период до землетрясения 13.I 2007 г., $M_w = 8.1$; 13 - то же самое за период после землетрясения 13.I 2007 г., $M_w = 8.1$; 14 - изолиния параметра $A_{10} = 10$; 15 - изолиния параметра $D = 1$; 16 - граница области очага 15.XI 2006 г.

Это было крупное, очень интересное и важное сейсмическое событие. Успешно оправдались долгосрочные сейсмические прогнозы для Средних Курильских островов [5, 11, 13, 17 и др.]. Завершился сейсмический цикл, который развивался здесь 226 лет с 1780 г. Напомним, что средняя продолжительность сейсмического цикла курило-камчатских землетрясений с $M \geq 7.7$ составляет 140 ± 60 или 120 ± 50 лет.

После столь сильного землетрясения начался мощный рой афтершоков. Самым крупным последующим событием было землетрясение 13.I 2007 г., $M_w = 8.1$, произошедшее в восточной части области очага 15.XI 2006 г. в Курило-Камчатском глубоководном желобе. Развитие сейсмического процесса напоминает пару землетрясений 7.IX 1918 г., $M = 8.2$ и 8.XI 1918 г., $M = 7.9$, произошедших с тем же интервалом в два месяца у о-вов Симушир и Уруп, рис. 1.

На рис. 1 показаны эпицентр Средне-Курильского землетрясения, его афтершоки с $M \geq 5.0$ первых 10 месяцев, а также граница области его очага.

Координаты и магнитуды афтершоков взяты из каталога Геофизической службы (ГС) РАН. Можно отметить, что очаги афтершоков за два месяца, вплоть до землетрясения 13.I 2007 г., $M_w = 8.1$ (темные кружки на рис. 1), заполнили по периметру практически всю очаговую зону. Афтершоки после этого землетрясения локализовались, в основном, между его очагом и очагом 15.XI 2006 г. Такое расположение афтершоков говорит в пользу единого очагового сейсмического процесса в этой области. В таком случае землетрясение 13.I 2007 г., $M_w = 8.1$, вероятнее всего, является сильнейшим афтершоком, почти равным по магнитуде основному событию.

Согласно используемому методу долгосрочного сейсмического прогноза граница области очага сильнейшего землетрясения строится после года афтершокового процесса [13, 21 и др.]. Для Средне-Курильского землетрясения границы его очаговой зоны строились дважды: после 10 дней афтершокового процесса – по границе основной группы афтершоков и после 10 месяцев – по стандартной методике на основе изолиний параметров $A_{10} = 10$, $D = 1$ и расположению афтершоков с $M \geq 6.0$. Второе построение привело к небольшому расширению области в юго-западной части (рис. 1)

«Сейсмический сценарий» и развитие афтершокового процесса Средне-Курильского (Симуширского) землетрясения 15.XI 2006 г.

В 1993 г. был построен «сейсмический сценарий» последовательности сильных афтершоков ($M \geq 6.0$) курило-камчатских землетрясений с $M \sim 8$. Согласно «сейсмическому сценарию» даются прогнозы количества ожидаемых афтершоков с $M \geq 6.0$ на первые трое суток, на первые 10 суток, на первые месяцы, а также прогноз общего ожидаемого числа таких афтершоков до конца первого года афтершокового процесса. Одновременно прогнозируется ожидаемое количество наиболее опасных сильнейших афтершоков $M \geq 7.0$. При этом учитывается большая вероятность афтершоков с магнитудой почти равной магнитуде главного толчка ($M = 7.5-7.9$), которая, согласно «сейсмическому сценарию», равна 0.67 для первого года афтершоков [14, 22 и др.].

«Сейсмический сценарий» успешно применялся для прогноза афтершоков с $M \geq 6.0$ Шикотанского землетрясения 4.X 1994 г. и Кроноцкого землетрясения 5.XII 1997 г. [20, 23] На рис. 2 показано увеличение со временем суммарного числа афтершоков в течение первого года после Средне-Курильского землетрясения 15.XI 2006 г.: для каталога ГС РАН и каталога NEIC с уточнением по данным ISC, IRIS, HRV и ГС РАН. Можно отметить, что, по всей видимости, в каталоге ГС РАН пропущены первые 5 сильных афтершоков, произошедших в первые десятки минут после основного события. В остальном графики подобны. Учитывая этот факт, в качестве основного рассматривается график по данным NEIC. Для среднего «сейсмического сценария» подобное количество афтершоков в первые минуты - десятки минут событие маловероятное и указывает на необычно интенсивное развитие афтершокового процесса непосредственно после основного события. Однако, начиная с 10 дня этот график очень близок к кривой среднего «сейсмического сценария», что еще раз подтверждает достоверность прогнозов сильных афтершоков на основе «сейсмического сценария». Как и после Шикотанского, а также Кроноцкого землетрясений, составлялись прогнозы ожидаемого количества сильных афтершоков, которые сообщались в Совет по прогнозу землетрясений и извержений вулканов ИВиС ДВО РАН и КФ ГС РАН. Даты представления прогнозов: 16 ноября 2006 г. (составлен в течение первых 12 часов после главного толчка), 23 ноября 2006 г., 19 апреля 2007 г. В целом эти прогнозы были успешными. Последний прогноз был зарегистрирован Советом 13 сентября 2007 г. Согласно ему до конца года афтершокового процесса ожидалось еще 1-2 афтершока с ($M \geq 6.0$). Этот прогноз оправдался 25 октября 2007 г., когда произошел афтершок с $M = 6.1$.

Графики накопленного количества сильных афтершоков на рис. 2 также свидетельствуют в пользу того, что землетрясение 13.I 2007 г., $M_w = 8.1$ является сильнейшим афтершоком.

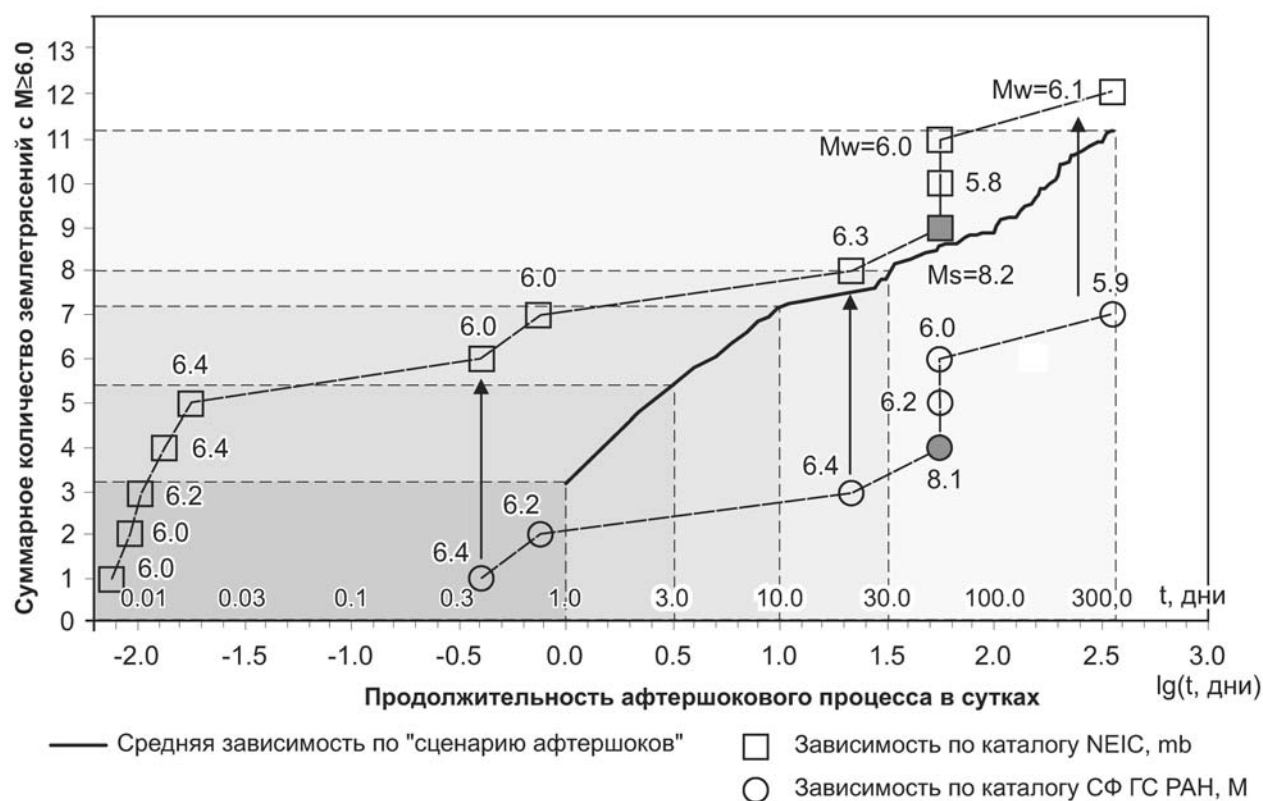


Рис. 2. Суммарное количество афтершоков Средне-Курильского землетрясения 15.XI 2006 г., $M_w = 8.3$ в течение года по данным ГС РАН, NEIC, ISC, IRIS и HRV; $\Sigma(M \geq 6.0) = f(t)$.

Долгосрочный сейсмический прогноз для Курило-Камчатской дуги на IX 2007-VIII 2012 г.

После определения границ области очага Средне-Курильского землетрясения 15.XI 2006 г. и уточнений в изменении в распределении сейсмических брешей для Курило-Камчатской дуги стало возможным построение следующего долгосрочного сейсмического прогноза. В 2007 г. такой прогноз был построен дважды: весной и осенью 2007 г.

На рис. 3 приведена последняя карта долгосрочного сейсмического прогноза для Курило-Камчатской дуги, составленная на IX 2007-VIII 2012 г. На ней резко снизилась, до 0.4%, вероятность возникновения землетрясений с $M \geq 7.7$ в области очагов землетрясений 15.XI 2006 г. и 13.I 2007 г. Со знаком вопроса показаны вероятности 3.3% и 7.9% для участков 6 и 8, лежащих юго-западнее и северо-восточнее области очагов. Здесь располагаются концы разрывов двух землетрясений 15.XI 2006 г. и 13.I 2007 г., где может быть усиление сейсмичности в течение следующих лет.

В районе Курильских о-вов сейсмическая опасность в 2-3 раза превышает ее среднюю величину в районе п-ова Немуро, о-в Шиашкотан и Онекотан. Наибольшая опасность в области Курило-Камчатской дуги остается в р-не Петропавловска-Камчатского, где ее суммарная величина в 6 прилегающих участках равна 50.4% из приблизительно 100%, приходящихся на всю Курило-Камчатскую дугу.

Сложная сеймотектоника, особенности сейсмичности и механизма землетрясений в районе Средних Курильских о-вов рассматривались ранее в работах [1, 3, 6, 8, 9 10 и др.]. Результаты их дальнейшего изучения могут быть учтены при составлении следующих долгосрочных сейсмических прогнозов.

Целесообразно продолжать совместное использование нескольких методов долгосрочного сейсмического прогноза [4, 20 и др.]. Привлечение других методов [2, 3, 7, 10, 24 и др.] может существенно повысить точность прогнозов.

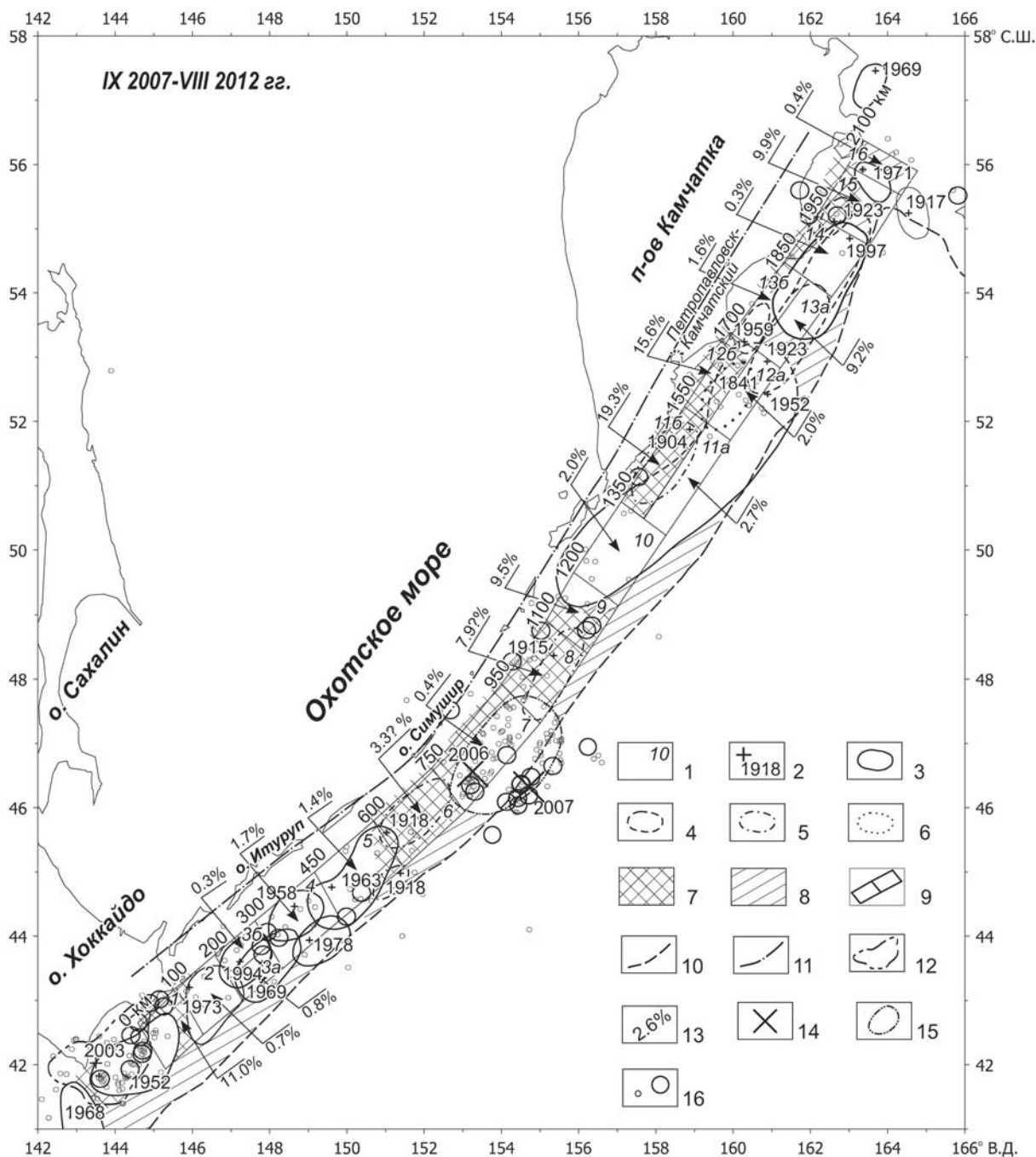


Рис. 3. Карта долгосрочного сейсмического прогноза для Курило-Камчатской дуги, очагов курило-камчатских землетрясений 1904-2007 годов с $M \geq 7.7$, $H = 0-80$ км, и вероятностей возникновения таких землетрясений в IX 2007-VIII 2012 гг. во всех участках полосы прогноза: 1 - номер участка; 2 - инструментальные 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 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 IX 2007 - VIII 2012 гг.; 14 - эпицентры Средне-Курильских землетрясений 15.XI 2006 г., $M_w = 8.3$, и 13.I 2007 г., $M_w = 8.1$; 15 - предварительно определенные границы очага землетрясения 15.XI 2006 г.; 16 - 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 IX 2002-VIII 2007 гг. Средняя вероятность возникновения курило-камчатских землетрясений с $M \geq 7.7$ в одном месте в течение 5 лет равна 3.6-4.2%.

Заключение

1. Метод долгосрочного сейсмического прогноза для Курило-Камчатской дуги, основанный на закономерностях «сейсмических брешей» и сейсмического цикла, успешно применяется и развивается в 1965-2007 гг. Землетрясения с $M \geq 7.7$, бывшие в 1969, 1973, 1978 и 1994 гг. на Курильских о-вах и в 1971, 1997 гг. на Камчатке, происходили в предсказанных вероятных местах следующих таких землетрясений. Оправдывались прогнозы параметров сейсмичности, дававшиеся на 5 лет для 20 участков сейсмогенной зоны Курило-Камчатской дуги.

2. Новое подтверждение принесло Средне-Курильское (Симуширское) землетрясение 15.XI 2006 г., $M_w = 8.3$, $M_s = 8.2$. С начала детальных 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. Ряд исследователей [6, 8] считал, что здесь невозможны землетрясения с магнитудами более 7.5 ± 0.2 . Район Средних Курильских о-вов и о. Шиашкотан выделялся нами в течение длительного времени как одна из наиболее опасных «сейсмических брешей». Последние такие прогнозы давались дважды, в 2006 г. - в IV 2006 г. и в X 2006 г. накануне землетрясения.

3. Приведен долгосрочный сейсмический прогноз для Курило-Камчатской дуги, данный на IX 2007-VIII 2012 гг. По нему наиболее вероятными местами следующих землетрясений с $M \geq 7.7$ являются район г. Петропавловска-Камчатского (суммарная вероятность таких землетрясений в 6 прилегающих участках равна 50.4%), район п-ова Немуро (11.0%), о-ва Онекотан (9.5%) и Камчатский залив (9.9%).

4. Построенный долгосрочный сейсмический прогноз одновременно является долгосрочным прогнозом вероятности цунами в различных районах Курило-Камчатской дуги.

5. Данные долгосрочных сейсмических прогнозов явились очень важным обоснованием для принятия заблаговременных мер по сейсмобезопасности, сейсмозащите и сейсмоусилению. В 1986-2001 гг. было принято 6 соответствующих Решений и Постановлений Правительств СССР, РСФСР и РФ. В 2006 и 2007 гг. были даны три поручения Президента РФ В.В. Путина от 17.05.2006, 02.11.2006 и 05.09.2007 гг. по обеспечению сейсмобезопасности, проведению сейсмоусиления жилого фонда и объектов социальной сферы и выделению средств на эти цели из федерального бюджета, а 22.09.2007 г. дано распоряжение Председателя Правительства РФ В.А. Зубкова о срочной подготовке согласованного плана практических мероприятий по обеспечению сейсмобезопасности Камчатского края.

Работа выполнена при поддержке проектов ПРАН №16 «Изменение окружающей среды и климата: природные катастрофы», проект ДВО №06-1-П16-68, и ФЦП «Социальное развитие Курильских островов (Сахалинская область) на 2007-2015 годы», раздел «Долгосрочный сейсмический прогноз для Курильских островов».

Список литературы

1. Василенко Н.Ф., Прытков А.С., Стеблов Г.М., Фролов Д.И., Коган М.Г. Механизмы очагов Симуширских землетрясений 15.11.2006 и 13.01.2007 гг. по данным GPS наблюдений // Проблемы сейсмобезопасности Дальнего Востока и Восточной Сибири. Междунар. научн. симп., 27-30 сентября 2007, Южно-Сахалинск. Тезисы докладов. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2007. С. 33.
2. Кейлис-Борок В.И., Кособоков В.Г. Периоды повышенной вероятности возникновения для сильнейших землетрясений мира // Математические методы в сейсмологии и геодинимике. М.: Наука, 1986. С. 48-58.
3. Лобковский Л.И., Куликов Е.А., Рабинович А.Б., Иващенко А.И., Файн И.В., Ивельская Т.Н. Землетрясение и цунами 15 ноября 2006 г. и 13 января 2007 г. в районе Средних Курил: оправдавшийся прогноз // Проблемы сейсмобезопасности Дальнего Востока и Восточной Сибири. Междунар. научн. симп., 27-30 сентября 2007, Южно-Сахалинск. Тезисы докладов. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2007. С. 140.
4. Матвиенко Ю.Д. Применение метода M_8 на Камчатке: успешный заблаговременный прогноз землетрясения 5 декабря 1997 г. // Вулканология и сейсмология. 1998. № 6. С. 27-36.
5. Отчет о деятельности Российской академии наук в 2006 г. Основные результаты в области естественных, технических, гуманитарных и общественных наук. (Введение и раздел Геофизика). М.: Изд-во РАН, 2007. С. 4, 128.
6. Рейснер Г.И., Рогожин Е.А. Сейсмоструктура и геодинимика переходных зон на примере Курильского региона // Вулканология и сейсмология. 2003. № 1. С. 42-53.
7. Соболев Г.А., Пономарев А.В. Физика землетрясений и предвестники. М.: Наука, 2003. 270 с.
8. Тараканов Р.З., Левый Н.В., Ким Ч.У. Сейсмичность Курильского региона // Сейсмическое районирование Курильских островов, Приморья и Приамурья. Владивосток: 1977. С. 27-35.

9. Тараканов Р.З. Усиление сейсмической активности в районе Средних Курильских островов // Проблемы сейсмобезопасности Дальнего Востока и Восточной Сибири. Междунар. научн. симп., 27-30 сентября 2007, Южно-Сахалинск. Тезисы докладов. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2007. С. 125.
10. Тихонов И.Н., Василенко Н.Ф., Прытков А.С., Спириин А.И., Фролов Д.И. Катастрофические Симуширские землетрясения 15 ноября 2006 года и 13 января 2007 года // Проблемы сейсмобезопасности Дальнего Востока и Восточной Сибири. Междунар. научн. симп., 27-30 сентября 2007, Южно-Сахалинск. Тезисы докладов. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2007. С. 27.
11. Федотов С.А. О закономерностях распределения сильных землетрясений Камчатки, Курильских островов и северо-восточной Японии // Тр. ИФЗАН СССР. 1965. № 36. С. 66-93.
12. Федотов С.А. О сейсмическом цикле, возможности количественного сейсмического районирования и долгосрочном сейсмическом прогнозе // Сейсмическое районирование СССР. М.: Наука, 1968. С. 121-150.
13. Федотов С.А. Долгосрочный сейсмический прогноз для Курило-Камчатской дуги. М.: Наука, 2005. 302 с.
14. Федотов С.А., Потапова О.В., Чернышева Г.В., Шумилина Л.С. Последовательность опасных афтершоков ($M \geq 6$) при сильнейших землетрясениях ($M \geq 7.7$) Курило-Камчатской дуги и сходных структур // Вулканология и сейсмология. 1998. № 1. С. 54-61.
15. 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.
16. 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., $M = 8.2$ // Вулканология и сейсмология. 2007. № 3. С. 3-25.
17. Федотов С.А., Соломатин А.В., Чернышев С.Д. Долгосрочный сейсмический прогноз для Курило-Камчатской дуги на 2006-2012 гг., прогноз Средне-Курильского землетрясения 15.11.2006, $M = 8.2$ и его сильных афтершоков // Проблемы сейсмобезопасности Дальнего Востока и Восточной Сибири. Международный симпозиум 27-30 сентября, 2007, Южно-Сахалинск. Тезисы докладов. С. 105.
18. Федотов С.А., Чернышев С.Д. 20 лет долгосрочного сейсмического прогноза для Курило-Камчатской дуги: достоверность в 1981-1985 гг., в целом за 1965-1985 гг. и прогноз на 1986-1990 гг. // Вулканология и сейсмология. 1987. № 6. С. 93-109.
19. Федотов С.А., Чернышев С.Д. Долгосрочный сейсмический прогноз для Курило-Камчатской дуги: достоверность в 1986-2000 гг., развитие метода и прогноз на 2001-2005 гг. // Вулканология и сейсмология. 2002. № 6. С. 3-24.
20. Федотов С.А., Чернышев С.Д., Матвиенко Ю.Д., Жаринов Н.А. Прогноз Кроноцкого землетрясения 5 декабря 1997г., $M = 7.8-7.9$, Камчатка и его сильных афтершоков, $M \geq 6$ // Вулканология и сейсмология. 1998. № 6. С. 3-16.
21. Федотов С.А., Чернышев С.Д., Чернышева Г.В., Викулин А.В. Уточнение границ очагов землетрясений с $M \geq 7 \frac{3}{4}$, свойств сейсмического цикла и долгосрочного сейсмического прогноза для Курило-Камчатской дуги // Вулканология и сейсмология. 1980. №6. С. 52-67.
22. Федотов С.А., Чернышева Г.В., Шумилина Л.С. Оценка сейсмической опасности землетрясений с $M \geq 6$, сопровождающих сильнейшие ($M = 8$) тихоокеанские землетрясения // Вулканология и сейсмология. 1993. № 6. С. 3-12.
23. Федотов С.А., Шумилина Л.С., Чернышева Г.В., Потапова О.В. Долгосрочный сейсмический прогноз и развитие очага Шикотанского землетрясения 4 октября 1994 г. // Федеральная служба сейсмологических наблюдений и прогноза землетрясений. Информационно-аналитический бюллетень. Экстренный выпуск. М.: ФССНПЗ, 1994. С. 56-67.
24. Шебалин П.Н. Активизация сейсмичности на больших расстояниях перед сильными землетрясениями и успешный прогноз Курильских землетрясений 15 ноября 2006, $M = 8.3$ и 13 января 2007, $M = 8.1$ // Проблемы сейсмобезопасности Дальнего Востока и Восточной Сибири. Междунар. научн. симп., 27-30 сентября 2007, Южно-Сахалинск. Тезисы докладов. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2007. С. 107.