

*Посвящается 30-летию Общего совета Института вулканологии и сейсмологии
ДВОРАН и Камчатского филиала ГС РАН по прогнозу землетрясений
и извержений вулканов (12.V 1978-12.V 2008 гг.)*

**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.**

© 2008 г. С. А. Федотов, А. В. Соломатин, С. Д. Чернышев

Рассматриваются результаты продолжения в 2007-2008 гг. работ по методу долгосрочного сейсмического прогноза для Курило-Камчатской дуги, основанного на закономерностях "сейсмических брешей" и сейсмического цикла. Средне-Курильское (Симуширское) землетрясение 15.XI 2006 г., $M_S=8.2$, произошедшее в районе о-ва Симушир, было успешно предсказано по этому методу. В том же районе 13.I 2007 г. последовало землетрясение с $M_S=8.1$. Рассматривается развитие сейсмического процесса, и определяется общая область очагов этих землетрясений. Приводятся последовательность афтершоков с $M \geq 6.0$ и их прогнозы. Дается долгосрочный сейсмический прогноз для сейсмогенной зоны Курило-Камчатской дуги на следующие 5 лет, IV 2008-III 2013 гг. Поясняется методика расчетов и прогнозирования. Указываются вероятные места следующих землетрясений с $M \geq 7.7$. Для всех участков сейсмогенной зоны предсказываются стадии сейсмического цикла, количество слабых землетрясений (A_{10}), магнитуды землетрясений средней силы, ожидающихся с вероятностями 0.8, 0.5 и 0.15, максимальные возможные магнитуды и вероятности возникновения сильнейших землетрясений с $M \geq 7.7$. Данные прогнозов используются для принятия мер по сейсмобезопасности.

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 [15, 16, 18 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 [18, 20, 21, 25, 26, 28 и др.]. Последнее описание метода дано в статье [21]. В настоящее время по этому методу прогнозируется ряд характеристик сейсмичности Курило-Камчатской дуги на следующий пятилетний период. Выделяются вероятные места следующих сильнейших землетрясений с $M \geq 7.7$ ("сейсмические брешы"); 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 $K_S=10$ [17] или $M=3.6$ 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 $M \geq 7.7$.

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, средний уровень сейсмичности одинаков в больших сегментах Курило-Камчатской сейсмо-генной зоны, длина которых равна 100-200 км, в среднем 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 ($M8$ и др.) [3, 5, 18, 20, 25, 27 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 аф-тершоковых процессов, в том числе при оценках вероятности афтершоков по магнитуде практически равных основному событию [19, 27, 29, 30 и др.].

Метод долгосрочного сейсмического прогноза одновременно является долгосрочным прогнозом цунами для Курило-Камчатской дуги, а также может применяться в других регионах мира, имеющих сходную структуру, геодинамику и сейсмотектонику. Последнее описание метода дано в [21].

В трех основных разделах данной статьи рассматриваются следующие вопросы.

Раздел 1. Катастрофические землетрясения, которые были на Средних Курильских островах в

районе о-ва Симушир 15.XI 2006 г., $M_S=8.2$, и 13.I 2007 г., $M_S=8.1$, являются крупным показателем и очень интересным явлением. Они произошли в том участке Курило-Камчатской дуги, который по долгосрочным сейсмическим прогнозам на IV 2006 - IV 2011 гг. и предыдущие пятилетия, относился к двум наиболее вероятным местам следующих ожидаемых землетрясений с $M \geq 7.7$ в Курило-Камчатской дуге [21, 22, 24 и др.]. Эти землетрясения, их цунами, свойства очагов, афтершоки, большая часть которых разместилась в Курильском глубоководном желобе, и связь с геодинамикой стали объектом разносторонних исследований [2, 4, 11-14 и др.]. В разделе 1 определяется область их очага, рассматриваются соотношения между этими землетрясениями, а также последовательность и прогнозы их афтершоков с $M \geq 6.0$, дававшиеся в течение первого года.

Раздел 2. Принятые условия и значения исходных параметров, на основании которых рассчитываются и определяются прогнозируемые величины, уточнялись и пополнялись в течение длительного времени применения, развития и совершенствования метода [15, 16, 18, 20, 21, 25, 26 и др.]. В данном разделе приводятся используемые соотношения между энергетическими классами и различными магнитудами землетрясений и средняя нормированная величина сейсмической энергии E_1 , сбрасываемой в Курило-Камчатской сейсмогенной зоне. Подтверждаются свойства сейсмического цикла величины сейсмической активности $A_{10}(t)$, являющейся основным прогностическим параметром. Приводятся таблицы значений других прогностических параметров $D(t)$ и $A_{10}(t)$.

Раздел 3. Приводится долгосрочный сейсмический прогноз для Курило-Камчатской дуги на следующий пятилетний период IV 2008 - III 2013 гг., составленный по рассматриваемому методу с некоторым уточнением исходных величин. Оценивается степень опасности в различных участках Курило-Камчатской дуги, и выделяются наиболее угрожаемые среди них.

Статья заканчивается обсуждением приведенных результатов, их применения, вопросов дальнейшего развития метода, раздел 4, и заключением.

1. РАЗВИТИЕ АФТЕРШОКОВОГО ПРОЦЕССА, ПРОГНОЗ СИЛЬНЫХ АФТЕРШОКОВ С $M \geq 6.0$, ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЛАСТИ ОЧАГА СРЕДНЕ-КУРИЛЬСКОГО (СИМУШИРСКОГО) ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 15.XI 2006 г., $M_S=8.2$

После сильнейшего Средне-Курильского (Симуширского) землетрясения 15.XI 2006 г., $M_S=8.2$, начался мощный рой афтершоков. Наибольшая сейсмическая активность, и большинство сильных афтершоков (рис. 1а, 1б) проявились в районе глубоководного желоба на расстоянии 100 км от эпицентра главного события. На этих рисунках видно, что афтершоки с первых суток заполнили достаточно протяженную область, включающую как участок 7 сейсмофокальной зоны, так и его продолжение на юго-восток в район глубоководного желоба. По данным каталога NEIC в пределах этой области отчетливо выделяются две полосы афтершоков, разделенные промежутком шириной около 50 км, причем значительно более активной являлась полоса, находящаяся в районе глубоководного желоба. В течение первых суток произошло 7 афтершоков с $M=6.0-6.4$ (табл. 1). По данным за первые десять суток афтершокового процесса в предыдущих работах [21, 22, 24] были построены предварительные границы области очага Средне-Курильского (Симуширского) землетрясения 15.XI 2006 г. Значительные особенности глубинного строения и сейсмотектоники этого участка Средних Курильских о-вов рассматривались в [8, 12, 14 и др.].

13.I 2007 г. в очаге Средне-Курильского (Симуширского) землетрясения произошло второе сильнейшее землетрясение с $M_S=8.1$. Его эпицентр располагался в глубоководном желобе на линии, образованной мощным роем афтершоков, сопровождавших Средне-Курильское землетрясение 15.XI 2006 г. Второе землетрясение сопровождалось двумя афтершоками с магнитудами $M=6.2$ и $M=6.0$ (рис. 1, табл. 1). Относительно малочисленные для такого мощного события афтершоки, последовавшие в течение двух суток, расположились, главным образом, за линией глубоководного желоба, в значительной мере перекрываясь с предыдущими афтершоками (рис. 1б и [14]).

Таблица 1. Главный толчок Средне-Курильского землетрясения 15.XI 2006 г. и его афтершоки с $M \geq 6.0$ по март 2008 г.

Дата	Время, ч:мин	Широта, град.	Долгота, град.	Глубина, км	mb, NEIC	M, IRIS	mb, ISC	M_s , HRV	M_s , СФ ГС РАН
2006/11/15	11:14	46.59	153.27	10	$M_s=8.2$	7.8	$M_w=7.9$	$M_w=8.3$	8.1
2006/11/15	11:25	47.52	152.65	10	6.0		6.0		
2006/11/15	11:28	46.09	154.10	10	6.0	6.0	6.0		
2006/11/15	11:29	46.37	154.48	10	6.2	6.2	6.2		
2006/11/15	11:34	46.65	155.30	10	6.4	6.5	6.4		
2006/11/15	11:40	46.48	154.73	10	6.4	6.3	$M_w=6.6$		
2006/11/15	21:22	47.34	154.10	23	$M_e=6.1$	6.2	6.0	6.1	6.4
2006/11/16	06:20	46.36	154.47	9	6.0	6.1	$M_w=6.0$	5.9	6.2
2006/12/07	19:10	46.15	154.39	16	6.3		$M_w=6.3$	6.3	6.4
2007/01/13	04:23	46.24	154.52	10	$M_s=8.1$	7.7	$M_w=8.0$	$M_w=8.1$	8.1
2007/01/13	09:18	45.57	153.76	10	5.8	5.8			6.2
2007/01/13	17:37	46.91	156.28	10	$M_w=6.0$			6.0	6.0
2007/10/25	13:50	46.01	154.23	35	$M_w=6.1$	6.1	6.4	6.1	6.2
Конец года афтершоков									
2008/03/03	09:31	46.52	153.09	35	$M_w=6.6$			6.6	6.7

Примечание. Координаты гипоцентров взяты из каталога NEIC. NEIC – Национальный центр информации о землетрясениях Геологической службы США; СФ ГС РАН - Сахалинский филиал Геофизической службы РАН; ISC – Международный сейсмологический центр; IRIS – Объединенный исследовательский сейсмологический институт, США. HRV – Отделение наук о Земле и планетах, Гарвардский университет, США.

Сочетание землетрясений 15.XI 2006 г. и 13.I 2007 г. было значительным редким событием, которому сложно дать однозначную интерпретацию. Они напоминают предыдущую 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 в соседних участках 5 и 6 у о-вов Симушир и Уруп (рис. 1а). Для них по имеющимся малочисленным данным [1 и др.] построены отдельные области очагов [15, 18, 28 и др.] и нанесены эпицентры 4 афтершоков первых 2.5 мес. с $M=6.0 - 6.5$ (рис. 1а).

Сильнейшие землетрясения 15.XI 2006 г., $M_s=8.2$, и 13.I 2007 г., $M_s=8.1$, имеют различные механизмы очагов. Для первого из них протяженность сейсморазрыва равна ~ 300 км, при ширине ~ 60 км, а для второго землетрясения длина сейсморазрыва значительно меньше ~ 180 км при ширине ~ 46 км [13, 14]. При этом область афтершоков землетрясения 13.I 2007 г. в большой мере находится в пределах области афтершоков землетрясения 15.XI 2006 г. (рис. 1). Эти данные показывают, что с достаточным основанием можно рассматривать второе землетрясение как мощнейший афтершок и строить общую область очага этих землетрясений.

Для решения вопроса о единстве очага двух Средне-Курильских землетрясений по их афтершокам целесообразно также рассмотреть их распределение по глубине после каждого из сильнейших событий 15.XI 2006 г. и 13.I 2007 г. Такие данные, полученные на основе каталога ГС РАН, приведены на рис. 2.

Особенностью распределения афтершоков первых двух дней после события 15.XI 2006 г. является достаточно четкая локализация гипоцентров на глубинах 35-50 км, равных или несколько больших, чем глубина основного события (10 км по данным ГС РАН), табл. 1. В дальнейшем, в течение двух месяцев афтершоки распространяются до глубин - 100 км.

Афтершоки первых двух дней после события 13.I 2007 г. имеют меньшие глубины - 15-35 км, которые, вероятно, соответствуют малой глубине основного события 13.I 2007 г. (в каталоге ГС РАН, как и в каталоге NEIC, указаны предельно малые величины - 10 км, что указывает на низкую точность их определения). В среднем же на протяжении двух месяцев после со-

бытия 13.I 2007 г. распределение глубин афтершоков мало отличается от распределения за такой же период после события 15.XI 2006 г. (лишь 15% общего числа афтершоков имеют глубину меньше 30 км, при этом две трети из них произошли в первые двое суток). Это обстоятельство показывает, что в значительной мере области очагов совпадают не только в эпицентральной проекции, но и в объеме.

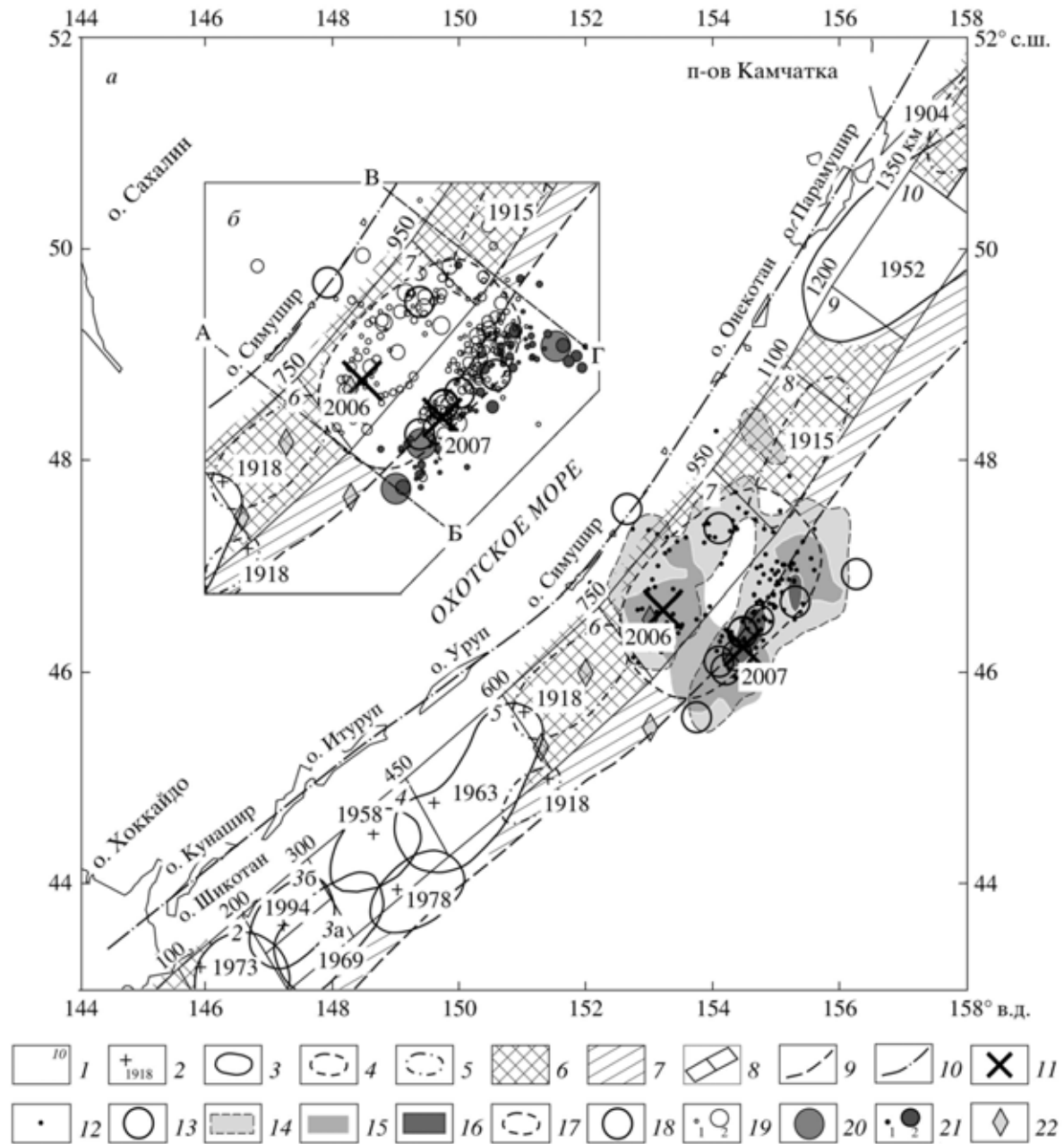


Рис. 1. Афтершоки и область очага Средне-Курильских (Симуширских) землетрясений 15.XI 2006 г., $M_S=8.2$ и 13.I 2007 г., $M_S=8.1$. а - области высоких значений параметров A_{10} и D по данным NEIC и ГС РАН, а также афтершоки (NEIC) в течение одного года после Средне-Курильского землетрясения 15.XI 2006 г., $M_S=8.2$: 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 - эпицентры Средне-Курильского землетрясения 15.XI 2006 г., $M_S=8.2$, и сильнейшего события в его очаге 13.I 2007 г., $M_S=8.1$; 12 - эпицентры афтершоков первых суток с $m_b=4.4-4.9$; 13 - эпицентры афтершоков с $m_b \geq 6.0$ за 1 год; 14 - область параметра $A_{10} \geq 10$, построенная по каталогу ГС РАН за один год; 15 - область параметра $A_{10} \geq 10$, построенная за тот же период по каталогу NEIC; 16 - область параметра $D \geq 1$; 17 - область очага Средне-Курильских землетрясений 15.XI 2006 г. и 13.I 2007 г. б - афтершоки первых суток после Средне-Курильского землетрясения 15.XI 2006 г.,

афтершоки первых суток после Средне-Курильского землетрясения 15.XI 2006 г., $M_S=8.2$ и после сильнейшего землетрясения в его очаге 13.I 2007 г., $M_S=8.1$ (NEIC): 18 - афтершоки с $m_b \geq 6.0$ в течение первых суток после землетрясения 15.XI 2006 г., $M_S=8.2$; 19 - афтершоки за тот же период с m_b от 4.4 (1) до 5.9 (2); 20 - афтершоки с $m_b \geq 6.0$ первых суток после землетрясения 13.I 2007 г., $M_S=8.1$; 21 - афтершоки за тот же период с m_b от 4.4 (1) до 5.9 (2); 22 - афтершоки землетрясения 7.IX 1918 г., $M = 8.2$.

Развитие последовательности сильных афтершоков с $M \geq 6.0$ Средне-Курильских землетрясений 15.XI 2006 г. и 13.I 2007 г. показано на рис. 3 и в табл. 1 и 2. Средняя последовательность афтершоков с $M \geq 6.0$ ("сейсмический сценарий") для тихоокеанских землетрясений с $M \geq 7.7$ приведена в [19, 29 и др.]. "Сейсмический сценарий" был построен для первого года афтершокового процесса сильнейших землетрясений с $M \geq 7.7$.

В табл. 1 приведены данные о главном толчке и афтершоках с $M \geq 6.0$ Средне-Курильского землетрясения 15.XI 2006 г. с момента землетрясения по март 2008 г. На рис. 3 построены кумулятивные графики количества афтершоков с $M \geq 6.0$ по данным разных каталогов. Эти данные также показывают, что землетрясение 15.XI 2006 г. было основным событием развивавшегося сейсмического процесса.

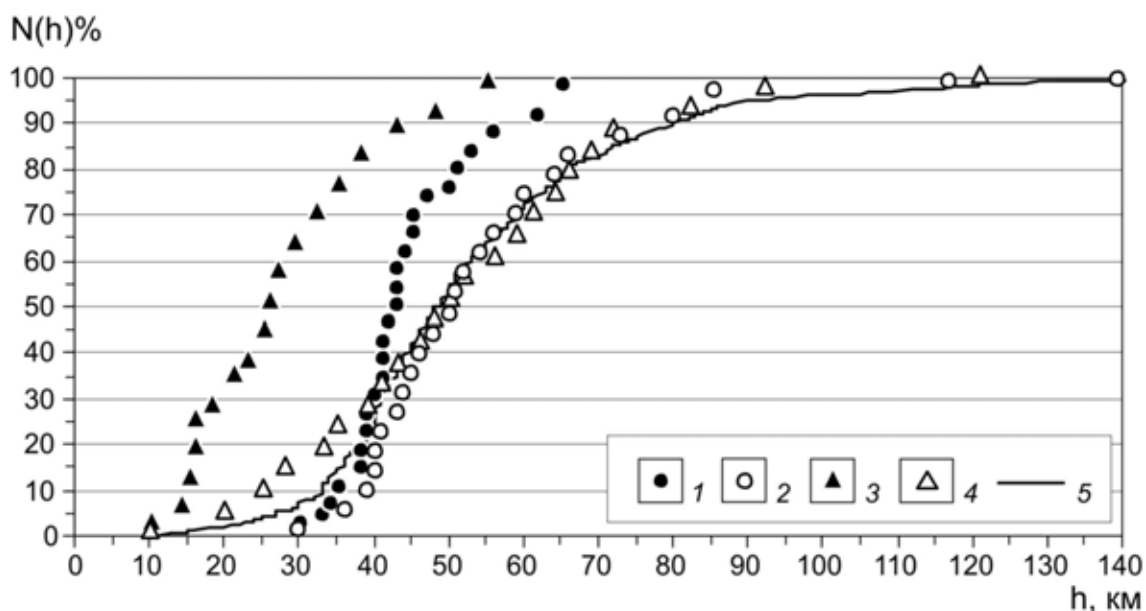


Рис. 2. Распределение суммарного количества землетрясений энергетического класса $K_S \geq 9.5$ ($M_S \geq 3.3$) $N(h)$ по глубине h , км, в афтершоковом процессе Средне-Курильских (Симуширских) землетрясения 15.XI 2006 г., $M_S=8.2$ и 13.I 2007 г., $M_S=8.1$: 1 - в первые двое суток после главного события 15.XI 2006 г., $M_S=8.2$; 2 - в первые два месяца после него; 3 - в первые двое суток после сильнейшего афтершока 13.I 2007 г., $M_S=8.1$; 4 - в первые два месяца после него; 5 - афтершоки в течение года после Средне-Курильского землетрясения 15.XI 2006 г. Величины N и h брались по каталогу Сахалинского филиала Геофизической службы РАН. Область сейсмофокальной зоны, для которой построены распределения, расположена между линиями АБ и ВГ на рис. 16.

Аналогичные сведения имеются в работе [14], в которой показано затухание сейсмических процессов в очагах Симуширских землетрясений 15 ноября 2006 г. и 13 января 2007 г. в течение месяца после них. Рой афтершоков второго землетрясения в три раза слабее, чем у первого (рис. 3).

По "сейсмическому сценарию" землетрясений с $M \geq 8$ вероятность возникновения сильнейшего афтершока, сравнимого по мощности с главным толчком, велика и равна ~ 0.67 для афтершоков с $M=7.5-7.9$. "Сценарий афтершоков" был построен в 1993 г. для оценки опасностей, возникающих в течение первого года афтершокового процесса после тихоокеанских землетрясений с $M \geq 7.7$ [29]. Подобные данные необходимы при планировании спасательных и восстановительных работ после разрушительных и цунамигенных землетрясений. Ранее "сценарий афтершоков" применялся после Шико-танского и Кроноцкого землетрясений [27, 30].

В 2006 г. "сейсмические сценарии" применялись дважды для прогноза сильных афтершоков

($M \geq 6.0$) Олюторского землетрясения 21.IV 2006 г., $M_S = 7.8$, и Средне-Курильского землетрясений 15.XI 2006 г., $M_S = 8.2$. Прогнозы ожидаемого количества сильных афтершоков с $M \geq 6.0$ для Средне-Курильского (Симуширского) землетрясения четырежды сообщались в Общий совет ИВиС ДВО РАН и КФ ГС РАН по прогнозу землетрясений и извержений вулканов: 16 ноября 2006 г. - по результатам первых двенадцати часов афтершокового процесса, а также 23 ноября 2006 г., 19 апреля и 4 октября 2007 г.

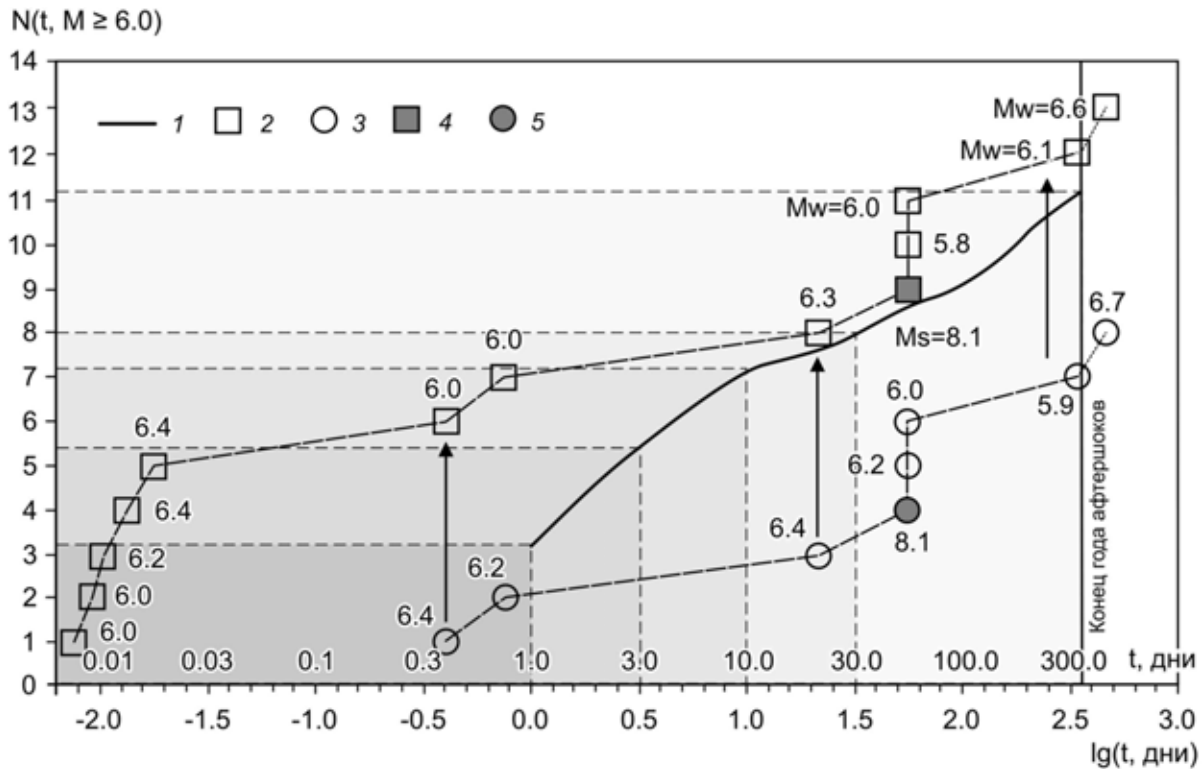


Рис. 3. Увеличение со временем t суммарного количества афтершоков $M \geq 6.0$, $N(t, M \geq 6.0)$ для Средне-Курильского землетрясения 15.XI 2006 г., $M_S = 8.2$, по данным каталогов NEIC и СФ ГС РАН, и средняя последовательность афтершоков $M \geq 6.0$ для курило-камчатских и японских землетрясений с $M \geq 7.7$ - «сейсмический сценарий». Область очага Средне-Курильского землетрясения показана на рис. 1. 1 - средняя зависимость по «сценарию афтершоков»; 2 - зависимость по каталогу NEIC, m_b ; 3 - зависимость по каталогу СФ ГС РАН, M_S ; 4 и 5 - землетрясение 13.I 2007 г., $M_S = 8.1$ в последовательности NEIC и СФ ГС РАН соответственно. Нанесены значения магнитуд афтершоков, табл. 1.

Первый прогноз не оправдался - в указанный в нем период, с 17 до 26 ноября 2006 г. в очаге Средне-Курильского землетрясения не произошло ни одного афтершока с $M \geq 6.0$.

Прогнозы 23 ноября 2006 г., 12 апреля 2007 г. оправдались частично: в указанные в них периоды с 24 ноября до 15 декабря 2006 г. и с 13 апреля по октябрь 2007 г., соответственно, произошло меньшее, чем ожидаемое число афтершоков - по одному, вместо двух.

Прогноз от 4 октября 2007 г., данный за полтора месяца до окончания года афтершокового процесса, оправдался: в указанный период - до 15 ноября 2007 г. произошел предсказанный афтершок с магнитудой $M_w = 6.1$.

В целом, оценку прогноза развития афтершокового процесса Средне-Курильского (Симуширского) землетрясения можно считать хорошей. При этом нужно учесть, что наиболее надежными по приведенному выше сценарию являются оценки за длительный период афтершокового процесса. Этим можно объяснить неудачу первого прогноза, данного в период наиболее неустойчивого периода афтершоков на короткий отрезок времени.

Ниже приведена таблица прогнозов афтершоков с $M \geq 6.0$ для трех последних Курило-камчатских землетрясений с $M \geq 7.7$ (табл. 2). Сравнение реального числа афтершоков со средними их числами, отраженными в сценарии, показывает хорошее совпадение для афтершоков с магнитудами 6.0-6.4 и несколько меньшее количество реальных афтершоков с магнитудами 6.5-

7.4. Такое расхождение может быть объяснено отчасти уникальностью Средне-Курильского (Симуширского) землетрясения 15.XI 2006 г., сопровождавшегося афтершоком почти равной магнитуды 13.I 2007 г., отчасти сравнительно низким уровнем магнитуды для Кроноцкого землетрясения, $M=7.8$.

Таблица 2. Сравнение количества афтершоков $M \geq 6.0$, наблюдавшихся после Средне-Курильского и других сильнейших курило-камчатских землетрясений с $M \geq 7.7$, с их количеством, прогнозируемым по «сейсмическому сценарию»

Сутки	M_S	Количество афтершоков $M \geq 6.0$				
		Шикотанское, 4.X 1994, $M_S = 8.1$	Кроноцкое, 5.XII 1997, $M_S = 7.8$	Средне-Курильское, 15.XI 2006, $M_S = 8.2$	Среднее значение	«Сценарий афтершоков»
1	6.0-6.4	1	1	7	3.0	1.6
	6.5-7.4	0	1	0	0.3	1.0
	≥ 6.0	1	2	7	3.3	2.6
2	6.0-6.4	1	1	7	3.0	3.3
	6.5-7.4	0	1	0	0.3	1.5
	≥ 6.0	1	2	7	3.3	4.8
3	6.0-6.4	2	1	7	3.3	3.6
	6.5-7.4	0	2	0	0.7	1.7
	≥ 6.0	2	3	7	4.0	5.3
4	6.0-6.4	2	1	7	3.3	4.0
	6.5-7.4	0	2	0	0.7	1.8
	≥ 6.0	2	3	7	4.0	5.8
5	6.0-6.4	3	1	7	3.7	4.2
	6.5-7.4	0	2	0	0.7	1.8
	≥ 6.0	3	3	7	4.4	6.0
10	6.0-6.4	3	1	7	3.7	5.3
	6.5-7.4	0	2	0	0.7	2.0
	≥ 6.0	3	3	7	4.4	7.3
30	6.0-6.4	4	1	8	4.3	5.7
	6.5-7.4	0	2	0	0.7	2.1
	≥ 6.0	4	3	8	5.0	7.8
365	6.0-6.4	10	2	11	7.7	7.8
	6.5-7.4	1	2	1*	1.3	3.2
	≥ 6.0	11	4	12	9.0	11.0

Примечание. *Афтершок большой силы $M_S=8.1$; по «сценарию афтершоков» [29] вероятность возникновения афтершока с $M_S=7.5-7.9$ в течение первого года ~ 0.67 .

Отметим ряд выводов раздела 1.

Прежде всего, землетрясение 13.I 2007 г., $M_S=8.1$, попадает в область очага, построенную по первым 10 дням афтершоков землетрясения 15.XI 2006 г. (рис. 1а) и лежит на линии, образованной группой его сильных афтершоков с $M \geq 6.0$, протянувшейся вдоль глубоководного желоба. Сильные афтершоки, произошедшие после землетрясения 13.I 2007 г., разместились у концов этой линии, рис. 1б. Афтершоки после землетрясения 13.I 2007 г., $M_S=8.1$, как сильные, так и слабые несколько расширяют общую область афтершоков за глубоководный желоб.

Так как не наблюдалось значительной афтершоковой активизации, сопутствующей землетрясению 13.I 2007 г., $M_S=8.1$, а также не наблюдалось значительных изменений в афтершоковом процессе после него, то принято предположение о единой области очага, в которой находится в качестве сильнейшего афтершока землетрясение 13.I 2007 г.

Границы общей области очагов Средне-Курильских землетрясений 15.XI 2006 г. и 13.I 2007 г., показанные на рис. 1, построены в соответствии с этим условием. Они проведены по способу, вы-

бранному для составления долгосрочных сейсмических прогнозов. Области очагов землетрясений с $M \geq 7.7$ определяются по данным первого года афтершоков и включают в себя афтершоки с $M \geq 6.0$ и участки, ограниченные изолиниями сейсмической активности $A_{10}=10$ и изолиниями $D=1$ [18, 28 и др.].

Для Курильской части сейсмофокальной зоны при оценках сейсмических параметров A_{10} и D , необходимых как для долгосрочного прогноза, так и для построения области очага, используется региональный каталог ГС РАН. Однако полнота данных регионального каталога для области очага Средне-Курильского (Симуширского) землетрясения оказалась значительно меньшей, чем каталога NEIC. Поэтому при построении для контроля использовались оба каталога землетрясений. На рис. 1а приведены изолинии $D=1$ (по данным NEIC) и $A_{10}=10$ (по данным NEIC и ГС РАН), полученные по данным за один год, и на основе которых по способу, изложенному в работах [18, 28 и др.] строится область очага. Обе изолинии A_{10} близки в своей южной части. Основное их различие - в северной части, что вероятнее всего объясняется неполнотой каталога ГС РАН. Построенная на основе изолиний A_{10} и D , полученных за год, область очага (рис. 1а) в данном случае практически совпадает с хорошо ограниченной областью, в которую попадает подавляющее большинство афтершоков первых 2-х дней после сильнейшего события 15.XI 2006 г. (рис. 1б). Это также подтверждает предположение о единстве афтершокового процесса для событий до и после Средне-Курильского землетрясения 13.I 2007 г., $M_S=8.1$.

Границы общей области очага Средне-Курильских землетрясений 15.XI 2006 г., $M_S=8.2$, и 13.I 2007 г., $M_S=8.1$, показанные на рис. 1, уточняют границы области очага землетрясения 15.XI 2006 г., построенные по неполным данным первого года его афтершоков [21, 22, 24]. Сделанные уточнения использовались при составлении долгосрочных сейсмических прогнозов для Курило-Камчатской дуги на 2008-2013 гг. (раздел 3).

2. СОСТАВЛЕНИЕ ДОЛГОСРОЧНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ ПРОГНОЗОВ: УСЛОВИЯ, ПАРАМЕТРЫ, РАСЧЕТ ПРЕДСКАЗЫВАЕМЫХ ВЕЛИЧИН

Методика составления долгосрочных сейсмических прогнозов для Курило-Камчатской дуги, основанных на закономерностях размещения очагов сильнейших землетрясений и сейсмического цикла, как отмечалось во Введении, развивалась и совершенствовалась после ее создания в 1965-1968 гг. В 1965-2008 гг. уточнялись исходные условия, величины прогностических параметров, улучшались способы расчетов [15, 16, 18, 20, 21, 23-28]. В данном разделе кратко сообщается об основных условиях и тех значениях прогностических параметров, которые применялись и проверялись в 2007-2008 гг.

Сейсмогенная зона Курило-Камчатской дуги, протянувшаяся на 2100 км, в которой сейсмичность достигает наивысшего уровня, существующего на Земле, считается, в первом приближении, однородной в ее больших сегментах длиной 100-200 км. [15, 16, 18 и др.]. Это положение подтвердилось в 2006-2007 гг., когда на Средних Курильских о-вах, где с 1780 г. не наблюдалось сильнейших землетрясений [1, 6 и др.], произошли в соответствии с долгосрочным сейсмическим прогнозом два землетрясения с $M_S=8.2$ и 8.1 [13, 21, 22 и др.], (раздел 1).

По имеющимся историческим, макросейсмическим и инструментальным данным, период повторяемости T в одном месте землетрясений с $M \geq 7\frac{3}{4}$ или ≥ 7.7 у тихоокеанского побережья Камчатки, Курильских о-вов и Северо-Восточной Японии равен $T_1=140 \pm 60$ лет или $T_2=120 \pm 50$ лет [15, 16, 18, 20, 21, 26 и др.]. В расчетах используются оба значения.

В 1965 г. было показано [15], что области очагов курило-камчатских землетрясений XX в. с $M \geq 7$ и $3/4$ имели тенденцию не перекрывать друг друга, что объясняется, вероятно, большой разрядкой напряжений в области их очагов. Так как период повторяемости в одном месте для сильных курило-камчатских и японских землетрясений больше 100 лет, то эта тенденция должна сохраниться на следующие десятилетия. На этом основании были выделены вероятные места следующих землетрясений с $M \geq 7\frac{3}{4}$, которые были названы позднее "сейсмическими брешами". Предполагалось, что вероятность этого прогноза 0.8-0.9 [15]. Это полностью подтвердилось в 1968-2007 гг. [18, 20-28 и др.]. В настоящее время к вероятным местам следующих землетрясений с $M \geq 7.7$,

"сейсмическим брешам", относятся те участки сейсмогенной зоны Курило-Камчатской дуги, в которых таких землетрясений не было в течение 80 лет. При $T_1=140\pm 60$ лет в среднем вероятность того, что землетрясение с $M\geq 7.7$ возникнет в данном месте в течение первых 80 лет цикла, равна ~ 0.16 , а вероятность возникновения его здесь в "сейсмической бреша" в последующие годы равна 0.84.

При изучении сейсмичности, ее закономерностей и изменений использован ряд параметров: A_{10} , D , A_{11} , γ и другие. Сейсмическая активность A_{10} равна количеству землетрясений энергетического класса $K_S=10$ в год на площади 10^3 км^2 . Относительная величина сбрасываемой сейсмической энергии $D(t)=E_2(t)/E_2$ где E_1 , Дж/год $\cdot 10^3 \text{ км}^2$ - средняя нормированная величина сейсмической энергии, сбрасываемая в год в Курило-Камчатской сейсмогенной зоне, а $E_2(t)$, Дж/год $\cdot 10^3 \text{ км}^2$ - нормированная величина сейсмической энергии, выделяющейся в исследуемом участке в течение года [16, 18 и др.]. Величина A_{11} представляет собой количество землетрясений $K_S=11.1-12.0$, произошедших за год на площади 1000 км^2 , определяемое по графику повторяемости для землетрясений с $K_S\geq 11.1$. Для сопоставления с A_{10} величина A_{11} экстраполируется в область $K_S=9.5-10.4$ с тем же коэффициентом наклона графика повторяемости и выражается в виде параметра A'_{11} . Таким образом, величина A'_{11} , представляет сейсмическую активность A_{10} , определяемую по землетрясениям $K_S\geq 11.1$. γ - величина наклона графика повторяемости землетрясений.

Энергетические классы землетрясений K_S определяются по шкале [17]. Для определения K_S , E_2 , D используются следующие соотношения между сейсмической энергией E , энергетическими классами K и различными магнитудами:

$$K_S = \lg E, \text{ Дж}, \quad (1)$$

$$K_S = 1.5 \times M_S + 4.6, \quad (2)$$

$$K_S = K_C + 0.6, \quad (3)$$

$$K_S = 1.1 \times K_C - 0.5, \quad (3a)$$

(3 и 3a практически совпадают в диапазоне энергетических классов $K_S=10.5-12.0$),

$$K_S = 1.8 \times M_{JMA} + 3.4 \text{ (для определения } A_{10} \text{ и } A_{11}), \quad (4)$$

$$mb = M_{JMA} \text{ (в пределах } M_{JMA}=3.0-5.5), \quad (5)$$

$$mb = mb(\text{NEIC}) = mb(\text{ISC}). \quad (6)$$

В соотношениях 1-6 $K_S=K_{S12}$ - энергетический класс землетрясений каталогов КФ ГС РАН [27], который дается для камчатских землетрясений в каталоге КФ ГС РАН (<ftp://ftp.gsras.ru>); $K_C=K_S$ - энергетический класс землетрясений [10], определяемый для землетрясений Курильских овов в региональном каталоге СФ ГС РАН (<ftp://ftp.gsras.ru>); $M_S=M_{LN}=M$ - магнитуды, используемые в каталогах КФ и СФ ГС РАН; магнитуда mb взята из каталогов NEIC (<http://neic.usgs.gov>) с 2000 г. и ISC (<http://www.isc.ac.uk>) с 1964 по 1999 гг.; магнитуда M_{JMA} взята из каталога ISC (с 1964 по 1999 гг.). В этом перечне КФ и СФ ГС РАН - Камчатский и Сахалинский филиалы Геофизической службы РАН, NEIC - Национальный центр информации о землетрясениях Геологической службы США (Голден, Колорадо, США); ISC - Международный сейсмологический центр (Великобритания); JMA - Японское метеорологическое агентство (Токио, Япония).

В 1968 г. было введено понятие сейсмического цикла сильнейших землетрясений, в течение которого происходит закономерное изменение сейсмических параметров в одном месте в промежутки времени от первого до последующего сильнейших землетрясений [16, 18 и др.]. Длительность сейсмического цикла курило-камчатских землетрясений с $M\geq 7.7$ равна, как отмечалось выше, $T_1=140\pm 60$ лет или $T_2=120\pm 50$ лет. Сейсмический цикл делится на три стадии: I - стадия афтершоков длительностью ~ 20 лет; II - стадия относительно спокойного накопления сейсмической энергии продолжительностью в среднем около 100 лет; III - стадия форшоков длительностью ~ 20 лет [16, 18 и др.]

Несколько раз, начиная с 1968 г., по мере накопления данных строились и обновлялись циклы параметров $A_{10}(t)$, $D(t)$ и других [16, 18, 28 и др.].

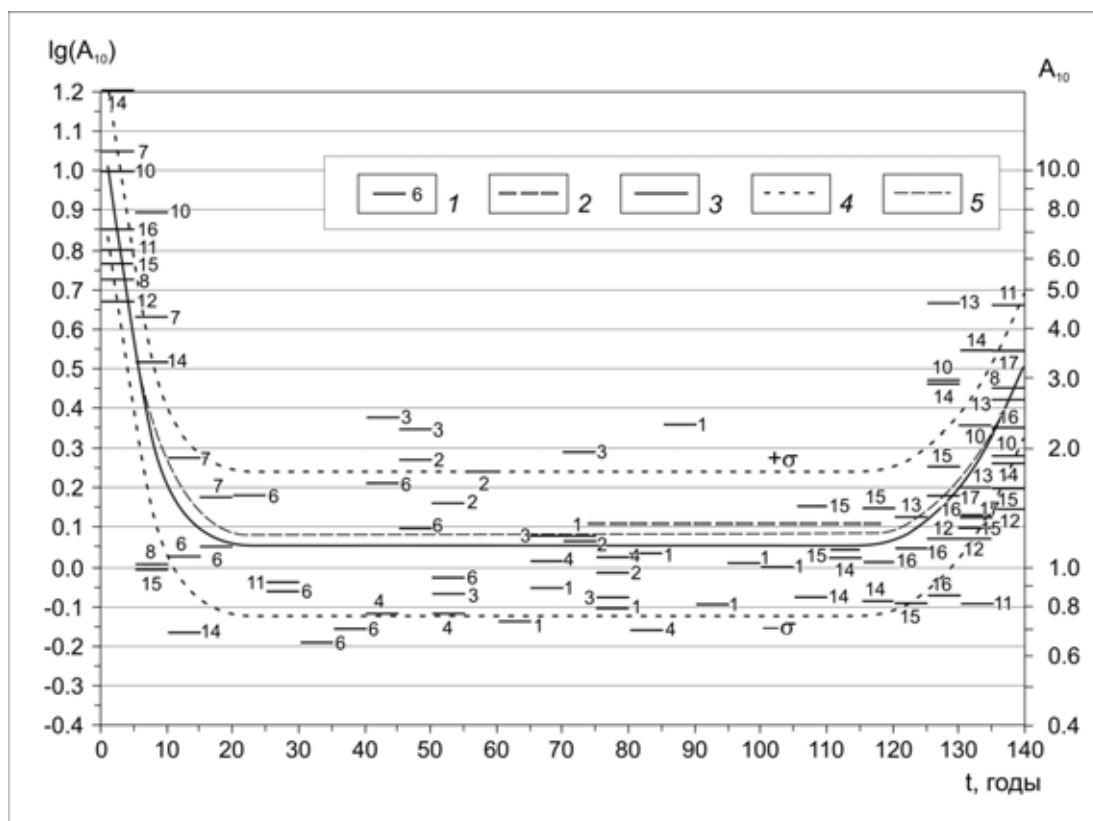


Рис. 4. Цикл сейсмической активности $A_{10}(t)$ в Тихоокеанской фокальной зоне у берегов Камчатки, Курильских островов и северо-восточной Японии. 1 – средние значения сейсмической активности за 5 лет (цифры соответствуют номеру землетрясения в табл. 3); 2 – уровень A_{10} , определенный по 72 точкам годовых карт сейсмической активности Камчатки 1962-1978 гг.; 3 – осредненный график изменения A_{10} в течение цикла; 4 – границы среднеквадратического отклонения $\sigma(\lg A_{10}) = \pm 0,18$; 5 – график $A_{10}(t)$, построенный ранее [28].

Ведущим прогностическим параметром являются величина $A_{10}(t)$ и ее изменения в конце сейсмического цикла [16, 18, 20, 21, 26 и др.]. Сейсмический цикл $A_{10}(t)$ уточнялся по мере накопления новых данных в течение времени, в особенности после возникновения новых землетрясений с $M \geq 7.7$. Такими землетрясениями были Шикотанское землетрясение 4.X 1994 г., $M=8.1$, Кроноцкое землетрясение 5.XII 1997 г., $M=7.8-7.9$, Хоккайдское землетрясение 25.IX 2003 г., $M=8.1$, Средне-Курильское землетрясение 15.XI 2006, $M=8.2$.

На рис. 4 показаны значения A_{10} в областях очагов 17 курило-камчатских землетрясений в разные пятилетние интервалы их циклов, наблюдавшиеся до 2008 г., средняя линия $A_{10}(t)$ и стандартное отклонение σ величины $\lg A_{10}(t)$. Данные о землетрясениях приведены в табл. 3, а средние значения A_{10} в табл. 4. Средние значения A_{10} во второй половине II стадии цикла, 70-120 годы, $A_{10}(\text{II}, t=70-120 \text{ лет})=1.15$; средние значения A_{10} в последние 10 лет III стадии цикла, 130-140 годы, $A_{10}(\text{III}, t=130-140 \text{ лет})=2.17$; средние значения A_{10} в последние 5 лет III стадии цикла, 135-140 годам, $A_{10}(\text{III}, t=135-140 \text{ лет})=2.62$. Стандартное отклонение $\sigma(\lg A_{10})=0.18$. Эти значения незначительно отличаются от тех, которые использовались ранее в 1980 г.: $A_{10}(\text{II}) = 1.25$; $A_{10}(\text{III}, t = 130-140 \text{ лет}) = 1.95 \approx 2.0$; $A_{10}(\text{III}, t = 135-140 \text{ лет}) = 2.51 \approx 2.5$; стандартное отклонение $\sigma(\lg A_{10}(t))$ было таким же, 0.18 [18 и др.]. Значения $A_{10}(t)$ приведены в табл. 4.

При расчетах величин $D=E_2(t)/E_1$, принималось, что средняя величина сейсмической энергии, сбрасываемой в течение сейсмического цикла в полосе прогноза, $E_1=8.8 \cdot 10^{13} \text{ Дж/год} \cdot 10^3 \text{ км}^2$. Эта величина соответствует энергии землетрясения с $M=6.2$.

Показано увеличение приведенных значений $A_{10}(t)$, $D(t)$ в конце III стадии цикла по сравнению со II стадией.

Таблица 3. Землетрясения Курило-Камчатской дуги 1904-2006 гг., $M \geq 7.7$, $H < 100$ км, использованные при построении сейсмических циклов $A_{10}(t)$ и $D(t)$ в 1980 г. [18, 28] и их последующих уточнениях

№	Год	Дата	Время, ч, мин	Район	с.ш. ^o	в.д. ^o	H, км	M*	
1	{	1904	25.VI	14.45	Южная Камчатка	52.0	159.0	15-60	7.7
		1904	25.VI	21.00		52.0	159.0	15-60	7.7
2		1915	1.V	05.00	Восточнее о-ва Онекотан	48.4	155.5	30±30	8.3
3		1918	7.IX	17.16	Восточнее о-ва Уруп	45.6	151.1	40±20	8.2
4		1918	8.XI	04.38	Юго-восточнее о-ва Уруп	44.9	151.4	40±40	7.9
5		1923	3.II	16.01	Восточнее Камчатки	53.0	161.0	10-40	8.5
6		1952	04.III	01.22	Юго-восточнее Хоккайдо	41.9	143.7	50±10	8.3
7		1952	4.XI	16.58	Камчатское	52.3	161.0	10-40	8.5
8		1958	6.XI	22.58	Итурупское	44.5	148.5	40±20	8.2
9		1963	16.X	05.17	Урупское	44.8	149.5	47±10	8.1
10	{	1969	11.VIII	21.27	Южно-Курильское	43.6	147.8	40±10	8.2
		1969	11.VIII	21.27		43.6	147.2	38±15	7.8
11		1971	15.XII	08.29	Камчатский залив	55.9	163.4	20-30	7.9
12		1973	17.VI	03.55	Кунашир	43.2	145.9	55±10	7.9
13	{	1978	23.III	03.15	Восточнее Итурупа	43.9	148.9	40	7.8
		1978	24.III	19.47		43.9	149.1	39	8.0
14		1994	13.X	13.22	Шикотанское	43.7	147.6	33	8.1
15		1997	5.XII	11.26	Кроноцкое	54.7	162.4	33	7.9
16		2003	25.IX	19.50	Юго-восточнее Хоккайдо	41.8	143.9	27	8.1
17		2006	15.XI	11.14	Средне-Курильское	46.7	153.2	28	8.2

Примечание. *Для землетрясений 14-17 значения магнитуды приводятся в шкале M_S , для более ранних – M_{LN} .

Таблица 4. Изменение средних значений параметров A_{10} , D и A'_{11} в течение сейсмического цикла землетрясений с $M \geq 7.7$, $t = 0 - 140$ лет

Стадия цикла	Время цикла, годы	$A_{10}(t)$	$D(t)$	$A'_{11}(t)^*$
I	1-5	7.74	1.42	3.29
	5-10	2.28	0.26	2.39
	10-15	1.39	0.10	1.77
	15-20	1.14	0.049	1.40
II	20-70	1.15	0.024	1.15-0.79
	70-120	1.15	0.024	0.79-1.15
III	120-125	1.24	0.024	1.19
	125-130	1.42	0.029	1.22
	130-135	1.79	0.041	1.25
	135-140	2.62	0.070	1.29
	130-140	2.12	0.052	1.22
$\sigma \lg(A_{10}, D, A_{11})$		±0.18	±0.60	±0.35

Примечание. *Величина A'_{11} , представляет сейсмическую активность A_{10} , определяемую по землетрясениям $K_s \geq 11.1$. В средней части сейсмического цикла $A'_{11} \approx A_{10}$.

Величина $A_{10}(t)$ увеличивается, в среднем, в 1.9 раза в течение последних 10 лет цикла и в 2.3 раза в последние 5 лет цикла при стандартном отклонении в 1.5 раза. Аномальное возрастание $A_{10}(t)$ на последней стадии сейсмического цикла на 1-2 единицы стандартных отклонений превышает средний уровень $A_{10}(t)$ на второй стадии цикла.

Величина A_{11} , как указано выше, в основном, определяется количеством землетрясений энергетических классов $K_S=11.1-12.0$. При линейном графике повторяемости величины A_{11} и A'_{11} должны быть пропорциональны величинам A_{10} . Однако только около половины вариации значений A_{11} могут быть объяснены корреляцией с A_{10} . Величина A_{11} растет медленнее, чем A_{10} , но монотонно в течение, по крайней мере, 40 последних лет сейсмического цикла (табл. 4). Поэтому оценки A_{11} по трем пятилетним интервалам увеличивают надежность определения III стадии сейсмического цикла. Монотонный рост A_{11} на протяжении нескольких последних десятилетий цикла отражает такой же монотонный рост относительного числа землетрясений среднего класса $K_S \geq 11.1$ в этот период. На III стадии цикла параметр A_{11} только в 1.2-1.5 раза больше, чем на II стадии цикла ($t=20-120$ лет) при стандартном отклонении для пятилетних интервалов в 2.2 раза. Монотонность роста A_{11} дает возможность повысить надежность выявления III стадии цикла.

Приведенные цифры подтверждают то, что значимое увеличение A_{10} в "сейсмических брешах" в течение предшествующих 5 лет, измеряемое в участках сейсмогенной зоны длиной 100-200 км и более является наиболее показательным прогностическим признаком.

Данные табл. 4 используются при прогнозе характеристик и величин для всех участков, на которые делится основная сейсмогенная полоса Курило-Камчатской дуги длиной 2100 и шириной 100 км [18 и др.]. Прогнозируются стадии сейсмического цикла; сейсмическая активность, магнитуды землетрясений средней силы, ожидающихся с вероятностями 0.8, 0.5, 0.15, максимальные возможные магнитуды и вероятности возникновения землетрясений с $M \geq 7.7$. Методика их расчетов приводилась в [18, 20, 21, 26 и др.].

В дальнейшем целесообразны уточнения применяющихся параметров A_{10} , D , A_{11} по мере накопления новых сейсмологических данных и введение новых прогностических параметров.

3. ДОЛГОСРОЧНЫЙ СЕЙСМИЧЕСКИЙ ПРОГНОЗ ДЛЯ КУРИЛО-КАМЧАТСКОЙ ДУГИ НА IV 2008-III 2013 гг. (ПО ОЦЕНКАМ НА МАРТ 2008 г.)

Данный долгосрочный сейсмический прогноз построен по методу, основанному на закономерностях "сейсмических брешей" и сейсмического цикла. Основы метода и большой опыт его применения, которые кратко рассматривались во Введении, разделах 1 и 2, изложены в [18, 20, 21 и др.] Прогноз составлен на следующие пять лет, IV 2008-III 2013 гг., в обновление предыдущего такого прогноза, составленного на IX 2007-VIII 2012 гг. [23, 24]. Для 20 участков сейсмогенной зоны Курило-Камчатской дуги прогнозируются следующие величины: стадия сейсмического цикла; сейсмическая активность A_{10} ; магнитуды M средних и сильных землетрясений, ожидающихся с вероятностями 0.8, 0.5, 0.15; максимальные возможные магнитуды; вероятности P возникновения сильнейших землетрясений с $M \geq 7.7$. Результаты приведены в трех таблицах, 5-7. Указаны "сейсмические брешы", которые являются наиболее вероятными местами следующих сильнейших землетрясений, и определяется их относительная опасность (рис. 5, табл. 5-7). В этих участках со времени предыдущих землетрясений с $M \geq 7.7$ прошло более 80 лет.

Величины $P(A_{10})$, $P(D)$ и $P(A_{11})$ (табл. 5-7 говорят о том, что на II стадии сейсмического цикла величины A_{10} , D и A_{11} могут превысить те их значения, которые наблюдались в течение предшествовавших 5-10 лет. Вероятности землетрясений $P(M \geq 7.7)$ в "сейсмических брешах" пропорциональны величине $(1-B)$, где $B=P(A_{10}) \times P(D) \times P(A_{11})$ [18, 20, 21, 26 и др.].

Табл. 5 рассчитана по графикам параметров A_{10} и D . В табл. 6 приведены данные о вероятностях землетрясений $P(M \geq 7.7)$ для "сейсмических брешей" сейсмогенной зоны Курило-Камчатской дуги, полученные с использованием параметра A_{11} . Табл. 7 построена по данным трех параметров A_{10} , D и A_{11} и является наиболее представительной; значения вероятностей $P(M \geq 7.7)$, приведенные в ней, показаны на рис. 5. В тех участках, где землетрясения с $M \geq 7.7$ происходили в течение предшествовавших 80 лет и, где с вероятностью более 84%, развивается I или II стадия сейсмического

цикла, вероятности $P(M \geq 7.7)$ являются пониженными. Эти вероятности оцениваются по нормальному распределению длительности сейсмического цикла $T_1 = 140 \pm 60$ или $T_2 = 120 \pm 50$ лет [18, 20, 21, 26 и др.]. Для этих участков в табл. 5-7 указываются I и II стадии сейсмического цикла.

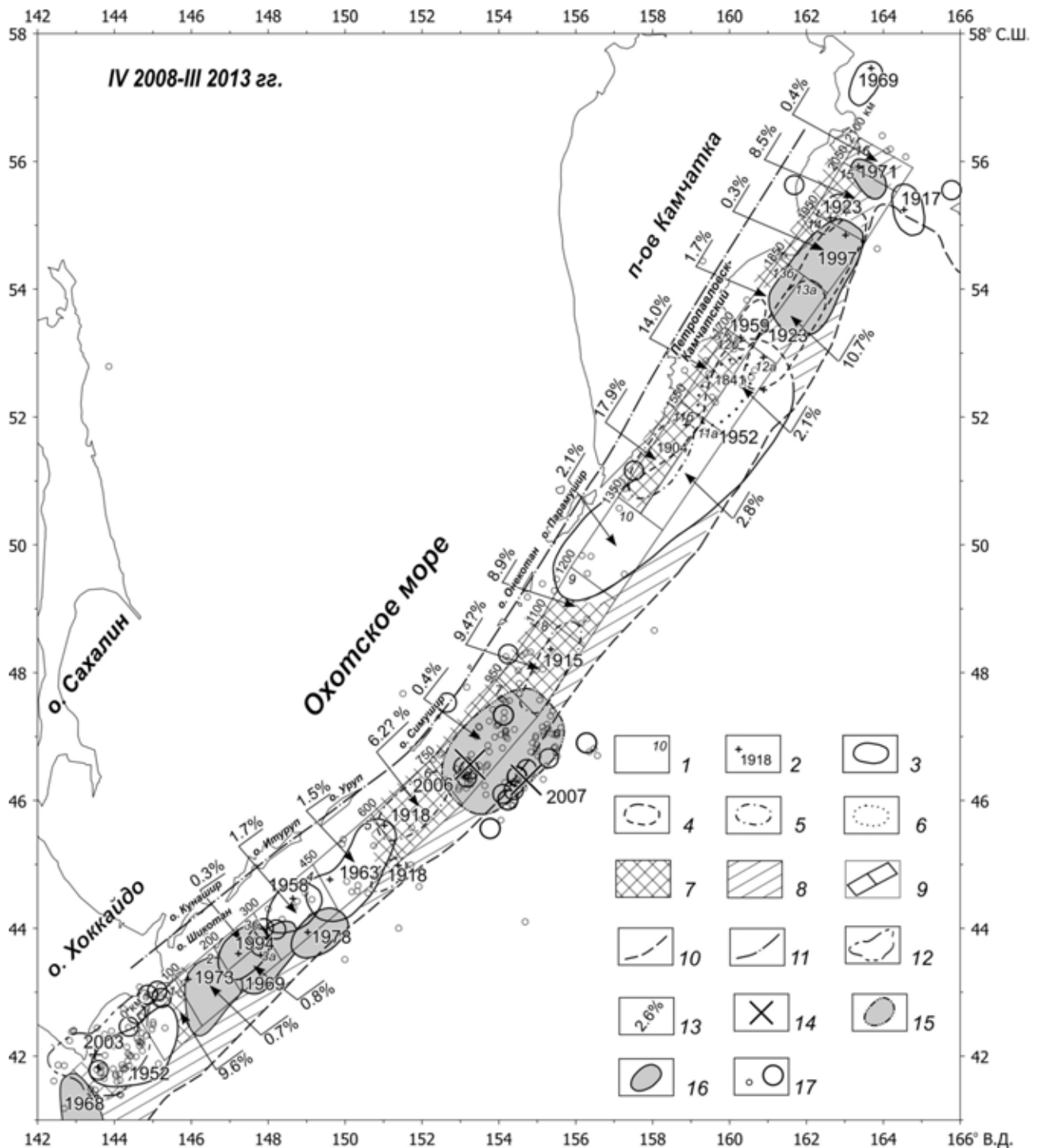


Рис. 5. Карта долгосрочного сейсмического прогноза для Курило-Камчатской дуги, очагов курило-камчатских землетрясений 1904-2008 гг. с $M \geq 7.7$, $H = 0-80$ км, и вероятностей возникновения таких землетрясений в IV 2008-III 2013 гг. во всех участках полосы прогноза: 1 - номер участка; 2 - инструментальные 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., $M_S = 8.1$; 13 - вероятности землетрясений $M \geq 7.7$ в IV 2008-III 2013 гг., табл. 7; 14 - эпицентры Средне-Курильских землетрясений 15.XI 2006 г., $M_S = 8.2$, и 13.I

2007 г., $M_S=8.1$; 15 – область очага землетрясения 15.XI 2006 г.; 16 – область 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 IV 2003-III 2008 г. Средняя вероятность возникновения курило-камчатских землетрясений с $M \geq 7.7$ в одном месте в течение 5 лет равна 3.6-4.2%.

В табл. 5 и 7 для сравнения показаны также вероятности землетрясений с $M \geq 7.7$ и относительная опасность "сейсмических брешей", которые были получены при предыдущем долгосрочном сейсмическом прогнозе на IX 2007-VIII 2012 гг. Основные изменения связаны с уточнением соотношений между энергетическими классами для курильского и камчатского региональных каталогов и переопределением значений A_{10} в двух областях на границе афтершоковой зоны Средне-Курильского землетрясения. В результате суммарная вероятность сильнейшего землетрясения на 6, 8 и 9 прогнозных участках (рис. 5) была повышена на 3.8%. Вероятность была снижена на 1.5% в сумме для трех самых опасных участков сейсмогенной зоны вблизи г. Петропавловска-Камчатского, 11б, 12б, 13а, и по 1.4% - для участков прогноза 1 и 15 (рис. 5).

Основные результаты долгосрочного сейсмического прогноза на IV 2008-III 2013 гг. по всем 20 участкам, на которые разделена сейсмогенная зона у Курильских островов и Камчатки (рис. 5, табл. 7), заключаются в следующем.

Наиболее вероятными местами следующих сильнейших землетрясений с $M \geq 7.7$ на период IV 2008-III 2013 гг. остаются участки, расположенные в районе г. Петропавловска-Камчатского:

- для Южной Камчатки (рис. 5, участок 11б) вероятность землетрясения с $M \geq 7.7$, имеющего силу до 8 баллов в г. Петропавловске-Камчатском, равна 17.9%;

- для Авачинского залива (рис. 5, участок 12б) вероятность возникновения землетрясения с $M \geq 7.7$ на IV 2008-III 2013 гг., имеющего силу до 9 баллов в г. Петропавловске-Камчатском - 14.0%;

- для юго-восточной части Кроноцкого залива (рис. 5, участок 13а) вероятность землетрясения с $M \geq 7.7$, имеющего силу до 7 баллов в г. Петропавловске-Камчатском, - 10.7%.

Суммарная вероятность возникновения землетрясений с $M \geq 7.7$, имеющих силу 7-9 баллов в г. Петропавловске-Камчатском на ближайшие пять лет, в трех наиболее опасных участках 11б, 12б и 13а, равна 42.7%.

Землетрясения, имеющие силу 7-8 баллов в г. Петропавловске-Камчатском, с меньшей вероятностью могут также произойти в участках 11а, 12а, 13а рис. 5, табл. 7.

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, таким образом, может достигать 49.2% в период времени с IV 2008 по III 2013 гг. (табл. 7). При этом вероятность возникновения в этот период в г. Петропавловске-Камчатском землетрясения силой 9 баллов равняется 14.0%, а землетрясений силой 8 и 7 баллов - 35.2%.

По-прежнему значительна вероятность ($P=8.5\%$) сильнейшего землетрясения с $M \geq 7.7$ для района Камчатского залива, участок 15 (рис. 5, табл. 7).

На Курильских о-вах высока сейсмическая опасность для 6, 8 и 9 участков, о. Онекотан - Средние Курильские о-ва (рис. 5, табл. 7) - общая вероятность 24.5%. Величины $P(M \geq 7.7)$ условно определены здесь для участков 6 и 8, в которых находятся активные концы главного разрыва Средне-Курильского землетрясения 15.XI 2006 г., $M_S=8.2$.

По-прежнему высока вероятность для 1-го участка, п-ов Немуро (рис. 5, табл. 7). По уточненным оценкам этот участок является четвертым по степени опасности ($P=9.6\%$ в IV 2008-III 2013 гг.).

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 - 3.6-4.2%.

Таблица 5. Долгосрочный сейсмический прогноз для Курило-Камчатской дуги на IV 2008-III 2013 гг. ($N \leq 80$ км), построенный по параметрам A_{10} и D

Участок, №	Δ , км	Район	Стадия цикла и её оценка по данным 2003-2008 гг. (IV.2003 г. - III.2008 г.)						Прогноз на IV.2008-III.2013 гг.						Вероятная очередность	
			Стадия	P(A)	P(D)	P(A)*P(D)	$A_{10}(P \sim 0.7)$		M				P($M \geq 7$)%			
							A_{10}	$A_{10} \pm \sigma$	$P_{\geq 8.0}$	$P_{\geq 7.5}$	$P_{\geq 7.0}$	M_{\max}				
1	0 - 100	Мыс Сириха - п-ов Немуро	III	0.03	0.38	0.013	1.2 - 3	0.8 - 4.5	6.0	6.5	7.0	7.8	12.6	(11.6)	3	(4)
2	100 - 200	П-ов Немуро - о-в Зелёный	II				1.2	0.8 - 1.9	5.8	6.3	6.8		0.7	(0.7)		
3а	200 - 300	О-в Шикотан, Ю-В	II				1.2	0.8 - 1.9	5.7	6.2	6.7		0.8	(0.8)		
3б	200 - 300	О-в Шикотан, С-З	I				2.1 → 1.4	1.2 - 4.5	6.0	6.4	6.9		0.3	(0.3)		
4	300 - 450	О-в Итуруп	II				1.2	0.8 - 1.9	5.9	6.4	6.9		1.7	(1.7)		
5	450 - 600	Пролив Фриза - о-в Уруп	II				1.2	0.8 - 1.9	5.9	6.4	6.9		1.5	(1.4)		
6	600 - 750	Мыс Кастрикум - пр. Буусоль	III?	0.84	0.98	0.83	1.2 - 3	0.8 - 4.5	6.0	6.5	7.0	8.0	3.3?	(6.4?)	7	(7)
7	750 - 950	О-в Симушир - пролив Крузенштерна	I				3.1 → 1.9	0.8 - 4.5	6.2	6.7	7.2		0.4	(0.4)		
8	950 - 1100	О-в Шиашкотан	III?	0.60	0.63	0.38	1.2 - 3	0.8 - 4.5	6.0	6.5	7.0	8.0	12.0?	(12.1?)	4	(3)
9	1100 - 1200	О-в Онекотан - пролив 3-й Курильский	III	0.14	0.68	0.10	1.2 - 3	0.8 - 4.5	6.0	6.4	7.0	7.9	11.6	(10.6)	5	(6)
10	1200 - 1350	О-в Парамушир - мыс Лопатка	II				1.2	0.8 - 1.9	5.9	6.4	6.9		2.1	(2.0)		
11а	1350 - 1550	Юг Камчатки, Ю-В	II				0.8	0.6 - 1.1	5.8	6.3	6.8		2.8	(2.7)		
11б	1350 - 1550	Юг Камчатки, С-З	III	0.59	0.55	0.33	1.3 - 3	0.8 - 4.5	6.0	6.5	7.0	8.0	17.2	(16.4)	1	(1)
12а	1550 - 1700	Зал. Авачинский - п-ов Шипунский, Ю-В	II				1.2	0.8 - 1.9	5.7	6.2	6.7		2.1	(2.0)		
12б	1550 - 1700	Зал. Авачинский - п-ов Шипунский, С-З	III	0.30	0.68	0.21	1.2 - 3	0.8 - 4.5	5.9	6.4	6.9	8.0	15.2	(14.4)	2	(2)
13а	1700 - 1850	Залив Кроноцкий, Ю-В	III?	0.88	0.992	0.87	1.2 - 3	0.8 - 4.5	5.9	6.4	6.9	8.0	2.5	(3.5)	8	(8)
13б	1700 - 1850	Залив Кроноцкий, С-З	II				2.6	1.7 - 3.9	5.9	6.4	6.9		1.7	(1.6)		
14	1850 - 1950	П-ов Кроноцкий	I				3.1 → 1.9	1.2 - 4.5	6.0	6.5	7.0		0.3	(0.3)		
15	1950 - 2050	Зал. Камчатский	III?	0.23	0.68	0.16	1.2 - 3	0.8 - 4.5	6.0	6.5	7.0	7.9	10.8	(10.8)	6	(5)
16	2050 - 2100	П-ов Камчатский	II				0.8	0.6 - 1.1	5.7	6.2	6.7		0.4	(0.4)		
Оценка критических значений вероятностей				0.062	0.308	0.019							$\Sigma = 100$	(100)		

Примечание. Даны прогнозы восьми характеристик сейсмичности на IV 2008 – III 2013 гг. Для всех 20 участков дуги указываются вероятные стадии сейсмического цикла. Индексом III отмечены те участки, в которых землетрясения с $M \geq 7.7$ не происходили в течение последних 80 лет и где значительно вероятность прихода заключительной, III стадии сейсмического цикла. Знаками вопроса отмечены те из участков, в которых вероятность такого события меньше. В – параметр, показывающий относительную опасность "сейсмических брешей"; A_{10} – сейсмическая активность; $P \sim 0.8, 0.5, 0.15$ – вероятности землетрясений с $M = 5.7 - 7.2; M_{\max}$ – максимальная возможная магнитуда; $P(M \geq 7.7)$ – прогнозируемые вероятности сильнейших землетрясений. Значения вероятности $P(M \geq 7.7)$ в скобках соответствуют их величинам на 2007 – 2012 гг. Средняя долговременная величина $P(M \geq 7.7) = 3.6 - 4.2\%$.

Таблица 6. Оценки вероятности P_{11} землетрясений с магнитудой $M \geq 7.7$ Курило-Камчатской дуги на IV 2008 – III 2013 гг. ($H \leq 80$ км), полученные по параметру A_{11} для «сейсмических брешей»

Участок №	Δ , км	Район	$P_{11}(M \geq 7.7)\%$	Вероятная очередность
1	0 - 100	Мыс Сириха - п-ов Немуро	3.2 (12.6)	8 (3)
2	100 - 200	П-ов Немуро - о-в Зелёный	(0.7)	
3а	200 - 300	О-в Шикотан, Ю-В	(0.8)	
3б	200 - 300	О-в Шикотан, С-З	(0.3)	
4	300 - 450	О-в Итуруп	(1.7)	
5	450 - 600	Пролив Фриза - о-в Уруп	(1.4)	
6	600 - 750	Мыс Кастрикум - пр. Буссоль	9.0 (3.3?)	4 (7)
7	750 - 950	О-в Симушир - пролив Крузенштерна	(0.4)	
8	950 - 1100	О-в Шиашкотан	4.7 (12.0?)	6 (4)
9	1100 - 1200	О-в Онекотан - пролив 3-й Курильский	3.7 (11.6)	7 (5)
10	1200 - 1350	О-в Парамушир - мыс Лопатка	(2.1)	
11а	1350 - 1550	Юг Камчатки, Ю-В	(2.8)	
11б	1350 - 1550	Юг Камчатки, С-З	24.5 (17.2)	1 (1)
12а	1550 - 1700	Зал. Авачинский - п-ов Шипунский, Ю-В	(2.1)	
12б	1550 - 1700	Зал. Авачинский - п-ов Шипунский, С-З	19.7 (15.2)	2 (2)
13а	1700 - 1850	Залив Кроноцкий, Ю-В	16.1 (2.5)	3 (8)
13б	1700 - 1850	Залив Кроноцкий, С-З	(1.7)	
14	1850 - 1950	П-ов Кроноцкий	(0.3)	
15	1950 - 2050	Зал. Камчатский	4.8 (10.8)	5 (6)
16	2050 - 2100	П-ов Камчатский	(0.4)	
			$\Sigma = 100.0$	

Примечание. Цифры в скобках - соответствующие оценки $P(M \geq 7.7)$, а также вероятная очередность, определенные по параметрам A_{10} и D , из табл. 5. Средняя долговременная величина $P(M \geq 7.7) = 3.6 - 4.2\%$. Разница в оценках P и очередности зависит от того, что параметры A_{10} и D определяются по данным за предыдущие 5 лет, а параметр A_{11} – за предыдущие 15 лет.

Главным выводом данного долгосрочного сейсмического прогноза является подтверждение того, что на следующие пять лет, IV 2008-III 2013 гг., сохраняется очень высокая сейсмическая опасность в районе г. Петропавловска-Камчатского, где вероятность возникновения разрушительного землетрясения силой 7-9 баллов в эти годы достигает 49.2 % (50.4 % по предыдущему прогнозу). В полной мере сохраняется необходимость неотложных мер по сейсмобезопасности и сейсмоусилению в Камчатском крае.

Таблица 7. Долгосрочный сейсмический прогноз для Курило-Камчатской дуги на IV 2008 – III 2013 гг. (H ≤ 80 км), полученный с использованием параметров A₁₀, D, A₁₁

Участок	Δ, км	Район	Стадия цикла и её оценка по данным 2003-2008 гг. (IV.2003 г. - III.2008 г.)					Прогноз на IV.2008 - III.2013 гг.									
			Стадия	P ₁ =P(A ₁₀)	P ₂ =P(D)	P ₃ =P(A ₁₁)	B = (P ₁ *P ₂ *P ₃)	A ₁₀ (P~0.7)		P~0.8	P~0.5	P~0.15	M _{max}	P(M≥7.7)%	Вероятная очередность		
								A ₁₀	A ₁₀ ±σ								
1	0 – 100	Мыс Сириха - п-ов Немуро	III	0.03	0.38	0.94	0.01	1.2-3	0.8-4.5	6.0	6.5	7.0	7.8	9.6	(11.0)	4	(3)
2	100 – 200	П-ов Немуро - о-в Зелёный	II					1.2	0.8-1.9	5.8	6.3	6.8		0.7	(0.7)		
3а	200 – 300	О-в Шикотан, Ю-В	II					1.2	0.8-1.9	5.7	6.2	6.7		0.8	(0.8)		
3б	200 – 300	О-в Шикотан, С-З	I					2.1→1.4	1.2-4.5	6.0	6.4	6.9		0.3	(0.3)		
4	300 – 450	О-в Итуруп	II					1.2	0.8-1.9	5.9	6.4	6.9		1.7	(1.7)		
5	450 – 600	Пролив Фриза - о-в Уруп	II					1.2	0.8-1.9	5.9	6.4	6.9		1.5	(1.4)		
6	600 – 750	Мыс Кастрикум - пр. Буссоль	III?	0.84	0.98	0.70	0.57	1.2-3	0.8-4.5	6.0	6.5	7.0	8.0	6.2?	(3.3?)	8	(8)
7	750 – 950	О-в Симушир - пр. Круэцштерна	I					3.1→1.9	0.8-4.5	6.2	6.7	7.2		0.4	(0.4)		
8	950 – 1100	О-в Шиашкотан	III?	0.60	0.63	0.95	0.36	1.2-3	0.8-4.5	6.0	6.5	7.0	8.0	9.4?	(7.9?)	5	(7)
9	1100 – 1200	О-в Онекотан - пр. 3-й Курильский	III	0.14	0.68	0.90	0.09	1.2-3	0.8-4.5	6.0	6.4	7.0	7.9	8.9	(9.5)	6	(5)
10	1200 – 1350	О-в Парамушир - мыс Лопатка	II					1.2	0.8-1.9	5.9	6.4	6.9		2.1	(2.0)		
11а	1350 – 1550	Юг Камчатки, Ю-В	II					0.8	0.6-1.1	5.8	6.3	6.8		2.8	(2.7)		
11б	1350 – 1550	Юг Камчатки, С-З	III	0.59	0.55	0.24	0.08	1.3-3	0.8-4.5	6.0	6.5	7.0	8.0	17.9	(19.3)	1	(1)
12а	1550 – 1700	Зал. Авачинский - п-ов Шипунский, Ю-В	II					1.2	0.8-1.9	5.7	6.2	6.7		2.1	(2.0)		
12б	1550 – 1700	Зал. Авачинский - п-ов Шипунский, С-З	III	0.30	0.68	0.19	0.04	1.2-3	0.8-4.5	5.9	6.4	6.9	8.0	14.0	(15.6)	2	(2)
13а	1700 – 1850	Залив Кроноцкий, Ю-В	III?	0.88	0.992	0.30	0.26	1.2-3	0.8-4.5	5.9	6.4	6.9	8.0	10.7	(9.2)	3	(6)
13б	1700 – 1850	Залив Кроноцкий, С-З	II					2.6	1.7-3.9	5.9	6.4	6.9		1.7	(1.6)		
14	1850 – 1950	П-ов Кроноцкий	I					3.1→1.9	1.2-4.5	6.0	6.5	7.0		0.3	(0.3)		
15	1950 – 2050	Зал. Камчатский	III?	0.23	0.68	0.83	0.13	1.2-3	0.8-4.5	6.0	6.5	7.0	7.9	8.5	(9.9)	7	(4)
16	2050 – 2100	П-ов Камчатский	II					0.8	0.6-1.1	5.7	6.2	6.7		0.4	(0.3)		
Оценка критических значений вероятностей														Σ = 100.0			

Примечание. См. обозначения в примечании к табл. 5. Выделены оценки вероятности сильнейших землетрясений P(M ≥ 7.7) и их очередность. Значения вероятности P(M ≥ 7.7) в скобках соответствуют их величинам на IX 2007 – VIII 2012 гг. [24].

4. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В данном разделе обсуждается и дополняется ряд положений работы, изложенных в разделах 1-3.

1. Средне-Курильские (Симуширские) землетрясения 15.XI 2006 г., $M_S=8.2$, и 13.I 2007 г., $M_S=8.1$, были одними из наиболее крупных и интересных сейсмических событий, зарегистрированных во время инструментальных наблюдений на Курило-Камчатской дуге в 1904-2007 гг. Вдоль этого среднего звена Курило-Камчатской дуги, длина которой 2100 км, непрерывно протягиваются такие главные структуры дуги, как глубоководный желоб, активнейшая Курило-Камчатская сейсмофокальная зона и пояс вулканов. Однако в районе Средних Курильских о-вов, на участке 7 (рис. 1 и 5), в отличие от других участков Курило-Камчатской дуги, со времени большого цунами 1780 г. до 2006 г. не наблюдалось сильнейших землетрясений с $M \geq 7\frac{3}{4}$ [1, 6 и др.], а уровень сейсмичности здесь в XX в., по инструментальным данным, был примерно в два раза ниже, чем в других звеньях дуги [11-16, 18, 20-22]. Кроме того, Средние Курильские о-ва отличаются по своему глубинному строению от Южных и Северных Курильских о-вов [8, 12, 14-16, 18].

На основании того, что глубоководный желоб, сейсмофокальная зона и пояс вулканов непрерывно протягиваются вдоль всей четко выделяющейся структуры Курило-Камчатской дуги, при создании метода долгосрочного сейсмического прогноза в 1965-1968 гг. и его последующем развитии принималось, что сейсмогенная зона Курило-Камчатской дуги является, в первом приближении, однородной [15, 16, 18 и др.]. Другие исследователи пришли к выводу о том, что на Средних Курильских о-вах не может быть землетрясений с $M \geq 7.5$ [8, 11-14 и др.].

Средне-Курильские (Симуширские) землетрясения 15.XI 2006 г., $M_S=8.2$, и 13.I 2007 г., $M_S=8.1$, подтвердили представления о том, что сеймотектоническая зона Курило-Камчатской дуги является в основном однородной и то, что при составлении долгосрочных сейсмических прогнозов можно, в первом приближении, принимать, что сейсмические процессы протекают одинаково в больших сегментах этой дуги длиной 100-200 км и более (раздел 1, [18, 21, 22, 24 и др.]).

2. В разделе 1 данной статьи приводятся дополнительные данные об особенностях и свойствах сейсмических процессов, связанных со Средне-Курильскими землетрясениями 15.XI 2006 г., $M_S=8.2$, и 13.I 2007 г., $M_S=8.1$.

Сходные пары землетрясений с $M \geq 7.7$ наблюдались в Курило-Камчатской сейсмогенной зоне в 1918 и 1923 гг.

7.IX 1918 г. на Средних Курильских островах в районе о-вов Симушир и Уруп под верхней частью континентального склона Курильской глубоководной впадины произошло землетрясение с $M=8.2$, и через два месяца после него 8.XI 1918 г. в 50-100 км к югу от области очага первого землетрясения в самом глубоководном желобе произошло землетрясение с $M=7.9$ [6, 15 и др.], (рис. 1, 5). По [6], табл. 1, расстояние между эпицентрами этих землетрясений было около 80 км, а глубины очагов равнялись 40 км. Приблизительные границы областей очагов этих землетрясений, (рис. 1, 5), определялись в 1965 и последующих годах по данным о положении эпицентров главных толчков, нескольких сильных афтершоков и средней зависимости длины разрыва в очагах тихоокеанских землетрясений от их магнитуды M [15, 18, 28 и др.].

На рис. 1 показано также по данным [6] положение афтершоков с $M=6.1, 6.0, 6.5$ и 6.3 , которые произошли 8, 9 и 14.IX 1918 г. и 22.XI 1918 г. При рассмотрении рис. 1 и 5 нужно учитывать, что область очага землетрясения 8.XI 1918 г. может быть больше представленной на них, а ошибки в определении координат эпицентров равны ± 80 км [6].

3.II 1923 г. в Кроноцком заливе у побережья Камчатки произошло землетрясение с $M=8.5$, а 24.II 1923 г. в северной части протяженной области его очага, в Камчатском заливе произошло землетрясение с $M=7.7$ [6]. Второе землетрясение можно рассматривать как самостоятельное событие либо как главный афтершок [18, 25 и др.]. Области очагов обоих землетрясений показаны на рис. 5.

Наиболее важно и показательно сравнение сходных пар сильнейших землетрясений с $M \geq 7.7$,

которые произошли в районе Средних Курильских островов 7.IX 1918, 8.XI 1918 г. и 15.XI 2006 г., 13.I 2007 г., (рис. 1, 5). В течение почти 90 лет между этими парами землетрясений в этом регионе не было других землетрясений такой силы (участки 6 и 7 на рис. 1, 5).

Афтершоки землетрясения 15.XI 2006 г. происходили под верхней частью континентального склона глубоководной впадины и вблизи глубоководного желоба. Эпицентр землетрясения 13.I 2007 г. и его афтершоки сместились к юго-востоку от эпицентра землетрясения 15.XI 2006 г. и расположились вблизи глубоководного желоба (рис. 1, 5). Общая область очагов землетрясений 15.XI 2006 г. и 13.I 2007 г. была построена по изолиниям $A_{10}=10$, $D=1$ и расположению эпицентров с $M \geq 6.0$ для афтершоков первого года, (раздел 1, рис. 1, 5). Длина общей области очагов получилась равной ~ 280 км, а ширина ~ 160 км.

Близкие величины получены при определении механизмов очагов землетрясений [13, 14 и др.]. Согласно этим оценкам, длина разрыва землетрясения 15.XI 2006 г. могла достигать ~ 360 км, а ширина - 60 км; длина разрыва землетрясения 13.I 2007 г. ~ 180 км при ширине ~ 46 км. Совпадение размеров построенной области очагов (рис. 1,5), и длины разрыва землетрясения 15.XI 2006 г. говорит о том, что основные разрядка напряжений и выделение сейсмической энергии произошли в общей области очагов землетрясений 15.XI 2006 г. и 13.I 2007 г. Это должно учитываться при составлении последующих долгосрочных сейсмических прогнозов.

Примечательно, что сейсмические процессы в области Средних Курильских островов развивались сходным образом почти 90 лет тому назад при возникновении предыдущей пары сильнейших землетрясений 7.IX 1918 г., $M=8.2$, и 8.XI 1918 г., $M=7.9$ (рис. 1, 5, табл. 4). По имеющимся данным [6], эпицентр первого землетрясения 7.IX 1918 г. и три из четырех его известных афтершоков с $M=6.0-6.5$ расположились в вероятной области его очага под верхней частью континентального склона глубоководной впадины (рис. 1, 5), а второе землетрясение 8.XI 1918 г., $M=7.9$, как и в 2006-2007 гг., произошло через 2 месяца после первого в глубоководном желобе на расстоянии ~ 100 км от эпицентра первого землетрясения. После него, 22.XI 1918 г. последовал афтершок с $M=6.3$ [6], эпицентр которого находился около северо-восточного края области очага землетрясения 7.IX 1918 г. (рис. 1). Возможно, что землетрясения 8.XI 1918 г., $M=7.9$ и 22.XI 1918 г., $M=6.3$ произошли у концов главного разрыва землетрясения 7.IX 1918 г., $M=8.2$.

Большой интерес представляет изучение особенностей сейсмичности, глубинного строения и геодинамики района Средних Курильских о-вов, приводящих к возникновению пар сильнейших землетрясений с $M \geq 7.7$.

3. В разделе 1 рассматривалась также последовательность афтершоков с $M \geq 6.0$, происшедших после Средне-Курильского землетрясения 15.XI 2006 г., $M_S=8.2$.

Средняя последовательность афтершоков, происходящих после тихоокеанских землетрясений с $M \geq 7.7$, или "сейсмический сценарий", который используется для прогноза сильных афтершоков, приведена в [18, 19, 29 и др.]. На рис. 3 и табл. 1 и 2 показаны кумулятивные графики и даны числа афтершоков с $M \geq 6.0$ для Средне-Курильского землетрясения 15.XI 2006 г. Из этих данных следует, что землетрясение 13.I 2007 г. было существенно более слабым событием, чем землетрясение 15.XI 2006 г., и может считаться сильнейшим афтершоком.

Зависимость от времени числа афтершоков с $M \geq 6.0$, наблюдавшихся в течение первого года после Средне-Курильского землетрясения 15.XI 2006 г. подтверждает возможность использования "сейсмического сценария" для прогноза сильных афтершоков курило-камчатских землетрясений с $M \geq 7.7$ (раздел 1, [27, 30 и др.]).

Отметим дополнительно, что в течение 2.5 месяцев после курильского землетрясения 7.IX 1918 г., $M=8.2$, по неполным данным произошло четыре афтершока с $M=6.0-6.5$ и одно землетрясение с $M=7.9$. По "сейсмическому сценарию" их бывает в среднем девять [18, 19, 29 и др.].

4. Перед построением долгосрочного сейсмического прогноза для Курило-Камчатской дуги на IV 2008-III 2013 гг. проводились проверка и уточнение параметров, по которым рассчитываются прогнозируемые величины (раздел 2).

В первую очередь дополнялись исходные данные для построения цикла сейсмической активно-

сти A_{10} и уточнялись ее средние значения на I, II и III стадиях сейсмического цикла землетрясений с $M \geq 7.7$.

Величина A_{10} является основным параметром, по которому оценивается вероятность наступления III, заключительной стадии сейсмического цикла [18, 20, 21, 25, 26]. На рис. 4 нанесены 30 дополнительных значений A_{10} , наблюдавшихся в областях очагов землетрясений с $M \geq 7.7$ в пятилетних интервалах времени после 13 землетрясений 1904-1978 гг., а также 22 величины A_{10} , наблюдавшихся до и после 4 землетрясений с $M \geq 7.7$ 1994-2006 гг.: 13.X 1994 г., 5.XII 1997 г., 25.IX 2003 г. и 15.XI 2006 г. (табл. 3, рис. 1).

Как видно на рис. 4 и табл. 4, отчетливо выделяются три стадии сейсмического цикла $A_{10}(t)$: афтершоков (I), длительного периода накопления напряжения и потенциальной сейсмической энергии (II) и стадия (III) возрастания A_{10} перед следующим землетрясением с $M \geq 7.7$.

Сейсмические процессы во время III заключительной стадии сейсмического цикла могут протекать сложным образом [18, 20, 21, 25, 26 и др.]. В ней могут возникать сейсмические затишья, последующая форшоковая активизация и другие явления [9, 21, 25, 31 и др.]. Однако величины $A_{10}(III)$, полученные в большом пространственно-временном объеме (данные для областей очагов или участков сейсмо-генной зоны длиной 100-200 км и более в интервалах времени 5 или 10 лет) в течение последних 10 лет сейсмического цикла, в 16 случаях из 17 были больше среднего значения $A_{10}(II)$ на II стадии цикла. Среднее значение $A_{10}(III)$ в последние 5 лет цикла на величину 2а превышает уровень $A_{10}(II)$ на II стадии цикла (рис. 4, табл. 4).

Полученные данные показывают, что увеличение сейсмической активности A_{10} и числа слабых землетрясений в 2-2.5 раза является типичным свойством последних 5-10 лет сейсмического цикла землетрясений с $M \geq 7.7$.

В разделе 2 приводятся данные о циклах параметров $D(t)$ и $A_{10}(t)$ (табл. 4). Относительная опасность "сейсмических брешей" оценивается величиной $1-B=1-P(A_{10}) \times P(D) \times P(A_{11})$, где $P(A_{10})$, $P(D)$, $P(A_{11})$ - вероятности того, что на II стадии сейсмического цикла случайным образом появятся величины A_{10} , D , A_{11} , превышающие наблюдаемые величины этих параметров [18, 20, 21 и др.].

В 1965-2007 гг. долгосрочные сейсмические прогнозы мест следующих курило-камчатских землетрясений с $M \geq 7.7$ оправдывались с вероятностью 0.8-0.9 [18, 21, 25 и др.]. Дальнейшему развитию рассматриваемого метода долгосрочного сейсмического прогноза могут в большой мере помочь исследования свойств III стадии сейсмического цикла и применение дополнительных прогностических параметров.

5. В разделе 3 дан долгосрочный сейсмический прогноз для Курило-Камчатской дуги на IV 2008-III 2013 гг., составленный по методике, применяемой с 2001 г. [18, 20-24, 26 и др.] (рис. 5, табл. 5-7). В [21, 24] приведены три предыдущих прогноза из числа составлявшихся в 2006-2007 гг.¹

Долгосрочный сейсмический прогноз на IV 2006-IV 2011 гг. был составлен за 7 мес. до Средне-Курильского землетрясения 15.XI 2006 г., $M_S=8.2$ [21]. По этому прогнозу наиболее вероятные места следующих землетрясений с $M \geq 7.7$ в Курило-Камчатской сейсмогенной зоне находились в районе г. Петропавловска-Камчатского и на Средних Курильских о-вах. На Курильских островах наиболее высокая сейсмическая опасность прогнозировалась для участков 7, 8 и 9, о-в. Онекотан - Средние Курильские о-ва (рис. 1, 5). Общая вероятность землетрясений с $M \geq 7.7$ в них считалась равной 23.7%, а вместе с участком 6 (рис. 5), который также относится к "сейсмическим брешам", вероятность равнялась 26.7%.

Прогноз успешно оправдался, когда 15.XI 2006 г. в участке 7 произошло Средне-Курильское (Симуширское) землетрясение с $M_S=8.2$ [14, 21, 24 и др.]. В Отчете о деятельности РАН в 2006 г. [7] этот успешный долгосрочный сейсмический прогноз был отнесен к числу лучших результа-

¹ До этих прогнозов в 2004 г. были приведены также вероятности возникновения землетрясений с $M \geq 7.7$ в 2004-2008 гг. в 20 участках Курило-Камчатской сейсмогенной зоны при их распределении по нормальному закону в течение сейсмического цикла длительностью $T_1=140 \pm 60$ или $T_2=120 \pm 50$ лет (табл. 1 в [20]). Было верно предсказано, что наибольшая такая вероятность, 19.4-29.4%, имела тогда в районе о-ва Симушир, участок 7.

тов РАН в области естественных наук.

Новый долгосрочный сейсмический прогноз для Курило-Камчатской дуги был составлен через несколько дней после этого землетрясения на период 20.XI 2006 - X 2011 г. [21]. В течение первого года после землетрясения с $M \geq 7.7$ в области его очага происходят сильные афтершоки (с вероятностью 0.67 магнитуда следующего сильнейшего афтершока $M=7.5-7.9$) и мощный рой более слабых афтершоков. Сильные афтершоки могут начать концентрироваться у концов главного разрыва [18 и др.]. Поэтому долгосрочные сейсмические прогнозы на первый год афтершоков в областях землетрясений с $M \geq 7.7$ даются условно. Так как вероятность возникновения повторных землетрясений или афтершоков с $M \geq 7.9$ является малой, то было принято, что область очага землетрясения 15.XI 2006 г. перестала быть "сейсмической брешью". Однако в юго-восточной части области афтершоков землетрясения 15.XI 2006 г., $M_S=8.2$, через два месяца после него, 13.I 2007 г. произошло землетрясение с $M_S=8.1$ (рис. 1). В разделах 1 и 3 приводятся сведения о том, что оно было своеобразным сильнейшим афтершоком.

Через год после этих землетрясений была построена общая область их очагов (раздел 1, рис. 1). Участок 7 перестал быть вероятным местом следующих землетрясений с $M \geq 7.7$, и долгосрочный сейсмический прогноз на IV 2008-III 2013 гг. был построен по принятой методике (раздел 3, рис. 5, табл. 5-7). При этом для участков 6 и 8, в которых находятся активные концы разрывов Средне-Курильских землетрясений 15.XI 2006 г. и 13.I 2007 г., прогноз дан условно. Участки 6 и 8 остались "сейсмическими брешями", но вероятность возникновения землетрясений с $M \geq 7.7$ было трудно оценивать в них, так как в их пределах оказались афтершоки землетрясений 15.XI 2006 г. и 13.I 2007 г. (рис. 1).

Долгосрочный сейсмический прогноз всех предсказываемых величин на IV 2008-III 2013 гг. приведен в разделе 3 (рис. 5 и табл. 5-7).

Долгосрочный сейсмический прогноз на IV 2008-III 2013 гг. составлен через 15 мес. после прогноза, данного на 20.XI 2006-X 2011 гг. [21], со сдвигом пятилетнего окна прогноза на 50%. Прогнозируемые величины $P(M \geq 7.7)$ для наиболее опасных участков изменились следующим образом:

Суммарная вероятность землетрясений с $M \geq 7.7$ в участках 11а, 11б, 12а, 12б, 13а, 13б в районе г. Петропавловска-Камчатского изменилась с 53% до 49.2%. Условная величина $P(M \geq 7.7)$ в участках 6-8 на Средних Курильских о-вах изменилась с 9.1% до 16%; в участке 9 у острова Онекотан - с 9.8% до 8.9%; в участке 15 в Камчатском заливе - с 9.4% до 8.5%; в участке 1 у п-ова Немуро - с 11.2 до 9.6% (рис. 5, табл. 7)

Таким образом, оценка вероятности возникновения землетрясений с $M \geq 7.7$ в наиболее опасных участках сейсмогенной зоны оказалась устойчивой и мало изменилась за 15 мес. с 20.XI 2006 г. В Курило-Камчатской сейсмогенной зоне происходит в среднем одно землетрясение с $M \geq 7.7$ в течение пяти лет. Половина этой опасности приходится в настоящее время на район г. Петропавловска-Камчатского.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Метод долгосрочного сейсмического прогноза для Курило-Камчатской дуги, основанный на закономерностях "сейсмических брешей" и сейсмического цикла, успешно применялся и развивался в 1965-2007 гг. Землетрясения с $M \geq 7.7$, бывшие в 1968 г. в Японии, в 1969, 1973, 1978 и 1994 гг. на Курильских о-вах и в 1971, 1997 гг. на Камчатке, произошли в предсказанных вероятных местах следующих таких землетрясений. В 1965-2005 гг. оправдались 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 считал, что здесь невозможны землетрясения с магнитудами более 7.5 ± 0.2 . Район Средних Курильских о-вов и о-ва. Шиашкотан выделялся авторами

статьи в течение длительного времени как одна из наиболее опасных "сейсмических брешей". Последние такие прогнозы давались дважды в 2006 г. - в IV 2006 г. и X 2006 г. накануне землетрясения.

3. 13.I 2007 г. в области афтершоков Средне-Курильского землетрясения 15.XI 2006 г. произошло землетрясение с $M_S=8.1$, эпицентр и афтершоки которого сдвинулись в сторону Курильского глубоководного желоба. Области афтершоков обоих землетрясений перекрываются, а их афтершоки с $M \geq 6.0$ образовали единую последовательность. Второе землетрясение похоже на сильнейший афтершок первого. Размеры общей области очагов обоих землетрясений $\sim 280 \times 160$ км.

Сходная пара землетрясений наблюдалась на Средних Курильских о-вах 90 лет тому назад: 7.IX 1918 г., $M=8.2$ и 8.XI 1918 г., $M=7.9$.

4. Приведен долгосрочный сейсмический прогноз для Курило-Камчатской дуги, данный на IV 2008-III 2013 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 49.2%), два участка в районе о-ва Онекотан (18.3%), район о-ва Немуро (9.6%) и Камчатский залив (8.5%).

Главным выводом данного долгосрочного сейсмического прогноза является подтверждение того, что на следующие пять лет, IV 2008 - III 2013 гг., сохраняется очень высокая сейсмическая опасность в районе г. Петропавловска-Камчатского, где вероятность возникновения разрушительного землетрясения силой 7-9 баллов в эти годы достигает 49.2% (50.4% по предыдущему прогнозу). В полной мере сохраняется необходимость неотложных мер по сейсмобезопасности и сейсмоусилению в Камчатском крае.

5. Данные долгосрочных сейсмических прогнозов явились 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 [18]. В 2006 и 2007 гг. были даны три поручения Президента РФ В.В. Путина от 17.05.2006, 02.11.2006 и 22.09.2007 гг. по обеспечению сейсмобезопасности, проведению сейсмоусиления жилого фонда и объектов социальной сферы и выделению средств на эти цели из федерального бюджета: 22.09.2007 г. дано распоряжение Председателя Правительства РФ В.А. Зубкова о срочной подготовке согласованного плана практических мероприятий по обеспечению сейсмобезопасности Камчатского края.

6. Построенный долгосрочный сейсмический прогноз одновременно является долгосрочным прогнозом вероятности цунами в различных районах Курило-Камчатской дуги. Долгосрочные сейсмические прогнозы сильных землетрясений сопоставляются с прогнозами, полученными другими методами. Возможно применение рассматриваемого метода в других регионах мира, имеющих сходное строение, геодинамику и протяженные сейсмогенные зоны.

С 1970-х годов долгосрочные сейсмические прогнозы передавались в Общий совет Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН и Камчатского филиала ГС РАН по прогнозу землетрясений и извержений вулканов (названы нынешние наименования учреждений). Авторы благодарны Совету за обсуждение, регистрацию прогнозов и их рассылку в сообщениях Совета.

Работа выполнена при поддержке проектов Программы фундаментальных исследований Президиума РАН №16 "Изменение окружающей среды и климата: природные катастрофы", проект ДВО №06-1-П16-068, и Федеральной целевой программы "Социальное развитие Курильских островов (Сахалинская область) на 2007-2015 годы", раздел "Долгосрочный сейсмический прогноз для Курильских островов".

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атлас землетрясений в СССР. Результаты наблюдений сейсмических станций СССР в 1911-1957 гг. М.: Изд. АН СССР, 1962. 337 с.
2. 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.

3. Кейлис-Борок В.И., Кособоков В.Г. Периоды повышенной вероятности возникновения для сильнейших землетрясений мира // Математические методы в сейсмологии и геодинамике. М.: Наука, 1986. С. 48-58.
4. 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.
5. Матвиенко Ю.Д. Применение метода М8 на Камчатке: успешный заблаговременный прогноз землетрясения 5 декабря 1997 г. // Вулканология и сейсмология. 1998. № 6. С. 27-36.
6. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. М.: Наука, 1977. 535 с.
7. 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.
8. Рейснер Г.И., Рогожин Е.А. Сейсмоструктура и геодинамика переходных зон на примере Курильского региона // Вулканология и сейсмология. 2003. № 1. С. 42-53.
9. Соболев Г.А., Пономарев А.В. Физика землетрясений и предвестники. М.: Наука, 2003. 270 с.
10. Соловьев С.Л., Соловьева О.Н. Соотношение между энергетическим классом и магнитудой Курильских землетрясений // Изв. АН СССР. Сер. геофиз. 1967. №2. С. 37-50.
11. 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.
12. Тараканов Р.З., Левый Н.В., Ким Ч.У. Сейсмичность Курильского региона // Сейсмическое районирование Курильских островов, Приморья и Приамурья. Владивосток, 1977. С. 27-35.
13. Тихонов И.Н., Василенко Н.Ф., Прытков А.С., Спиринов 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.
14. Тихонов И.Н., Василенко Н.Ф., Золотухин Д.Е., Ивельская Т.Н., Поплавский А.А., Прытков А.С., Спиринов А.И. Симуширские землетрясения и цунами 15 ноября 2006 года и 13 января 2007 года // Тихоокеанская геология. 2008. Т. 27. №1. С. 3-16.
15. Федотов С.А. О закономерностях распределения сильных землетрясений Камчатки, Курильских островов и северо-восточной Японии // Тр. ИФЗАН СССР. 1965. № 36. С. 66-93.
16. Федотов С.А. О сейсмическом цикле, возможности количественного сейсмического районирования и долгосрочном сейсмическом прогнозе // Сейсмическое районирование СССР. М.: Наука, 1968. С. 121-150.
17. Федотов С.А. Энергетическая классификация курило-камчатских землетрясений и проблема магнитуд. М.: Наука, 1972. 116 с.
18. Федотов С.А. Долгосрочный сейсмический прогноз для Курило-Камчатской дуги. М.: Наука, 2005. 302 с.
19. 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.

20. 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.
21. 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.
22. 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. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2007. С. 105.
23. Федотов С.А., Соломатин А.В., Чернышев С.Д. Долгосрочный сейсмический прогноз для Курило-Камчатской дуги и обеспечение мер по сейсмобезопасности // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Первая региональная научно-техническая конференция 12-16 ноября 2007 г., Петропавловск-Камчатский, Россия. Тезисы докладов. Петропавловск-Камчатский: ГС РАН, 2007. С.79.
24. Федотов С.А., Соломатин А.В., Чернышев С.Д. Долгосрочный сейсмический прогноз для Курило-Камчатской дуги и обеспечение мер по сейсмобезопасности // Геофизический мониторинг и проблемы сейсмической безопасности Дальнего Востока России. Петропавловск-Камчатский: ГС РАН, 2008. С. 21 - 27.
25. 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.
26. 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.
27. 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.
28. 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.
29. 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.
30. 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.
31. 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.