



УДК 557.341

С. А. Федотов^{1,2}, А. В. Соломатин¹

¹ *Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН,
г. Петропавловск-Камчатский
e-mail: fedotov@kscnet.ru, alf55@mail.ru*

² *Институт физики Земли РАН, 123 810 Москва, Б. Грузинская ул., 10,
e-mail: karetn@list.ru*

Долгосрочный сейсмический прогноз для Курило-Камчатской дуги на IX 2013–VIII 2018 гг.; характер сейсмичности в предшествующее пятилетие

В 2012–2013 гг. продолжались работы по долгосрочному прогнозу сильнейших землетрясений Курило-Камчатской дуги методом, основанным на закономерностях сейсмических брешей и сейсмического цикла, и успешно применяемым в данном регионе на протяжении почти полувека.

Введение

В главной части работы приведены самые необходимые сведения об основах метода: его теоретических положениях и апробированных методиках, а также приведён сейсмический прогноз на период IX 2013–III 2018 гг. для сейсмогенной зоны Курило-Камчатской дуги. Для 20 её участков предсказаны стадии сейсмического цикла, нормированная характеристика числа слабых землетрясений (A_{10}), магнитуды землетрясений средней силы, ожидаемых с вероятностями 0,8, 0,5 и 0,15, максимальные возможные магнитуды и вероятности возникновения сильнейших землетрясений с $M \geq 7,7$.

В качестве важного дополнения в работе рассмотрены особенности сейсмического процесса исследуемого региона в 2008–2013 гг.

Полученные результаты в целом подтверждают высокую сейсмическую опасность в районе г. Петропавловск-Камчатский и полную необходимость продолжения и увеличения проводимых в нём работ по сейсмоукреплению и сейсмобезопасности.

Основы используемого метода долгосрочного сейсмического прогноза и прогнозируемые величины

Ниже даны краткие сведения, необходимые для понимания приведённых долгосрочных сейсмических прогнозов. Полное изложение основ метода, используемых закономерностей и параметров приведено в [7, 8, 10, 12–16].

В основе метода долгосрочного сейсмического прогноза (ДСП) С. А. Федотова в его современном виде лежит ряд следующих базовых положений [10]:

– сейсмогенная зона Курило-Камчатской островной дуги является в первом приближении *однородной структурой*;

– существует класс сильнейших землетрясений (с $M \geq 7,7$ для Курило-Камчатской островной дуги), чьи очаги *имеют тенденцию не перекрываться*;

– процесс развития очагов сильнейших землетрясений Курило-Камчатской островной дуги и Северо-Восточной Японии представляет собой *сейсмический цикл* с периодом $T_1 = 140 \pm 60$ лет или $T_2 = 120 \pm 50$ лет.

Выделяются следующие стадии сейсмического цикла [7, 8, 10, 14, 18, 20]:

– I, афтершоковая, стадия (около 15 лет) отражает процесс стабилизации сейсмического процесса после возмущения в сейсмоактивной среде, вызванного сильнейшим землетрясением;

– II стадия (около 60–100 лет) отражает процесс стабильного накопления сейсмической энергии и формирования нового очага землетрясения;

– места, в которых сильнейших землетрясений не было более 80 лет, относятся к сейсмическим брешам и считаются наиболее вероятными местами следующих таких землетрясений; это – III, форшоковая, стадия длительностью около 15 лет.

Многолетние исследования хода сейсмического процесса в очагах сильнейших землетрясений Курило-Камчатской сейсмогенной зоны и её продолжения в Северо-Восточной Японии показали, что при усреднении по сейсмогенным участкам порядка размеров очагов сильнейших землетрясений (100–200 км) и временным интервалам порядка их повторяемости в исследуемом регионе (5 лет и более) интенсивность сейсмического процесса в очаге готовящегося землетрясения проявляет в среднем тенденцию к росту [3, 8, 10, 14, 20]. Такая активизация используется для построения количественных оценок сейсмической опасности [10, 16 и мн. др.].

Для определения наиболее вероятных мест следующих сильнейших землетрясений активная полоса сейсмогенной зоны Курило-Камчатской ост-

ровной дуги с глубинами гипоцентров землетрясений 0–80 км, имеющая длину 2100 км и ширину 100 км, делится в среднем на 20 участков. Для этих участков за предшествующие 5 лет определяется следующая группа параметров:

– *сейсмическая активность* $A_{10}(t) \left[\frac{1}{\text{год} \cdot 10^3 \text{ км}^2} \right]$ – нормированное число землетрясений энергетического класса [9] $K_S = 10$, $M = 3,6$;

– *относительная величина сброшенной сейсмической энергии* $D(t) = E_2(t)/E_1$, где $E_2(t) \left[\frac{\text{Дж}}{\text{год} \cdot 10^3 \text{ км}^2} \right]$ – текущая нормированная величина сейсмической энергии в пределах конкретного участка, а $E_1(t) = 8,82 \cdot 10^{13} \left[\frac{\text{Дж}}{\text{год} \cdot 10^3 \text{ км}^2} \right]$ – аналогичная величина, усреднённая по всей Курило-Камчатской сейсмогенной зоне в наиболее активной её части за весь период наблюдений.

Для уточнения прогноза используется также параметр $A_{11} \left[\frac{1}{\text{год} \cdot 10^3 \text{ км}^2} \right]$, аналогичный параметру A_{10} , но определяемый землетрясениями средней силы ($K_S \sim 11 - 12$, $M \sim 4 - 5$) за более продолжительные интервалы времени (10–15 лет).

Для указанных участков строятся прогнозы следующих параметров [12–16, 18]:

- *стадий сейсмического цикла* (I, II, III);
- *вероятных мест следующих сильнейших землетрясений – сейсмических брешей*, как участков, предположительно проходящих III стадию сейсмического цикла;
- *значений сейсмической активности* A_{10} ;
- $M(P \sim 0,8, P \sim 0,5, P \sim 0,15)$ – *магнитуд землетрясений средней силы*, ожидающихся с вероятностями соответственно: 0,8, 0,5 и 0,15;
- *ММАХ – максимальных магнитуд ожидаемых землетрясений*;
- $P(M \geq 7,7)$ – *вероятностей возникновения сильнейших землетрясений*;
- *относительной опасности сейсмических брешей*.

В целом, прогнозы, составленные для Курило-Камчатской островной дуги по применяемому методу, выполнялись с вероятностью 0,8 – 0,9 [10–18, 21].

Пятилетние прогнозы для Курило-Камчатской островной дуги, обновляемые дважды в год, регистрируются в Совете Института вулканологии и сейсмологии (ИВиС) ДВО РАН и Камчатского филиала Геофизической службы (КФ ГС) РАН по прогнозу землетрясений и извержений вулканов и еженедельно передаются в сообщениях этого Совета в органы власти и заинтересованные организации.

Обновления прогноза производятся также в случае возникновения сильных землетрясений или при других значительных изменениях сейсмического процесса в изучаемом регионе. В последнем случае для уточнения сейсмической опасности проводится комплексная оценка изменений сейсмического процесса.

Долгосрочные сейсмические прогнозы на основании представляемого метода, а также предупреждения и предложения на основе их результатов послужили обоснованием шести Распоряжений и Постановлений Совета Министров СССР (1986 и 1989 гг.), Совета Министров РСФСР (1987 г.) и Правительства Российской Федерации (1995 и 2001 гг.) о подготовке Камчатской области к сильным землетрясениям.

В 1990–2004 гг. на основании сделанных прогнозов и предупреждений в г. Петропавловске-Камчатском было проведено сейсмоусиление 144 домов, в них получили защиту 20 тысяч их жильцов, около 1/10 части населения города.

В 2009 г. Правительство РФ постановлением утвердило ФЦП «Повышение устойчивости жилых домов, основных объектов и систем жизнеобеспечения в сейсмических районах Российской Федерации на 2009–2018 годы» (Постановление № 365 от 23 апреля 2009 г.). Для её выполнения в Камчатском крае Постановлением Правительства РФ от 30 июля 2009 г. № 615 выделены 8,1 млрд рублей на 2009–2013 гг.

Для продолжения этих работ в 2013 г. Краевое Правительство приняло постановление о долгосрочной целевой программе «Повышение устойчивости жилых домов, основных объектов и систем жизнеобеспечения в Камчатском крае на 2013–2015 годы» (№ 72-П от 25 февраля 2013 г.). На её реализацию выделено 4,3 млрд рублей. Ожидаемый предотвращённый ущерб составляет 43 млрд руб.

В дополнение необходимо отметить, что представляемый метод сейсмического прогноза не является единственным, в том числе и для Курило-Камчатского региона. Среди основных результатов в этом отношении можно выделить работы [1, 2, 4–6, 23]. Более подробно этот вопрос рассмотрен в работе [15].

Долгосрочный сейсмический прогноз для Курило-Камчатской дуги на IX 2013–VIII 2018 гг. (зарегистрирован 28 сентября 2013 г. в Совете ИВиС ДВО РАН и КФ ГС РАН по прогнозу землетрясений и извержений вулканов)

Прогноз составлен на следующие пять лет: XI 2013–VIII 2018 гг. в обновление предыдущего такого прогноза, составленного на IV 2013–III 2018 гг. Исходные данные взяты из региональных каталогов КФ и СФ ГС РАН¹. Для анализа сейсмической обстановки на основе сильных землетрясений с $M \geq 5$ в этом разделе и далее использовался каталог NEIC². Результаты приведены на рис. 1 и в таблице.

При расчётах таблицы использованы все три параметра: A_{10} , D и A_{11} . Данные этой таблицы являются наиболее взвешенными оценками прогнозируемой сейсмической опасности.

¹<ftp://ftp.gsras.ru>

²<http://earthquake.usgs.gov>

Таблица 1. Долгосрочный сейсмический прогноз для Курило-Камчатской дуги на IX 2013-VIII 2018 гг. (H ≤ 80 км), полученный с использованием параметров A₁₀, D, A₁₁

Участок	Δ, км	Район	Стадия цикла и ее оценка по данным 2008-2013 гг. (IX 2008 г. – IX 2013 г.)					Прогноз на IX 2013 – VIII 2018 гг.										
			Стация	P ₁ =P(A ₁₀)	P ₂ =P(D)	P ₃ =P(A ₁₁)	(P ₁ *P ₂ *P ₃)/B =	A ₁₀ (P=0.7)		P=0,8	P=0,15	M _{max}	P(M≥7,7)%		Очередность Вероятная			
								A ₀	A _{10±σ}									
1	0 – 100	Мыс Сириха - п-ов Немуро	III	0,62	0,89	0,53	0,29		1,2-3	0,8-4,5	6,0	6,5	7,0	7,8	7,1	(6,6)	6-7	(7)
2	100 – 200	П-ов Немуро - о-в Зелёный	II						1,2	0,8-1,9	5,8	6,3	6,8		0,8	(0,8)		
3а	200 – 300	О-в Шикотан, Ю-В	II						1,2	0,8-1,9	5,7	6,2	6,7		1,0	(1,0)		
3б	200 – 300	О-в Шикотан, С-З	II						1,2	0,8-1,9	5,7	6,2	6,7		0,4	(0,4)		
4	300 – 450	О-в Итуруп	II						1,2	0,8-1,9	5,9	6,4	6,9		2,0	(2,0)		
5	450 – 600	Пролив Фриза - о-в Уруп	II						1,2	0,8-1,9	5,9	6,4	6,9		1,7	(1,7)		
6	600 – 750	Мыс Кастрикум - пр. Буссоль	III?	0,79	0,45	0,69	0,25		1,2-3	0,8-4,5	6,0	6,5	7,0	8,0	11,3?	(11,5?)	4?	(4?)
7	750 – 950	О-в Симушир - пр. Круаэнштерна	I						7,5-2,6	1,2-2,7	6,2	6,7	7,2		0,5	(0,5)		
8	950 – 1100	О-в Шикотан	III?	0,62	0,23	0,76	0,11		1,2-3	0,8-4,5	6,0	6,5	7,0	8,0	13,3?	(13,5?)	2-3?	(2?)
9	1100 – 1200	О-в Онекотан - пр. 3-й Курильский	III	0,33	0,04	0,53	0,01		1,2-3	0,8-4,5	6,0	6,4	7,0	7,9	9,9	(9,6)	5	(5)
10	1200 – 1350	О-в Парамушир - мыс Лопатка	II						1,2	0,8-1,9	5,9	6,4	6,9		2,4	(2,4)		
11а	1350 - 1550	Юг Камчатки, Ю-В	II						0,8	0,6-1,1	5,8	6,3	6,8		3,2	(3,2)		
11б	1350 - 1550	Юг Камчатки, С-З	III	0,53	0,01	0,21	0,002		1,3-3	0,8-4,5	6,0	6,5	7,0	8,0	19,9	(19,3)	1	(1)
12а	1550 - 1700	Зап. Авачинский - п-ов Шилпунский, Ю-В	II						1,2	0,8-1,9	5,7	6,2	6,7		2,4	(2,4)		
12б	1550 - 1700	Зап. Авачинский - п-ов Шилпунский, С-З	III	0,70	0,89	0,17	0,11		1,2-3	0,8-4,5	5,9	6,4	6,9	8,0	13,3	(12,9)	2-3	(3)
13а	1700 - 1850	Залив Кроноцкий, Ю-В	III?	0,997	0,996	0,92	0,92		1,2-3	0,8-4,5	5,9	6,4	6,9	8,0	1,2	(1,9)	8	(8)
13б	1700 - 1850	Залив Кроноцкий, С-З	II						1,2	0,8-1,9	5,9	6,4	6,9		2,0	(2,0)		
14	1850 - 1950	П-ов Кроноцкий	II						1,2	0,8-1,9	5,8	6,3	6,8		0,3	(0,3)		
15	1950 - 2050	Залив Камчатский	III?	0,67	0,86	0,55	0,32		1,2-3	0,8-4,5	6,0	6,5	7,0	7,9	6,8	(7,5)	6-7	(6)
16	2050 - 2100	П-ов Камчатский	II						0,8	0,6-1,1	5,7	6,2	6,7		0,5	(0,5)		
Оценка критических значений вероятностей				0,062	0,308	0,354	0,007											
																		Σ = 100,0

Примечание. Даны прогнозы восьми характеристик сейсмичности на IX 2013-VIII 2018 гг. Для всех 20 участков дуги указываются вероятные стадии сейсмического цикла. Индексом III отмечены те участки, в которых землетрясения с M ≥ 7,7 не происходили в течение последних 80 лет и где значительно вероятна вероятность прихода заключительной, III стадии сейсмического цикла. Знаками вопроса отмечены те из участков, в которых вероятность такого события меньше, 1-В – параметр, показывающий относительную опасность "сейсмических брешей"; A₁₀ – сейсмическая активность; P ~ 0,8, 0,5, 0,15 – вероятности землетрясений с M = 5,7-7,2; M_{max} – максимальная возможная магнитуда; P(M ≥ 7,7) – прогнозируемые вероятности сильнейших землетрясений. Значения вероятности P(M ≥ 7,7) в скобках соответствуют их величинам на IV 2013-III 2018 гг. Средняя долговременная величина P(M ≥ 7,7) = 3,6-4,2%.

Основные результаты долгосрочного сейсмического прогноза на IX 2013–VIII 2018 гг. (рис. 1, таблице), заключаются в следующем.

Наиболее вероятными местами следующих сильнейших землетрясений с $M \geq 7,7$ на период IX 2013–VIII 2018 гг. остаются участки, расположенные в районе г. Петропавловск-Камчатский и Южной Камчатки:

– для Южной Камчатки (участок 11б, рис. 1) вероятность землетрясения с $M \geq 7,7$, имеющего силу до 8 баллов в г. Петропавловск-Камчатский, равна 19,9%;

– для Авачинского залива (участок 12б, рис. 1) вероятность такого же землетрясения, но силой до 9 баллов равна 13,3%.

Суммарная вероятность возникновения землетрясений с $M \geq 7,7$, имеющих силу 8–9 баллов в г. Петропавловск-Камчатский, на ближайшие пять лет в этих двух участках 11б, 12б, образующих сейсмическую брешь длиной 350 км, равна 33,2%.

Землетрясения, имеющие силу 7–8 баллов в г. Петропавловск-Камчатский, могут также произойти в участках 11а, 12а, 13а, 13б, рис. 1.

Таким образом, 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. Петропавловск-Камчатский, может достигать 42,0% в период времени IX 2013–VIII 2018 гг. При этом вероятность возникновения в этот период времени в г. Петропавловск-Камчатский землетрясения силой 9 баллов равняется 13,3%.

Повышена также сейсмическая опасность в районе залива Камчатский (участок 15, рис. 1, таблице); вероятность сильнейшего землетрясения в данном районе на следующие 5 лет оценивается величиной 6,8%.

В курильской части исследуемого региона высокая сейсмическая опасность в районе Средних Курильских о-вов (6, 8 и 9 участки, рис. 1). Общая вероятность сильнейшего землетрясения здесь равна 34,5%, а наибольшая активность наблюдается в участках 6 и 8, в которых находятся концы главных разрывов Средне-Курильского, Симуширского землетрясения 15.IX 2006 г., $M = 8,2$. Значение вероятности сильнейшего землетрясения в 8 участке на период IX 2013–VIII 2018 гг. оценивается величиной 13,3%, а в 6 участке – 11,3% (знак вопроса для участков 6 и 8 поставлен потому, что уровень сейсмичности здесь может быть завышен влиянием продолжающегося роя афтершоков Симуширского землетрясения 15.XI 2006 г., $M = 8,2$). В то же время она может объясняться откликами на сильнейшее глубокое землетрясение 14.VIII 2012 г., $M_w = 7,7$, произошедшее у восточного побережья о. Сахалин, рис. 1. Подобная взаимосвязь с глубокими землетрясениями рассматривалась в [22 и др.].

Участок 1 возле п-ова Немуро (рис. 1, таблице) является шестым-седьмым по степени опасности, для него $P(M \geq 7,7) = 7,1\%$.

В остальных участках вероятность возникновения сильнейших землетрясений равна средней (3,6 – 4,2%) или существенно, до 10–15 раз, ниже её.

Основным отличием результатов данного прогноза от предыдущего является дальнейшая активизация сейсмичности в районе Авачинского залива и Южной Камчатки, а также ослабление влияния афтершокового процесса Кроноцкого землетрясения 5.XII 1997 г., $M = 7,8$ (рис. 1, участки 13 и 14), на расчёты активности в участке 13а сейсмогенной зоны.

Таким образом, Камчатский сегмент сейсмогенной зоны в целом, и особенно район Южная Камчатка – Авачинский залив, вблизи которого расположен г. Петропавловск-Камчатский, по-прежнему остаются наиболее сейсмически опасным участком всей Курило-Камчатской дуги.

На высокую сейсмическую опасность этого района указывает повышенные значения сейсмичности в нём и на Северных Курильских о-вах – предполагаем краю будущего разлома, а также влияние на сейсмическую активность в Авачинском заливе (12 участок) гигантского землетрясения в районе Тохоку, Северо-Восточная Япония, 11.III 2011 г., $M_w = 9$ [16].

Наиболее сильные рои землетрясений с $M = 6,4 – 6,9$ в течение последнего полугодия произошли 28.II–29.III 2013 г. в участках 10–11 вблизи мыса Лопатка на южной оконечности Камчатки и 18–24.V 2013 г. в участке 12 напротив Авачинского залива. Второй рой предварял сильнейшее глубокое землетрясение под Охотским морем 24.V 2013 г., $M = 8,3$, $H = 609$ км. Эти два роя могут оказаться вблизи концов разрыва будущего сильнейшего землетрясения, заполняющего сейсмическую брешь в участках 11б и 12б, рис. 1. Развитие сейсмического процесса Курило-Камчатской сейсмогенной зоны в период 2008–2013 гг. рассматривается далее.

Особенности сейсмической активности Курило-Камчатской дуги в предыдущий пятилетний период

В предыдущее годы в Курило-Камчатской дуге, под Охотским морем и в Северо-Восточной Японии произошёл ряд примечательных сильнейших землетрясений.

Первым в цепочке этих событий выделяется землетрясение 25.IX 2003 г. $M = 8,1$ ($M_w = 8,3$), произошедшее возле о. Хоккайдо.

20.V 2006 г. в относительно малосейсмичной области Корякского нагорья произошло землетрясение с $M_w = 7,6$.

Через полгода 15.XI 2006 г. и 13.I 2007 г. в районе Средних Курильских островов, в районе, отличающемся за всю историю наблюдений относительно малым количеством сильнейших землетрясений произошла примечательная пара сильнейших Симуширских землетрясений $M = 8,2$ и $M = 8,1$ [13].

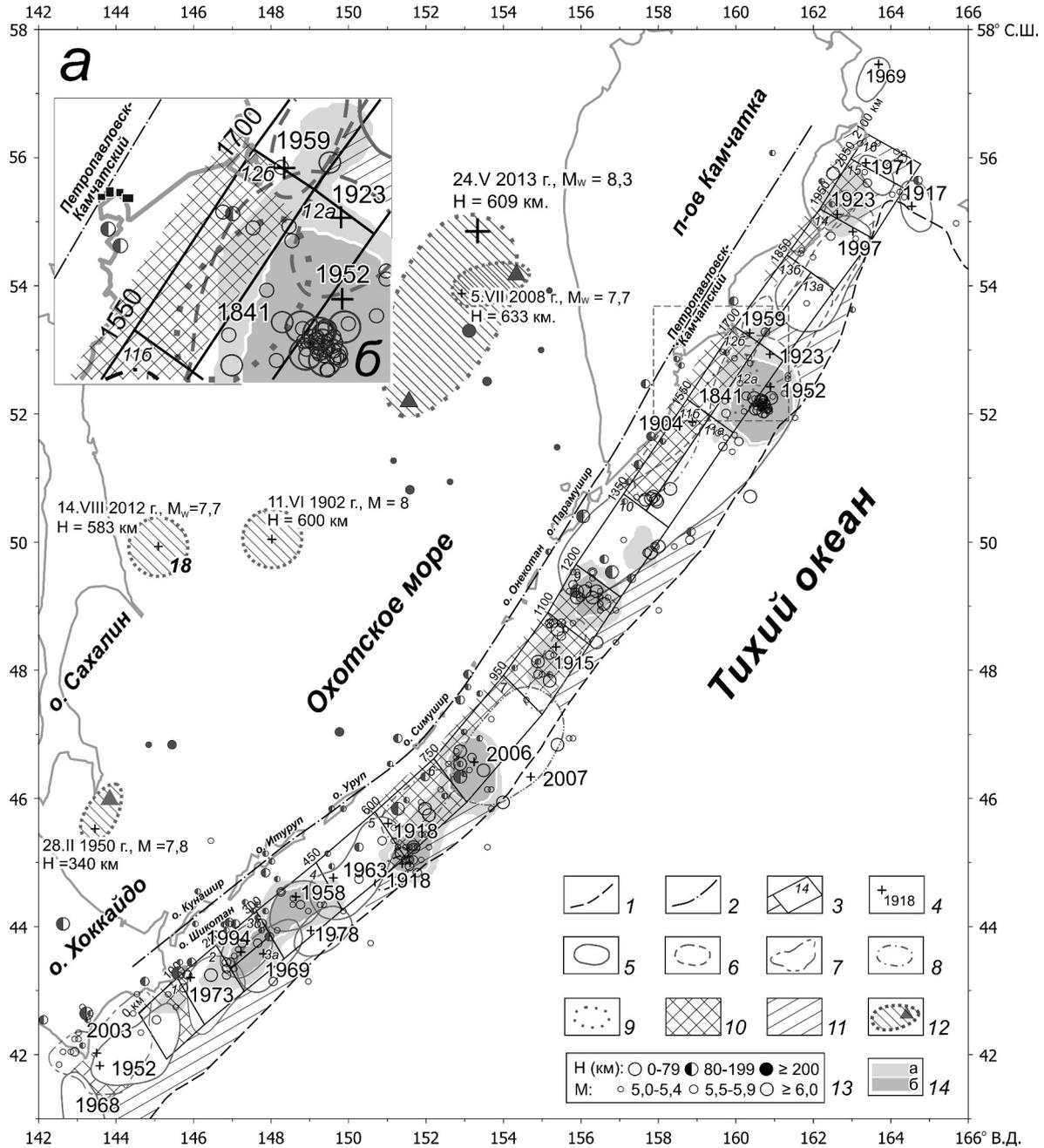


Рис. 2. Карта Курило-Камчатской сейсмогенной зоны с разбиением на участки прогноза с указанием положения очагов сильнейших ($M \geq 7,7$) курило-камчатских землетрясений 1841–2013 гг., а также эпицентров более слабых землетрясений ($M \geq 5$) 2008–2013 гг. и их роев.

Условные обозначения:

(а): 1 – оси глубоководных желобов; 2 – ось вулканического пояса Курило-Камчатской дуги; 3 – границы участков прогноза и их номера; 4 – инструментальные эпицентры главных толчков землетрясений с $M \geq 7,7$; 5 – границы очагов неглубоких ($H < 80$ км) землетрясений с $M \geq 7,7$, проведённые с точностью 10 км; 6 – участки тех же границ, проведённые с меньшей точностью; 7 – граница очага землетрясения у о. Хоккайдо 25.IX 2003 г., $M_w = 8,3$; 8 – вероятные области очагов неглубоких землетрясений 1904–1918 гг. с $M \geq 7,7$; 9 – предполагаемая область очага 1841 г.; 10 – наиболее вероятные места следующих неглубоких землетрясений с $M \geq 7,7$; 11 – возможные места следующих таких землетрясений; 12 – предполагаемые границы областей очагов глубоких землетрясений с $M \geq 7,7$ 1902, 1950, 2008, 2012 и 2013 гг. и положения их главных афтершоков; 13 – эпицентры более слабых ($M \geq 5$) землетрясений, произошедших в период 1.I 2008–9.IX 2013 гг., представленные с разбиением по интервалам глубин и магнитуд; 14 – уровни параметра A_{10} : а, $A_{10} \geq \bar{A}_{10} = 1,15$; б, $A_{10} \geq \bar{A}_{10} + \sigma = 1,74$.

(б): увеличенный фрагмент карты (а), обозначения те же.

Крупнейшее катастрофическое землетрясение Тохоку с $M = 8,9$ ($M_w = 9$) произошло 11.III 2011 г. у о. Хонсю. Его очаг заполнил гигантскую сейсмическую брешь, ранее выделенную в этом районе [16].

И, наконец, весьма примечательной является серия глубинных ($H \sim 600$ км) землетрясений под Охотским морем: 5.VII 2008 г., $M_w = 7,7$, 14.VIII 2012 г., $M_w = 7,7$ и сильнейшее среди известных таких землетрясений, Охотское 24.V 2013 г. Такая серия является уникальной, т. к. известно только два предыдущих подобных землетрясения в этом районе: 11.VI 1902 г., $M = 8$, $H = 600$ км и 28.II 1950 г., $M = 7,8$, $H = 340$ км.

В связи с подобными сильнейшими проявлениями активизации сейсмичности Курило-Камчатского региона важно детальнее рассмотреть развитие сейсмического процесса. В данной работе рассмотрен предшествующий 5-летний период: 2008–2013 гг.

На рис. 2 представлены эпицентры землетрясений с $M \geq 5$, произошедших в период 1.I 2008–9.IX 2013 гг. с разбиением по интервалам глубин и магнитуд, а также изолинии параметра A_{10} за этот период. Эти данные дополняют приведённый долгосрочный сейсмический прогноз, указывая границы наиболее вероятных областей следующих сильнейших землетрясений региона:

– участок 12 – Авачинский залив, северная часть очага Камчатского землетрясения 1952 г.; здесь отмечается наибольшая сейсмическая активность, указывающая на вероятную северную границу следующего сильнейшего землетрясения;

– участок 9 – южная часть очага Камчатского землетрясения 1952 г.; здесь потенциально может располагаться его южная граница.

Активизации на границах 6 участка в области очагов пары землетрясений 1918 г. (рис. 2) также могут отмечать северную и южную границы следующего сильнейшего землетрясения в этой области.

Участок 8, очаг землетрясения 1915 г., также относится к числу наиболее вероятных мест следующего сильнейшего землетрясения, однако, повышенная сейсмическая активность в нём может объясняться также перераспределением напряжений после Симуширских землетрясений 2006–2007 гг. (рис. 2).

Ещё менее вероятны следующие сильнейшие землетрясения в участках 1 и 15.

Выводы

В соответствии с долгосрочным сейсмическим прогнозом по представляемому методу на следующие пять лет, IX 2013–VIII 2018 гг., по-прежнему сохраняется очень высокая сейсмическая опасность в районе г. Петропавловск-Камчатский, где вероятность возникновения разрушительного землетрясения силой 7–9 баллов в эти годы достигает 42,0%. Вероятность того, что такое землетрясение будет иметь силу 9 баллов в г. Петропавловск-Камчатский и катастрофические последствия по полученным оценкам равна 13,3%.

Высокую сейсмическую опасность в этом районе отражает также детальное изучение распределения сейсмичности за предшествующее пятилетие. В районе Авачинского залива отмечена наибольшая её плотность, вероятнее всего свидетельствующая об интенсивном формировании в этом районе границы будущего разрыва. Учитывая значительную накопленную в Камчатском участке сейсмическую энергию, эквивалентную землетрясению с $M = 8,5$ [15], можно утверждать, что потенциально очаг такого землетрясения способен охватить область как минимум от м. Лопатка на юге до м. Шипунский на севере.

Таким образом, на основе всей представленной совокупности данных можно утверждать о необходимости неотложных мер по сейсмобезопасности, повышению устойчивости жилых домов, основных объектов и систем жизнеобеспечения в Камчатском крае. Для сокращения и предотвращения грозящих тяжёлых потерь населения в г. Петропавловск-Камчатский ежегодно должно существенно возрастать количество граждан, живущих в сейсмостойчивых домах.

Исследования велись по программе фундаментальных исследований Президиума РАН, проект ДВО РАН № 09-I-П16-06 долгосрочный сейсмический прогноз для Курило-Камчатской дуги: продолжение прогноза, обоснование мер по повышению сейсмостойкости, развитие метода и применение в других регионах мира.

Список литературы

1. 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.
2. Кособоков В. Г. Прогноз землетрясений: основы, реализация, перспективы / Прогноз землетрясений и геодинамические процессы. М.: ГЕОС, 2005. 175 с. (Прогноз землетрясений и геодинамические процессы. Вычислительная сейсмология, Выпуск 36, часть I).
3. Родкин М. В. Сейсмический режим в обобщенной окрестности сильного землетрясения // Вулканология и сейсмология. 2008. № 6. С. 66–77.
4. Соболев Г. А. Стадии подготовки сильных камчатских землетрясений // Вулканология и сейсмология. 1999. № 4–5. С. 63–72.
5. Соболев Г. А. Динамика современной сейсмичности Курило-Камчатский сейсмоактивной зоны // Вулканология и сейсмология. 2010. № 6. С. 3–14.
6. Соболев Г. А., Завьялов А. Д. О концентрационном критерии сейсмогенных разрывов // ДАН СССР. 1980. Том. 252. № 1. С. 69–71.
7. Федотов С. А. О закономерностях распределения сильных землетрясений Камчатки, Курильских островов и северо-восточной Японии // Труды Института Физики Земли АН СССР. № 36 (203). М.: Наука, 1965. С. 66–93.
8. Федотов С. А. О сейсмическом цикле, возможности количественного сейсмического районирования и долгосрочном сейсмическом прогнозе // Сейсмическое районирование СССР. М.: Наука, 1968. С. 121–150.

9. Федотов С. А. Энергетическая классификация курило-камчатских землетрясений и проблема магнитуд. М.: Наука, 1972. 116 с.
10. Федотов С. А. Долгосрочный сейсмический прогноз для Курило-Камчатской дуги. М.: Наука, 2005. 303 с.
11. 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.
12. 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.
13. 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.
14. Федотов С. А., Соломатин А. В., Чернышев С. Д. Афтершоки и область очага Средне-Курильского землетрясения 15.XI 2006 г., $M = 8,2$; долгосрочный сейсмический прогноз для Курило-Камчатской дуги на IV 2008–III 2013 гг. // Вулканология и сейсмология. 2008. № 6. С. 3–23.
15. Федотов С. А., Соломатин А. В., Чернышев С. Д. Долгосрочный сейсмический прогноз для Курило-Камчатской дуги на IX 2010–VIII 2015 гг., достоверность предыдущих прогнозов и их применение // Вулканология и сейсмология. 2011. № 2. С. 1–25.
16. Федотов С. А., Соломатин А. В., Чернышев С. Д. Долгосрочный сейсмический прогноз для Курило-Камчатской дуги на IX 2011–VIII 2016 гг.; вероятные место, время и развитие следующего сильнейшего землетрясения Камчатки с $M \geq 7,7$ // Вулканология и сейсмология. 2012. № 2. С. 3–26.
17. 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.
18. 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. 3–34.
19. Федотов С. А., Чернышев С. Д., Матвиенко Ю. Д., Жаринов Н. А. Прогноз Кроноцкого землетрясения 5 декабря 1997 г., $M = 7,8 - 7,9$, Камчатка, и его сильных афтершоков с $M \geq 6,0$ // Вулканология и сейсмология. 1998. № 6. С. 3–16.
20. Федотов С. А., Чернышев С. Д., Чернышева Г. В., Вилкуллин 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.
21. 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.
22. Mogi K. Earthquake Prediction. Tokyo, New York, London: Academic Press, 1985. 355 p. (Русский перевод: Моги К. Предсказание землетрясений. М.: Мир, 1988. 382 с.).
23. Nishenko S. P. Circum-Pacific seismic potential, 1989–1999 // PAGEOPH. 1991. Vol. 135. N 2/3. P. 169–260.