

УДК 557.341

ДОЛГОСРОЧНЫЙ СЕЙСМИЧЕСКИЙ ПРОГНОЗ  
ДЛЯ КУРИЛО-КАМЧАТСКОЙ ДУГИ НА IX 2015 – VIII 2020 гг.,  
ДОПОЛНЕНИЯ К НЕМУ, ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМЫХ МЕР ПО  
СЕЙСМОУКРЕПЛЕНИЮ В КАМЧАТСКОМ КРАЕ

*С.А. Федотов<sup>1,2</sup>, А.В. Соломатин<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> *Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-  
Камчатский, 683006; e-mail: fedotov@kscnet.ru, alf55@mail.ru*

<sup>2</sup> *Институт физики Земли РАН, Москва, 123810; e-mail: karetn@list.ru*

В статье приведены основные сведения об успешно ведущихся в течение полувека работах по прогнозу сильнейших Курило-Камчатских землетрясений. Предложенный С.А. Федотовым в 1965 г. метод долгосрочного сейсмического прогноза (ДССП) с тех пор непрерывно развивался, совершенствовался и показал высокую оправдываемость. В настоящее время накоплен значительный опыт его практического применения в Курило-Камчатском регионе и в Северо-Восточной Японии. Представлены основные положения метода ДССП, его основные возможности, а также сведения о практических результатах, полученных на его основе за последние 30 лет. Важнейшей частью статьи являются данные последнего сейсмического прогноза для Курило-Камчатской дуги на период IX 2015 – VIII 2020 гг. В качестве его дополнения и уточнения рассмотрены особенности сейсмичности в регионе предшествовавшего периода. Отмечена их связь с сильнейшими глубокими землетрясениями под Охотским морем 2008–2013 гг., а также гигантским землетрясением Тохоку 11.III 2011 г. Полученные результаты подтверждают существующую высокую сейсмическую опасность в районе г. Петропавловск-Камчатский и полную необходимость продолжения и увеличения проводимых в Камчатском крае работ по сейсмоукреплению и сейсмобезопасности.

### **Введение**

В основе метода долгосрочного сейсмического прогноза (ДССП) С.А. Федотова лежат представления о ряде фундаментальных свойств сейсмического процесса: об однородности наиболее масштабных сеймотектонических процессов Курило-Камчатской сейсмогенной зоны; наивысшей вероятности заполнения следующими сильнейшими ( $M \geq 7,7$ ) землетрясениями сейсмических брешей – участков между очагами предшествовавших таких землетрясений; а также цикличности развития сейсмичности в очагах сильнейших землетрясений [2] и др.

На основе указанных представлений в методе ДССП выделяются три основные последовательные стадии циклического развития очагов сильнейших землетрясений общей продолжительностью в среднем 120–140 лет: I – стадия афтершоков предыдущего сильнейшего землетрясения; II – стадия накопления сейсмической энергии; III – форшоковая, заключительная стадия подготовки очага землетрясения.

Пятилетний сейсмический прогноз рассчитывается для 20-ти участков наиболее активной части сейсмогенной зоны от Южных Курил до Камчатского залива на Камчатке. В расчетах используются пятилетние значения следующих параметров: сейсмическая актив-

ность  $A_{10}$  – нормированное число землетрясений энергетического класса  $K_s = 10$  ( $M = 3,6$ ); параметр  $D$  – относительная, нормированная на долговременную среднюю, величина выделенной сейсмической энергии. Для уточнения используется также параметр  $A_{11}$ , аналогичный  $A_{10}$ , но определяемый за 15 лет по данным о землетрясениях средней силы ( $K_s \sim 11-12$ ,  $M \sim 4-5$ ) [5].

Многолетние исследования показали, что интенсивность сейсмического процесса в области очага готовящегося сильнейшего землетрясения в среднем возрастает на III, заключительной, стадии его развития [1, 2] и др. Основой для определения степени активизации участков, предположительно проходящих эту стадию сейсмического цикла, и отнесенных к сейсмическим брешам, являются оценки вероятности случайного появления наблюдаемых значений  $A_{10}$ ,  $A_{11}$  и  $D$  на II, стабильной стадии сейсмического цикла  $P(A_{10})$ ,  $P(A_{11})$ ,  $P(D)$ :

$$B(A_{10}, D, A_{11}) = P(A_{10}) \cdot P(D) \cdot P(A_{11}) \quad (1)$$

Принимается, что условная вероятность возникновения землетрясения с  $M \geq 7,7$  в сейсмических брешах пропорциональна  $(1-B)$  и длине участка  $L$  при суммарной вероятности такого землетрясения во всей зоне прогноза равной 100% [2] и др.:

$$P(M \geq 7,7) = L \cdot (1-B) \quad (2)$$

Таким образом успешно выделяются 2–3 наиболее опасные сейсмические бреша региона. В целом, прогнозы, составленные для Курило-Камчатской островной дуги по применяемому методу с 1965 г., выполнялись с вероятностью 0,8–0,9 [2–5].

При анализе полученных прогнозов проводятся также сопоставления с результатами широкого круга других работ. Более подробно этот вопрос рассмотрен в [4]. Применение метода возможно и в других регионах мира со сходным строением, геодинамикой и сейсмичностью, а также для долгосрочного прогноза цунами.

### **Долгосрочный сейсмический прогноз для Курило-Камчатской дуги на IX 2015 – VIII 2020 гг. (по оценкам на сентябрь 2015 г.)**

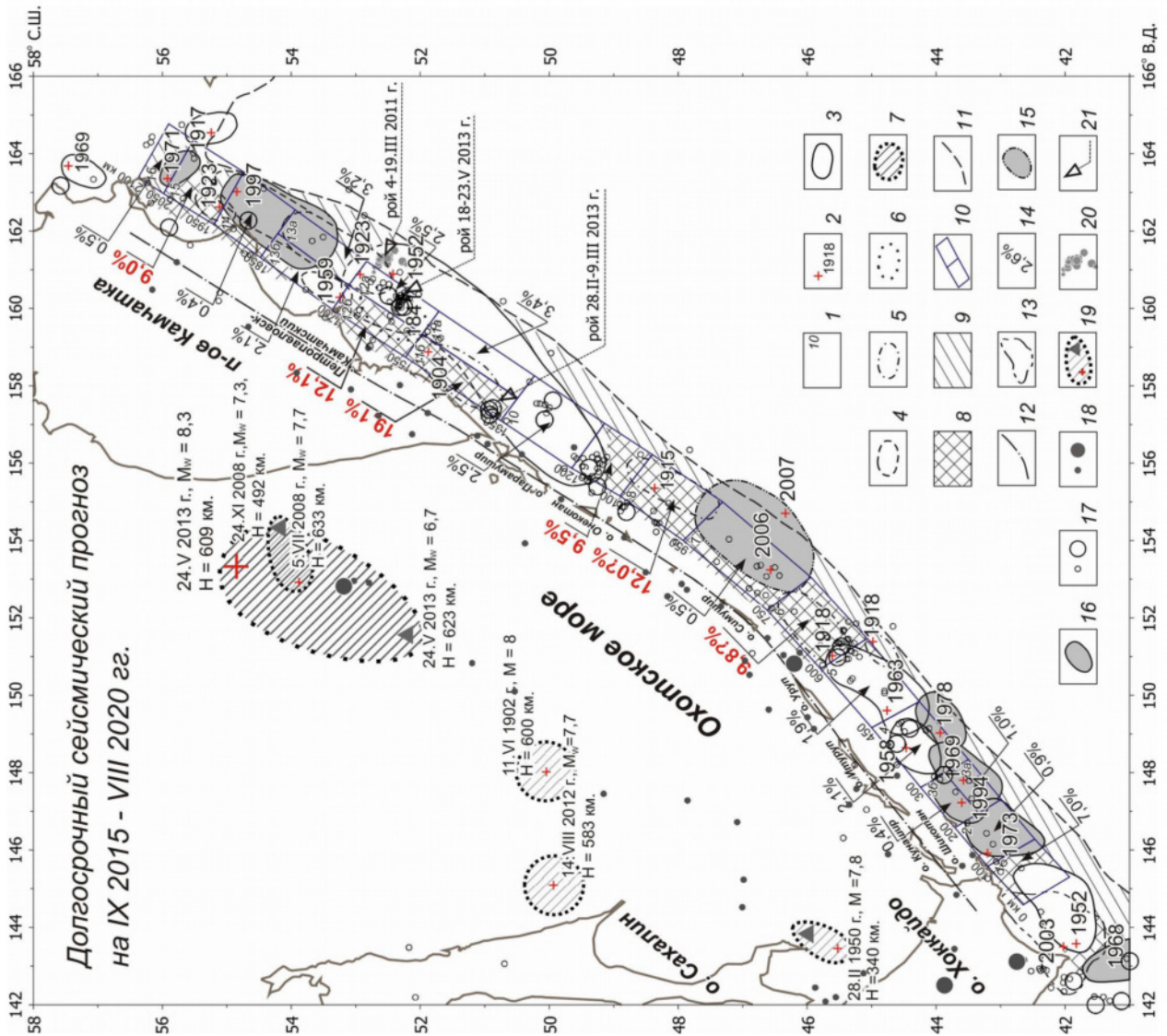
Представляемый долгосрочный сейсмический прогноз для Курило-Камчатской дуги построен по данным региональных каталогов КФ и СФ ГС РАН (<ftp://ftp.gsras.ru/pub/>) до 5.VIII 2015 г. Основные результаты прогноза, приведены в таблице и на рисунке и заключаются в следующем.

Наиболее вероятными местами следующих сильнейших ( $M \geq 7,7$ ) землетрясений с глубиной очагов  $H \leq 80$  км на период IX 2015 – VIII 2020 гг. остаются участки в районе г. Петропавловск-Камчатский: 12б –  $P(M \geq 7,7) = 12,1 \%$  и 11б –  $P(M \geq 7,7) = 19,1 \%$ . Таким образом, пятилетняя суммарная вероятность 8–9-балльных землетрясений в г. Петропавловск-Камчатский, произошедших в участках сейсмической брешы: Южная Камчатка – Авачинский залив длиной 350 км, рисунке, равна 31,2 %.

Вероятность же 9-балльных землетрясений в г. Петропавловск-Камчатский в этот период равна 12,1 %, что в 3–4 раза превышает среднюю долговременную вероятность по всей Курило-Камчатской сейсмогенной зоне.

Карта долгосрочного сейсмического прогноза для Курило-Камчатской дуги, очагов курило-камчатских землетрясений 1902–2015 гг. с

$M \geq 7,7$  и вероятностей возникновения неглубоких ( $H < 80$  км) таких землетрясений в IX 2015 – VIII 2020 гг.: 1 – номера участков; 2 – инструментальные эпицентры главных толчков землетрясений с  $M \geq 7,7$ ; 3–7 – границы очагов землетрясений с  $M \geq 7,7$ , проведенные с различной точностью; 8–9 – наиболее вероятные и возможные места следующих землетрясений с  $M \geq 7,7$ ; 10 – границы участков прогноза; 11 – оси глубоководных желобов; 12 – ось вулканического пояса Курило-Камчатской дуги; 13 – предварительное определение границы очага землетрясения у Хоккайдо 25.IX 2003 г.,  $M = 8,1$ ; 14 – вероятности землетрясений  $M \geq 7,7$  в IX 2015 – VIII 2020 гг., табл.; 15 – область очага предсказанного землетрясения 15.XI 2006 г.,  $M = 8,2$ ; 16 – области очагов других землетрясений с  $M \geq 7,7$ , которые произошли после 1965 г. в предсказанных сейсмических брешах; 17 – эпицентры неглубоких землетрясений, произошедших в период 6.VIII 2010 – 5.VIII 2015 гг., меньший кружок, соответствует  $M = 5,0-5,9$ , больший –  $M = 6,0-7,4$ ,  $H < 80$  км; 18 – то же с  $H \geq 80$  км; 19 – эпицентры и предположительные области очагов глубоких ( $H > 300$  км) сильнейших землетрясений, треугольники – положение их главных афтершоков; 20 – рой землетрясений 4–19.III 2011 г.,  $M_{max} \leq 5,2$ ,  $H < 80$  км; 21 – рой землетрясений 28.II – 9.III 2013 г.,  $M_{max} = 6,9$ , и 18–23.V 2013 г.,  $M_{max} = 6,1$ ,  $H < 80$  км. Средняя вероятность возникновения курило-камчатских землетрясений с  $M \geq 7,7$  в одном месте в течение 5 лет равна 3,6–4,2%.



Долгосрочный сейсмический прогноз для Курило-Камчатской дуги на IX 2015 – VIII 2020 гг. ( $H \geq 80$  км), полученный с использованием параметров  $A_{10}$ ,  $D$ ,  $A_{11}$ .

Участок	$\Delta$ , км	Район	Стадия цикла и ее оценка по данным 2010-2015 гг. (VIII 2010 г. – VIII 2015 г.)					Прогноз на IX 2015 – VIII 2020 гг.						Вероятная очередность			
			Стадия	$P_1 = P(A_{10})$	$P_2 = P(D)$	$P_3 = P(A_{11})$	$B = (P_1 \cdot P_2 \cdot P_3)$	$A_{10}(P=0,7)$		$P_{0,8}$	$P_{0,9}$	$P_{0,15}$	$M_{max}$		$P(M \geq 7,7)\%$		
								$A_{10}$	$A_{10} \pm \sigma$								
1	0 – 100	Мыс Сириха - п-ов Немуро	III?	0,71	0,72	0,53	0,27	1,2-3	0,8-4,5	6,0	6,5	7,0	7,8	7,0	(6,2)	7	(7)
2	100 – 200	П-ов Немуро - о-в Зелёный	II					1,2	0,8-1,9	5,8	6,3	6,8		0,9	(0,9)		
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		2,1	(2,1)		
5	450 – 600	Пролив Фриза - о-в Уруп	II					1,2	0,8-1,9	5,9	6,4	6,9		1,9	(1,9)		
6	600 – 750	Мыс Кастрикум - пр. Буссоль	III?	0,97	0,50	0,66	0,32	1,2-3	0,8-4,5	6,0	6,5	7,0	8,0	9,8?	(9,9?)	4-6?	(4-6?)
7	750 – 950	О-в Симушир - пр. Крузенштерна	I					2,0	1,3-3,0	6,1	6,6	7,1		0,5	(0,5)		
8	950 – 1100	О-в Шиадоктан	III?	0,59	0,34	0,79	0,16	1,2-3	0,8-4,5	6,0	6,5	7,0	8,0	12,0?	(12,4?)	2-3?	(2-3?)
9	1100 – 1200	О-в Онекотан - пр. 3-й Курильский	III	0,23	0,04	0,52	0,005	1,2-3	0,8-4,5	6,0	6,5	7,0	7,9	9,5	(9,6)	4-6	(4-6)
10	1200 – 1350	О-в Парамушир - мыс Лопатка	II					1,2	0,8-1,9	5,9	6,4	6,9		2,5	(2,5)		
11а	1350 – 1550	Юг Камчатки, Ю-В	II					0,8	0,6-1,1	5,8	6,3	6,8		3,4	(3,4)		
11б	1350 – 1550	Юг Камчатки, С-З	III	0,55	0,01	0,27	0,002	1,3-3	0,8-4,5	6,0	6,5	7,0	8,0	19,1	(19,3)	1	(1)
12а	1550 – 1700	Зап. Авачинский - п-ов Шилунский, Ю-В	II					1,2	0,8-1,9	5,7	6,2	6,7		2,5	(2,5)		
12б	1550 – 1700	Зап. Авачинский - п-ов Шилунский, С-З	III	0,79	0,90	0,22	0,15	1,2-3	0,8-4,5	5,9	6,4	6,9	8,0	12,1	(11,9)	2-3	(2-3)
13а	1700 – 1850	Залив Кроноцкий, Ю-В	III?	0,95	0,98	0,83	0,77	1,2-3	0,8-4,5	5,9	6,4	6,9	8,0	3,2	(3,2)	8	(8)
13б	1700 – 1850	Залив Кроноцкий, С-З	II					1,2	0,8-1,9	5,9	6,4	6,9		2,1	(2,1)		
14	1850 – 1950	П-ов Кроноцкий	II					1,2	0,8-1,9	5,8	6,3	6,8		0,4	(0,4)		
15	1950 – 2050	Зап. Камчатский	III	0,51	0,84	0,14	0,06	1,2-3	0,8-4,5	6,0	6,5	7,0	7,9	9,0	(9,3)	4-6	(4-6)
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										
																	$\Sigma = 100,0$

Примечание. Даны прогнозы восьми характеристик сейсмичности Курило-Камчатской на IX 2015 – VIII 2020 гг. Для всех ее участков 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 значительна 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;  $A_{10}$  – 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. Выделены оценки вероятности сильнейших землетрясений ( $P(M \geq 7,7)$ ) и их очередность. Фигурными скобками показаны наиболее опасные районы – район г. Петропавловск-Камчатский и район Средних Курильских островов. Серым фоном выделены наиболее опасные участки. Значения вероятности  $P(M \geq 7,7)$  и вероятной очередности, указанные в скобках, соответствуют их величинам на IV 2015 – III 2020 гг. Средняя долговременная величина  $P(M \geq 7,7) = 3,6-4,2\%$ .

На Курильских островах наиболее высока сейсмическая опасность в районе Средних Курильских о-вов (6, 8 и 9 участки, рис. , табл.). Общая вероятность  $P(M \geq 7,7)$  для данного района составляет 31,3 %. Вероятность сильнейшего землетрясения в 8 участке на период IX 2015 – VIII 2020 гг. является второй-третьей по величине на Курило-Камчатской дуге и равна 12,0?%<sup>1</sup>, а в 6 участке – 9,8? %.

В остальных участках сейсмогенной зоны Курило-Камчатской дуги вероятность возникновения сильнейших землетрясений в целом близка к средней пятилетней (3,6–4,2 %) или существенно, до 10–15 раз, ниже ее.

### Особенности сейсмичности Курило-Камчатского региона в 2008 – 2013 гг.

Наиболее яркой особенностью сейсмического процесса региона в предыдущие годы является уникальная серия трех глубоких ( $H \sim 600$  км) землетрясений под Охотским морем 2008–2013 гг., а также гигантское катастрофическое землетрясение у о. Хонсю, Северо-Восточная Япония, 11.III 2011 г.,  $M_w = 9$ . Далее выделены основные результаты исследования влияния этих событий на сейсмичность Курило-Камчатской сейсмогенной зоны. Более полные данные приведены в [3].

*Глубокое землетрясение под Охотским морем 5.VII 2008 г.,  $M_w = 7,7$ ,  $H = 633$  км*, произошло к северо-западу от наиболее опасной сейсмической брешы, образованной участками 11 и 12, и к северу от второй по опасности области, участки 6 и 8, рисунок. После него 6–16.VII и 24.VII 2008 г. последовали активизации в участках 6 и 11б, а также извержение вулкана Корякский вблизи г. Петропавловск-Камчатский.

*Землетрясение Тохоку, 11.III 2011 г.,  $M_w = 9,0$ ,  $H = 29$  км*, произошло в прилегающем регионе – Северо-Восточной Японии. Тем не менее, это землетрясение оказало заметное влияние на сейсмичность Курило-Камчатской сейсмогенной зоны. В период времени 30.IX 2010 – 1.IX 2011 гг. в ней наблюдалось 8 землетрясений с  $M_w \geq 5,5$ . Показательно, что одна из предшествовавших землетрясению Тохоку активизаций с  $M_w \leq 5,2$  (указана магнитуда наиболее сильного землетрясения) имела максимум 4–9.III 2011 г. и возникла также в Авачинском заливе, участок 12, рисунок.

*14.VIII 2012 г. под Охотским морем к северо-западу от Средних Курильских островов произошло новое глубокое землетрясение с  $M_w = 7,7$ ,  $H = 583$  км*, рисунок. В течение нескольких месяцев до, а также после него в участках 6, 8, 9 (сейсмические брешы) происходили землетрясения с  $M_w \leq 6,5$ , рисунок.

*Глубокое Охотоморское землетрясение 24.V 2013 г.,  $M_w = 8,3$ ,  $H = 598$  км*, было сильнейшим глубоким землетрясением региона за весь период инструментальных наблюдений [7]. Перед ним 28.II – 9.III 2013 г. у мыса Лопатка на юге Камчатки (граница участков 10 и 11) наблюдался сильный рой неглубоких землетрясений. Наиболее сильное землетрясение этого

<sup>1</sup> Знак вопроса для участков 6 и 8 поставлен потому, что уровень сейсмичности здесь может быть завышен вследствие продолжающегося влияния концов главных разрывов близкого Средне-Курильского, Симуширского землетрясения 15.XI 2006 г.,  $M = 8,2$ , а также вследствие откликов на сильнейшее глубокое землетрясение 14.VIII 2012 г.,  $M_w = 7,7$ ,  $H = 583$  км, произошедшее у восточного побережья о. Сахалин, рис. 1.

роя с  $M_w = 6,9$  произошло 28.II 2013 г. в сейсмической брешии – в участке 11б у мыса Лопатка на южной оконечности Камчатки, рисунок. По сценарию форшоков [2, 6], сейсмическая опасность в сейсмических брешах резко возрастает после возникновения в них землетрясений с  $M \geq 6$  – вероятных форшоков. На основе этого сценария был дан прогноз повышения опасности землетрясений с  $M \geq 7,7$  в районе г. Петропавловск-Камчатский на начало марта 2013 г.

В марте–апреле 2013 г. в участках 10–11 произошли новые рои неглубоких землетрясений с максимальными магнитудами  $M_w = 5,9$  и  $6,1$ , а 18–23.V 2013 г., возникло наиболее показательное событие – рой землетрясений в Авачинском заливе, участок 12, непосредственно предварявший глубокое Охотоморское землетрясение 24.V 2013 г.,  $M_w = 8,3$ , в нижней части того же сегмента сейсмофокальной зоны, рисунок.

Таким образом, наибольший отклик на сильнейшие сейсмические события региона происходил в наиболее опасном участке – Южная Камчатка – Авачинский залив, а также во втором по опасности районе Средних Курильских о-вов, что подтверждает приведенный долгосрочный сейсмический прогноз. Оставшаяся часть наиболее значимых откликов также произошла в сейсмической брешии – участке 6.

### **Практическое применение метода. 30 лет обоснования необходимых государственных мер по сейсмоукреплению в Камчатском крае (1985–2015 гг.)**

Сейсмическая защита Камчатки и Курильских островов, в районе наивысшего в России уровня сейсмичности и сейсмической опасности, является проблемой государственной важности. Этим определяется роль работ ИВиС ДВО РАН по методу ДССП, как одной из наиболее важных работ РАН на ДВ России.

На протяжении 30 лет, с 1985 г. долгосрочные сейсмические прогнозы для Курило-Камчатской дуги являются основанием государственных мер по сейсмоукреплению в регионе. Данные этих прогнозов послужили обоснованием шести распоряжений и постановлений Совета Министров СССР, РСФСР, а также Правительства Российской Федерации о подготовке Камчатской области (края) к сильным землетрясениям [2] и др. Основные результаты этих мер представлены ниже.

В 1990–2004 гг. в г. Петропавловск-Камчатский было проведено сейсмоусиление, при котором получила защиту 1/10 часть населения города.

В 2009 г. Правительство РФ утвердило ФЦП «Повышение устойчивости жилых домов, основных объектов и систем жизнеобеспечения в сейсмических районах Российской Федерации на 2009–2018 годы». Для ее выполнения в Камчатском крае Постановлением от 30.07.2009 г. № 615 выделены 8,1 млрд. рублей на 2009–2013 гг.

На продолжение этих работ Правительством Камчатского края в рамках долгосрочной целевой программы «Повышение устойчивости жилых домов, основных объектов и систем

жизнеобеспечения в Камчатском крае на 2013–2015 годы» выделено 4,3 млрд. рублей. Ожидаемый предотвращенный ущерб составляет 43 млрд. руб.

К настоящему времени указанные мероприятия, научным обоснованием которых стали данные долгосрочных сейсмических прогнозов, позволили предотвратить ущерб в общей сложности более 400 млрд. рублей. 75 % жилых домов района г. Петропавловск-Камчатский уже имеют необходимую прочность.

Тем не менее, учитывая наивысший в России уровень сейсмичности региона, нужно отметить, что сильнейшее землетрясение в районе г. Петропавловск-Камчатский до сих пор угрожает стать тяжелым стихийным бедствием: при нем могут пострадать 100 тыс. человек, а ущерб превысить 2 трлн. рублей. В таких условиях работы по сейсмоукреплению и новому сейсмостойкому строительству в г. Петропавловск-Камчатский должны в возможно большей мере расширяться и в последующие годы.

В 2015 г. академиком С.А. Федотовым были представлены и рассматривались руководством РАН, ОНЗ и ДВО, другими учреждениями РАН, губернатором и Правительством Камчатского края, МЧС десятки сообщений и документов по этой проблеме, часть из которых перечислена далее:

Долгосрочный сейсмический прогноз для Курило-Камчатской дуги по применяемому апробированному методу на апрель 2015 – март 2020 гг., зарегистрированный Советом ИВиС ДВО и КФ ГС РАН по прогнозу землетрясений и извержений вулканов 10.04.2015 г.

Письмо губернатору Камчатского края В.И. Илюхину о наивысшей сейсмической опасности в районе г. Петропавловск-Камчатский и полной необходимости увеличения мер по сейсмоусилению от 14.04.2015 г. На основании этих данных губернатор 07.05.2015 г. обратился к президенту РФ В.В. Путину с просьбой о выделении субсидии на сейсмоукрепление в размере более 1,5 млрд. рублей ежегодно. 13.05.2015 г. президент РФ В.В. Путин дал поручение рассмотреть эту просьбу.

Зарегистрированный Советом долгосрочный сейсмический прогноз на октябрь 2015 – сентябрь 2020 гг. (приведен выше в статье) и письмо губернатору Камчатского края от 17.10.2015 г., подтверждающие полную необходимость увеличения работ по сейсмо-укреплению.

В течение всего 2015 г. в РЭС МЧС и РАН, РГ РАН «Риск и безопасность», ИФЗ и ОНЗ РАН и ЭС МЧС по предложению С.А. Федотова рассматривался важный вопрос о поддержке МЧС России работ по сейсмоукреплению в Камчатском крае. 26.11.2015 г. на заседании НТС ВНИИ ГОЧС МЧС России был заслушан доклад С.А. Федотова, Н.А. Махутова, А.В. Николаева и Е.А. Рогожина «О наибольшей сейсмической опасности и необходимости увеличения мер по сейсмоусилению в Камчатском крае». После него было принято решение НТС: «Поддержать представленное обоснование необходимости проведения мероприятий сейсмозащиты на полуострове Камчатка», и Камчатским краем были запрошены в 2015 г. субсидии на дальнейшее сейсмоукрепление с предотвращением ущерба размером более 15 млрд. рублей ежегодно.

В 2016 г. и последующие годы необходимо продолжение и развитие работ по долгосрочному сейсмическому прогнозу, другим методам сейсмического прогноза и оценке сейсмического риска – всего комплекса необходимых работ по научному обоснованию мер обеспечения сейсмобезопасности в регионе.

### Заключение

На протяжении 30 лет работы по долгосрочному прогнозу сильнейших землетрясений Курило-Камчатской дуги служат обоснованием мер по обеспечению сейсмобезопасности в Камчатском крае, и относятся к наиболее важным работам РАН на Дальнем Востоке России. На основании этих работ проведены крупные мероприятия по сейсмоукреплению домов, зданий и сооружений.

Последние полученные результаты долгосрочного сейсмического прогноза Курило-Камчатской дуги на период IX 2015 – VIII 2020 гг. подтверждают существующую сейсмическую опасность в регионе. В 9-балльной зоне Курильских о-вов и тихоокеанского побережья Камчатки возникновение сильнейших землетрясений в ближайшие годы наиболее вероятно в районах Авачинского залива и Юга Камчатки – самой большой, длиной 350 км, сейсмической брешы Курило-Камчатской дуги. Вероятность того, что в этом районе произойдет землетрясение с  $M \geq 7,7$ , которое будет иметь силу 9 баллов в г. Петропавловск-Камчатский и катастрофические последствия в настоящее время в 3–4 раза больше средней в полосе прогноза. В указанной брешы возможно также гигантское землетрясение  $M \geq 8,3$  с началом разрыва в Авачинском заливе, в непосредственной близости от города, рисунок.

Вторым по уровню сейсмической опасности на IX 2013 – VIII 2018 гг. сегментом Курило-Камчатской дуги являются участки дуги на Курильских островах, один из которых расположен к юго-западу от области очага Средне-Курильского (Симуширского) землетрясения 15.XI 2006 г.,  $M_w = 8,2$ , а два остальных – к северо-востоку от него, рисунок.

Наибольшие отклики на серию трех глубоких ( $H \sim 600$  км) землетрясений под Охотским морем 2008–2013 гг., а также гигантское землетрясение 11.III 2011 г. Тохоку, Северо-Восточная Япония, проявились в местах предполагаемых разрывов вблизи границ Симуширского землетрясения 15.XI 2006 г., а также в Авачинском заливе – возле эпицентра Камчатского землетрясения 4.XI 1952 г.,  $M = 8,5$ , рисунок. Указанные активизации могут быть связаны с формированием границ очагов сильнейших землетрясений, наибольшее из которых возможно в проекции на область очага 1952 г. глубокого землетрясения 24.V 2013 г., что независимо указывает на высокую сейсмическую опасность этих участков, отмеченную результатами долгосрочного сейсмического прогноза. В таких условиях работы по обеспечению сейсмобезопасности в г. Петропавловск-Камчатский должны расширяться.

Исследования велись по Проекту ДВО РАН № 15-I-2-035 «Долгосрочный сейсмический прогноз для Курило-Камчатской дуги: продолжение прогноза, обоснование мер по повышению сейсмостойкости, развитие метода и применение в других регионах мира».



*Благодарности.* В предыдущие годы президент РАН академик Ю.С. Осипов, вице-президент РАН академик Н.П. Лаверов, председатель ДВО РАН академик В.И. Сергиенко, академик-секретарь ОНЗ РАН академик А.О. Глико, губернатор Камчатского края В.И. Илюхин неизменно поддерживали исследования и выдвигали необходимые предложения. Авторы выражают глубокую признательность Л.С. Шумилиной и другим участникам исследований по долгосрочному сейсмическому прогнозу, а также коллективам сейсмологов ТСЭ ИФЗ АН СССР, ИВ – ИВиС ДВО РАН, КОМСП – КФ ГС РАН, чьи данные использовались при составлении прогнозов в 1965–2015 гг.

### Список литературы

1. Родкин М.В. Сейсмический режим в обобщенной окрестности сильного землетрясения // Вулканология и сейсмология. 2008. № 6. С. 66–77.
2. Федотов С.А. Долгосрочный сейсмический прогноз для Курило-Камчатской дуги. М.: Наука, 2005. 303 с.
3. Федотов С.А., Соломатин А.В. Долгосрочный сейсмический прогноз для Курило-Камчатской дуги на IX 2013 – VIII 2018 гг.; особенности сейсмичности дуги в период предшествовавших глубоких охотоморских землетрясений 2008, 2012 и 2013 гг. с  $M = 7.7, 7.7$  и  $8.3$  // Вулканология и сейсмология. 2015. № 2. С. 3–19.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. Чебров В.Н., Кугаенко Ю.А., Викулина С.А. и др. Глубокое охотоморское землетрясение 24.05.2013 г. с магнитудой  $M_w = 8.3$  – сильнейшее сейсмическое событие у берегов Камчатки за период детальных сейсмологических наблюдений // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2013. Вып. 21. № 1. С. 17–24.
- 8.