



**Долгосрочный сейсмический прогноз
для Курило-Камчатской дуги: развитие,
прогноз на 2009-2014 гг., обоснование мер
по сейсмозащите в 1986-2009 гг.**

**С.А.ФЕДОТОВ,
А.В.СОЛОМАТИН, С.Д.ЧЕРНЫШЕВ**
Институт вулканологии и сейсмологии
ДВО РАН, б-р Пийпа, 9,
Петропавловск-Камчатский, 683006.

e-mail: karetn@online.ru;
chernsd@yandex.ru; alf55@mail.ru

Введение

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

брешей”) и сейсмического цикла.

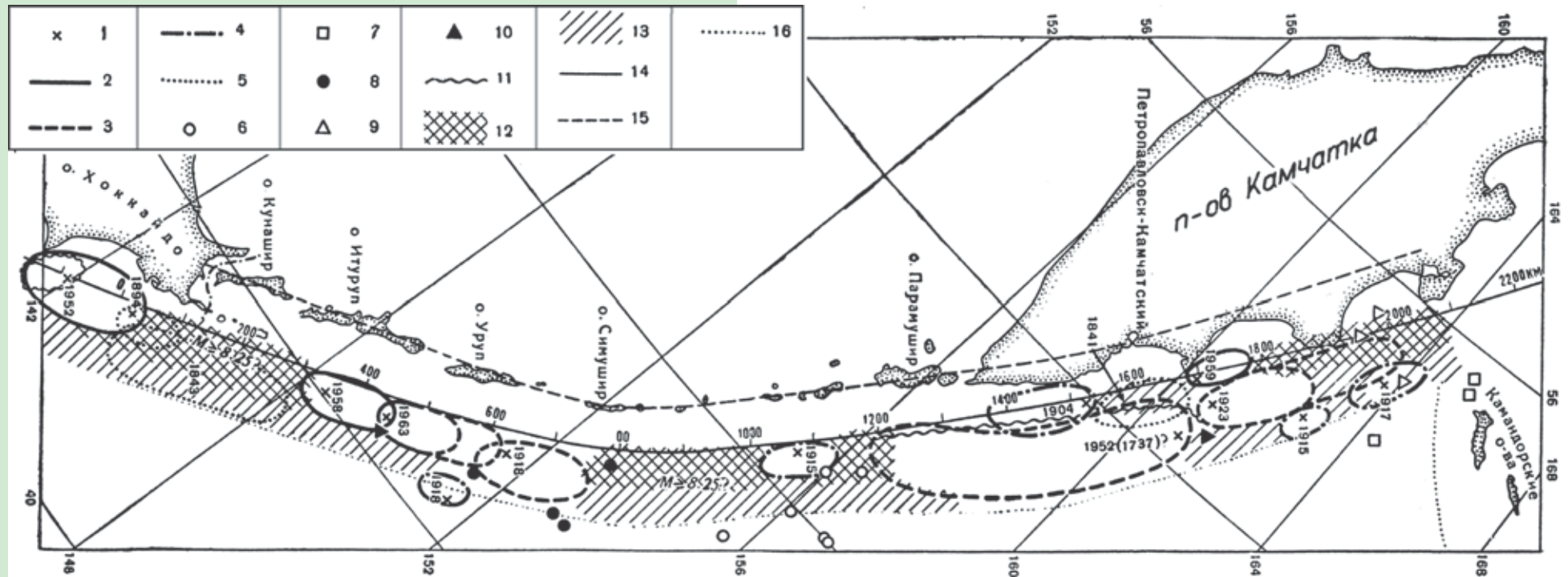
В круг задач и вопросов долгосрочного сейсмического прогноза входят изучение закономерностей сейсмического процесса, получение данных об опасности сильнейших землетрясений, составление и совершенствование долгосрочных сейсмических прогнозов, необходимых для подготовки к сильнейшим землетрясениям и для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

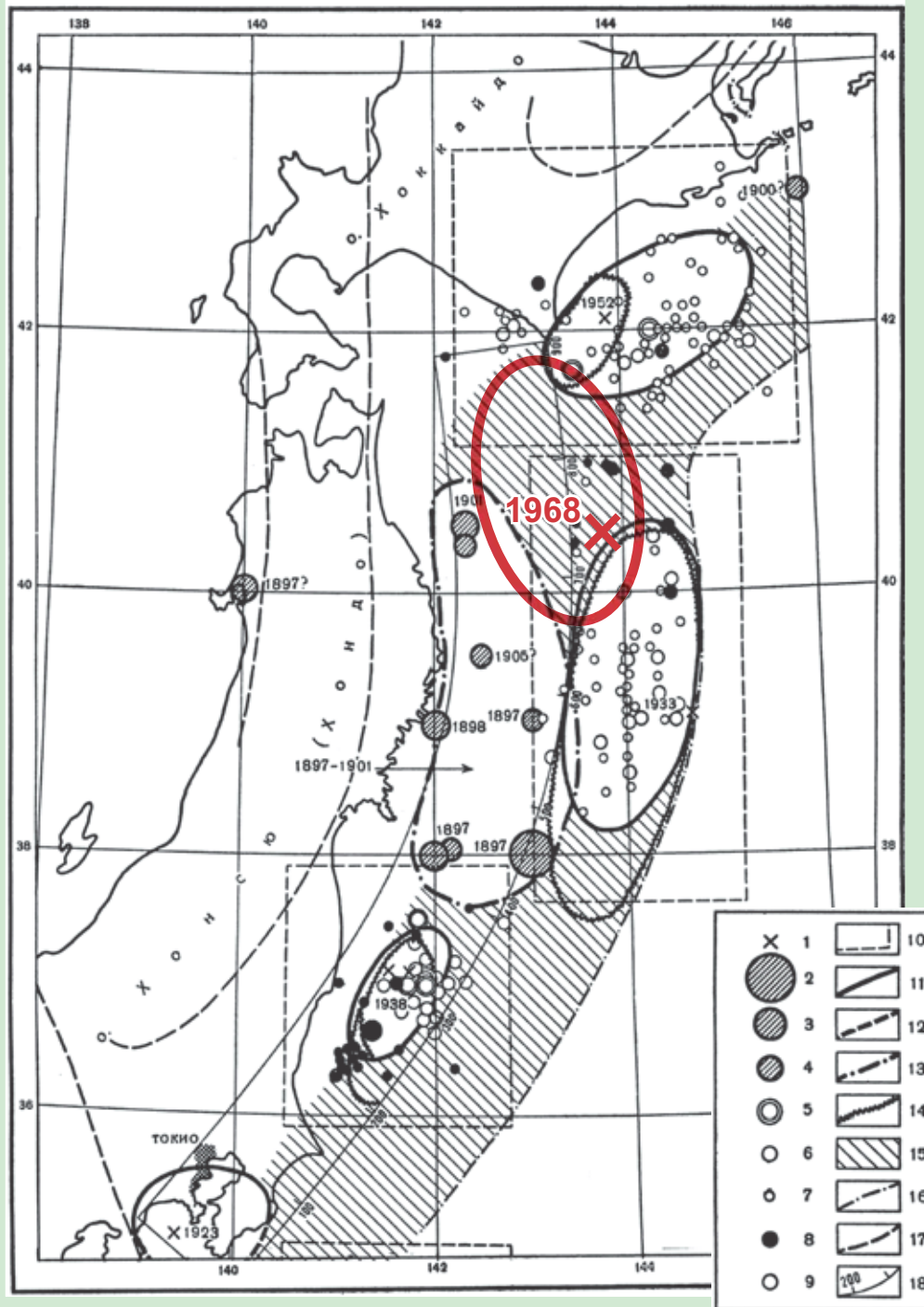
Метод долгосрочного сейсмического прогноза одновременно является долгосрочным прогнозом цунами для Курило-Камчатской дуги, а также может применяться в других регионах мира, имеющих сходные структуру, геодинамику и сейсмотектонику.

Первая карта вероятных мест следующих курило-камчатских землетрясений с $M \geq 7.75$, «сейсмических брешей», опубликованная в 1965 году [Федотов, 1965]. Наиболее крупные сейсмические брешии располагались тогда в районе Южных Курил, Средних Курил и Кроноцкого п-ова - Камчатского залива.

1 - инструментальные эпицентры сильных землетрясений; 2 - границы областей очагов сильных землетрясений; 3 - неуверенные участки границы или возможные варианты границ областей очагов; 4 - возможные области очагов; 5 - предполагаемые области очагов наиболее сильных землетрясений прошлого столетия; 6 - 1.V 1915 г.; 7 - 30.I 1917 г.; 8 - 7.IX 1918 г.; 9 - 3.II 1923 г.; 10 - сильные форшоки землетрясений 1923 и

1963 г.; 11 - границы областей возникновения цунами; 12 - наиболее вероятные места следующих землетрясений с $M \geq 7.75$; 13 - менее вероятные места следующих землетрясений с $M \geq 7.75$; 14 - линия отсчета расстояний, проведенная вдоль места выхода на дно океана Тихоокеанской фокальной зоны; 15 - оси глубоководных впадин; 16 - ось Курило-Камчатского вулканического пояса.





Области очагов сильных землетрясений ($M \geq 7\frac{3}{4}$) северо-восточной Японии в 1897 - 1963 гг. и вероятные места следующих землетрясений с $M \geq 7\frac{3}{4}$.

Инструментальные эпицентры землетрясений: **1** – 1923-1963 гг.; **2** – 1897-1905 гг. с $M = 8.5-8.75$; **3** – $M = 8-8.25$; **4** – $M = 7\frac{3}{4}$; эпицентры форшоков и афтершоков: **5** – $M \geq 7$; **6** – $M = 6.0-6.9$; **7** – $M = 5.0-5.9$; **8** – эпицентры форшоков; **9** – эпицентры афтершоков; **10** – границы областей, в которых нанесены все землетрясения за 1933, 1938, 1952 и 1953 гг., включая форшоки и афтершоки; **11** – границы областей очагов сильных землетрясений; **12** – неуверенные участки границ областей очагов; **13** – возможная граница области землетрясений 1897-1901 гг.; **14** – границы областей возникновения цунами; **15** – вероятные места возникновения следующих сильных землетрясений; **16** – оси глубоководных впадин; **17** – оси вулканических поясов; **18** – линия отсчета расстояний вдоль континентального склона глубоководной впадины.

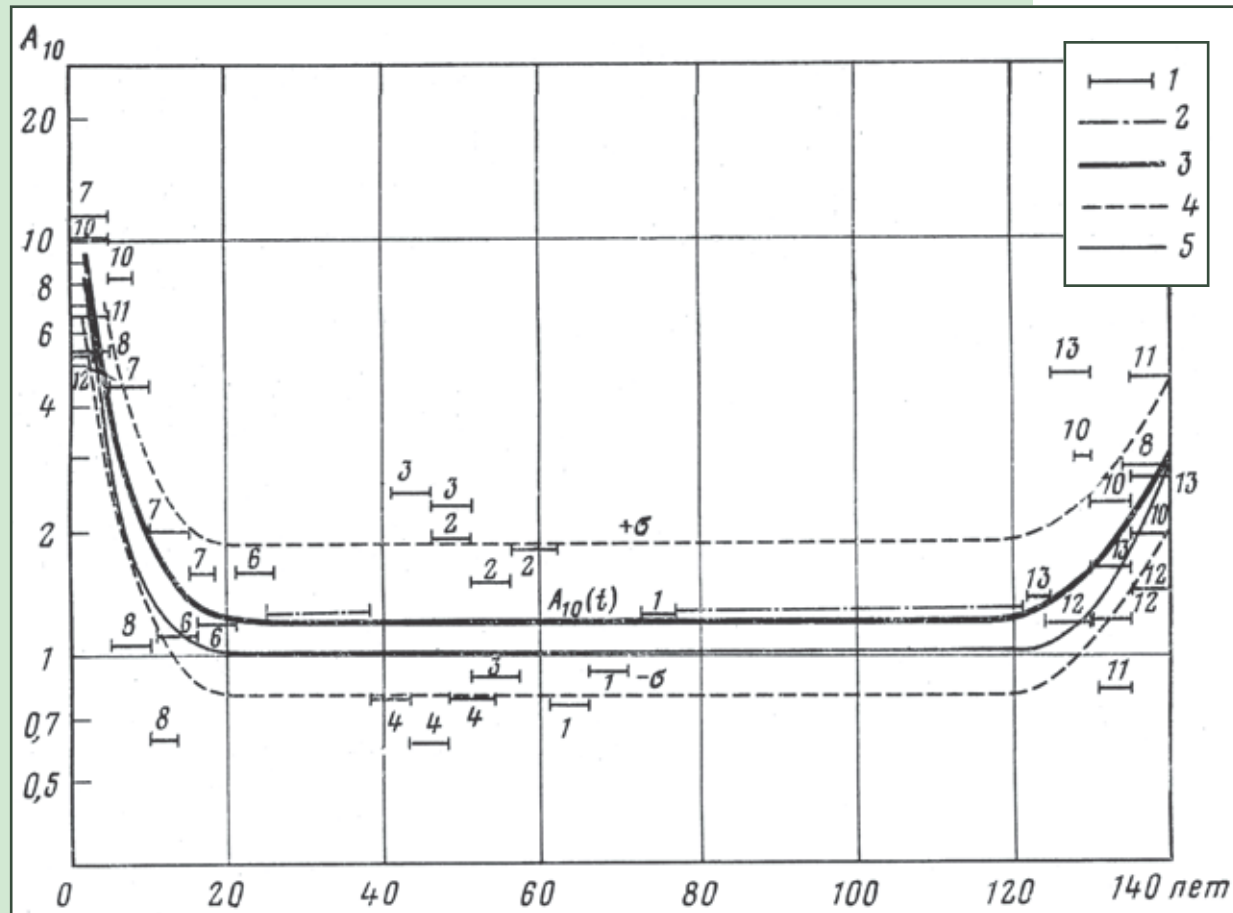
На карту [Федотов, 1965] добавлены выделенные красным цветом эпицентр и очаг землетрясения 6.V 1968 г., $M=7.9$, заполнившего в соответствии с данным сейсмическим прогнозом сейсмическую брешь между очагами сильнейших землетрясений 1897-1901 гг. ($M=7.9-8.3$), 1933 г. ($M=8.5$) и 1952 г. ($M=8.3$).

Изменение сейсмической активности $A_{10}(t)$ в течение сейсмического цикла для землетрясений Курило-Камчатской сейсмофокальной зоны и северо-восточной Японии.

1 – средние значения сейсмической активности за 5 лет (цифры соответствуют номеру землетрясения в табл.); 2 – среднегодовое значение A_{10} , определенное по годовым

картам сейсмической активности Камчатки; 3 – осредненный график изменения A_{10} в течение цикла; 4 – границы среднеквадратического отклонения $\sigma(\lg A_{10}) = \pm 0.18$; 5 – гра-

фик $A_{10}(t)$, полученный ранее [Федотов, 1968].



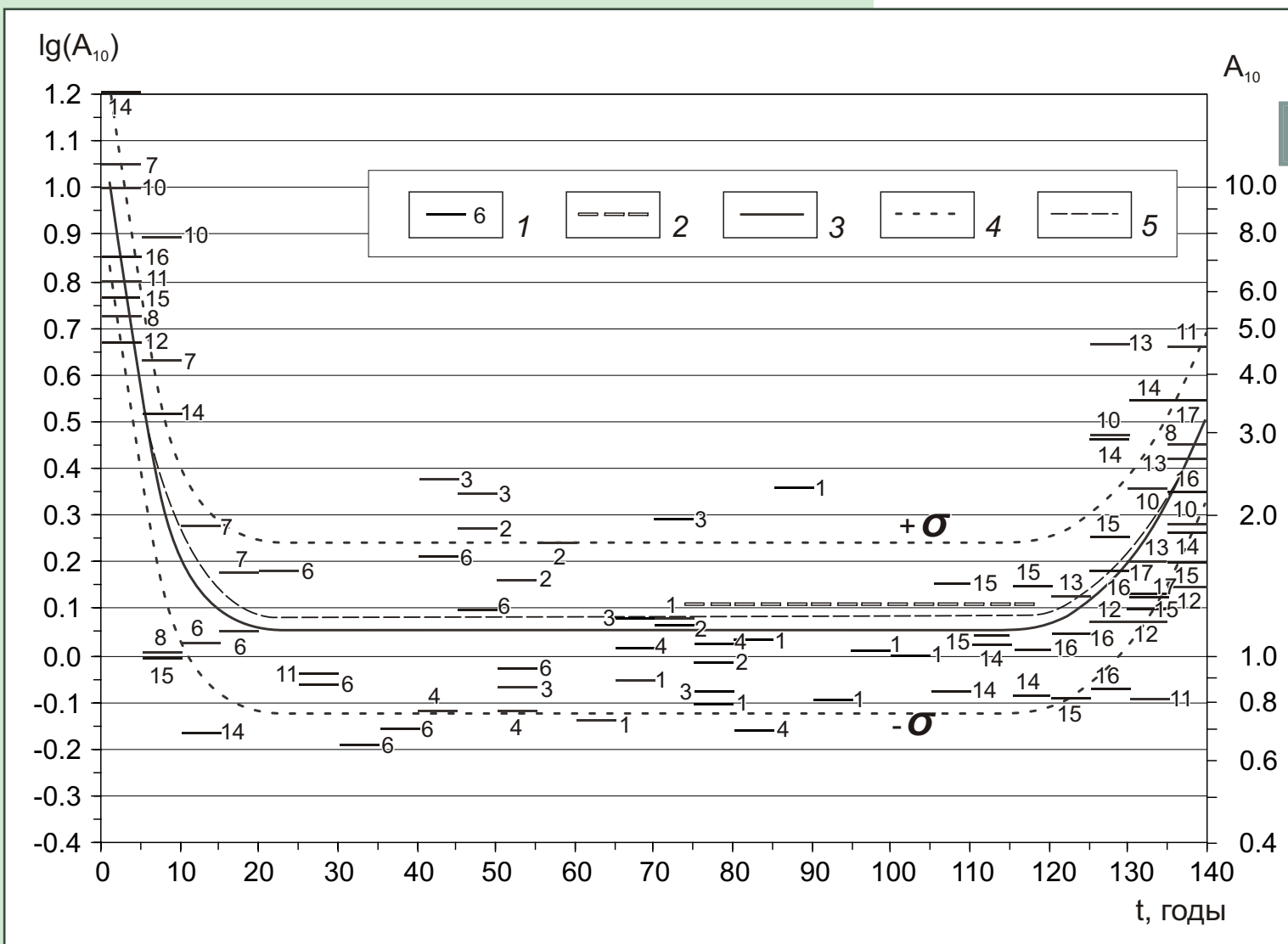
A_{10} – нормированное число слабых землетрясений энергетического класса $K_S=10$, $M=3.2$ в год на площади 10^3 км^2 .

Инструментальные данные о землетрясениях Камчатки, Курильских островов и северо-восточной Японии ($M \geq 7\frac{3}{4}$, $H < 80 \text{ км}$)

№	Дата	Район	$\varphi^\circ \text{ N}$	$\lambda^\circ \text{ E}$	h, км	M
1	25.VI 1904	Восточнее Южной Камчатки	52.0	159.0	15 - 60	7.7
	25.VI 1904		52.0	159.0	15 - 60	7.7
2	1.V 1915	Восточнее Онекотана	48.4	155.5	30 ± 30	8.3
3	7.IX 1918	Восточнее Урупа - Симушира	45.6	151.1	$40 + 20$	8.2
4	3.II 1923	Кроноцкий залив	53.0	161.0	10 - 40	8.5
5	4.III 1952	Восточнее Хоккайдо	41.9	143.7	50 ± 10	8.3
6	4.XI 1952	Восточнее Южной Камчатки - Парамушира	52.3	161.0	10 - 40	8.5
7	6.XI 1958	Восточнее Итурупа	44.5	148.5	40 ± 20	8.2
8	13.X 1963	Восточнее Урупа	44.8	149.5	47 ± 10	8.1
9	16.V 1968	Восточнее севера Хонсю	40.7	143.6	0	7.9
10	11.VIII 1969	Восточнее Шикотана	43.6	147.8	40 ± 10	8.2
	11.VIII 1969		43.6	147.2	38 ± 15	7.8
11	15.XII 1971	Восточнее п-ова Камчатского	55.9	163.4	20 - 30	7.7
12	17.VI 1973	Восточнее п-ова Немуро	43.2	145.9	55 ± 10	7.9
13	23.III 1978	Восточнее Итурупа	43.9	148.9	40	7.8
	24.III 1978		43.9	149.1	39	8.0

Обновленный вариант цикла A_{10}

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 1-13 соответствуют номеру землетрясения в табл. на предыдущей странице, цифры 14-17 - таблице внизу страницы); **2** – уровень A_{10} , определенный по 72 точкам годовых карт сейсмической активности Камчатки 1962-1978 г.; **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 (пред. стр.).



■ Землетрясения Курило-Камчатской дуги 1994-2006 гг., $M \geq 7.7$, $H < 100$ км, использованные при уточнении сейсмического цикла $A_{10}(t)$.

№	Год	Дата	Время, ч, мин	Район	с.ш.°	в.д.°	Н, км	M^*
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

Изменение интенсивности сбрасывания сейсмической энергии, определяемой параметром $D(t)$, в течение сейсмического цикла для землетрясений Курило-Камчатской сейсмофокальной зоны и северо-восточной Японии.

1 – средние за 5 лет значения D в областях очагов землетрясений с $M \geq 7\frac{3}{4}$ (цифры соответствуют номеру землетрясения в таб-

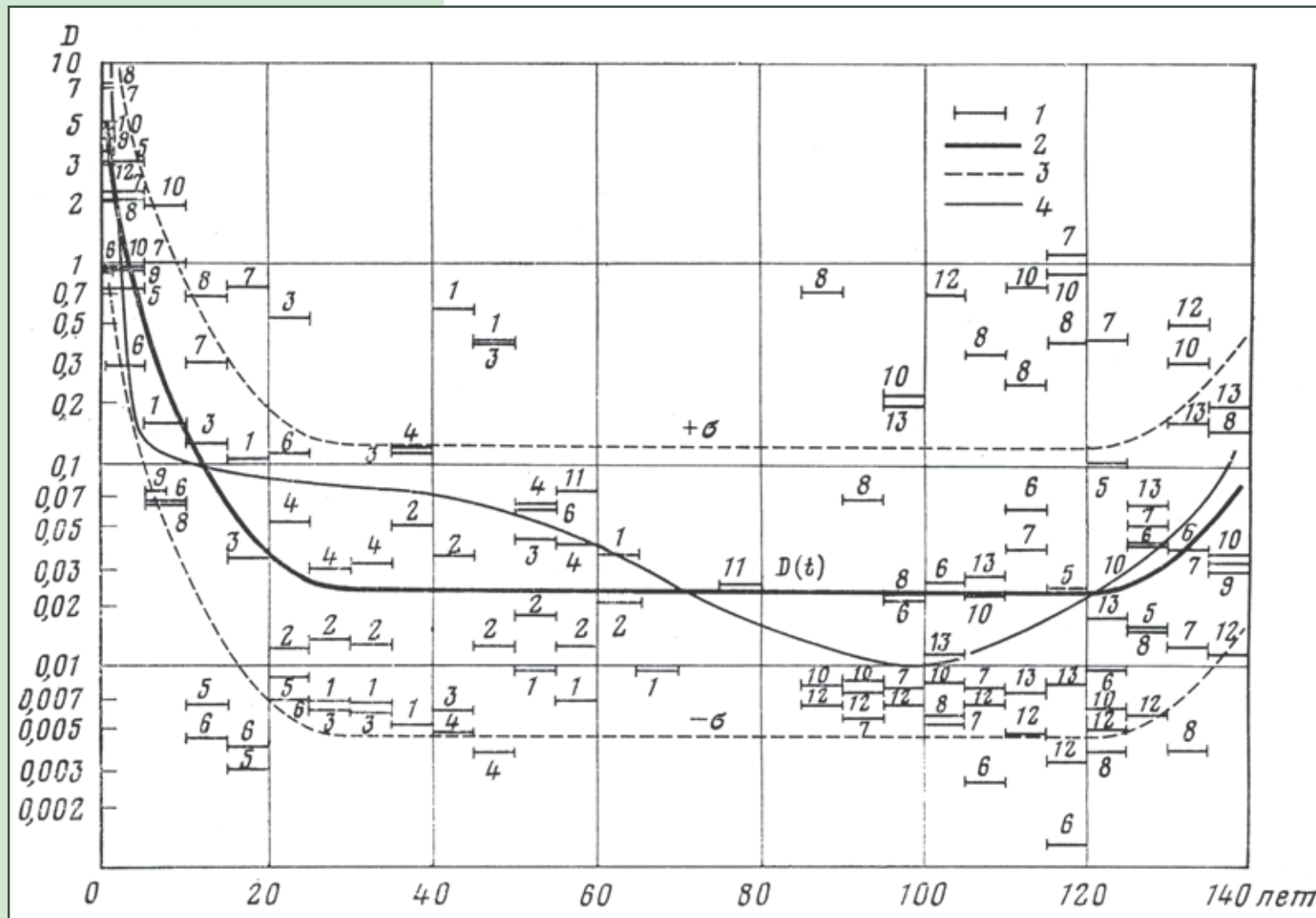
лице на предыдущей стр.); 2 – осредненный график изменения в течение цикла; 3 – границы среднеквадратичного отклонения $\sigma(\lg$

$D) = \pm 0,72$; 4 – график $D(t)$, полученный ранее [Федотов, 1968].

D - относительная величина сброшенной сейсмической энергии:

$$D(t) = E_2(t) / E_1,$$

где $E_2(t)$, Дж/год $\cdot 10^3$ км² - нормированная величина сейсмической энергии, выделяющейся в рассматриваемом участке за время t , а E_1 , Дж/год $\cdot 10^3$ км² - средняя нормированная величина сейсмической энергии, выделяющейся в Курило-Камчатской сейсмогенной зоне.



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.

Важным положением метода является понятие однородности основных параметров сейсмического процесса, определяемых для больших сегментов Курило-Камчатской сейсмогенной зоны на всем ее протяжении. Это условие оправдывается, и важным подтверждением его справедливости явился успешный прогноз Средне-Курильского (Симуширского) землетрясения 15.XI 2006 г., $M=8.2$ в районе Средних Курильских островов, где, как предполагалось многими исследователями землетрясения с $M>7.5$ были невозможны.

В основе метода долгосрочного прогноза С.А. Федотова лежат понятия о таких фундаментальных свойствах в общем случае сложного и неоднозначного в своих проявлениях сейсмического процесса, как “сейсмическая брешь” и “сейсмический цикл”.

Понятие “сейсмическая брешь”. Анализ размещения очагов сильных землетрясений Камчатки, Курильских островов и северо-восточной Японии в самом начале исследований привел к выводу, что области очагов сильных землетрясений стремятся не перекрывать друг друга, что позволяет определять наиболее вероятные места следующих таких землетрясений.

Понятие “сейсмический цикл”. В первых работах, на основе которых создавался метод, было введено понятие «сейсмический цикл» - закономерное изменение сейсмического режима в данном месте в интервале времени между

двумя землетрясениями максимальной силы, происшедшими в нем. Была определена его длительность для сильнейших землетрясений Камчатки, Курильских островов и Японии, равная 140 ± 60 лет или 120 ± 50 лет (верхняя и нижняя оценка). На основе известной длительности сейсмического цикла уточняется относительная опасность различных сегментов сейсмогенной зоны.

Для длительных - пятилетних периодов времени при усреднении на площадях, равных размеру очага сильнейшего землетрясения или больших может быть представлен в виде трех стадий: I – наиболее активная стадия афтершоков, длящаяся ~ 20 лет; II - длительная стадия стабильного режима; III - заключительная стадия, стадия форшоковой активизации, длящаяся ~ 20 лет.

В настоящее время метод позволяет прогнозировать для 20 участков (длиной 100-200 км.) наиболее активной части Курило-Камчатской сейсмофокальной зоны - полосы шириной 100 км. и глубинами гипоцентров землетрясений до 80 км. такие параметры, как:

- места “сейсмических брешей”;
- относительная опасность “сейсмических брешей”;
- сейсмическую активность A_{10} (число слабых землетрясений энергетического класса $K_S = 10$ 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;
- вероятности возникновения сильнейших землетрясений с $M \geq 7.7$.

Долгосрочные сейсмические прогнозы составляются на 5 (реже 10 и более) следующих лет, что приблизительно равно средней повторяемости сильнейших землетрясений во всей Курило-Камчатской дуге, в случае необходимости - чаще. Полученные прогнозы сопоставляются с долгосрочными сейсмическими прогнозами, полученными другими методами ($M8$ и др.).

Основные сейсмические, расчетные и прогнозируемые параметры, используемые в методе долгосрочного сейсмического прогноза С.А. Федотова

Параметры, характеризующие сейсмический процесс и расчетные параметры

A_{10}^*	Нормированное число слабых землетрясений энергетического класса $K_S=10$, $M=3.2$ в год на площади 10^3 км^2 .
D^*	Относительная величина сброшенной сейсмической энергии. $D(t)=E_2(t)/E_1$, где $E_2(t)$, Дж/год $\cdot 10^3 \text{ км}^2$ -нормированная величина сейсмической энергии, выделяющейся в рассматриваемом участке за время t , а E_1 , Дж/год $\cdot 10^3 \text{ км}^2$ - средняя нормированная величина сейсмической энергии, выделяющейся в Курило-Камчатской сейсмогенной зоне.
A_{11}^*	Параметр, построенный аналогично A_{10} на основе землетрясений класса $K_S=11$, $M=4.3$ и выше. Имеет несколько отличные от A_{10} свойства.
Δ, t_0	Длина участка и время предыдущего землетрясения.
$P_1=P(A_{10}), P_2=P(D)$	Вероятности случайного превышения для данных значений A_{10} и D соответствующих средних значений, характерных для II стадии сейсмического цикла.
$P_3^{11}=P(A_{11})$	Аналогично для A_{11} .
$V=(P_1 \cdot P_2)$ или $V=(P_1 \cdot P_2 \cdot P_3^{11})$	Вероятность случайного достижения аномально высоких значений всеми двумя (тремя) параметрами независимо друг от друга.

* Определяется по участкам площадью около 15 тыс. кв. км. за период длительностью 5 лет.

Прогнозируемые параметры

Стадия цикла (I, II, III)	Характеризует степень опасности участка сейсмофокальной зоны. Определяется по времени последнего сильнейшего землетрясения в нем.
$A_{10}(P \sim 0.7)$	Среднее значение и границы параметра A_{10} для данной стадии цикла.
$M(P \sim 0.8, 0.5, 0.15)$	Максимальные магнитуды ожидаемых с вероятностью $P=0.8, 0.5, 0.15$ землетрясений.
M_{MAX}	Максимальная для данного участка магнитуда, определяемая по его размерам.
$P(M \geq 7.7)\%$	Вероятность сильнейшего ($M \geq 7.7$) землетрясения на данном участке в следующие пять лет. Пропорциональна величине $1-V$ и Δ для участка являющегося "сейсмической брешью" или определяется по времени t_0 на основе распределений $T_1 = 140 \pm 60$ или $T_2 = 120 \pm 50$ лет для остальных участков.
Вероятная очередность	Порядок по степени опасности для "сейсмических брешей" .
$N(t, M \geq 6)$	Суммарное количество афтершоков сильнейшего землетрясения, имеющих магнитуду $M \geq 6$, ожидаемых за период t после сильнейшего землетрясения.

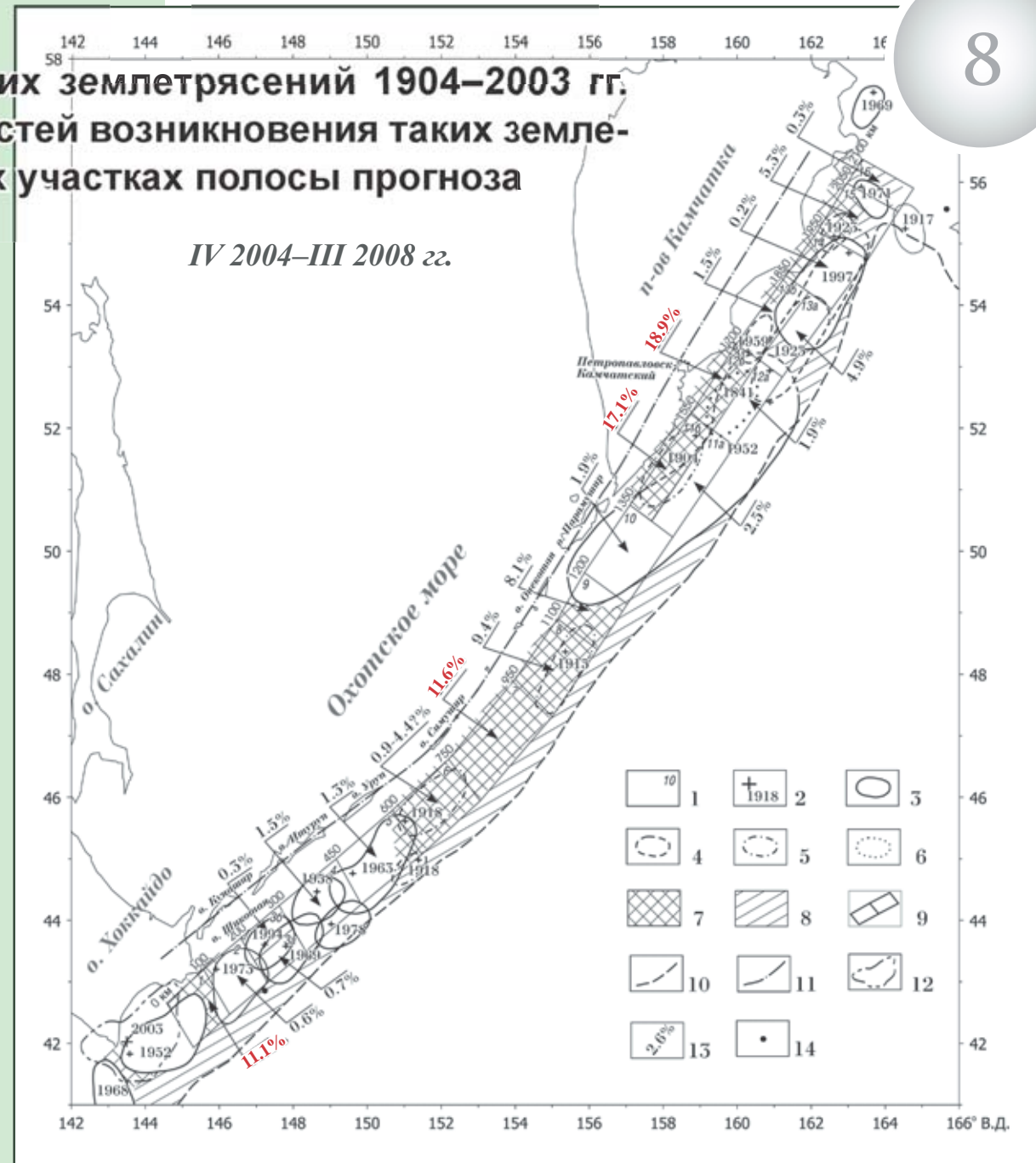
Дополнительные возможности метода:

- краткосрочный прогноз на основе "сценария форшоков";
- прогноз опасных афтершоков с магнитудой от $M=6$ до равных по магнитуде основному землетрясению, что необходимо в период спасательно-восстановительных работ;
- долгосрочный сейсмический прогноз может быть одновременно прогнозом цунами;
- метод может быть распространен на другие сейсмоопасные регионы, сходные с Курило-Камчатским.

Карта очагов курило-камчатских землетрясений 1904–2003 гг. с $M \geq 7.7$, $H = 0-80$ км и вероятностей возникновения таких землетрясений в 2004–2008 гг. во всех участках полосы прогноза

■ Пример карты долгосрочного сейсмического прогноза, построенной до Средне-Курильского (Симуширского) землетрясения 15.XI 2006 г., $M=8.2$, можно отметить значительную вероятность сильнейшего землетрясения в участке №7, а также в целом для “сейсмической бреши”, представленной участками №№6-9.

1 - номер участка; **2** - инструментальные эпицентры главных толчков землетрясений с $M \geq 7.7$ и их даты; **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 25.09.2003 г., $M=8.1$; **13** - вероятности землетрясений $M \geq 7.7$ на период 2004-2008 гг. по участкам прогноза; **14** - эпицентры землетрясений с $6.9 < M < 7.7$, произошедших в IV 1999-III 2004 гг.

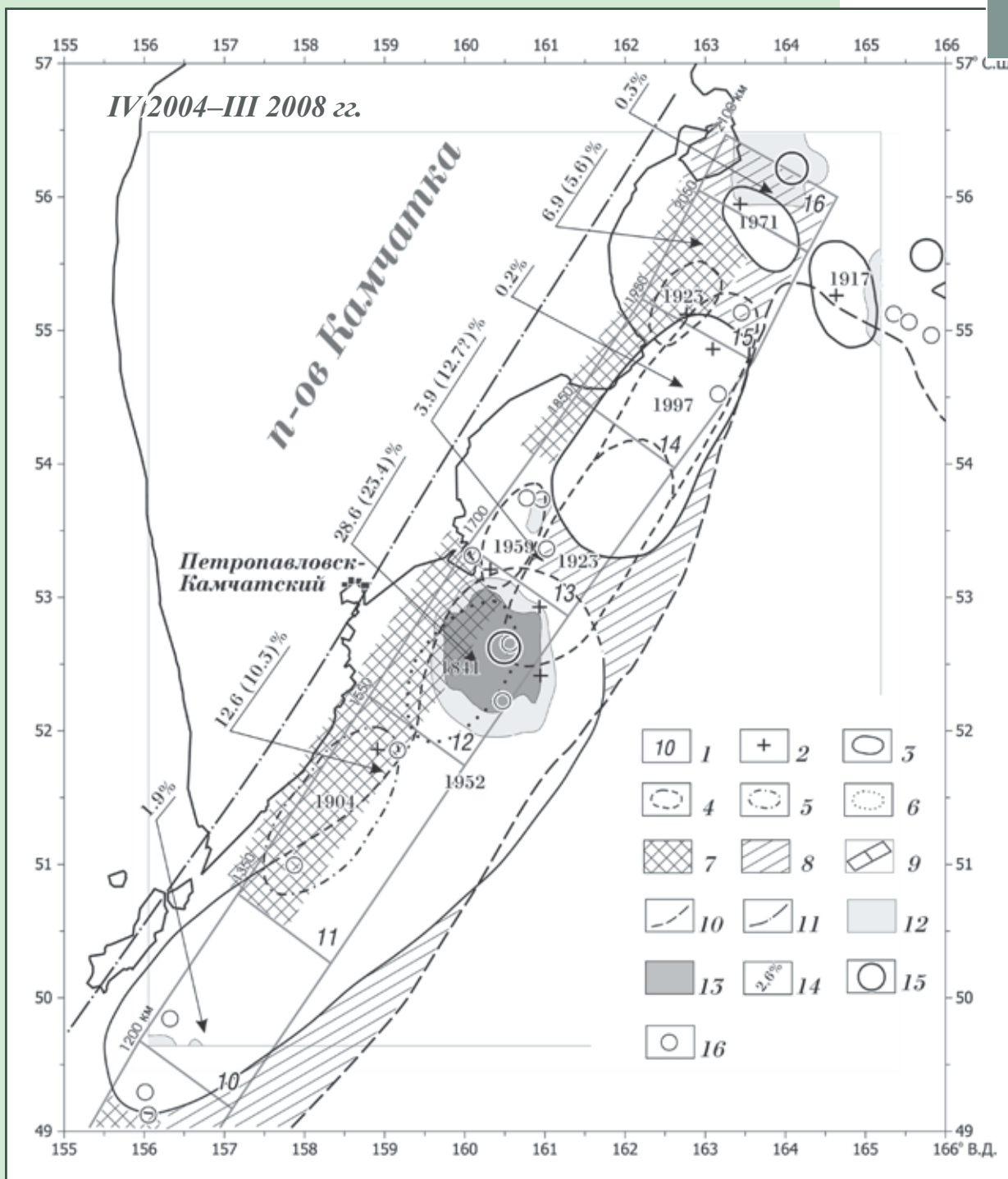


Долгосрочный сейсмический прогноз для Курило-Камчатской дуги на 2004-2008 гг. (H<80км)



Пример таблицы долгосрочного сейсмического прогноза, построенной до Средне-Курильского (Симуширского) землетрясения 15.XI 2006 г., M=8.2. Обозначения параметров - в сводной таблице выше. Средняя долговременная величина $P(M \geq 7.7) = 3.6-4.2\%$.

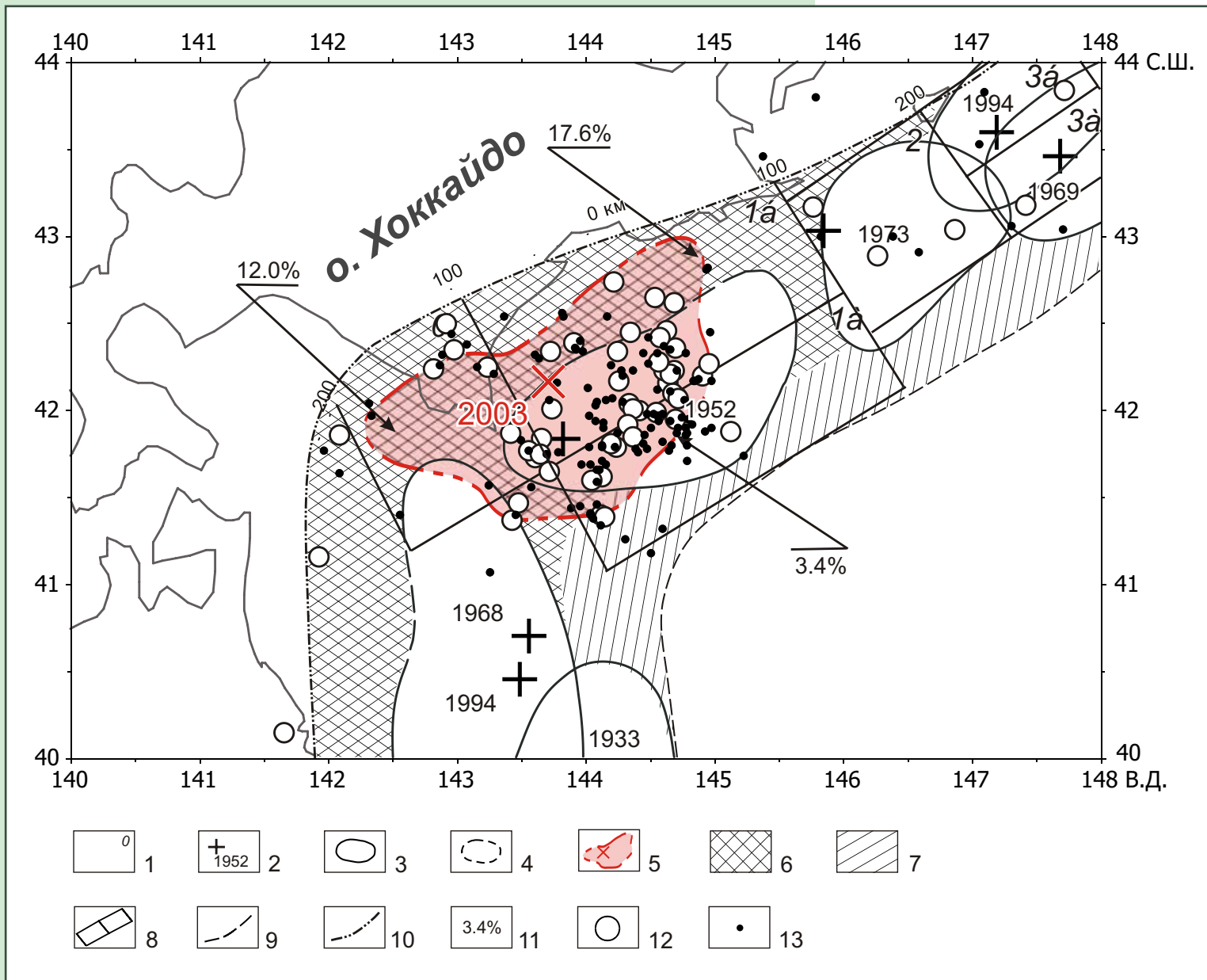
Участок, №	Δ, км	Район	t ₀	Стадия цикла и ее оценка по данным 1999-2004 гг. (1.04.1999 г. - 1.04.2004 г.)				Прогноз на 2004 – 2008 гг.								Вероятная очередность
				Стадия	P(A)	P(D)	B = P(A)*P(D)	A ₁₀ (P~0.7)		M					P(M≥7.7)%	
								A ₁₀	A ₁₀ ±σ	P~0.8	P~0.5	P~0.15	M _{max}			
1	0 - 100	Мыс Сириха - п-ов Немуро	1952	III?	0.41	0.61	0.25	1.2 - 3	0.8 - 4.5	6.0	6.5	7.0	7.8	11.1 (3.9)	4 (7)	
2	100 - 200	П-ов Немуро - о. Зелёный	1973	II				1.2	0.8 - 1.9	5.8	6.3	6.8		0.6 (0.5)		
3а	200 - 300	О. Шикотан, Ю-В	1969	II				1.2	0.8 - 1.9	5.7	6.2	6.7		0.7 (0.6)		
3б	200 - 300	О. Шикотан, С-З	1994	I				2.1→1.4	0.9 - 3.1	6.0	6.4	6.9		0.3 (0.2)		
4	300 - 450	О. Итуруп	1958	II				1.2	0.8 - 1.9	5.9	6.4	6.9		1.5 (1.4)		
5	450 - 600	Пролив Фриза - о. Уруп	1963	II				1.2	0.8 - 1.9	5.9	6.4	6.9		1.3 (1.1)		
6	600 - 750	Мыс Кастрикум - пр. Буссоль	1918	III?	0.97	0.98	0.96	1.2 - 3	0.8 - 4.5	6.0	6.5	7.0	8.0	0.9 - 4.4? (7.7)	9 (6)	
7	750 - 950	О. Симушир - пролив Крузенштерна		III?	0.97	0.62	0.61	1.2 - 3	0.8 - 4.5	6.2	6.7	7.2	8.2	11.6 (11.7?)	3 (4?)	
8	950 - 1100	О. Шиащкотан	1915	III?	0.999	0.58	0.58	1.2 - 3	0.8 - 4.5	6.0	6.5	7.0	8.0	9.4 (3.5)	5 (8)	
9	1100 - 1200	О. Онекотан - пролив 3-й Курильский		III?	0.72	0.63	0.45	1.2 - 3	0.8 - 4.5	6.0	6.4	7.0	7.9	8.1 (5.8)	6 (5)	
10	1200 - 1350	О. Парамушир - мыс Лопатка	1952	II				1.2	0.8 - 1.9	5.9	6.4	6.9		1.9 (2.7)		
11а	1350 - 1550	Юг Камчатки, Ю-В	1952	II				0.8	0.6 - 1.1	5.8	6.3	6.8		2.5 (3.6)		
11б	1350 - 1550	Юг Камчатки, С-З	1904	III	0.72	0.59	0.42	1.3 - 3	0.8 - 4.5	6.0	6.5	7.0	8.0	17.1 (18.3)	2 (2)	
12а	1550 - 1700	Зал. Авачинский - п-ов Шипунский, Ю-В	1952	II				1.2	0.8 - 1.9	5.7	6.2	6.7		1.9 (2.7)		
12б	1550 - 1700	Зал. Авачинский - п-ов Шипунский, С-З	1841	III	0.19	0.77	0.15	1.2 - 3	0.8 - 4.5	5.9	6.4	6.9	8.0	18.9 (20.5)	1 (1)	
13а	1700 - 1850	Залив Кроноцкий, Ю-В	1923	III?	0.997	0.78	0.78	1.2 - 3	0.8 - 4.5	5.9	6.4	6.9	8.0	4.9 (3.6)	8	
13б	1700 - 1850	Залив Кроноцкий, С-З	1959	II				2.6	1.7 - 3.9	5.9	6.4	6.9		1.5 (1.3)		
14	1850 - 1950	П-ов Кроноцкий	1997	I				3.1→1.9	1.2 - 4.5	6.0	6.5	7.0		0.2 (0.2)		
15	1950 - 2050	Зал. Камчатский		III?	0.80	0.81	0.64	1.2 - 3	0.8 - 4.5	6.0	6.5	7.0	7.9	5.3 (8.5)	7 (3)	
16	2050 - 2100	П-ов Камчатский	1971	II				0.8	0.6 - 1.1	5.7	6.2	6.7		0.3 (0.3)		
Оценка критических значений вероятностей					0.062	0.308	0.019							Σ = 101.7 (98.1)		



Долгосрочный сейсмический прогноз для Камчатки на 2004–2008 гг. «сейсмические бреши» и вероятности возникновения сильнейших землетрясений с $M \geq 7.7$, глубины $H = 0–80$ км. Параметр B .

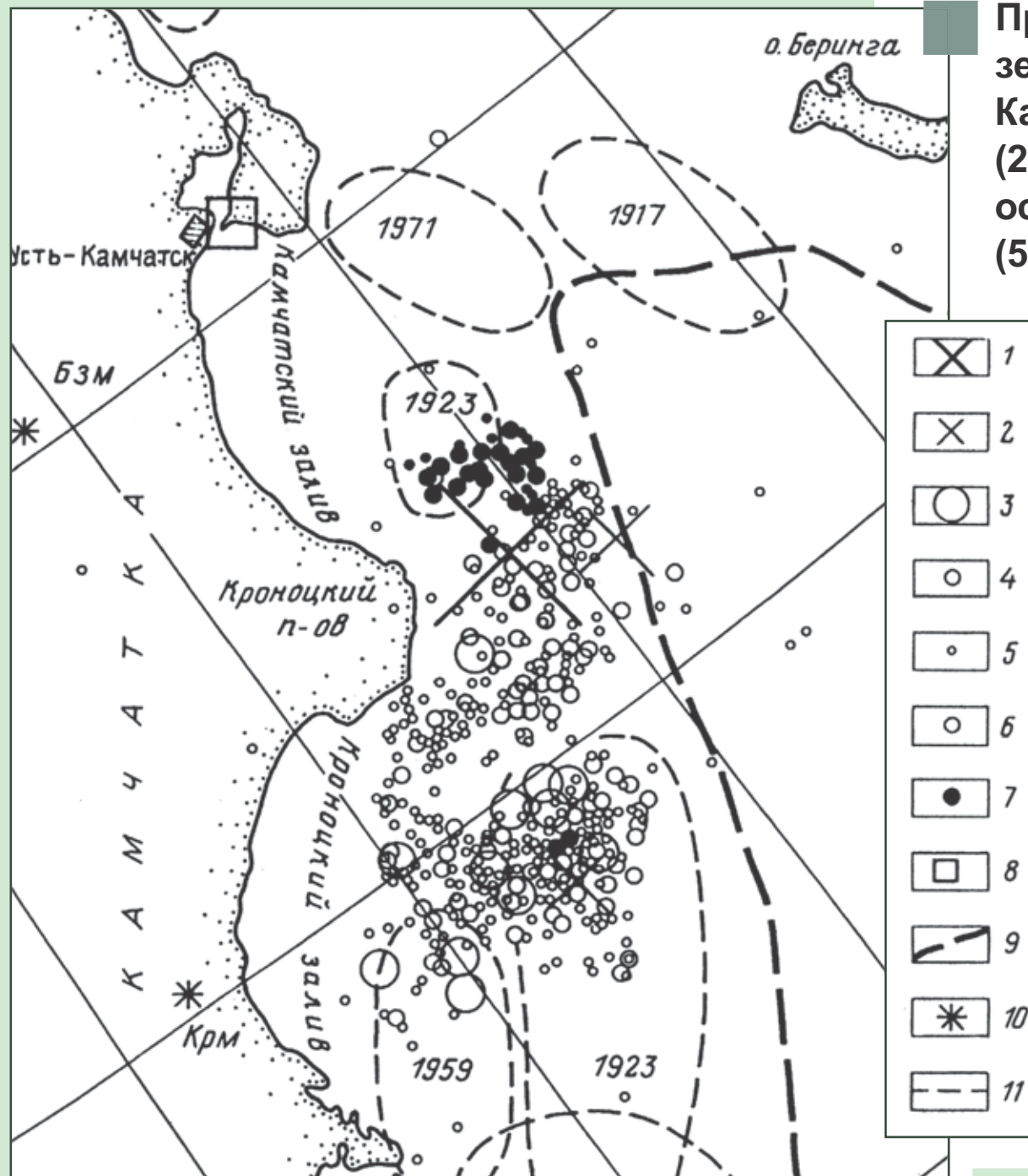
1- номер участка; 2- инструментальные эпицентры главных толчков землетрясений; 3- границы областей очагов, проведенные с точностью 10 км; 4- участки тех же границ, проведенные с меньшей точностью; 5- вероятные области очагов землетрясений 1904–1918 гг. с $M \geq 7.7$; 6- предполагаемая область очага землетрясения 1841г.; 7- наиболее вероятные места следующих землетрясений с $M \geq 7.7$; 8- возможные места следующих таких землетрясений; 9- зона прогноза; 10- оси глубоководных желобов; 11- ось вулканического пояса Курило-Камчатской дуги; 12- область аномальных значений параметра $B < 0.25$; 13- область аномальных значений параметра $B < 0.02$, соответствующая отклонению от нормы с вероятностью 0.98; 14- вероятности возникновения землетрясений с $M \geq 7.7$ в 2004–2008 гг.; 15- эпицентры землетрясений за IV 1999–III 2004 гг. с $6.5 \leq M_S < 7.7$; 16- эпицентры землетрясений за тот же период с $5.5 \leq M_S < 6.5$.

Ретроспективный прогноз мест и вероятности сильнейших землетрясений для района о. Хоккайдо на 2001–2005 гг., $H = 0–80$ км. Очаг 25.IX 2003 г., $M=8.1$



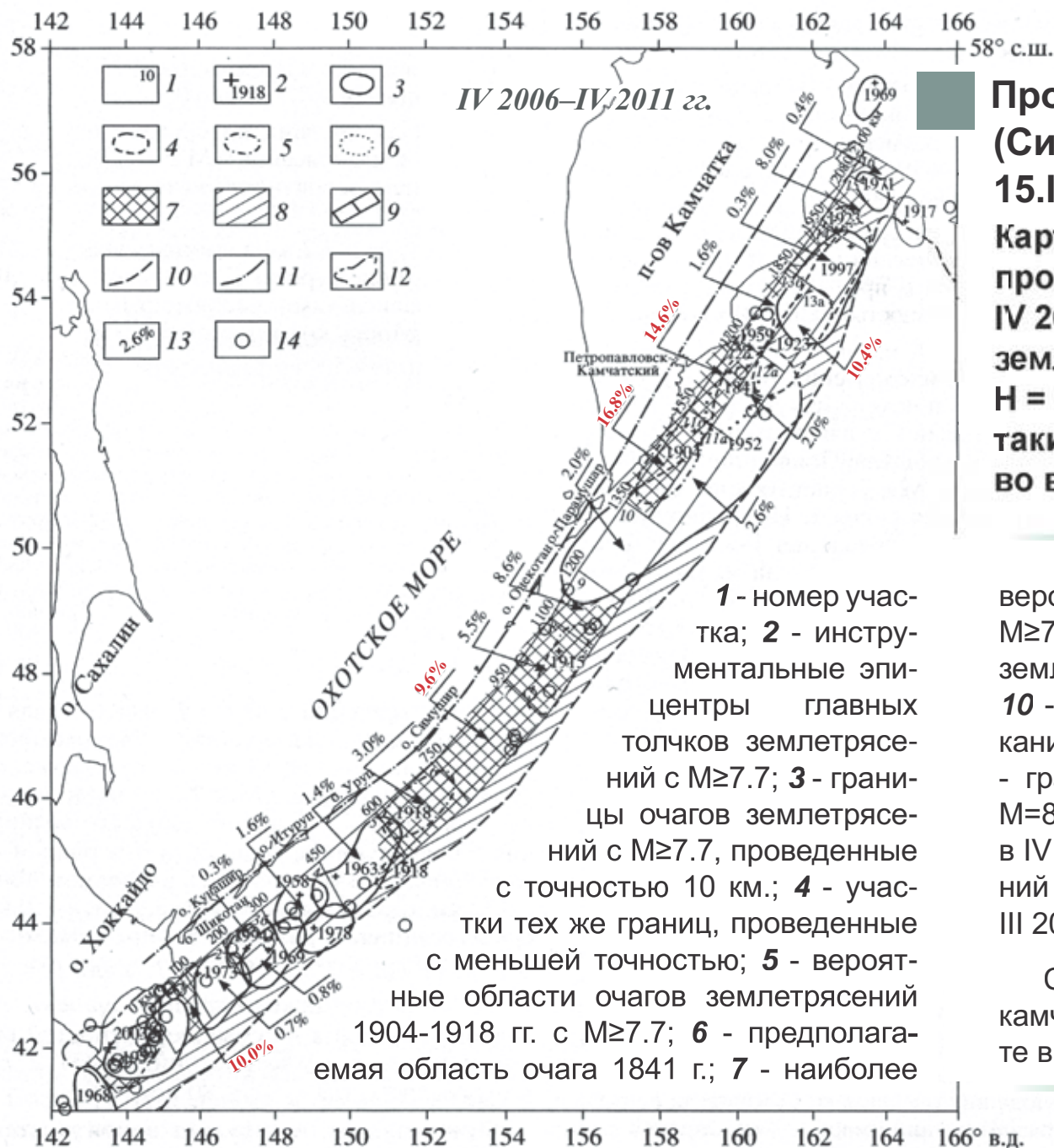
1 - номера участков; 2 - инструментальные эпицентры главных толчков землетрясений; 3 - границы областей очагов, проведенные с точностью 10 км; 4 - участки тех же границ, проведенные с меньшей точностью; 5 - эпицентр и граница очага землетрясения 25.09.2003 г., построенная по данным за полгода; 6 - наиболее вероятные места следующих землетрясений с $M \geq 7.7$; 7 - возможные места следующих таких землетрясений; 8 - зона прогноза; 9 - оси глубоководных желобов; 10 - северо-западная граница зоны землетрясений с глубинами очагов $H = 0–80$ км; 11 - вероятности возникновения землетрясений с $M \geq 7.7$ в 2001–2005 гг.; 12 - эпицентры афтершоков за первые полгода с $M_S \geq 5.0$; 13 - эпицентры афтершоков за первые полгода с $M_S < 5.0$.

Прогноз Кроноцкого землетрясения 5.XII 1997 г., $M=7.8$
Карта эпицентров форшоков (2.XII 1997–5.XII 1997 г.),
основного толчка и афтершоков (5.XII 1997–4.I 1998 г.)



Эпицентры землетрясений:

- 1 – основного толчка;
- 2 – с $6.5 \leq M \leq 7.4$;
- 3 – с $5.5 \leq M \leq 6.4$;
- 4 – с $4.5 \leq M \leq 5.4$;
- 5 – с $3.5 \leq M \leq 4.4$;
- 6, 7 – эпицентры афтершоков и форшоков соответственно;
- 8 – малый Усть-Камчатский геодезический полигон;
- 9 – ось глубоководного желоба;
- 10 – вулканы Безымянный (Бзм) и Карымский (Крм), извергавшиеся во время Кроноцкого землетрясения;
- 11 – области очагов землетрясений с $M \geq 7.7$, происходивших до Кроноцкого землетрясения [Федотов, 1980, 1987].



Прогноз Средне-Курильского (Симуширского) землетрясения 15.IX 2006 г., $M = 8.2$

Карта долгосрочного сейсмического прогноза для Курило-Камчатской дуги на IV 2006-IV 2011, очагов курило-камчатских землетрясений 1904-III 2006 гг. с $M \geq 7.7$, $H = 0-80$ км, и вероятностей возникновения таких землетрясений в IV 2006-IV 2011 гг. во всех участках полосы прогноза.

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 - границы очага землетрясения 25.IX 2003 г., $M=8.1$; 13 - вероятности землетрясений $M \geq 7.7$ в IV 2006-IV 2011 гг. 14 - эпицентры землетрясений с $M \geq 5.5$, $H=0-80$ км, произошедших в период III 2001-III 2006 гг.

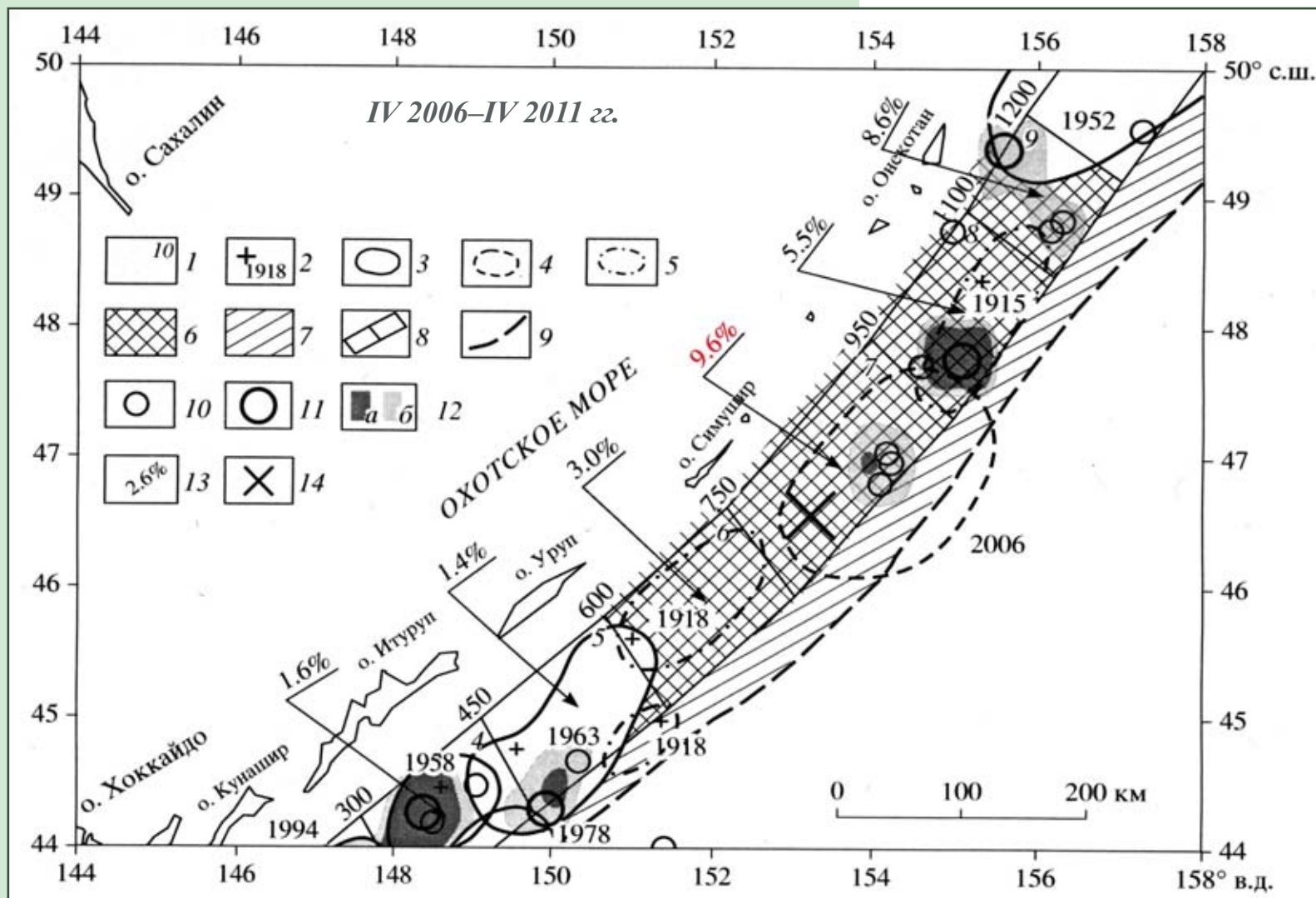
Средняя вероятность возникновения курило-камчатских землетрясений с $M \geq 7.7$ в одном месте в течение 5 лет равна 3.6-4.2%.

Прогноз для Средних Курил, изолинии параметра (1-В)

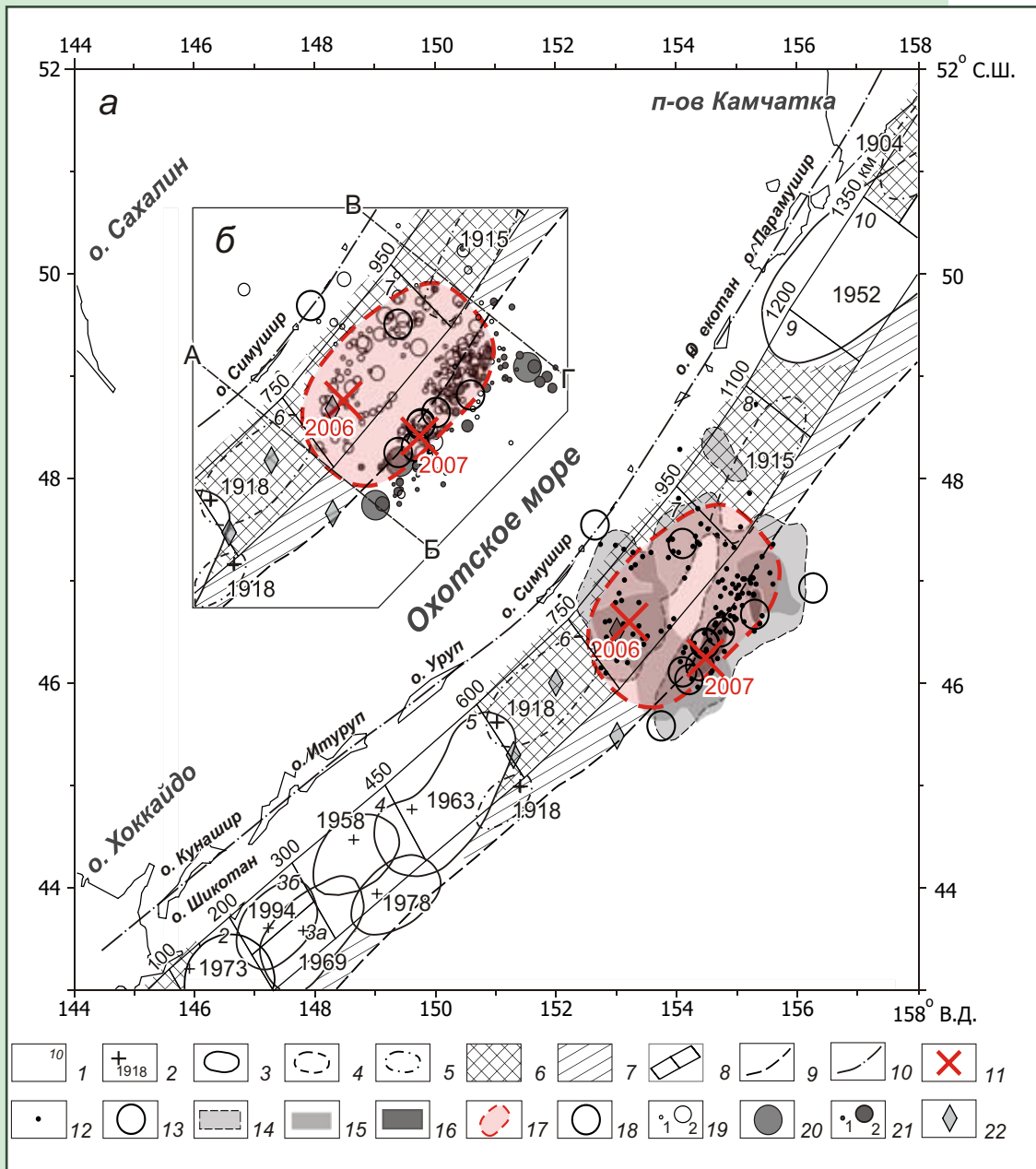
Карта очагов курило-камчатских землетрясений 1915-2006 гг. с $M \geq 7.7$, $H = 0-80$ км, “сейсмических брешей”, изолиний параметра 1-В по данным III 2001-III 2006 гг., а также эпицентров землетрясений за этот период. Оценка вероятности возникновения таких землетрясений в IV 2006-IV 2011 гг.

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 1915-1918 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 - ось глубоководного желоба; 10 - эпицентры землетрясений за период III 2001-III 2006 гг. с $5.5 \leq m_b < 6.0$; 11 - эпицентры землетрясений за период III 2001-III 2006 гг. с $m_b \geq 6$; 12 - изолинии параметра 1-В для двух уровней: а - 0.9, б - 0.7; 13 - вероятность землетрясений $P(M \geq 7.7)$ на период IV 2006-IV 2011 гг.; 14 - эпицентр Средне-Курильско-го (Симуширского) землетрясения 15.XI 2006 г., $M_W = 8.3$, $M_S = 8.2$.



Афтершоки Средне-Курильских (Симуширских) землетрясений 15.XI 2006 г., $M_S=8.2$ и 13.I 2007 г., $M_S=8.1$ и область очага, построенная по данным за 1 год



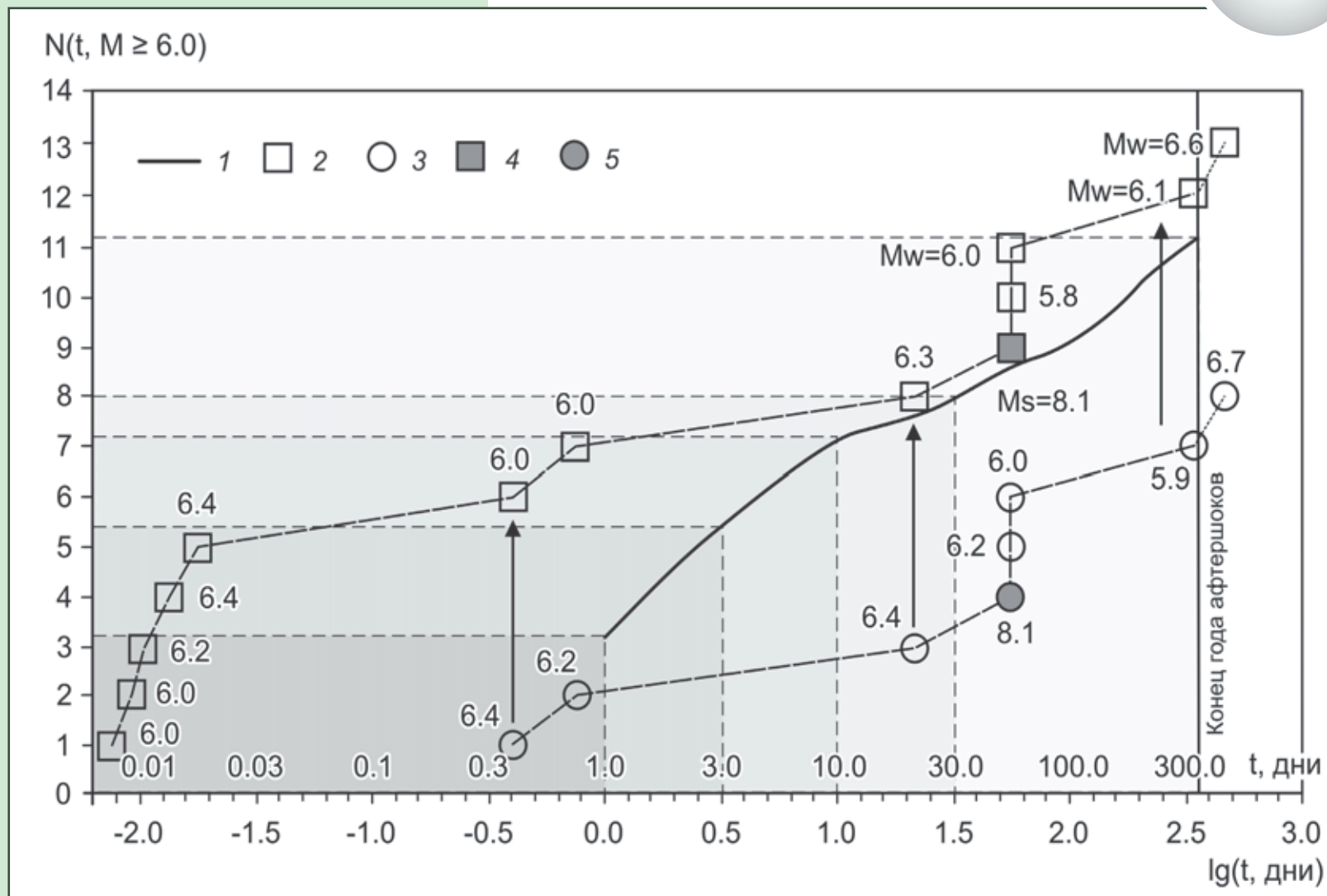
первых суток с $m_b=4.4-4.9$; **13** - эпицентры афтершоков с $m_b \geq 6.0$ за 1 год; **14** - область параметра $A_{10} \geq 10$, построенная по каталогу ГС РАН за один год; **15** - область параметра $A_{10} \geq 10$, построенная за тот же период по каталогу NEIC; **16** - область параметра $D \geq 1$; **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., $M_S=8.2$ 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., $M=8.2$.

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., $M_S=8.2$ 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., $M=8.2$.

Прогноз сильных афтершоков ($M \geq 6.0$) Средне-Курильского землетрясения 15.XI 2006 г., $M=8.2$

16

Увеличение со временем t суммарного количества афтершоков $M \geq 6.0$, $N(t, M \geq 6.0)$ для этого землетрясения, по данным каталогов NEIC (m_b) и СФ ГС РАН (M_S), 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 предыдущем рисунке.



1 – средняя зависимость по «сценарию афтершоков»;
2 - зависимость по каталогу NEIC;
3 - зависимость по каталогу СФ ГС РАН;

4 и 5 - землетрясение 13.I 2007 г., $M_S=8.1$ в последовательности NEIC и СФ ГС РАН соответственно.

Долгосрочный сейсмический прогноз для Курило-Камчатской дуги на IX 2009–VIII 2014 гг. ($H \leq 80$ км), полученный с использованием параметров A_{10} , D , A_{11}

Даны прогнозы восьми характеристик сейсмичности на IX 2009-VIII 2014 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 значительна вероятность прихода заключительной, III стадии сейсмического цикла. Знаками вопроса отмечены те из участков, в которых вероятность такого события меньше. **1-B** - 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. Значения вероятности $P(M \geq 7.7)$ в скобках соответствуют их величинам на VI 2009-V 2014 гг. Средняя долговременная величина $P(M \geq 7.7) = 3.6-4.2\%$.

Участок	Δ , км	Район	t_0	Стадия цикла и ее оценка по данным 2004-2009 гг. (IX 2004 г. - VIII 2009 г.)					Прогноз на IX 2009 - VIII 2014 гг.							Вероятная очередность		
				Стадия	$P_1=P(A_{10})$	$P_2=P(D)$	$P_3^{11}=P(A_{11})$	$B = (P_1 \cdot P_2 \cdot P_3^{11})$	$A_{10}(P \sim 0.7)$		M							
									A_{10}	$A_{10} \pm \sigma$	P~0.8	P~0.5	P~0.15	M_{max}	$P(M \geq 7.7)\%$			
1	0 - 100	Мыс Сириха - п-ов Немуро	1952	III	0.06	0.01	0.54	0.0004	1.2 - 3	0.8 - 4.5	6.0	6.5	7.0	7.8	11.3	(10.9)	4	(3)
2	100 - 200	П-ов Немуро - о-в Зелёный	1973	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	1969	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	1994	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	1958	II					1.2	0.8 - 1.9	5.9	6.4	6.9		1.8	(1.8)		
5	450 - 600	Пролив Фриза - о-в Уруп	1963	II					1.2	0.8 - 1.9	5.9	6.4	6.9		1.5	(1.5)		
6	600 - 750	Мыс Кастрикум - пр. Буссоль	1918	III?	0.58	0.99	0.73	0.42	1.2 - 3	0.8 - 4.5	6.0	6.5	7.0	8.0	2.8?	(2.8?)	8	(8)
7	750 - 950	О-в Симушир - пр. Крузенштерна	2006	I					3.1 → 1.9	0.8 - 4.5	6.2	6.7	7.2		0.4	(0.4)		
8	950 - 1100	О-в Шикотан	1915	III?	0.52	0.74	0.81	0.31	1.2 - 3	0.8 - 4.5	6.0	6.5	7.0	8.0	11.7?	(10.3?)	3	(4)
9	1100 - 1200	О-в Онекотан - пр. 3-й Курильский		III	0.83	0.19	0.78	0.12	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	1952	II					1.2	0.8 - 1.9	5.9	6.4	6.9		2.1	(2.1)		
11а	1350 - 1550	Юг Камчатки, Ю-В	1952	II					0.8	0.6 - 1.1	5.8	6.3	6.8		2.9	(2.9)		
11б	1350 - 1550	Юг Камчатки, С-З	1904	III	0.66	0.57	0.31	0.12	1.3 - 3	0.8 - 4.5	6.0	6.5	7.0	8.0	19.9	(19.7)	1	(1)
12а	1550 - 1700	Зал. Авачинский - п-ов Шипунский, Ю-В	1952	II					1.2	0.8 - 1.9	5.7	6.2	6.7		2.1	(2.1)		
12б	1550 - 1700	Зал. Авачинский - п-ов Шипунский, С-З	1841	III	0.27	0.66	0.13	0.02	1.2 - 3	0.8 - 4.5	5.9	6.4	6.9	8.0	16.5	(16.0)	2	(2)
13а	1700 - 1850	Залив Кроноцкий, Ю-В	1923	III?	1.00	0.99	0.59	0.58	1.2 - 3	0.8 - 4.5	5.9	6.4	6.9	8.0	7.1	(6.9)	6	(7)
13б	1700 - 1850	Залив Кроноцкий, С-З	1959	II					2.6	1.7 - 3.9	5.9	6.4	6.9		1.7	(1.7)		
14	1850 - 1950	П-ов Кроноцкий	1997	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?	0.81	0.98	0.62	0.50	1.2 - 3	0.8 - 4.5	6.0	6.5	7.0	7.9	5.7	(8.5)	7	(6)
16	2050 - 2100	П-ов Камчатский	1971	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	0.354	0.007							$\Sigma = 100.0$			

Карта долгосрочного сейсмического прогноза для Курило-Камчатской дуги, очагов курило-камчатских землетрясений 1904-2009 гг. с $M \geq 7.7$, $H=0-80$ км, и вероятностей возникновения таких землетрясений в IX 2009-VIII 2014 гг. во всех участках полосы прогноза



прогноза; **10** - оси глубоководных желобов; **11** - ось вулканического пояса Курило-Камчатской дуги; **12** - предварительное определение границы очага землетрясения у Хоккайдо 25.IX.2003 г., $M=8.1$; **13** - вероятности землетрясений $M \geq 7.7$ в IX.2009-VIII.2014 гг. (табл. на предыдущей стр.); **14** - эпицентры Средне-Курильских землетрясений 15.XI.2006 г., $M_W=8.3$, и 13.I.2007 г., $M_W=8.1$; **15** - область очага предсказанного землетрясения 15.XI.2006 г.; **16** - области очагов других землетрясений с $M \geq 7.7$, которые произошли после 1965 г. в предсказанных «сейсмических брешах»; **17** - эпицентры землетрясений, произошедших в период 1.IX.2004-31.VIII.2009 гг., меньший кружок, соответствует $5.0 \leq m_b < 6.0$, больший - $6.0 \leq m_b < 8.0$, $H = 0-650$ км (каталог NEIC); **18** - эпицентры землетрясения 05.VII.2008 $M_W=7.7$, $H=630$ км. (круг), и его главного афтершока с $M_W=7.3$ (треугольник); **19** - проекция вероятной области очага землетрясения 05.VII.08 $M_W=7.7$, $H=630$ км. (каталоги NEIC и IRIS, механизмы - по Global CMT Catalog). Средняя вероятность возникновения курило-камчатских землетрясений с $M \geq 7.7$ в одном месте в течение 5 лет равна 3.6-4.2%.

Выводы долгосрочного сейсмического прогноза для Курило-Камчатской дуги на IX 2009–VIII 2014 гг. (по оценкам на сентябрь 2009 г.)

Наиболее вероятными местами следующих сильнейших землетрясений с $M \geq 7.7$ на период IX.2009–VIII.2014 гг. остаются участки, расположенные в районе г. Петропавловска-Камчатского: для южной Камчатки, участок 11б (рис. на пред стр.), вероятность землетрясения с $M \geq 7.7$, имеющего силу до 8 баллов в г. Петропавловске-Камчатском, равна 19.9 %; для Авачинского залива, участок 12б, вероятность возникновения землетрясения с $M \geq 7.7$, имеющего силу до 9 баллов в г. Петропавловске-Камчатском, равна 16.5 %; для юго-восточной части Кроноцкого залива, участок 13а, вероятность землетрясения $M \geq 7.7$, имеющего силу до 7 баллов в г. Петропавловске-Камчатском, равна 7.1 %. Повышена вероятность ($P=5.7$ %) сильнейшего землетрясения с $M \geq 7.7$ для района Камчатского залива, участок 15 (рис. на пред стр.).

Суммарная вероятность землетрясений с $M \geq 7.7$ в участках 11а, 11б, 12а, 12б, 13а, 13б, которые могут иметь силу 7–9 баллов в г. Петропавловске-Камчатском, может достигать 50.3 % в пери-

од времени с IX.2009–VIII.2014 гг. При этом вероятность возникновения в этот период времени в г. Петропавловске-Камчатском землетрясения силой 9 баллов равняется 16.5 %, а землетрясений силой 8 и 7 баллов – 33.7 %. В полной мере сохраняется необходимость неотложных мер по сейсмобезопасности, повышению устойчивости жилых домов, основных объектов и систем жизнеобеспечения в Камчатском крае.

На Курильских островах сейсмическая опасность высока для участков 8 и 9, о-ва Матуа и Онекотан (рис. на пред стр.), где общая вероятность землетрясения с $M \geq 7.7$ на период IX.2009–VIII.2014 гг. равна 21.5 %, и для участка 1, п-ов Немуро, где такая вероятность равна 11.3 %.

В остальных участках сейсмогенной зоны Курило-Камчатской дуги вероятность возникновения сильнейших землетрясений $P(M \geq 7.7)$ равна средней или существенно, до 10–15 раз, ниже средней, которая равна 3.6–4.2%.

Оценки достоверности прогнозов

На протяжении 40-летнего периода использования метода долгосрочного сейсмического прогноза для Курило-Камчатской сейсмофокальной зоны неоднократно проводились проверки как основных положений метода, так и даваемых на его основе прогнозов.

Основные выводы:

- перекрытие очагов сильнейших землетрясений, построенных по первому году афтершоков не превышает в среднем 20%;
- все курило-камчатские землетрясения происходили в пределах трех наиболее опасных “сейсмических брешей”;
- уточнение сейсмического цикла основных параметров A_{10} и D подтвердило основные особенности сейсмического процесса для всех трех стадий сейсмического цикла, и что наиболее важно - активизацию сейсмического процесса на III, заключительной его стадии в интервалах 5 и более лет и на площадях больших или равных по размеру площади очага сильнейшего землетрясения;
- за время использования метода были верно предсказаны восемь сильнейших ($M \geq 7.7$) землетрясений Курило-Камчатской сейсмогенной зоны и северо-восточной Японии (1968, 1969, 1971, 1973, 1978, 1994, 1997 и 2006 гг.);
- за период 1965-2000 гг. оправдывались предсказанные вероятностные оценки сейсмической активности A_{10} и значений ожидаемых магнитуд землетрясений средней силы;
- стандартное отклонение числа предсказываемых сильных афтершоков относительно истинного значения составляет 12% от его величины.

Перспективы развития метода долгосрочного сейсмического прогноза, совместное использование с другими методами

Данные используемого метода прогноза могут быть существенно дополнены другими методами. Первым удачным применением такого подхода можно считать заблаговременный прогноз Кроноцкого землетрясения 1997 г. за 10 лет до него [Федотов, 1987]. На основе приведенного в этой работе графика суммарной выделившейся сейсмической энергии Камчатского сегмента сейсмофокальной зоны был сделан вывод, что наблюдавшееся к тому времени сейсмическое затишье землетрясений с $M \geq 7\frac{3}{4}$ вряд ли продлится дольше, чем до 1995-2000 г.

В 80-е годы В.И. Кейлис-Борок создал целое се-

мейство математических алгоритмов среднесрочного прогноза, основными из которых стали М8 и КН. Алгоритм М8 был разработан для прогноза сильнейших землетрясений мира с магнитудой 8,0 и выше, а КН — для прогноза сильных землетрясений регионального уровня. На Камчатке работу по прогнозу на основе этого метода вел Ю.Д. Матвиенко [Матвиенко, 1998]. Его оценки на основе метода М8 использовались совместно с долгосрочным сейсмическим прогнозом С.А. Федотова.

Для уточнения прогнозных оценок и повышения их надежности необходимо более детальное исследование сейсмичес-

кого процесса на его заключительной III стадии. В качестве перспективных на ближайшее время работ, позволяющих уточнять прогнозные оценки рассматриваются метод картирования сейсмических затиший И.Н. Тихонова [Тихонов, 2005], метод прогноза на основе глубоких землетрясений [Моги, 1988].

С целью повышения надежности долгосрочного прогноза, а также для возможности расширения его применимости за пределы Курило-Камчатской сейсмофокальной зоны был введен дополнительный параметр A_{11} , который может быть построен на основе распространенных каталогов магнитуд, в том числе m_b и M_s и в определенной мере заменить в этом случае параметр A_{10} . В настоящее время исследуются особенности графика повторяемости, свойства распределения выделяемой сейсмической энергии как по ее величичи-

нам, так и в отношении пространственно-временных закономерностей.

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

Обоснование государственных мер по сейсмозащите и сейсмоусилению в 1986 - 2009 гг. Необходимость продолжения работ

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

На основании сделанных долгосрочных сейсмических прогнозов и предупреждений в г. Петропавловске-Камчатском в 1990-2004 гг. было проведено сейсмоусиление 144 домов, имевших дефицит сейсмобезо-

пасности 2-3 балла. В этих домах получили защиту 20 тысяч их жильцов.

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

15 августа 2008 г. Правительством РФ утверждена Концепция Программы по повышению устойчивости жилых домов, основных объектов и систем жиз-

необеспечения в сейсмических районах РФ на 2009-2013 гг., в которой **уровень сейсмической опасности в Камчатском крае признан наивысшим в Российской Федерации.** 16 октября 2008 г. Президент Российской Федерации Д.А. Медведев дал **поручение выделить в 2009 г. Камчатскому краю и Сахалинской области средства на мероприятия по повышению сейсмической устойчивости жилых домов.**

Правилами распределения субсидий из федерального бюджета бюджетам субъектов Российской Федерации и объемов финансирования за счет средств иных источников на реализацию федеральной целевой программы «Повышение устойчивости жилых домов, основных объектов и систем жизнеобеспечения в сейсмических районах Российской Федерации на 2009 - 2013 годы», введенными Постановлением Правительства РФ от 30.07.2009 N 615, предусмотрено **выделение Камчатскому краю из общего финансирования 8112.7 млн. руб., при этом на 2009 г. выделяется 3770.6 млн. руб. переходящих средств.**

Хорошим примером выполнения заблаговременных мер является сейсмоукрепление главного здания ИВиС, средства на которое выделяются ДВО РАН.

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

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В 1965 г. был предложен метод долгосрочного сейсмического прогноза для Курило-Камчатской дуги и сходных структур, основанный на найденных закономерностях размещения очагов сильнейших землетрясений и свойствах сейсмического цикла.

45-летний опыт применения метода показал его достоверность. Полученные результаты стали обоснованием в 1986-2009 гг. более 15 государственных решений о сейсмозащите и заблаговременном сейсмоукреплении в Камчатском крае.

Необходимо продолжение работ по дальнейшему развитию метода и по сопровождению мер, выполняющихся по ФЦП “Повышение устойчивости жилых домов...” в 2009-2013 гг.

Литература

1. Завьялов А. Д. Среднесрочный прогноз землетрясений: основы, методика, реализация, М.: Наука, 2006. 256 с.
2. Кособоков В.Г. Прогноз землетрясений и геодинамические процессы. // Вычислительная сейсмология. Вып. 36. Часть 1. Прогноз землетрясений: основы, реализация, перспективы. М.: ГЕОС, 2005. 179 с.
3. Матвиенко Ю.Д. Применение методики М8 на Камчатке: успешный заблаговременный прогноз землетрясения 5 декабря 1997 г. // Вулканология и сейсмология. 1998. № 6. С. 27-36.
4. Могги К. Предсказание землетрясений. М.: Мир, 1988. 382 с.
5. Соболев Г.А. Основы прогноза землетрясений. М.: Наука. 1993. 324 с.
6. Соболев Г.А., Пономарев А.В. Физика землетрясений и предвестники. М.: Наука, 2003. 270 с.
7. Тихонов И.Н. Обнаружение и картирование сейсмических затихий перед сильными землетрясениями Японии // Вулканология и сейсмология. 2005, № 5. С. 1-17.
8. Федотов С.А. О закономерностях распределения сильных землетрясений Камчатки, Курильских островов и северо-восточной Японии // Тр. ИФЗ АН СССР. 1965. № 36. С. 66-93.
9. Федотов С.А. О сейсмическом цикле, возможности количественного сейсмического районирования и долгосрочном сейсмическом прогнозе // Сейсмическое районирование СССР. М.: Наука, 1968. С. 121-150.
10. Федотов С.А. Долгосрочный сейсмический прогноз для Курило-Камчатской дуги. М.: Наука, 2005. 302 с.
11. 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.
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., $M_s = 8.2$ // 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., $M_s=8.2$; 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., Чернышев С.Д., Матвиенко Ю.Д., Жаринов Н.А. Прогноз Кроноцкого землетрясения 5 декабря 1997 г., $M=7.8-7.9$, Камчатка и его сильных афтершоков с $M \geq 6$ // Вулканология и сейсмология. 1998. № 6. С. 3-16.
16. Шебалин П.Н. Цепочки эпицентров как индикатор возрастания радиуса корреляции сейсмичности перед сильными землетрясениями // Вулканология и сейсмология. 2005.