

## ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ-ДУПЛЕТЫ И ПАРЫ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ – ЗАКОНОМЕРНОСТЬ СЕЙСМИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

*Викулин А.В.<sup>1,4</sup>, Викулина С.А.<sup>2</sup>, Вединчар Г.М.<sup>3,5</sup>*

<sup>1</sup> *Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский vik@kscnet.ru*

<sup>2</sup> *Камчатский филиал Геофизической службы РАН, Петропавловск-Камчатский*

<sup>3</sup> *Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, Паратунка,  
Камчатский край*

<sup>4</sup> *Камчатский государственный технический университет, Петропавловск-Камчатский*

<sup>5</sup> *Камчатский государственный университет им. Витуса Беринга, Петропавловск-Камчатский*

### Введение

15.11.2006 и 13.01.2007 с интервалом два месяца на Средних Курилах произошло два сильнейших землетрясения с  $M = 8.2 - 8.3$ , афтершоки которых непрерывно заполнили собой сейсмическую брешь, протягивающуюся от северо-восточной оконечности очага 7.09.1918,  $M = 8.2$  (о. Симушир) до юго-западной оконечности очага 1.05.1915,  $M = 8.3$  (о. Шиашкотан). Очаги обоих землетрясений были вытянуты вдоль дуги. Очаг первого из этих землетрясений располагался вблизи островов, второго - в районе оси глубоководного желоба. В течение всей истории инструментальных (конец XIX - начало XX в.) и макросейсмических (середина XVIII в.) сейсмологических наблюдений для района Средних Курил пара землетрясений с такими высокими значениями магнитуд не отмечалась [2, 18, 26]. Более того, была достаточно распространенной точка зрения, согласно которой считалось, что в области Средних Курил землетрясения с  $M > 7.5$  происходить не могут [23].

Противоположная точка зрения последовательно отстаивалась С.А. Федотовым [24] и А.В. Викулиным [4 - 7, 9]. Они полагали, что район Средних Курил является «обычной» сейсмической брешью, в пределах которой могут и должны происходить землетрясения с магнитудами  $M = 8$  и более. Согласно схеме долгосрочного прогноза, основанного на принципах миграции и повторяемости землетрясений, сильнейшее землетрясение с магнитудой  $M \geq 7.6 - 7.9$  и очагом в районе Средних Курил ожидалось в 2004 – 2013 гг. [4, 5, 7]. И для таких прогнозов были достаточно веские основания. Действительно, согласно данным ряда авторов землетрясение 29.06.1780 с очагом в районе Средних Курил было катастрофическим [1, 16, 17, 28], оно сопровождалось на о. Уруп сильными сотрясениями и цунами с высотой волны до 10-12 м [20, 21] и имело магнитуду  $M = 8.25$  [21]. Этим данным не противоречит и значение магнитуды землетрясения 29.06.1780, приводимое в наиболее представительном для тех времен каталоге [18]:  $M = 7.5 \pm 1.0$ .

Существует (существовала?) и промежуточная точка зрения. Согласно ей район Средних Курил представляет собой «псевдо брешь, для которой период подготовки катастрофического землетрясения с  $M \geq 7.75$  на глубинах до 100 км не может уложиться в рамки сейсмического цикла ( $140 \pm 60$  лет по [24])» [16], и изучение свойств этой бреши требует проведения дальнейших специальных исследований [17]. В работе [9, с. 65] показано, как в рамках ротационной волновой модели сейсмического процесса, в которой сейсмофокальная зона представляет собой однородный сейсмический пояс, в результате моментного взаимодействия блоков (очагов сильнейших землетрясений) могут быть сняты предположения о «псевдо бреши».

Обращает на себя внимание тот факт, согласно которому в 1780 г. в районе Средних Курил, возможно, произошло два сильнейших землетрясения, магнитуды которых могли достигать и даже превышать значение  $M = 8$ . Отмеченное выше землетрясение 29.06.1780 г. предвлялось толчком 19 января, который, согласно [18], имел  $M = 7.0 \pm 1.0$ . Землетрясение 19.01.1780 как сильный толчок ощущалось на Северных Курилах и Южной Камчатке и интенсивное цунами после него выбросило на берег судно, стоявшее в гавани на Камчатке [20]. Эти данные позволяют предположить, что два сильнейших события, произошедшие в ноябре 2006 и январе 2007 гг., представляли собой характерную для района Средних Курил пару событий – два толчка через малое время  $\tau$  при небольшом расстоянии  $L$  между их очагами.

## Землетрясения - дуплеты

Землетрясения-дуплеты происходят не часто. Согласно опубликованным данным только в пределах Японии, Курил и Камчатки по данным за 1605 – 2007 гг. достаточно уверенно выделяется 12 таких дуплетов (см. №№ 1-12 табл. 1). Нет оснований такие землетрясения-дуплеты считать случайными образованиями. Действительно, времена между толчками в дуплете невелики. Они, согласно табл. 1 (№№ 1-12), в среднем, составляют  $\bar{\tau} = 3$  мес. ( $\tau_{\min} = 0$ ,  $\tau_{\max} = 2$  года), что на три порядка по величине меньше характерного периода повторяемости землетрясений такой магнитуды в одном месте  $T_0 = 100 \pm 50$  лет [6, 9] или продолжительности сейсмического цикла  $140 \pm 60$  лет по [24] или  $210 \pm 50$  лет по [5, 9]. Малы и расстояния между их очагами, которые, согласно табл. 1 (№№ 1-12), в среднем, равны  $L_0 \approx 200$  км - размеру одного очага землетрясения с  $M \approx 8$ . Данные, представленные в табл. 1, показывают, что такие дуплеты, как и «обычные» землетрясения, имеют тенденцию повторяться в одном месте. Например, события-дуплеты 1605, 1707, 1854 и 1944-1946 гг. - в районе желоба Нанкай (Япония), 17.10.1737 и 1952 гг. - на Южной Камчатке и 4.11-17.12.1737 и 1792 гг. - на юге и севере Камчатки.

Таблица 1. Список японских (1, 2, 6, 9), курильских (7, 11 - 14) и камчатских (3 - 5, 8, 10)  $M \geq 8$  толчков - дуплетов, очаги которых располагались в непосредственной близости друг от друга

	Дата	$\tau$	$\Delta^{1,2}$ , км	$\Delta^0$ , км	$L$ , км	$M$	Регион	Источник
1	31.01.1605	~ 0	150	700	400	7.9	Нанкай	[6, 10, 22, 25, 27]
2	28.10.1707	~ 0	150-200	500	100-200	8.4	Нанкай	[6, 10, 12, 22, 25]
3	17.10.1737	(~ 0)	200-250	700	100-200	8.5-9.2	Камчатка	[6, 12, 15, 18]
4	4.11.1737- 17.12.1737	1.5 мес.	100-150 100-200	1100	800	7.8 8.0	Камчатка	[6, 15, 18]
5	22.08.1792	~ 0	200	800	400	8.4-8.8	Камчатка	[6, 15, 18]
6	23.12.1854- 24.12.1854	1 день	100-200 250	600	100-150	8.4 8.4	Нанкай	[6, 10, 22, 25, 27]
7	7.09.1918- 8.11.1918	2 мес.	250-300 100-150	400	~ 0	7.9-8.3 7.8-8.0	Южные Курилы	[18, 21, 24, 25, 27]
8	3.02.1923- 24.02.1923	21 день	200 130	400	100	8.5-8.7 7.7	Камчатка	[3, 15, 24]
9	7.12.1944- 21.12.1946	2 года	150 250	500	50-100	8.0 8.0	Нанкай	[6, 10, 22, 25, 27]
10	4.11.1952	5 с	200-250	600	150	8.5-9.0	Камчатка	[12 - 15, 18, 19]
11	13.10.1963	5 с	150	300	0	8.1	Ю.Курилы	[13, 14, 18, 29]
12	15.11.2006- 13.01.2007	2 мес.	200-250 200-250	300	парал- лельны	8.3 8.2	Средние Курилы	[2, 26]
13	19.01.1780- 29.06.1780	5 мес.	100? 200?	300?	парал- лельны?	7.0±1.0 7.5-8.5	Средние Курилы	[1, 17, 18, 20, 21, 28]
14	21.06.1847- 11.1853	4.5 года	? ?	?	парал- лельны?	7.5±1.0 7.0±1.0	Средние Курилы	[18]

Примечание:  $\tau$  - время между толчками-дуплетами,  $\Delta^{1,2}$  - размеры очагов в дуплете,  $\Delta^0$  - общая протяженность макросейсмической области, затронутой толчками-дуплетами,  $L$  - расстояние между очагами в дуплете.

Приведенные выше макросейсмические и цунами данные о землетрясениях 1780 г. (№ 13 табл. 1) показывают, что они вполне могли бы быть парой событий, по сути, близкой землетрясениям-дуплетам 2006-2007 гг. (№ 12 табл. 1). Согласно данным Нового каталога [18] к такому же ряду характерных для района Средних Курил землетрясений-дуплетов можно было бы отнести и землетрясения 1847 и 1853 гг. (№ 14 табл. 1).

## Пары землетрясений

Список землетрясений-дуплетов без труда можно расширить в сторону увеличения расстояний между очагами землетрясений при такой же малой разности времен в паре. К такого рода очевидным парам событий, на которые много раз обращали внимание исследователи, могут быть отнесены следующие японо-курило-камчатские землетрясения, данные о которых представлены табл. 2.

Возникает вполне естественный вопрос: «А не являются ли пары землетрясений и землетрясения – дуплеты проявлением некоего общего свойства сейсмического процесса?»

Один из возможных путей ответа на этот вопрос был обозначен в работах [8, 9, с. 64-65]. В работе [8] были рассмотрены все ( $N = 39$ ) происшедшие в 1899 – 1994 гг. сильнейшие ( $M \geq 7.5 - 7.9$ , очаги которых имеют тенденцию не перекрывать друг друга в течение сейсмического цикла [5, 7, 9]) землетрясения северо-западной окраины Тихого океана, включающей Японскую, Курило-Камчатскую и Алеутскую островные дуги. Каждому такому землетрясению в пределах всей окраины Тихого океана поставлено в соответствие так же сильнейшее землетрясение, которое произошло через небольшой (близкий  $\bar{\tau}$ ) интервал времени  $\bar{\tau}_1 = 3$  мес.,  $\tau_{1,\min} = 0$ ,  $\tau_{1,\max} = 8,3$  мес., при среднем интервале между землетрясениями в выборке  $\overline{\Delta T} = \frac{1994 - 1899}{N} \approx 3$  года.

Таблица 2. Список пар японских, курильских и камчатских землетрясений, произошедших через малые отрезки времени на больших эпицентральных расстояниях друг от друга

	Дата	$\tau_1$	Регион	$L$ , км	$M$	Источник
1	4.11.1737- 17.12.1737	1.5 мес.	Камчатка Северные Курилы	1000	7.8 7.5-8.0	[6, 15, 18]
2	1.05.1915- 31.07.1915	3 мес.	Северные Курилы Камчатка	700	8.1 7.8	[6, 7, 15, 18, 24]
3	3.02.1923- 1.09.1923	7 мес.	Камчатка Япония	2500	8.5 8.2	[3, 6, 10, 15, 24]
4	4.03.1952- 4.11.1952	8 мес.	о. Хоккайдо Камчатка	1400	8.3 8.5	[6, 7, 15, 24, 25, 27]
5	6.11.1958- 4.05.1959	6 мес.	Южные Курилы Камчатка	1300	8.2 7.6-8.0	[3, 6, 7, 15, 24, 25, 27]
6	11.08.1969- 22.11.1969	3.5 мес.	Южные Курилы Камчатка	1900	8.2 7.8	[6, 7, 18, 24]

Примечание:  $\tau_1$  - время между землетрясениями в паре,  $L$  – расстояние между очагами в паре.

Числа пар, как функция расстояния  $L$  между очагами в паре, оказались распределенными вполне закономерным образом (рис. 1). При малых  $L$  выделяется первый (нулевой) максимум  $n_0 = 5$ , соответствующий землетрясениям-дуплетам с расстояниями между очагами, в среднем, как и на основании данных табл. 1, равными  $L_0 \approx 200$  км. Для землетрясений-пар  $N_1 = N - n_0 = 34$ , на

долю которых приходится  $\frac{\sum n_i}{N_1} 100 = 80(74 - 85)\%$  всех данных, выделяется достаточно четкая

последовательность максимумов чисел  $n_i = 11 (5+6)$ , 4 (5), 3 (5), 3 (4), 2, 1. Эти максимумы чисел  $n_i$  соответствуют парам землетрясений, очаги которых располагались друг от друга на расстояниях  $L_i = 5000 \pm 1000$ ,  $8000 \div 9000$ ,  $12000 \div 13000$ ,  $16000 \div 17000$ ,  $19000 \div 2000$ ,  $22000 \div 23000$  км соответственно (рис. 1).

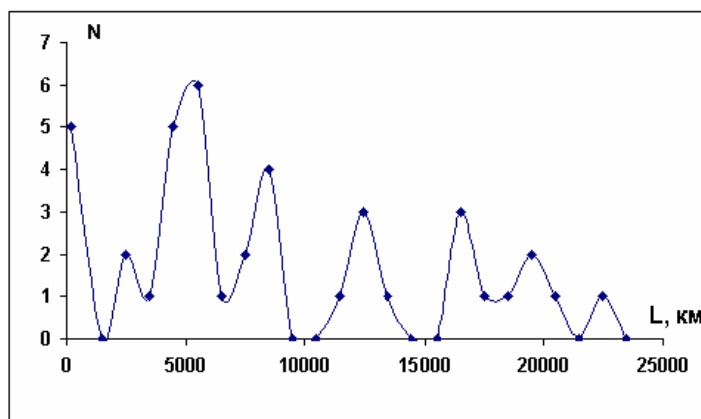


Рис.1. Числа  $N$  землетрясений-дуплетов и пар землетрясений как функция расстояния  $L$  между очагами

### Структура тихоокеанского сейсмического пояса

Авторами (с участием Н.А. Осиповой) был составлен каталог сильнейших тихоокеанских землетрясений 1570 – 2006 гг. с  $M \geq 7.6$ , из которого были выбраны пары событий ( $n = 223$ ) с временами в очагах  $\tau \leq 0,5$  года. Расстояния между землетрясениями в паре определялись в соответствии с методикой [11]. Оказалось, что плотность распределения чисел расстояний между землетрясениями в паре на уровне значимости 0.01 отличается от равномерного. При этом, спектр числа пар, как функции расстояния, имеет значимые\* максимумы, соответствующие длинам волн  $L_j = 19000-20000, 4000-5000, 2500-3000$  и  $1000-1200$  км (рис. 2).

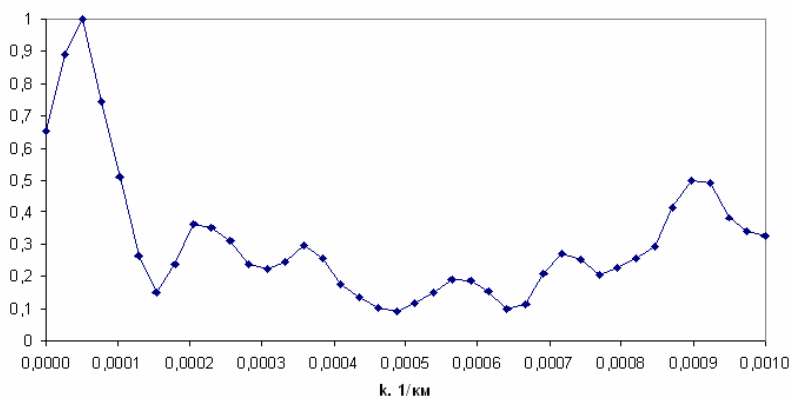


Рис. 2. Нормированная интенсивность Фурье-гармоник чисел пар землетрясений как функция волнового числа  $k = 1/L$

### Выводы

Полученные данные показывают, что группирование землетрясений в дуплеты и пары является неслучайным и отражает вполне определенные пространственно-временные закономерности сейсмотектонического процесса. Между дуплетами и парами, как можно видеть из данных табл. 1, 2 и [8], нет существенной разницы. Данные, представленные в табл. 1 и 2, могут быть распространены на любые расстояния между очагами землетрясений в паре, включая и предельно большие, достигающие размеров, равных половине протяженности всего тихоокеанского сейсмического пояса [8]. На основании этих данных числа дуплетов и пар, по сути, определяют «мгновенный» «портрет» тихоокеанского сейсмотектонического пояса. Структура такого портрета определяется набором значений  $L_{ij}$ , который, очевидно, может быть проинтерпретирован как соответствующая совокупность стоячих волн с длинами  $L_0 \approx 200$  км и кратными значению  $L_1$ , заключенному в пределах  $L_1 = 2500 \div 5000$  км (рис. 1, 2).

Представляется, что пара сильных землетрясений 19.01 и 29.06.1780, скорее всего, является сильнейшими землетрясениями-дуплетами, очаги которых, как и очаги землетрясений 2006-2007, заполнили собой сейсмофокальный объем Средних Курил. Как видим, землетрясения-дуплеты 1780 и 2006-2007 гг., по сути, являются близкими южнокамчатским сильнейшим дуплетам 17.10.1737 и 1952 гг. (табл. 1).

Согласно данным [6] 29.07.1854 в районе Северных Курил между дуплетами 17.10.1737 и 1952 гг. произошло сильнейшее землетрясение, которое сопровождалось ощутимыми сотрясениями и сильным цунами [18]. В этой связи, вполне возможно, что и землетрясение 21.06.1847 г. с  $M = 7.5 \pm 1.0$ , а, возможно, и пара землетрясений 21.06.1847 и 11.1853 с  $M = 7.5 \pm 1.0$  (табл. 1, № 14) с очагами в районе Средних Курил, также являлись сильнейшими, своими очагами заполнившими сейсмофокальный объем Средних Курил. В таком случае значение повторяемости сильнейших дуплетов и пар землетрясений для района Средних Курил, равное  $110 \pm 30$  лет, было бы близким повторяемости сильнейших землетрясений  $T_0$  для всей окраины Тихого океана [9].

Сильнейший дуплет 15.11.2006 – 13.01.2007 и полученные в работе данные подтверждают точку зрения С.А. Федотова [5, 7, 24], согласно которой Средние Курилы являются вполне обычной сейсмической брешью, в пределах которой происходили и будут происходить в дальнейшем сильнейшие ( $M \geq 7.5 - 7.9$  [5, 7, 9]) землетрясения. Отсюда так же вытекает и другой вывод, согласно которому значения магнитуд курило-камчатских землетрясений XVIII – XIX вв.,

\* Значимость спектральных максимумов не очевидна из рис.2. – Прим.ред.

представленные в каталоге [18], скорее всего, занижены на 0.5 – 1 единицу магнитуды, что, в частности, подтверждается и данными работы [15].

### Список литературы

1. Балакина Л.М. Шикотанское землетрясение 4 октября 1994 г. и Курило-Камчатская сейсмогенная зона // Шикотанское землетрясение 4(5).10.1994 г. Федеральная система сейсмологических наблюдений и прогноза землетрясений. Информационно-аналитический бюллетень. Экстренный выпуск. М.: ФССН, 1994. С. 42-51.
2. Бюллетень с/ст. Петропавловск. [www.emsd.iks.ru](http://www.emsd.iks.ru)
3. Викулин А.В. Вариант долгосрочного сейсмического прогноза для Камчатского залива и Кроноцкого полуострова // Вулканология и сейсмология. 1986. № 3. С. 72-83.
4. Викулин А.В. Особенности распределения землетрясений северо-западной части Тихого океана // Геофизические исследования при решении геологических задач. Сборник научных трудов. Магадан: СВКНИИ АН СССР, 1989. С. 43-57.
5. Викулин А.В. Феноменологическая модель сейсмического процесса // Доклады АН СССР. 1990. Т. 310. № 4. С. 821-824.
6. Викулин А.В. Миграция очагов сильнейших камчатских и северо-курильских землетрясений и их повторяемость // Вулканология и сейсмология. 1992. № 1. С. 46-61.
7. Викулин А.В. Южно-Курильское землетрясение 4 октября 1994 г. как предвестник сильнейшего землетрясения на юге Камчатки // Вулканология и сейсмология. 1996. № 5. С. 106-112.
8. Викулин А.В. Долгосрочный прогноз, миграция и пары землетрясений. Петропавловск-Камчатский: КОМСП ГС РАН. Препринт № 1, 1996. 32 с.
9. Викулин А.В. Физика волнового сейсмического процесса. Петропавловск-Камчатский: КОМСП ГС РАН, 2003. 150 с.
10. Викулин А.В., Викулина С.А. Закономерности размещения очаговых областей сильнейших землетрясений в районе желоба Нанкай. Петропавловск-Камчатский: КГС ИФЗ РАН. Препринт № 5. 1989. 44 с.
11. Викулин А.В., Водинчар Г.М. Спектр потока сейсмичности // Четвертый Всероссийский симпозиум «Сейсмоакустика переходных зон». Материалы докладов. Владивосток: ТОИ ДВО РАН, 2005. С. 98-102.
12. Викулин А.В., Гусяков В.К., Титов В.В. О природе максимального цунами // Вычислительные технологии. 1992. Т. 1. № 3. С. 131-134.
13. Викулин А.В., Чернобай И.П. Механизм очага Урупского (1963 г.) и Большого Камчатского (1952 г.) землетрясений // Динамические процессы в дискретных геофизических системах. Владивосток: ТОИ ДВНЦ АН СССР, 1986 а. С. 58-66.
14. Викулин А.В., Чернобай И.П. О некоторых особенностях двух сильнейших Курило-Камчатских землетрясений // Физические поля и свойства горных пород Северо-Востока СССР. Магадан: СВКНИИ ДВНЦ АН СССР, 1986 б. С. 44-59.
15. Гусев А.А., Шумилина Л.С. Повторяемость сильных землетрясений Камчатки в шкале моментных магнитуд // Физика Земли. 2004. № 3. С. 34-42.
16. Кузин И.П., Лобковский Л.И., Соловьева О.Н. Об особенностях сейсмичности центральной части курильской гряды // Физика Земли. 2001. № 6. С. 29-40.
17. Лаверов Н.П., Лаппо С.С., Лобковский Л.И., Баранов Б.В., Кулинич Р.Г., Карп Б.Я. Центральнo-Курильская «брешь»: строение и сейсмический потенциал // Доклады РАН. 2006. Т. 408. № 6. С. 1-4.
18. Новый каталог сильнейших землетрясений на территории СССР. М.: Наука, 1977. 536 с.
19. Попов Г.И. Об условиях образования цунами // Бюллетень Совета по сейсмологии. № 9. М.: Изд-во АН СССР, 1961. 59 с.
20. Саваренский Е.Ф., Тищенко В.Г., Святловский А.Е., Добровольский А.Д., Живаго А.В. Цунами 4-5 ноября 1952 г. // Бюллетень Совета по сейсмологии. № 4. М.: Изд-во АН СССР, 1958. 62 с.
21. Соловьев С.Л. Основные данные о цунами на тихоокеанском побережье СССР, 1737-1976 гг. // Изучение цунами в открытом океане. М.: Наука, 1978. С. 61-136.
22. Соловьев С.Л., Го Ч.Н. Каталог цунами на западном побережье Тихого океана. М.: Наука, 1974. 310 с.
23. Тараканов Р.З., Ким Ч.У., Сухомлинова Р.И. Закономерности пространственного распределения гипоцентров Курило-Камчатского и Японского регионов и их связь с особенностями геофизических полей // Геофизические исследования зоны перехода от Азиатского континента к Тихому океану. М.: Наука, 1977. С. 67-77.
24. Федотов С.А. Долгосрочный сейсмический прогноз для Курило-Камчатской дуги. М.: Наука, 2005. 302 с.
25. Mogi K. Monthly distribution of large earthquakes in Japan // Bull. of the Earthquake Research Inst. of Tokyo. 1969. V. 47. Part 3. P.419-427.
26. NEIS: <http://neic.usgs.gov/neis/epic/epic.html>
27. Usami T., Tsuno J. Bibliography of field studies on major earthquakes in Japan // Bull. of the Earthquake Research Inst. of Tokyo. 1969. V. 47. Part 2. P.271-394.
28. Utsu T. Seismic activity in Hokkaido and its vicinity // Geophys. Bull. Hokkaido Univ. 1968. V. 20. P.51-55.
29. Ward S.M. Earthquake mechanisms and tsunami generation: the Kurile Islands event of October 13, 1963 // BSSA. 1982. V. 72. № 3. P. 759-777.