

**МАКРОСЕЙСМИЧЕСКИЕ ПРОЯВЛЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ И ГЛУБОКИХ
ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ КАМЧАТСКОЙ ЗОНЫ СУБДУКЦИИ**

Митюшкина С.В.¹, Иванова Е.И.¹, Чеброва А.Ю.¹, Левина В.И.²

¹*Камчатский филиал Геофизической службы РАН, г. Петропавловск-Камчатский,
mitik@emsd.ru*

²*Геофизическая служба РАН, г. Обнинск*

Введение

В настоящее время в КФ ГС РАН введен в работу новый метод сбора макросейсмической информации. Существенным отличием от предыдущего получения данных стал запрос информации по утвержденному перечню пунктов. В результате создаваемый каталог макросейсмических проявлений землетрясений на Камчатке и Командорских островах стал наполняться более подробными, систематическими и информативными данными, что позволяет проводить более детальный анализ пространственного распределения интенсивности сотрясений.

Наиболее хорошо изучены макросейсмические проявления поверхностных ($h > 70$ км) землетрясений. Для наиболее сильных поверхностных землетрясений набирается достаточно материала, для построения карт изосейст даже по данным, полученным в малонаселенном Камчатском регионе. Макросейсмическая картина для таких землетрясений имеет определенные закономерности. Максимальная интенсивность сотрясений фиксируется в ближайших от эпицентра пунктах, с расстоянием макросейсмический эффект убывает. Первые изосейсты повторяют форму очага. Для камчатских поверхностных землетрясений часто наблюдается вытянутость изосейст вдоль побережья, т.е. по простиранию сейсмофокальной зоны. Возможно, это связано со слабым затуханием сейсмической энергии в зоне субдукции и направленностью излучения больших амплитуд колебаний. И, как правило, для поверхностных землетрясений макросейсмический эпицентр близок к инструментальному или же совпадает с ним.

Иная картина наблюдается для промежуточных ($70 \leq h < 350$ км) и глубоких ($h \geq 350$ км) землетрясений Камчатки. Преобладающее большинство событий с глубиной больше 70 км, происходит в сейсмофокальной зоне (зоне субдукции). Долгое время, из-за недостатка информации для таких землетрясений, каких-либо особенностей проявления макросейсмического эффекта на полуострове замечено не было. Впервые достаточно полные данные были получены для Тумрокских землетрясений, произошедших в 2003 и 2004 гг. в промежуточном слое зоны субдукции в Восточном хребте на глубине около 200 км. Оказалось, что для этих землетрясений наблюдался нетипичный макросейсмический эффект: более значительному воздействию подвергались населенные пункты, расположенные на восточном побережье Камчатки; в ближайших к очагам населенных пунктах интенсивность толчков была значительно ниже или они не ощущались совсем. В данной работе проведен макросейсмический анализ всех землетрясений, произошедших в промежуточном и глубоком слоях Камчатской зоны субдукции.

Методика сбора макросейсмических данных

На сегодняшний день в макросейсмическом каталоге содержится информация почти о 2000 землетрясений Камчатского региона за период с 1962 г. по настоящий день. Ведение каталога включает в себя в первую очередь своевременный сбор информации по макросейсмическим проявлениям землетрясений в Камчатском крае и на островах Северных Курил. Большая часть информации – это данные о событиях, произошедших на глубинах меньше 70 км. Незначительная часть, всего 14 % данных, приходится на промежуточные и глубокофокусные землетрясения. В первую очередь это связано с тем, что на Камчатке количество ощутимых поверхностных землетрясений значительно превышает число ощутимых глубоких событий.

Пока, к сожалению, основное количество землетрясений, представленных в макросейсмическом каталоге, имеет скудную информацию. Сбор макросейсмических сведений осуществляется по следующей схеме:

- Ежедневно просматриваются данные службы срочных донесений и карта землетрясений камчатского региона по оперативным данным.
- Исходя из местоположения эпицентров и энергетического класса землетрясения, решается, в каких населенных пунктах оно могло ощущаться. Затем осуществляется телефонный опрос сначала жителей ближайших к эпицентру пунктов, а затем более удаленных до получения нулевой

информации, т.е. где землетрясение не ощущалось. Также собираются макросейсмические данные с региональных сейсмических станций, маяков и пунктов ГМС Камчатки. Т.е. используются разнообразные доступные источники.

- В случае сильного землетрясения предпринимаются экспедиционные выезды в населенные пункты эпицентральной зоны для сбора макросейсмической информации.

Все макросейсмические данные обрабатываются с использованием шкалы MSK-64. Оценка макросейсмической информации проводится без учета характеристик грунтов из-за отсутствия данных по ним.

Анализ макросейсмических проявлений промежуточных и глубоких землетрясений Камчатской зоны субдукции

Как отмечалось выше, впервые возможность проанализировать макросейсмические данные для глубоких землетрясений появилась, когда с разницей в один год в 2003 и 2004 гг. на глубине около 200 км в Восточном хребте, в хребте Тумрок, произошло два похожих сильных землетрясения с магнитудой $M_w = 6.9$ (табл. 1). Были собраны данные по ряду пунктов, включая пункты и с нулевым ощущением. Это позволило увидеть картину распределения макросейсмических воздействий на полуострове.

Таблица 1. Параметры рассмотренных в работе промежуточных и глубоких землетрясений зоны субдукции, имеющих макросейсмические проявления на территории Камчатского края.

№	Дата	Время		Координаты		h, км	K_s	M_w NEIC	Примечание
		ч.	м.	ϕ°	λ°				
1	16.06.2003	22	8	55.300	160.340	190	14.7	6.9	Хребет Тумрок
2	10.06.2004	15	19	55.678	160.246	208	14.8	6.9	Хребет Тумрок
3	22.05.2006	13	8	54.128	158.814	213	13.5	6.2	Валагинский хребет
4	05.07.2008	2	12	54.120	152.200	594	14.2	7.7	Охотское море
5	24.11.2008	9	2	53.830	155.260	567	14.0	7.3	Охотское море

На рис. 1а представлена карта макросейсмических проявлений события 16 июня 2003 года. Это землетрясение ощущалось на расстоянии до 360 км и вызвало сотрясения до 5 баллов в секторе северо-восток – юг от эпицентра от Усть-Камчатка (пункт 54 на рис. 1а) до излучины реки Жупанова (пункт 16). Максимальные ощущения силой до 6 баллов наблюдались на маяке Кроноцком, находящемся на расстоянии 128 км от эпицентра (пункт 31). В то время как в поселке Мильково (пункт 34) на таком же расстоянии землетрясение не ощущалось вовсе, а в ближайшем к очагу поселке Лазо (пункт 27) интенсивность толчков не превышала 3-х баллов.

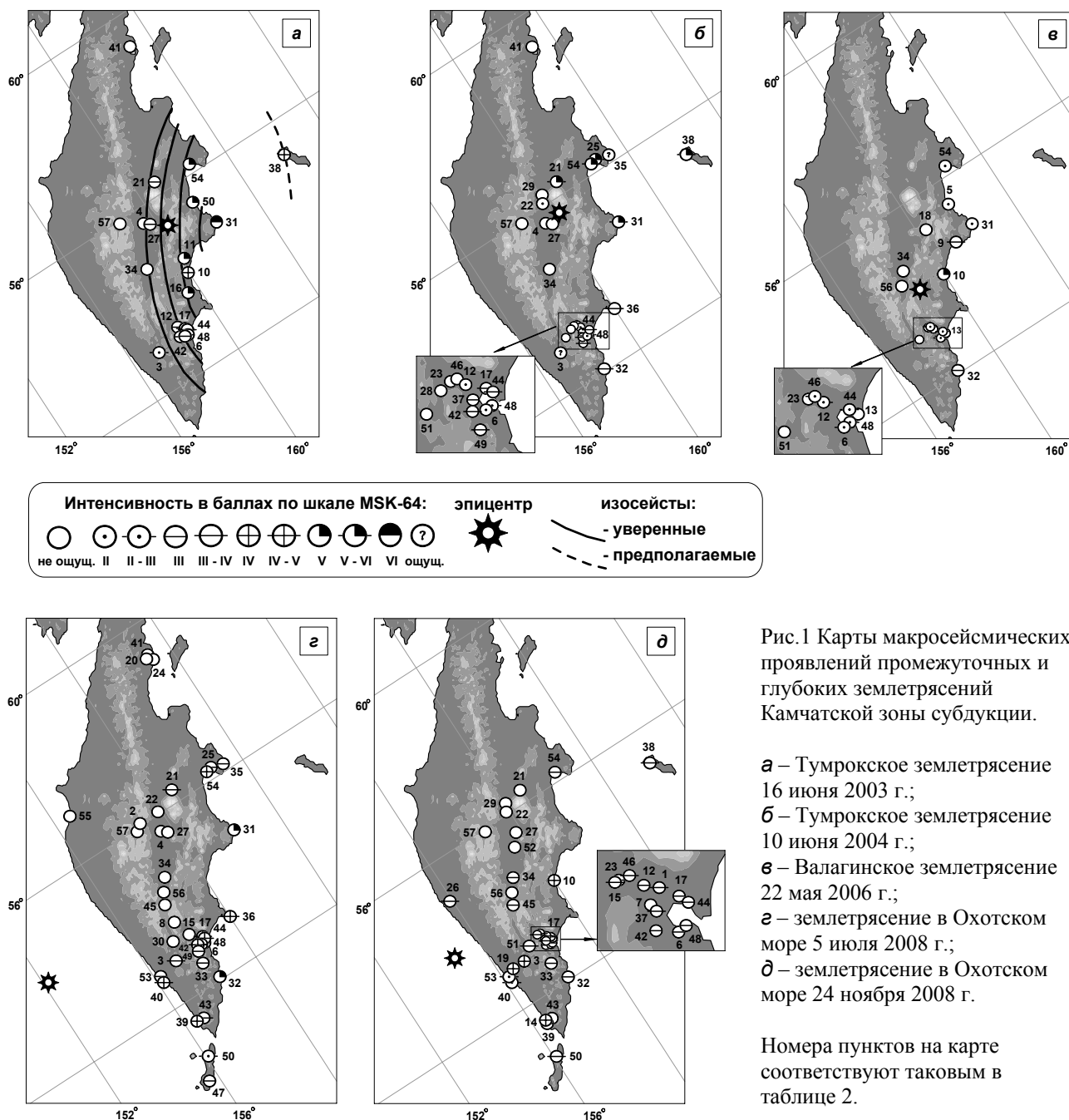
На основе макросейсмических данных на карту были нанесены изосейсты (рис. 1а). Видно, что изосейсты вытянуты вдоль побережья полуострова, также как и для камчатских поверхностных землетрясений. Однако макросейсмический эпицентр сильно смещен относительно инструментального эпицентра в восточном направлении и находится у побережья Кроноцкого полуострова.

Событие 10 июня 2004 года, представленное на рис. 1б, вызвало максимальные сотрясения силой 5-6 баллов в населенных пунктах, расположенных в секторе северо-восток – юго-восток от эпицентра, захватывая остров Беринга. Максимальная интенсивность наблюдалась в поселках Ключи, Усть-Камчатск, маяк Кроноцкий, Крутоберегово и Никольское (пункты 21, 54, 31, 25, 38 на рис. 1б). Землетрясение совсем не ощущалось в ближайших от эпицентра поселках Лазо и Атласово (пункты 27, 4), и проявилось лишь в поселке Козыревск (пункт 22) с интенсивностью 2 балла. По имеющимся макросейсмическим данным для этого землетрясения изосейсты провести было затруднительно.

Сравнивая макросейсмическую картину двух Тумроцких землетрясений (рис. 1а, 1б), можно заметить схожесть их проявления на полуострове. Характерной чертой этих событий является то, что их макросейсмические эпицентры сильно смещены относительно инструментальных к восточному побережью Камчатки и попадают в район выхода тихоокеанской плиты на поверхность. Макросейсмическому воздействию подверглись населенные пункты, расположенные в основном на восточном побережье Камчатки, а также на острове Беринга. В то время как в поселках, расположенных в центральной части Камчатки, землетрясения практически не ощущались.

Подобное макросейсмическое проявление глубоких землетрясений зоны субдукции не является уникальным. Этот эффект обнаружен японскими учеными еще в начале 20 века и часто наблюдается в Северной Японии для землетрясений с глубиной более 110-160 км. Японские ученые считают, что

погружающаяся часть Тихоокеанской плиты играет роль эффективного волновода для высокочастотных волн, что приводит к аномально высоким интенсивностям на восточном побережье Северной Японии. Причем в районе эпицентра эти землетрясения могут не ощущаться [2].



После того, как был обнаружен такой интересный факт, мы проанализировали все землетрясения макросейсмического каталога с глубиной более 70 км, произошедшие в Камчатской зоне субдукции. Оказалось, что подобный макросейсмический эффект наблюдается только для землетрясений глубже 150 км. Было найдено еще 3 события с необходимыми параметрами и достаточным количеством макросейсмической информации – это событие 2006 г. в Валагинском хребте (рис. 1 в) и два события 2008 г. с эпицентрами в Охотском море (рис. 1 г, д) (табл 1).

Макросейсмическая карта Валагинского землетрясения 22 мая 2006 г. ($M_w = 6.2$) представлена на рис. 1в. Явно прослеживается тот же макросейсмический эффект, что и для Тумроких событий. Землетрясение ощущалось во всех населенных пунктах восточного побережья Камчатки: от Усть-Камчатка (пункт 54) до маяка Круглый (пункт 32). Максимальная интенсивность (5 баллов) зафиксирована на ГСМ Семячки (пункт 10). Так же как и в случае с Тумрокими событиями ближайшие населенные пункты – Шаромы и Мильково (пункты 56, 34) – землетрясения не ощущали.

Таблица 2. Сведения об интенсивности (I) макросейсмических проявлений землетрясении, перечисленных в таблице 1, и эпицентральные расстояния (r) до пунктов сбора информации

№ пункта	Название пункта	№ 1		№ 2		№ 3		№ 4		№ 5	
		r, км	I, балл	r, км	I, балл	r, км	I, балл	r, км	I, балл	r, км	I, балл
1	26 км Елизовского шоссе									227	3-4
2	Анавгай							482	0		
3	Апача	336	2-3	367	ощущ.			352	3-4	160	4
4	Атласово	64	0	45	0			499	0		
5	бухта Сторож	89	5			237	2				
6	Вилючинск	293	3	329	2-3	137	2-3	434	3	234	3
7	Вулканный									220	0
8	Ганалы							380	0		
9	ГМС Кроноки					159	3-4				
10	ГМС Семячки	133	4			76	5			311	4
11	Долина Гейзеров	95	5								
12	Елизово	267	3	302	2	108	2-3			219	3
13	Завойко					131	0				
14	Запорожье									272	4
15	Зеленый							405	0	203	3-4
16	излучина р. Жупанова	183	5								
17	Институт	273	3-4	309	3-4			440	4-5	238	3
18	ист. Тумрокские					157	0				
19	Кавалерское									134	4
20	Карага							864	0		
21	Ключи	117	3	80	5-6			601	4	451	0
22	Козыревск			49	2			535	0	386	0
23	Коряки			297	0	102	0			205	3
24	Кострома							868	0		
25	Крутоберегово			167	5-6			709	3	140	3-4
26	Крутогорово										
27	Лазо	46	3	35	0			510	0	346	0
28	Лесной			305	0						
29	Майское			64	0					407	0
30	Малки							357	0		
31	маяк Кроноцкий	128	6	157	5-6	224	2	645	5		
32	маяк Круглый			421	3-4	232	3	467	5	283	3
33	МГеоЭС-1							425	3	233	3
34	Мильково	128	0	150	0	65	0	422	0	240	3
35	мыс Африка			194	ощущ.			737	3		
36	мыс Шипунский			286	3-4			528	4-5		
37	Николаевка			317	3					223	3-4
38	Никольское	359	4	366	5-6					710	3-4
39	Озерновский							412	4	274	3-4
40	Октябрьский							312	4-5	144	2-3
41	Оссора	469	0	432	0			875	0		
42	Паратунка	293	3	328	3-4			421	4-5	221	3
43	Паужетка							428	4	283	0
44	Петропавловск	277	3-4	313	3-4	124	2-3	444	3-5	243	3
45	Пушино							379	0	184	3
46	Раздольный			296	0	101	2-3			212	3-4
47	РНС Подгорная							496	3		
48	Рыбачий	289	3	326	2-3	135	2-3	439	3	239	3
49	р. Карымшина (стационар КФ ГС)			346	3-4			419	3-4		
50	Северо-Курильск							466	2-3	356	3-4
51	Сокоч			327	0	132	0			175	3-4
52	Таежный									310	0
53	Усть-Большерецк							305	3-4	130	2-3
54	Усть-Камчатск	168	5	151	5-6	329	2	694	4	532	3
55	Усть-Хайрюзово							435	0		
56	Шаромы					49	0	395	0	206	0
57	Эссо	125	0	101	0			461	0	321	0

На рис. 1г представлена макросейсмическая картина Охотоморского землетрясения 5 июля 2008 г. ($M_w = 7.7$). Это событие далекое и глубокое (табл. 1). В ближайших к эпицентру поселках - Усть-Большерецке (305 км, пункт 53) и Октябрьском (312 км, пункт 40) – землетрясение ощущалось силой до 4-5 баллов. Примечательно то, что землетрясение ощущалось во всех населенных пунктах восточного побережья Камчатки: от мыса Африка (пункт 35) до маяка Круглый (пункт 32). И максимальный макросейсмический эффект наблюдался там же – 5 баллов на маяках Круглый (467 км, пункт 32) и Кронцкий (645 км, пункт 31). В то же время жители поселков, расположенных в Камчатской низменности и Срединном хребте землетрясение совсем не ощущали. За исключением поселка Ключи, где интенсивность сотрясения достигала 4 баллов (пункт 21).

Другое событие в Охотском море произошло 24 ноября 2008 г. ($M_w = 7.3$) вблизи западного побережья Камчатки (рис. 1д, табл.1). В ближайшем поселке Усть-Большерецке (пункт 53 на рис. 1д), интенсивность сотрясения не превышала 3 баллов. Максимальные сотрясения силой 4 балла зафиксированы в поселках Кавалерское, Апача и Запорожье, а также на восточном побережье на ГМС Семячки (пункты 19, 3, 14, 10). В других населенных пунктах восточного побережья землетрясение ощущалось с интенсивностью до 3-х баллов. Сотрясения силой 3-4 балла ощущались и на острове Беринга в поселке Никольском (710 км, пункт 38), жителям его была объявлена тревога об опасности цунами. Заметим, что в большинстве поселков центральной Камчатки землетрясение не ощущалось.

Нетипичное распределение интенсивности сотрясений, вызванных промежуточными и глубокими землетрясениями, наблюдается на протяжении всей Японско-Курило-Камчатской зоны субдукции. Например, подобное аномальное проявление интенсивности сотрясений отмечалось в Сахалинском сейсмическом регионе при землетрясении в Татарском проливе 12 мая 1990 г. ($M_w = 7.2$, $h = 613$ км). Вблизи эпицентра макросейсмические проявления были намного слабее, чем на расстоянии 1000 км в некоторых населенных пунктах Японии, где максимальная интенсивность достигала 4-5 баллов по шкале MSK-64 [1].

Используя данные каталога международного сейсмологического центра (ISC), был проведен поиск похожего макросейсмического эффекта от глубоких землетрясений, происходящих в сейсмофокальных зонах Тихого океана вдоль побережья Северной и Южной Америки. К сожалению, макросейсмической информации по интересующим нас событиям было недостаточно, для получения каких-либо выводов.

Заключение

1. Подтверждена на практике эффективность существующего метода сбора макросейсмической информации. Показана необходимость сбора данных со всех доступных пунктов, особенно для ощутимых промежуточных и глубоких землетрясений зоны субдукции. В макросейсмический каталог важно вносить информацию об отсутствии ощущений в пунктах.

2. Впервые для Камчатки показан «аномальный» макросейсмический эффект для землетрясений с глубиной более 150 км, локализованных в зоне субдукции. Характерной особенностью таких землетрясений является смещение максимальной интенсивности сотрясений на восточное побережье Камчатки в район выхода тихоокеанской плиты на поверхность. Нетипичное распределение интенсивности сотрясений, вызванных промежуточными и глубокими землетрясениями, наблюдается на протяжении всей Японско-Курило-Камчатской зоны субдукции.

3. Интересно отметить, что для глубоких землетрясений в результате смещения макросейсмического эпицентра практически невозможно правильно определить параметры (координаты, глубину, магнитуду) землетрясения по макросейсмическим данным, как это делается при создании исторического каталога.

Авторы статьи глубоко признательны И.Р. Абубакирову и А.В. Ландеру за всестороннее обсуждение темы и ценные замечания, а также В.Н. Чеброву и А.А. Раевской за участие в разработке новой методики сбора макросейсмической информации.

Список литературы

1. Урбан Н.А., Поплавская Н.Л., Воробьев Е.А., Оскорбин Л.С., Полякова Т.А., Рудик М.И.. Глубокофокусное землетрясение 12 мая 1990 г. на Сахалине // Землетрясения в СССР в 1990 году. Москва. 1996. С 87-90.
2. Furumura T., Kennett B.L.N. Subduction zone guided waves and the heterogeneity structure of the subducted plate: Intensity anomalies in northern Japan // Journal of geophysical research. 2005. V. 110, B10302, 27 p.