

## ОСОБЕННОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РОЕВЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В СЕЙСМОАКТИВНОЙ ЗОНЕ В АКВАТОРИИ ТИХООКЕАНСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ КАМЧАТКИ

Славина Л. Б.<sup>1</sup>, Левина В. И.<sup>2</sup>, Бабанова Д.Н.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт физики Земли РАН, г. Москва, [slavina@ifz.ru](mailto:slavina@ifz.ru)

<sup>2</sup> Геофизическая служба РАН, г. Обнинск

### Введение

Рои землетрясений - это особый вид проявления сейсмической активности, когда за достаточно короткое время, в течение нескольких суток от 1 до 5- 15 суток (редко более длительное время), в одном и том же месте, на ограниченной площади, происходит большое количество землетрясений, как правило, малых энергетических классов, характерных для фоновой сейсмичности региона. Наблюдается как бы одномоментное, быстрое высыпание землетрясений, ассоциируемое, с роем пчел. Причем, следует отметить, что в отличие от афтершоковой последовательности, роевые последовательности землетрясений не всегда имеют главное событие старшего энергетического класса, а также характерного затухания энергии событий во времени.

Ранее, рядом авторов предполагалось, что роевые последовательности являются предвестниками сильных землетрясений [5] и происходят там, где впоследствии возникает очаг сильного события. Однако в настоящее время это предположение является спорным, т.к. в большинстве случаев оно не подтверждается. Физическая природа возникновения роев не ясна. Они возникают, как в зонах континентальной сейсмичности (например, на Кавказе), так и в зонах субдукции (Курило-Камчатская зона). В областях, где в прошлые годы имели место сильные землетрясения, например, в Шеки – Шемахинской сейсмоактивной зоне Кавказа, так и в районах, где сильных землетрясений ранее не было. Для Камчатской сейсмоактивной зоны рои землетрясений характерны и регистрируются регулярно.

В работе представлены результаты выявления роевых последовательностей землетрясений в Камчатской сейсмофокальной зоне за период наблюдений с 1963 по 2008 гг. Исследованы особенности их распределения в пространстве и времени. Проанализировано их положение на фоне общей сейсмической активности в фокальной зоне. Обнаружены особенности концентрации роевых последовательностей на отдельных участках, приуроченность их, в основном, к поперечным структурным элементам новейшей тектоники по Н.И. Селиверстову [2], периодичность и частота их появления во времени на отдельных структурах.

### Исходные данные и методика выявления роевых последовательностей.

Из регионального каталога землетрясений Камчатки за период 1963–2008 гг. [1], полученного Камчатским филиалом Геофизической службы РАН, было выделено и исследовано 63 роевых последовательности, произошедших в камчатской сейсмофокальной зоне. Выборка из каталога осуществлялась для событий с  $K_S \geq 8.5$ , без ограничения по глубине. Роем считалась последовательность при числе событий  $N \geq 7$ , произошедших за сутки, достаточно компактно по площади. Длительность роевых последовательностей варьировала от 1 до 15 дней. Выделение роевых последовательностей из каталога землетрясений осуществлялось сейсмологом визуально. Выделялся интервал времени, в течение которого происходило массовое «высыпание» землетрясений с близкими значениями координат эпицентров. Математически жестких критериев при выборке из каталога роевых последовательностей по времени и координатам не задавалось. Далее, для каждой роевой последовательности строился график зависимости распределения событий по энергетическому классу от времени. По выходу графика на уровень фоновой сейсмичности устанавливался период длительности роя. При наличии в выборке землетрясений с  $K_S \geq 12.5$ , по форме графика, а именно, его отличия от гиперболической зависимости спада энергии землетрясений во времени, характерного для афтершоковой последовательности, проверялась принадлежность событий к рою. (В отличие от афтершоковой последовательности, роевые последовательности землетрясений не имеют характерного затухания событий по энергии во времени, согласно формуле затухания энергии афтершоков во времени  $F.Omori$  [3].)

Для определения центра тяжести роя и определения преимущественной глубины гипоцентров строились распределения событий по площади и глубине. Из выборки исключались события,

«отскочившие» от области основного скопления землетрясений более чем на  $0.2^\circ$ . Руководствуясь представлением о сложности геолого-тектонического строения региона и неоднородности проявления сейсмической активности, как по простиранию, так и вкост фокальной зоны, мы анализировали роевые последовательности отдельно для трех районов: I – область подводного продолжения полуострова Шипунский – Авачинский залив и юг Камчатки; II – Кроноцкий залив; III – Камчатский залив и Кроноцкий полуостров. Рассматривались только рои из фокальной зоны. Результаты распределения роев по площади и во времени приведены в таблице 1 и на рисунках 1, 2. Положение роевых последовательностей показано на фоне схемы новейшей тектоники участка Тихого океана между Курило-Камчатским желобом и побережьем Камчатки по Н.И. Селиверстову [2]. Общее число роевых последовательностей, выявленных нами за этот период, на протяжении от Камчатского полуострова на севере, до мыса Лопатка на юге (от  $56^\circ$  до  $51^\circ$  N) - 63. В настоящей статье проводится более подробный анализ для 27 роевых последовательностей, содержащих 30 и более событий (табл. 1).

Таблица 1. Сведения о роях с количеством землетрясений  $N \geq 30$ , произошедших в сейсмофокальной зоне за период 1963-2008 гг.

№ роя	Дата день, мес., год	Длитель- ность, дни	Количество землетрясений в рое, N	Центр роя, с.ш., в.д.	Интервал глубин, км.	$K_s$ max	Район
1	10.07.1965	5	66	55.1 162.7	5-15	12.3	III
2	22.12.1965	6	27	52.4 160.5	5-10	12.6	I
3	19.10.1966	4	32	51.2 159.3	0-10	12.3	I
4	14.06.1968	5	35	51.5 159.8	10-40	12.8	I
5	30.08.1970	2	56	52.1 159.9	5-40	12.9	I
6	11.06.1973	14	109	53.5 161.7	0-45	13.2	II
7	03.10.1974	13	71	52.2 160.7	10-40	12.3	I
8	05.04.1975	7	71	52.2 160.2	10-35	13.7	I
9	06.01.1976	12	157	51.4 159.7	0-40	13.7	I
10	11.08.1979	5	35	54.5 162.4	15-25	12.8	III
11	23.01.1980	14	218	52.3 160.5	0-40	13.7	I
12	30.12.1982	22	94	54.7 163.1	10-50	13.7	III
13	07.02.1983	13	84	51.6 159.7	5-38	12.8	I
14	20.03.1986	9	28	53.4 161.8	15-30	11.3	II
15	27.08.1989	11	28	54.7 163.1	13-35	11.9	III
16	30.09.1990	4	29	52.8 160.4	0-5	12.5	I
17	02.03.1992	19	90	52.9 159.9	20-40	14.6	I
18	19.08.1994	15	114	52.3 160.6	5-45	12.5	I
19	21.06.1996	36	477	51.5 159.9	0-40	13.9	I
20	03.12.1997	3	96	55.0 162.9	10-30	12.8	III
21	27.05.1998	6	41	52.1 159.8	10-35	13.8	I
22	08.03.1999	7	84	52.1 159.8	10-35	14.3	I
23	08.10.2001	9	149	52.5 160.6	10-30	14.1	I
24	08.05.2002	6	43	52.2 160.4	20-40	13.0	I
25	15.03.2003	12	149	52.3 160.7	15-48	13.4	I
26	26.05.2006	7	33	54.6 161.7	15-21	11.2	III
27	31.05.2008	4	22	51.6 159.8	10-30	12.4	I

Исследование роевых последовательностей для камчатской фокальной зоны ранее было проведено В.М. Зобиным в 1994 г. [4], по данным регионального каталога за 1962-1989г.

#### Обсуждение полученных результатов

Из анализа таблиц и карт расположения роев не удалось выявить закономерности в последовательности их появления во времени вдоль всей Камчатки. Обнаружены особенности

концентрации роевых последовательностей: на отдельных участках, явно просматривается периодичность в возникновении роев на отдельных морфологических и геолого-тектонических структурах. Следует отметить приуроченность их, в основном, к поперечным структурным элементам новейшей тектоники, выявленным при исследовании прикамчатской акватории Тихоокеанского побережья Камчатки, заливов и полуостровов Н.И. Селиверстовым [2]. Причем, распределение и появление роевых последовательностей для Камчатского, Кроноцкого и Авачинского заливов и юга Камчатки не схожи друг с другом.

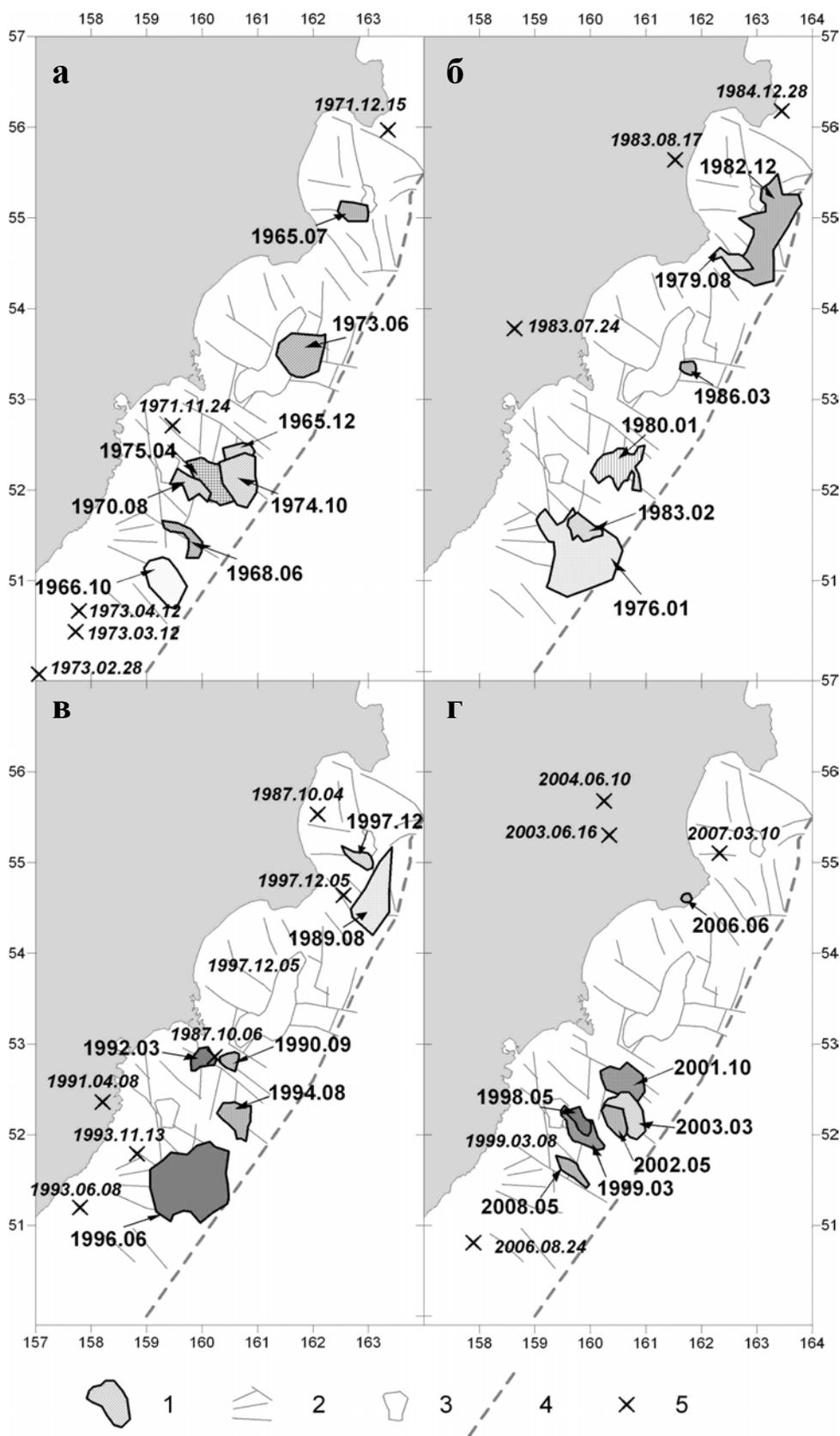


Рис.1 Положение эпицентров роевых последовательностей Камчатской сейсмофокальной зоны в разные периоды времени: а – 1965-1975 гг.; б – 1976-1986 гг.; в – 1987-1997 гг.; г – 1998-2008 гг.

1 – облако эпицентров;  
2,3 – элементы новейшей тектоники по [2];  
4 – ось Курило-Камчатского глубоководного желоба;  
5 – эпицентры сильных землетрясений ( $M_s \geq 14.0$ )

Цифрами на карте показаны даты сильных землетрясений и моменты возникновения роев.

Большая часть крупных роевых последовательностей, наблюдается в южной части, на участке к юго-востоку от п-ова Шипунский, практически до мыса Лопатка. Они приурочены к отдельным блокам, ограниченным поперечными разрывами, относительно простирания фокальной зоны. Эта же особенность характерна для района Кроноцкого залива, Кроноцкого полуострова и Камчатского залива.

Для крупных роевых последовательностей, наблюдавшихся к юго-востоку от полуострова Шипунский и южнее Авачинского залива можно отметить их периодическое возникновение на отдельных структурных блоках, ограниченных поперечными разломами, что хорошо видно на рис.2. Достаточно условно можно отметить чередование и некоторое направленное перемещение от блока к блоку с юга на север. Одновременно, в один и тот же год крупные рои на разных структурах не происходят. Для некоторых блоков можно выделить 8-11 летний цикл повторяемости крупных роевых последовательностей.

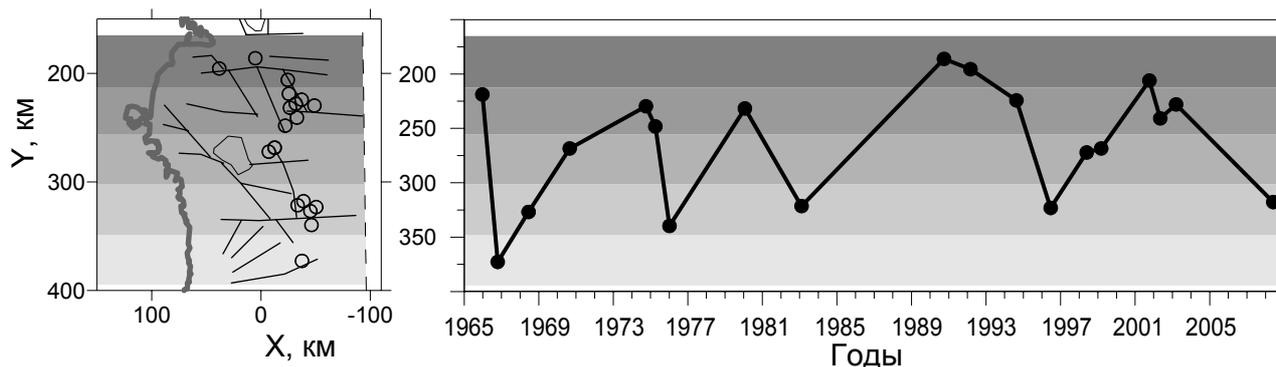


Рис.2 Изменение проекций центров крупных роев Авачинского залива и южной части фокальной зоны на ось Y во времени (справа). На левом рисунке показаны положения центров роев в плане. Различными оттенками серого цвета показаны выделенные структурные блоки.

Обнаружено, что во временной период крупных роевых последовательностей, содержащих большое количество событий ( $>100$ ), активность в фокальной зоне на интервале глубин, где происходили рои, на этом отрезке фокальной зоны ослабевает.

Связь роевых последовательностей с сильными землетрясениями, в качестве предвестника, не обнаружена. Более того, в периоды появления крупных роевых последовательностей сильных землетрясений с  $K_S \geq 14$  в сейсмофокальной зоне не происходило (Рис.3). Исключением является 1997 г., когда за три дня до сильного Кроноцкого землетрясения к северо-востоку от главного толчка, на другой поперечной структуре возник форшоковый рой. Следует отметить, что в 1965 г, в этом же месте произошел большой рой, не завершившийся сильным землетрясением. В основном, глубины, на которых возникают роевые последовательности, колеблются в пределах 0-40(50) км.

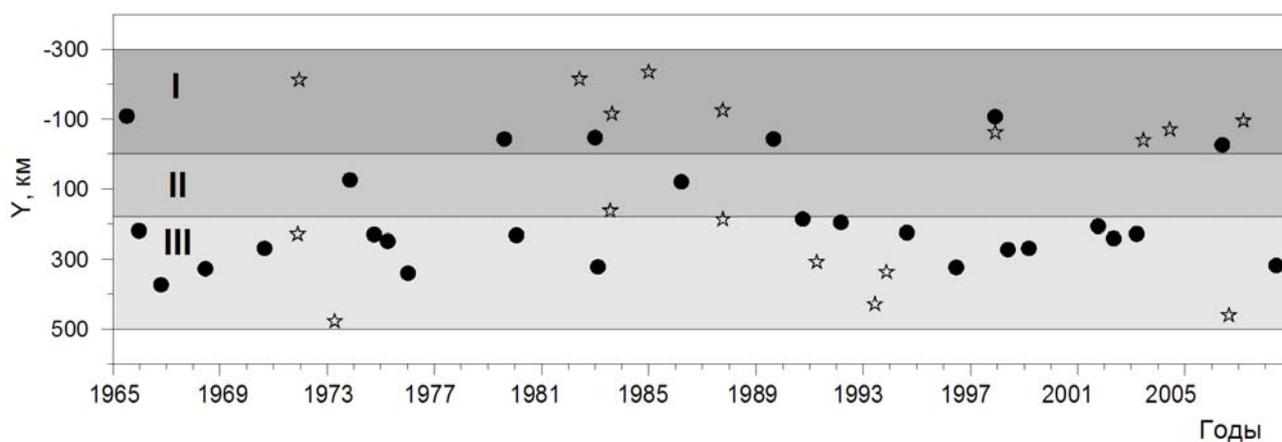


Рис. 3 Распределение во времени роевых последовательностей и сильных землетрясений ( $K_S \geq 14.0$ ) Кружки – центры роевых последовательностей, звезды – сильные землетрясения в фокальной зоне (вне роя). По оси ординат отложена проекция эпицентров на ось Y. Исследуемые районы показаны различными оттенками серого цвета.

Для исследования распределения землетрясений в рое по глубине строились вертикальные разрезы вкрест фокальной зоны. Для большинства роевых последовательностей в Авачинском заливе, на юге Камчатки и в Кроноцком заливе была обнаружена уходящая на глубину наклонная плоскость. Плоскость наклонена в сторону глубоководного желоба, под углом  $\sim 45^\circ$ , т.е. в противоположном направлении наклону фокальной зоны. (Рис.4). Не обнаружена четкая зависимость площади роя от величины старшего энергетического класса в рое и его длительности (ранее отмеченные в работе [4]). Не ясно, существует ли прямая связь роевых последовательностей с активностью в фокальной зоне. Этот вопрос требует специального рассмотрения. Вероятно, характер роевых последовательностей, их «мощность», т. е. число событий, распределение по глубине, площади и времени связаны с особенностями строения того блока, в котором они происходят, т.е. от тектоники дна акваторий Камчатского региона.

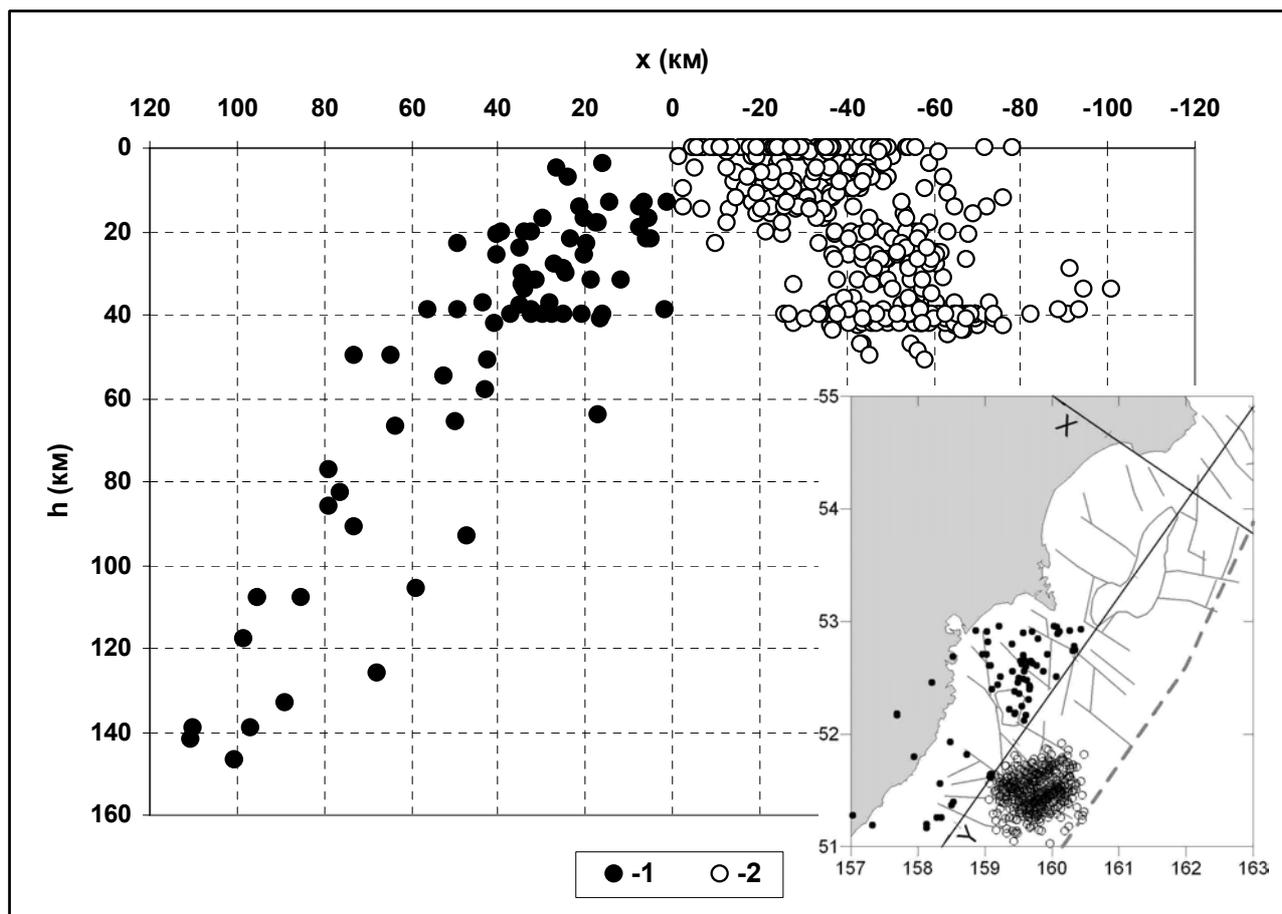


Рис 4 Вертикальный разрез вкрест фокальной зоны гипоцентров землетрясений 1996 г. 1 – гипоцентры вне роевых землетрясений за весь год, 2 – гипоцентры роя 1996 г.

#### Список литературы

1. Каталоги землетрясений Камчатки и Командорских островов за 1963 – 2008 гг. Сайт Камчатского филиала ГС РАН ([http://data.emsd.iks.ru/dbquaketxt\\_min/index\\_r.htm#tops](http://data.emsd.iks.ru/dbquaketxt_min/index_r.htm#tops))
2. Селивёрстов Н.И. Строение дна Прикамчатских акваторий и геодинамика зоны сочленения Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг. Москва: Научный Мир, 1998. 164 с.
3. Omori F. On the aftershocks // Rep., Imp., Earthquake Invest., Comm. 1894. № 2. P. 103–139
4. Zobin V.M., Ivanova E.I. Earthquake swarms in the Kamchatka-Commander Region // Geophys. J. Int.. 1994. 117. P. 38-47
5. Evison E.F. The precursory earthquake swarm // Phys. Earth Planet. Inter., 1977, V. 15, № 4., P. 19-23