

## ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АФТЕРШОКОВОГО ПРОЦЕССА ОЛЮТОРСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 20 (21) АПРЕЛЯ 2006 г. В КОРЯКЦИИ

*Лутиков А.И.*

*Геофизическая служба РАН и Институт физики Земли РАН, Москва, ail@ifz.ru*

### **Введение**

20 апреля 2006г. в 23 час 25 мин по Гринвичу или 21 апреля в 12 час 25 мин по местному времени на территории Олюторского района Корякского автономного округа Камчатской области произошло сильное землетрясение с магнитудой  $M_S=7.8$  ( $M_W=7.6$ ). Его эпицентральная область располагалась в зоне хребтов Корякского нагорья, севернее п-ва Говена [Рогожин и др., 2007а, б]. Землетрясение явилось сильнейшим за всю историю сейсмологических наблюдений на крайнем Северо-востоке России (севернее  $60^\circ$ с.ш.), что обусловило повышенное внимание к этому уникальному событию.

Расчетная интенсивность сотрясений в эпицентральной зоне достигла 8-9 баллов по 12 балльной шкале MSK-64. Сейсморазрыв представляет собой особую область сейсмических воздействий, которая по фактической интенсивности проявлений соответствует 10-балльной зоне по шкале MSK-64. Эта зона воздействий располагается на расстоянии примерно 5 км к югу от с. Хаилино, в 25 км к северо-северо-востоку от пос. Тиличики и характеризуется шириной полосы распространения сопряженных с главным разрывом оперяющих трещин порядка 10 км.

Область максимальных сотрясений относится к зоне 8-балльного эффекта по Карте ОСР-97 А и В. Землетрясение 20.04.2006 г. выявило реальный уровень сейсмической опасности для территории всего Корякского АО, убедительно продемонстрировав низкую степень изученности региона в этом отношении [Рогожин и др., 2007]. Следует отметить, что эпицентр землетрясения 20 апреля 2006 г. практически совпал с эпицентром землетрясения 8 марта 1991 г., которое произошло в 11 час 36 мин по Гринвичу и имело магнитудой  $M_S=7.0$ . Это землетрясение было названо Хаилинским [Ландер и др., 1994], или Корякским [Зобин и др., 1997], так как его эпицентр располагался в зоне хребтов Корякского нагорья в районе села Хаилино.

Землетрясение имело два сильнейших повторных толчка 29 апреля 2006 г. около 17 часов по Гринвичу и 22 мая 2006 г. в 11 часов 12 минут по Гринвичу. Магнитуды обоих афтершоков по данным Службы срочных донесений ГС РАН (г. Обнинск) оценивались как  $M_S = 7$  ( $M_W = 6.6$ ). Моментная магнитуда определялась в Сейсмологическом центре Гарвардского университета (США) [<http://saf.harvard.edu>]. По данным Камчатского филиала (КФ) ГС РАН землетрясение 20.04.2006 г. на конец октября 2006 г. имело 173 афтершока с  $K_\phi \geq 8.3$ , где  $K_\phi$  – региональный энергетический класс для Камчатки по С.А.Федотову [Федотов, 1972]

Настоящая работа в первую очередь посвящена сейсмологическому анализу афтершокового процесса этого землетрясения и только отчасти описанию скудных сейсмологических данных, имеющихся по этому региону в прошлом.

### **Некоторые замечания о сейсмической истории региона**

Сейсмическая история региона начинается с не очень значительного события 27 июля 1964 г.,  $M_S \approx 4.5$  [Kondorskaya, Ulomov, 1995], которое произошло приблизительно в 60-70 километрах к северо-западу от инструментального эпицентра Олюторского землетрясения 20 апреля 2006 г. Это вовсе не означает, что до 1964 г. в этом регионе не было сейсмических проявлений, но показывает, что вследствие удаленности, низкой плотности населения и относительно низкой (по сравнению с более поздним временем) чувствительностью телесейсмических сетей в этой области по крайней мере с середины 20-х годов XX столетия не наблюдалось землетрясений с магнитудой больше 6 – 6.5. Более того, проведенные в ходе геологического обследования эпицентральной области Олюторского землетрясения 20 апреля 2006 г. работы выявили признаки происходивших здесь в прошлом сильных землетрясений [Рогожин и др., 2007].

Сильнейшим сейсмическим событием, предшествующим землетрясению 20 апреля 2006 г., явилось Хаилинское землетрясение 8 марта 1991 г.,  $M_S = 7.0$  [Kondorskaya, Ulomov, 1995], детально описанное в работах [Зобин и др., 1997, Ландер и др., 1994]. Его эпицентральная область

практически совпала с юго-западной частью эпицентральной зоны Олюторского землетрясений 20 апреля 2006 г.

Для анализа сейсмической обстановки, предшествовавшей землетрясению 20 апреля 2006 г., т.е. фактически с 1964 г. по апрель 2006 г. был сформирован сводный каталог, унифицированный по моментной магнитуде  $M_w$ , который насчитывал 109 событий в интервале магнитуд  $3 \leq M_w \leq 6.6$  и глубин: 0 – 80 км. Для его составления были использованы следующие источники: Унифицированный каталог землетрясений Северной Евразии (1964-1991 гг., всего - 25 событий, представлен магнитудой  $M_S$ ) [Kondorskaya, Ulomov, 1995]; Оперативный сейсмологический каталог ГС РАН (Обнинск) ([www.gsras.ru](http://www.gsras.ru)) – 1991-2005 гг., всего – 46 событий, представлен, преимущественно, магнитудой по короткопериодным Р-волнам - MPSP; Региональный каталог землетрясений Камчатки КФ ГС РАН (Петропавловск-Камчатский) ([www.komsp.iks.ru](http://www.komsp.iks.ru)) – 1969-2006 гг., всего – 57 событий (до 20.04.06), представлен энергетическим классом -  $K_\phi$ . Переход от  $M_S$  к  $M_0$  осуществлялся по корреляционной зависимости между  $M_S$  и  $\lg M_0$  для Камчатки, построенной по 138 парам значений:

$$\lg M_0, [\text{Н}\cdot\text{м}] = 1.090 \cdot M_S + 11.80, R_c = 0.961 \quad (1)$$

Переход от MPSP к  $M_0$  осуществлялся в две стадии: сначала от MPSP к  $K_\phi$ , а затем от  $K_\phi$  к  $M_0$  - по формулам (4) – (5). Корреляционная зависимость между MPSP к  $K_\phi$  была построена для землетрясений Камчатки по 115 парам значений:

$$K_\phi = 2.091 \cdot \text{MPSP} + 1.149, R_c = 0.855 \quad (2)$$

На рис. 1 приведена схема эпицентров землетрясений региона в период с 1964 г. по апрель 2006 г., включая эпицентр Олюторского землетрясения 20.04.06 г.

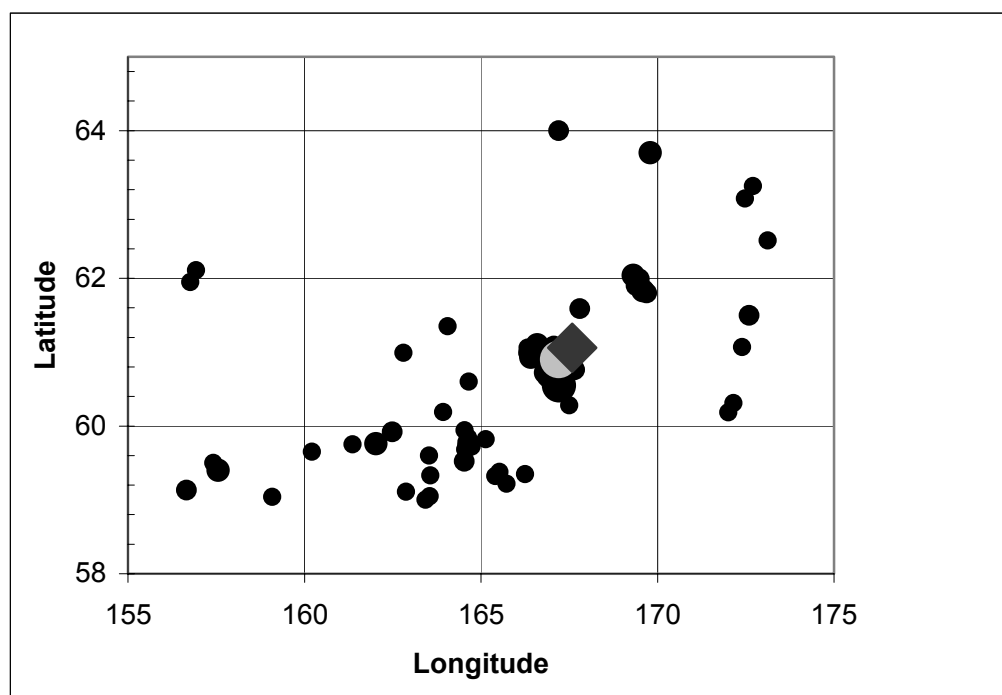


Рис. 1. Схема эпицентров землетрясений региона в период с 1964 г. по апрель 2006 г., включая эпицентр Олюторского землетрясения 20.04.06 г. (показан ромбом). Серым кругом дано Хаилинское землетрясение 8 марта 1991 г.,  $M_S=7.0$ .

Для изучения сейсмологической обстановки в регионе используем временную зависимость кумулятивного или накопленного скалярного сейсмического момента [Лутиков, Донцова, 2006; Лутиков, 2006]. Фактически такая зависимость демонстрирует временной ход высвобождения сейсмотектонической деформации, так что в известном смысле возникает аналогия с графиками Бенъофа [Рихтер, 1963]. Временной ход высвобождения кумулятивного скалярного сейсмического момента показан на рис. 2.

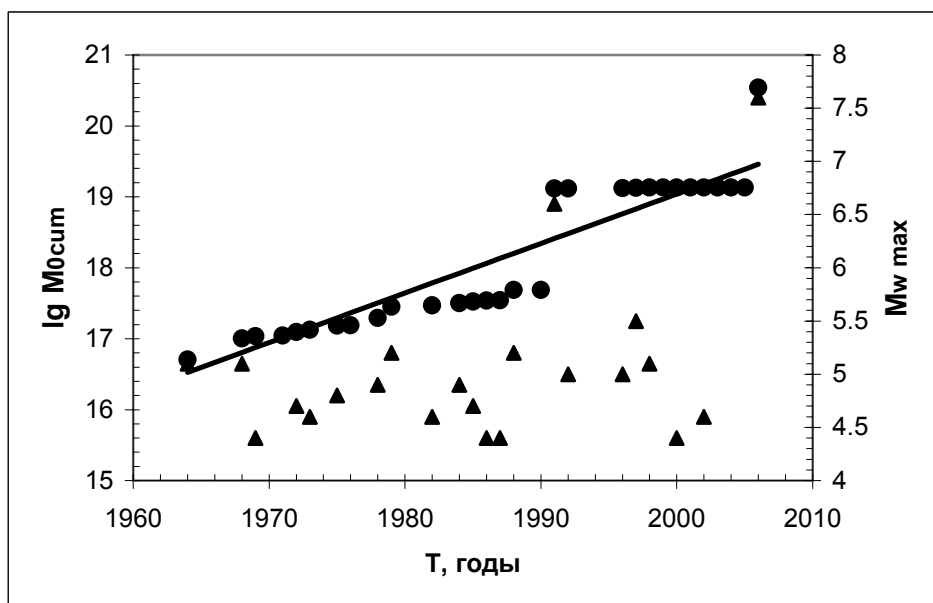


Рис. 2. Временной ход высвобождения кумулятивного скалярного сейсмического момента в период с 1964 по 2006 год включительно. Треугольниками показаны магнитуды максимальных за интервал дискретизации землетрясений. Прямой показана линия регрессии, аппроксимирующая ход высвобождения сейсмического момента.

Очевидно, что процесс подготовки Олюторского землетрясения 20 апреля 2006 г. занял значительно больше времени, чем доступный нам период сейсмологических наблюдений. Поэтому, проследить его на рис. 2 не представляется возможным. В то же время из рисунков 1 и 2 можно заключить, что Хаилинское (08.03.1991 г.) и Олюторское (20.04.2006 г.) землетрясения могут быть взаимосвязаны. Наблюдаемая ярко выраженная фаза сейсмического затишья между Хаилинским 1991 г. и Олюторским 2006 г. землетрясениями, продолжительностью около 15 лет, по-видимому, совершенно недостаточна для создания сеймотектонических условий, обеспечивающих возникновение последнего. Предполагая, что сейсмический момент за достаточно большой интервал времени высвобождается в среднем равномерно, за интервал времени с 1964 г. по 1997 г., т.е. до начала фазы сейсмического затишья, предшествовавшего землетрясению 20 апреля 2006 года, была построена регрессионная зависимость [Лутиков, Донцова, 2006] в виде:

$$\lg M_{0 \text{ cum}} = 0.0698 \cdot t - 120.56, R_c = 0.865 \quad (3)$$

Величина «недовысвободившегося» в регионе скалярного сейсмического момента на конец 2005 г. составила  $\sim 1.099 \cdot 10^{19}$  Н·м, что эквивалентно землетрясению с моментной магнитудой  $M_w = 6.6$ , что на 1 магнитуды меньше фактической магнитуды землетрясения 20 апреля 2006 года. Его скалярный сейсмический момент равен  $\sim 3.09 \cdot 10^{20}$  Н·м. Таким образом, величина «недовысвободившегося» за 15 лет сейсмического затишья скалярного сейсмического момента составила менее 4% от реально высвободившегося в результате землетрясения 20 апреля 2006 г. С учетом близости эпицентров Хаилинского и Олюторского землетрясений это позволяет рассматривать первое в качестве удаленного по времени форшока второго.

Высказанные выше соображения делают правомерным предположение, высказанное в работе [Рогожин и др., 2007б], что Хаилинское 1991 г., Олюторское сейсмические события и ряд сильнейших афтершоков 2006 г. могут рассматриваться в качестве высокомагнитудного роя. Аналогичная ситуация возникла в Узбекистане при Газлийских землетрясениях 1976 и 1984 гг., когда в одной и той же очаговой области в течение восьми лет произошло три сильнейших землетрясения с  $M=7.0-7.3$  и ряд их сильных афтершоков [Газлийские..., 1986]. Тогда Н.В.Шебалин и ввел в обиход сейсмологической практики понятие «высокомагнитудный рой».

#### Анализ афтершокового процесса

Для анализа афтершокового процесса использовались: Сводный каталог афтершоков Олюторского землетрясения 20.04.2006 г. и Региональный каталог землетрясений Камчатки КФ

ГС РАН (Петропвловск-Камчатский), доступный, как правило, с задержкой на 1-2 суток по отношению к реальному времени ([www.emsd.iks.ru](http://www.emsd.iks.ru)). В результате окончательный каталог афтершоков Олюторского землетрясения охватывал период времени с 20 апреля по конец октября 2006 г. Предварительно этот каталог был унифицирован по моментной магнитуде  $M_w$  с использованием корреляционной зависимости между  $K_\phi$  и  $M_0$  для тех событий, для которых не было прямых определений  $M_w$ . Эта зависимость была построена аналогично [Лутиков, 1999] по 109 землетрясениям Камчатки:

$$\lg M_0 = (1.313 \pm 0.078) \cdot K_\phi + 0.424 \pm 1.092, \quad 11.8 \leq K_\phi \leq 15, \quad R_c = 0.852 \quad (4)$$

$$\lg M_0 = 0.75 K_\phi + 7.36, \quad K_\phi \leq 11.8 \quad (5)$$

Дальнейший переход к моментной магнитуде осуществлялся по соотношению Канамори [Kanamori, 1977], одновременно являющимся и ее определением:

$$\lg M_0 [\text{Н}\cdot\text{м}] = 1.5 M_w + 9.1$$

На рис. 3 представлена схема афтершоков за первые двое суток (по конец 22 апреля 2006 г.) – всего 78 афтершоков в интервале магнитуд  $3.0 \leq M_w \leq 6.1$ .

На рисунке отчетливо видна вытянутость облака афтершоков с юго-запада на северо-восток. При проведении ортогональной регрессии через облако афтершоков была отмечена достаточно тесная линейная корреляция:  $R_c = 0.807$ . Угол наклона линии регрессии к горизонтальной оси ( $\theta$ ) составил  $35.7^\circ$ , то есть азимут простирания облака афтершоков –  $Az = 54.3^\circ$ . Согласно решению фокального механизма [<http://saf.harvard.edu>] по 1-ой нодальной плоскости  $\text{strike}=207$ , а по 2-ой -  $\text{strike}=44$ . Очевидно, что в данном случае сделать выбор между нодальными плоскостями оказывается затруднительным, поскольку наблюдаемый азимут простирания облака афтершоков находится практически посередине между азимутами 1-ой и 2-ой нодальных плоскостей, поскольку азимуты  $207^\circ$  и  $63^\circ$  на практике неразличимы.

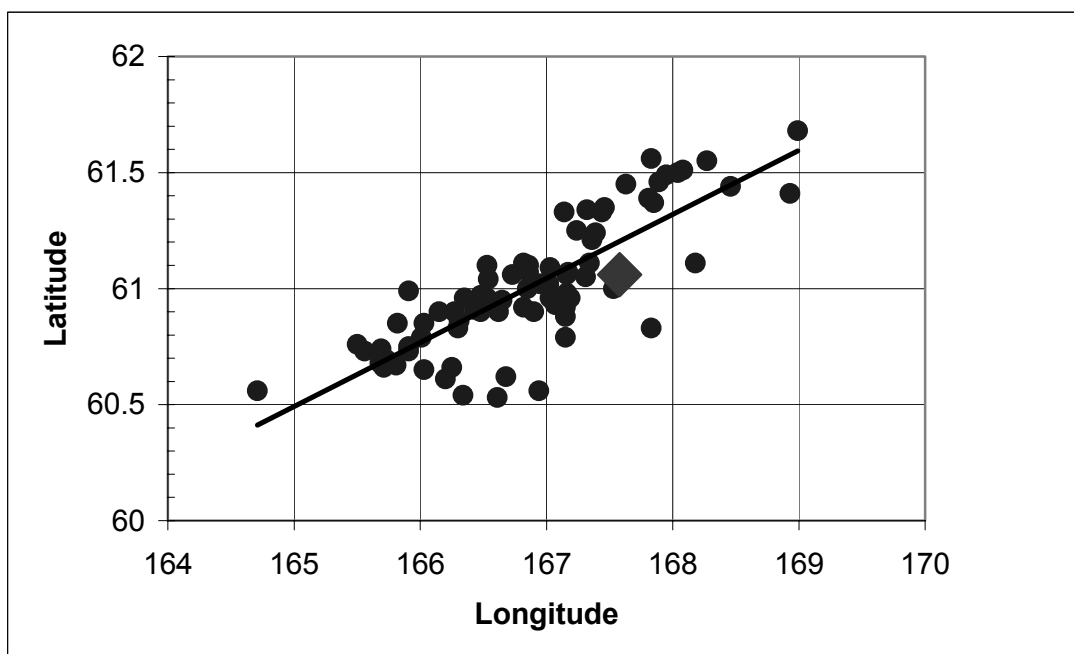


Рис. 3. Афтершоки первых двух суток Олюторского землетрясения 20.04.2006 г. в интервале магнитуд  $3.0 \leq M_w \leq 6.1$ . Прямой линией показана ортогональная регрессия, проведенная через облако афтершоков. Большим ромбом обозначен инструментальный эпицентр главного толчка.

В результате перехода к декартовой системе координат, связанной с центром тяжести облака афтершоков, и поворотом ее осей на угол  $\theta = 35.7^\circ$  были построены вертикальные разрезы облака афтершоков вдоль (рис. 4) и вкрест (рис. 5) направления его простирания.

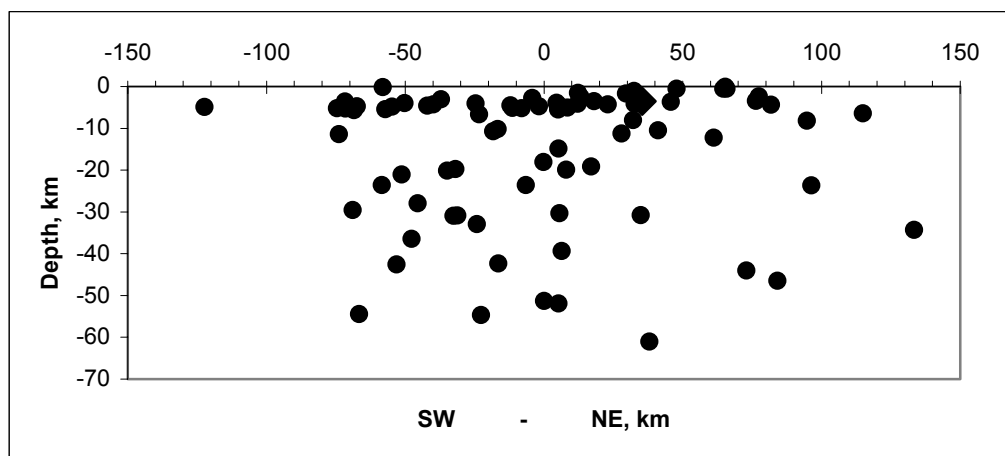


Рис. 4. Вертикальный разрез облака афтершоков вдоль направления его простираения. Большим ромбом показан инструментальный эпицентр главного толчка.

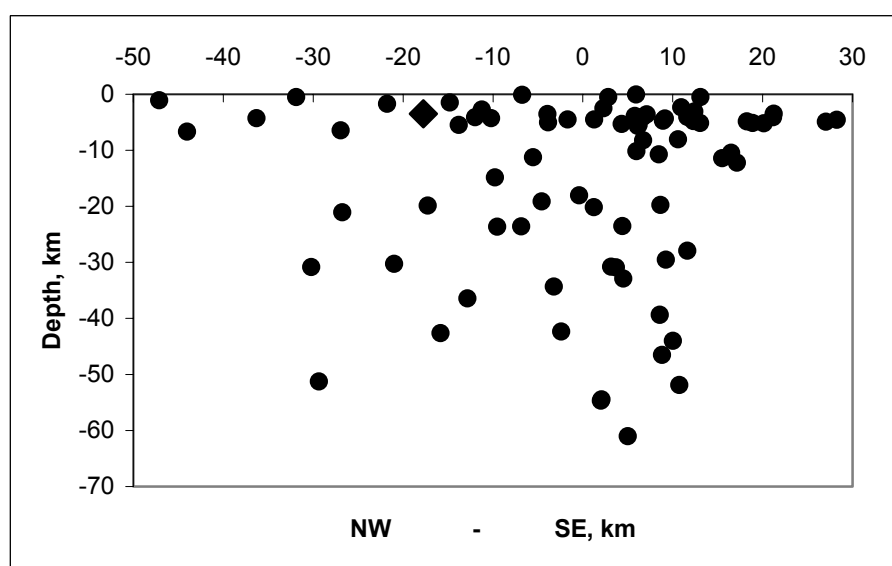


Рис. 5. Вертикальный разрез облака афтершоков вкрест направления его простираения. Большим ромбом показан инструментальный эпицентр главного толчка.

Из рисунка 4 горизонтальная протяженность очага может быть оценена в 160 – 170 километров. Горизонтальная протяженность очага, оцененная по корреляционной зависимости для Камчатки [Лутиков, Донцова, 2002] составила 146 км. При проведении полевых исследований был обнаружен выход сейсмического очага на поверхность в виде протяженного сейсморазрыва, прослеженная длина которого составляет около 140 км [Рогожин и др., 2007]. Это вполне удовлетворительно согласуется с представленной выше оценкой горизонтальной протяженности очага по облаку афтершоков и по корреляционной зависимости. Около половины всех афтершоков сосредоточены в верхнем 10-15 километровом слое. Достаточно интенсивный афтершоковый процесс охватывает верхние 50 – 60 километров литосферы, причем к юго-западу от положения гипоцентра основного толчка плотность афтершоков заметно выше, чем к северо-востоку от него.

Рассмотрение вертикального разреза облака афтершоков вкрест его простираения (рис. 5) показывает, что плоскость падения очага, по-видимому, близка к вертикальной, хотя наблюдаемая картина достаточно сложна для однозначной интерпретации. Согласно решению фокального механизма [<http://saf.harvard.edu>] по 1-ой нодальной плоскости  $dip=40$ , а по 2-ой -  $dip=51$ , то есть в первом случае имеет место падение плоскости разрыва в юго-восточном направлении, а во втором – в северо-западном, причем в обоих случаях угол падения близок к  $45^\circ$ . В принципе, два эти направления прослеживаются в виде наклонно падающих цепочек афтершоков (рис. 5). Вероятно, наблюдаемая картина может указывать на достаточно сложное строение очага землетрясения 20 апреля.

В подтверждение этого можно отметить, что в результате выполненного детального картирования выхода очага на поверхность были намечены три основных участка сейсморазрыва, образующие в плане как бы ступень, с различной внутренней структурой, морфотектонической позицией и кинематикой смещений: юго-западный, центральный и северо-восточный [Рогожин и др., 2007]. Как следует из рис. 5, вертикальная протяженность очага может быть оценена приблизительно в 50 км, а ширина очага в плане – в 80 км.

В заключение этого раздела дадим оценку величины подвижки по разрыву  $D$ , воспользовавшись соотношением

$$M_0 = \mu DS,$$

Где  $\mu = \rho V_S^2$  – модуль сдвига,  $D$  – средняя величина подвижки по разрыву,  $S = \pi LW/4$  – площадь разрыва,  $L$  – его горизонтальная и  $W$  – вертикальная протяженности,  $\rho$  – средняя плотность материала Земли, вмещающего очаг,  $V_S$  – средняя скорость поперечных волн.

Для вмещающей среды можно в среднем положить [Чебров, Лутиков, 2007]  $\mu \approx 4.8 \cdot 10^{10} \text{ кг} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{с}^{-2}$ , скалярный сейсмический момент Олюторского землетрясения  $M_0 = 3.09 \cdot 10^{20} \text{ Н} \cdot \text{м}$ , горизонтальная протяженность очага  $L \approx 165 \text{ км}$ , его вертикальная протяженность  $W \approx 50 \text{ км}$ . Таким образом,  $D \approx 1.0 \text{ м}$ .

Отметим, что в результате проведенных геологических исследований в очаговой области Олюторского землетрясения было установлено, что амплитуда вертикальных смещений в зоне вышедшего на поверхность разрыва достигает 4-5 м, а горизонтальных, сдвиговых – 3 м [Рогожин и др., 2007]. Но эти значения смещений можно скорее отнести к максимальным. Наибольшее число измерений фиксировали величины подвижек в пределах 1 – 2 м [Рогожин и др., 2007].

Воспользовавшись корреляционными зависимостями между величиной средней подвижки по разрыву и моментной магнитудой для землетрясений Северо-западной окраины Тихого океана [Чебров, Лутиков, 2007]:

$$\lg D_v [\text{м}] = (1.13 \pm 0.10) \cdot M_w - 8.54 \pm 0.68, \quad R_c = 0.928 \quad (6)$$

$$\lg D_f [\text{м}] = (1.02 \pm 0.11) \cdot M_w - 7.31 \pm 0.78, \quad R_c = 0.874 \quad (7),$$

где формула (6) дает нижнюю, а формула (7) верхнюю оценки величины подвижки, определим величину  $D$  по формулам (6) и (7). Учитывая, что моментная магнитуда Олюторского землетрясения  $M_w = 7.6$ , имеем  $D_v \approx 1.1 \text{ м}$  и  $D_f \approx 2.8 \text{ м}$ . Оценка величины подвижки визуальным методом ( $D_v$ ) близка полученной выше непосредственно из оценок очаговых параметров по афтершокам первых двух суток.

### Высвобождение скалярного сейсмического момента

Рассмотрим теперь высвобождение кумулятивного скалярного сейсмического момента в ходе развития афтершокового процесса Олюторского землетрясения 20 апреля.2006 года. На рис. 6 представлена полная схема афтершоков этого землетрясения за период с 20.04.2006 г. по конец октября 2006 года. На схеме кружками (диаметр которых возрастает с ростом магнитуды) показаны сейсмические события, начиная с магнитуды  $M_w \geq 3.3$ , всего 150 афтершоков. Инструментальный эпицентр главного события 20.04.2006,  $M_w = 7.6$  обозначен ромбом. Большими серыми кружками обозначены два сильнейших афтершока – 29.04.06 г.,  $M_w = 6.6$  и 22.05.06 г.,  $M_w = 6.6$ .

По сравнению с рис. 1 облако афтершоков на рис. 6 выглядит заметно расплывшимся и уже достаточно плохо отображает очаг землетрясения 20 апреля. Видно, что один из сильнейших афтершоков (29.04.06 г.) связан не с магистральным разрывом землетрясения 20 апреля, а с секущей его почти под прямым углом трансформной тектонической структурой.

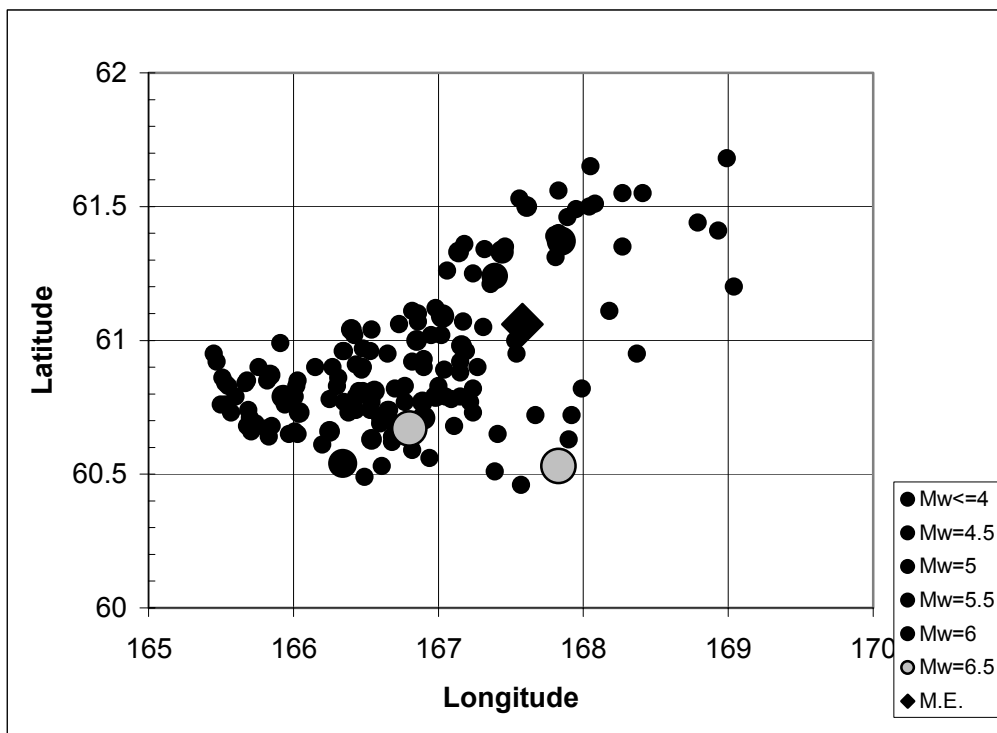


Рис. 6. Схема афтершоков ( $M_w \geq 3.3$ ) Олюторского землетрясения на конец октября 2006 года.

На рис. 7 представлена временная зависимость высвобождения кумулятивного скалярного сейсмического момента в долях от сейсмического момента главного события 20.04.06 г., построенная приблизительно по 190 афтершокам с магнитудами  $M_w \geq 2.9$  за период времени с 20 апреля по 20 октября 2006 г. Отсчет времени ведется в днях от момента главного толчка. Обращает внимание крайняя неравномерность в высвобождении сейсмического момента по времени. Его подавляющая часть высвободилась в двух наиболее сильных афтершоках 29.04.06 г. ( $M_w = 6.6$ ) и 22.05.06 г. ( $M_w = 6.6$ ), приблизительно по 3.16% от скалярного сейсмического момента землетрясения 20.04.06 г.

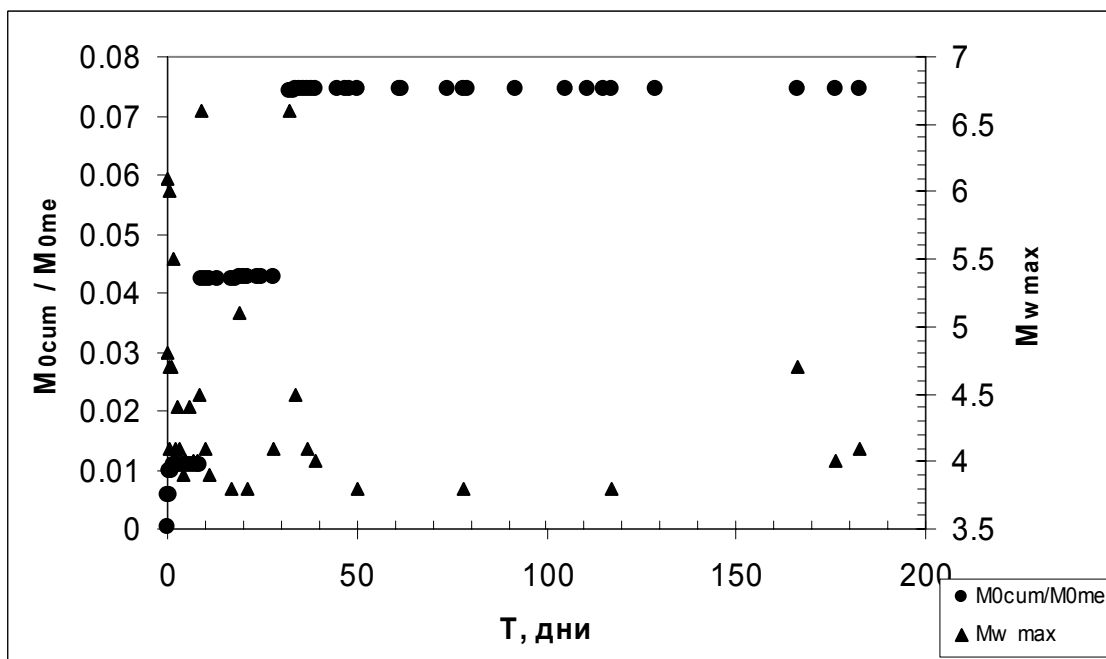


Рис. 7. Временной ход высвобождения кумулятивного скалярного сейсмического момента в период с 20.04.06 г. по 20.10.06 г. включительно. Треугольниками показаны магнитуды максимальных за интервал дискретизации землетрясений.

Всего за полгода доля, высвободившегося в афтершоках скалярного сейсмического момента, составила 7.45% от сейсмического момента главного события. Для сравнения отметим, что доля, высвободившегося в афтершоках Хаилинского землетрясения 08.03.1991 г. скалярного сейсмического момента, составила 4.12% от сейсмического момента главного события.

Рассмотрим более подробно начальный участок кривой на рис. 7 (рис. 8).

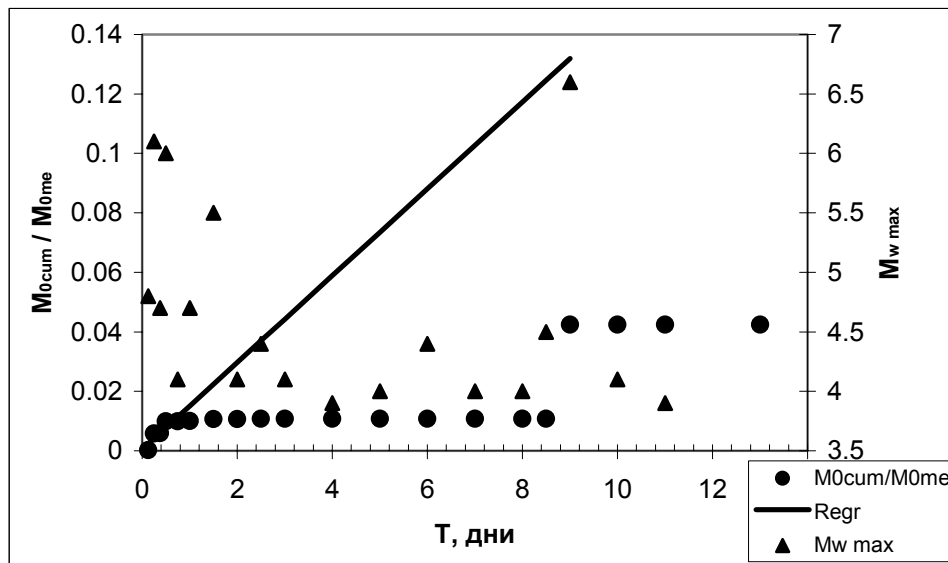


Рис. 8. Временной ход высвобождения кумулятивного скалярного сейсмического момента в период с 20.04.06 г. по 03.05.06 г. включительно. Треугольниками показаны магнитуды максимальных за интервал дискретизации землетрясений. Прямой показана линия регрессии, аппроксимирующая ход высвобождения сейсмического момента

Предполагая, что в течение, по крайней мере, первых нескольких недель после столь сильного землетрясения в ходе развития афтершокового процесса сейсмический момент должен высвобождаться приблизительно равномерно, что фактически наблюдалось только в течение первых суток, по этому интервалу времени была построена аппроксимирующая регрессионная зависимость, имевшая коэффициент линейной корреляции  $R_c = 0.882$ . Эта зависимость имела вид:

$$M_{0cum} / M_{0me} = 0.0146t + 0.0005,$$

где время изменяется в днях с момента главного события.

В промежуток времени между 22 и 28 апреля включительно на кривой высвобождения сейсмического момента наблюдался практически платообразный участок (рис. 8), что позволило уже 24 апреля сделать вывод о готовящемся сильном афтершоке. Его моментная магнитуда оценивалась по разности прогнозной и фактической кривых высвобождения скалярного момента. К 29 апреля дефицит высвобожденного  $M_{0cum}$  составил приблизительно  $3.5 \cdot 10^{19}$  Н·м, что эквивалентно землетрясению с моментной магнитудой  $M_w \approx 7.0$ . Фактически, моментная магнитуда афтершока 29 апреля составила  $M_w = 6.6$ , то есть оказалась несколько ниже прогнозной.

Дальнейший ход высвобождения сейсмического момента показал, что после афтершока 29 апреля вновь наступает период глубокого сейсмического затишья (см. рис. 7). В то же время нельзя было ожидать, что афтершоковый процесс землетрясения с  $M_w = 7.6$  близится к завершению всего через 10 дней после своего начала. Это позволило сделать вывод о возможности возникновения второго сильного афтершока (см. рис. 9), тем более, что в результате афтершока 29 апреля разрядка, по-видимому, оказалась неполной.



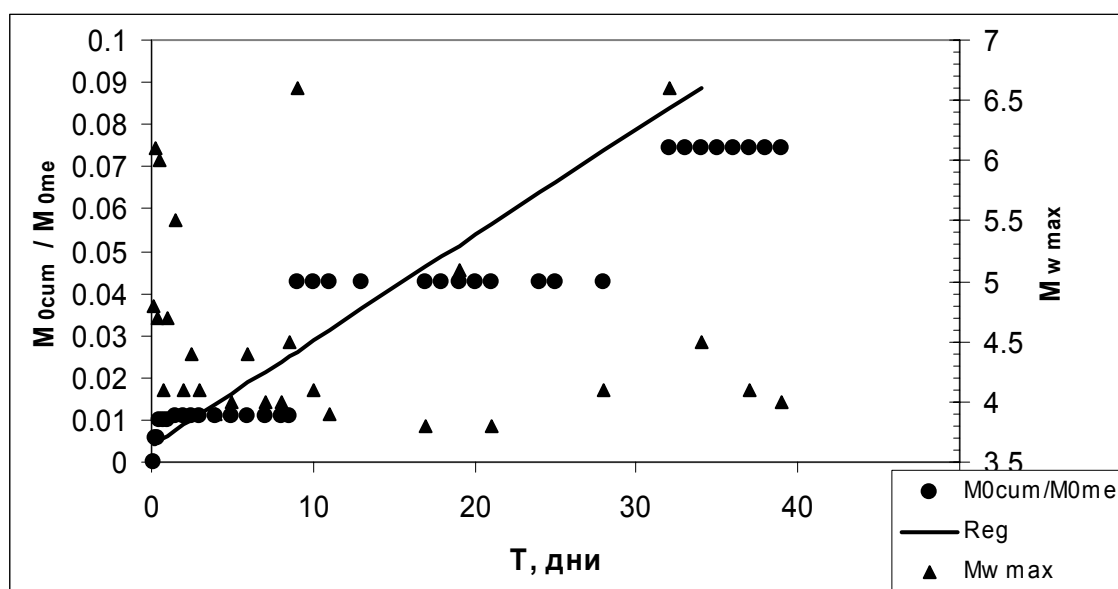


Рис. 9. Временной ход высвобождения кумулятивного скалярного сейсмического момента в период с 20.04.06 г. по 29.05.06 г. включительно. Условные обозначения – те же, что и на рис. 8.

Скорректированная с учетом афтершока 29 апреля регрессионная зависимость имела вид:

$$M_{0cum} / M_{0me} = 0.0025t + 0.0038, \quad R_c = 0.836$$

К 19 мая 2006 г. дефицит высвобожденного  $M_{0cum}$  составил приблизительно  $9.63 \cdot 10^{18}$  Н·м, что эквивалентно землетрясению с моментной магнитудой  $M_w \approx 6.6$ , которая в данном случае совпала с моментной магнитудой афтершока 22 мая 2006 г. Возможность его возникновения стала вполне ясна к середине мая 2006 г.

Как видно из рис. 7, после афтершока 22 мая сейсмический процесс в очаговой зоне Олюторского землетрясения протекал достаточно вяло. Однако, учитывая, что к концу октября 2006 г. доля, высвободившегося в афтершоках скалярного сейсмического момента, достигла почти 7.5% от сейсмического момента главного события, вряд ли следует ожидать здесь возникновения сильных афтершоков с магнитудой  $M_w > 6.0$ .

### Заключение

В заключение сформулируем основные выводы:

1. Было установлено, что Хаилинское, 08.03.1991 г. ( $M_s = 7.0$ ), и Олюторское, 20.04.2006 г. ( $M_s = 7.8$ ), землетрясения не являются независимыми сейсмическими событиями, а потому вместе с сильнейшими афтершоками последнего могут рассматриваться в качестве высокомагнитудного сейсмического роя (по аналогии с Газлийскими землетрясениями 1976 и 1984 гг.).

2. Азимут простирания облака афтершоков –  $Az = 54.3^\circ$  при тесноте линейной корреляция:  $R_c = 0.807$ . Горизонтальная протяженность очага, оцененная непосредственно по облаку афтершоков первых двух суток, составляет 160 – 170 километров. Горизонтальная протяженность очага, оцененная по корреляционной зависимости для Камчатки [Лутиков, Донцова, 2002] составила 146 км. Прослеженная длина сейсморазрыва при выходе сейсмического очага на поверхность составляет около 140 км [Рогожин, 2007].

3. Рассмотрение вертикального разреза облака афтершоков вкост его простирания показывает, что плоскость падения очага, по-видимому, близка к вертикальной, Вертикальная протяженность очага может быть оценена приблизительно в 50 км, а ширина очага в плане – в 80 км.

4. На основании данных о площади поверхности разрыва, модуле сдвига среды, вмещающей очаг, и скалярном моменте Олюторского землетрясения была оценена средняя величина подвижки по разрыву  $D \approx 1.0$  м. Величина подвижки визуальным и формализованным методами, дающая нижнюю и верхнюю оценки величины подвижки по разрыву  $D_v \approx 1.1$  м и  $D_f \approx 2.8$  м.

5. Высвобождение кумулятивного скалярного сейсмического момента в ходе развития афтершокового процесса в период времени с 20 апреля по 20 октября 2006 г. происходило крайне неравномерно. Анализ этой зависимости в режиме времени близком к реальному позволил за несколько дней установить возможность возникновения сильных афтершоков 29 апреля и 22 мая 2006 года и заранее оценить их магнитуду.

6. Учитывая, что к концу октября 2006 г. доля, высвободившегося в афтершоках скалярного сейсмического момента, достигла почти 7.5% от сейсмического момента главного события, в очаговой зоне Олюторского землетрясения вряд ли следует ожидать возникновения сильных афтершоков с магнитудой  $M_w > 6.0$ .

#### **Список литературы**

- Газлийские землетрясения 1976 и 1984 гг. Ташкент. Изд-во «Фан» Уз. ССР. 1986. 368 с.
- Зобин В.М., Бахтияров В.Ф., Борисенко В.Н. и др. Корякское землетрясение 8 марта 1991 г. // Землетрясения в СССР в 1991 г. М.: ОИФЗ РАН, 1997. С. 76-88.
- Ландер А.В., Букчин Б.Г., Дроздин Д.В., Кирюшин А.В. Тектоническая позиция и очаговые параметры Хаилинского (Корякского) землетрясения 8 марта 1991 года: существует ли плита Берингия? // Геодинамика и прогноз землетрясений. Вычислительная сейсмология. Вып. 26. М.: Наука, 1994. С. 103-122.
- Лутиков А.И. К построению соотношения между энергетическим классом и магнитудой  $M_s$  для землетрясений Камчатского региона. // Вулканология и сейсмология. 1999, N 6, с. 44-46.
- Лутиков А.И., Донцова Г.Ю. Оценка линейных размеров очагов землетрясений Камчатки по размерам облака афтершоков. // Известия РАН, Физика Земли, 2002, № 6, сс. 46-56.2
- Лутиков А.И. Сейсмологический мониторинг по ходу высвобождения кумулятивного скалярного сейсмического момента на примере Кавказского сейсмоактивного региона. // Исследования по сеймотектонике и современной геодинамике. Сборник научных трудов Института физики Земли РАН посвященный юбилею Е.А.Рогожина. – М.: ИФЗ РАН, 2006, с.78-87.
- Лутиков А.И., Донцова Г.Ю. Сейсмологический мониторинг потенциальных очаговых зон Большого Кавказа. // Активные геологические и геофизические процессы в литосфере. Методы, средства и результаты изучения. Материалы XII международной конференции 18-23 сентября 2006года. Том I. – Воронеж, 2006. – С.302-306.
- Рогожин Е.А., Гордеев Е.И., Чебров В.Н. Сильное землетрясение в Корьякии 20 (21) апреля 2006 г.: результаты предварительного изучения. // Известия РАН, Физика Земли, 2007 № 2. С.3-10.
- Рогожин Е.А., Овсяченко А.Н., Мараханов А. В., Новиков С.С., Пинегина Т.К. Олюторское землетрясение в Корьякии 20 (21) апреля 2006 г.: результаты геологического и макросейсмического изучения эпицентральной области // В наст. сборнике.
- Рихтер Ч.Ф. Элементарная сейсмология. М.: Иностранная литература, 1963. С. 77-79, 344-345.
- Федотов С.А. Энергетическая классификация курило-камчатских землетрясений и проблема магнитуд. // М.: Наука, 1972, 116 с.
- Чебров Д.В., Лутиков А.И. Определение параметров очагов сильных землетрясений по афтершоковым последовательностям. // Геодинамика и геологические изменения в окружающей среде северных регионов (Материалы всероссийской конференции). Архангельск, 2004. Т. II, сс. 350-354.
- Kanamori, H., The energy release in great earthquakes // J. Geophys.Res., 82, pp. 2981-2987, 1977.
- Special Earthquake Catalogue of Northern Eurasia from Ancient Times through 1995 / Eds. N.V. Kondorskaya, V.I.Ulomov / http: // socrates.wdcb.ru/scetac/