

СЕЙСМИЧНОСТЬ ОЧАГА ОЛЮТОРСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 20 АПРЕЛЯ 2006 г.

Левина В.И.¹, Ландер А.В.², Иванова Е.И.¹¹ Камчатский филиал Геофизической службы РАН, Петропавловск-Камчатский, valeria@emsd.iks.ru² Международный Институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН, Москва**Введение**

Олюторское землетрясение 20 апреля 2006 г. с магнитудой $M_w=7.6$ произошло на юге Корякского нагорья и значительно превосходило по силе все наблюдавшиеся здесь ранее сейсмические события. За пятнадцать лет до него, 8 марта 1991 г., практически в той же точке произошло сильное Хаилинское землетрясение с $M_w=6.6$ [1]. Оба события являлись уникальными на фоне предыдущей сейсмической истории региона, где ранее наблюдались только редкие слабые землетрясения. Олюторское землетрясение вызвало в некоторых поселках Корякского Автономного Округа сотрясения в 9 баллов. Зону выхода очага на поверхность, где были обнаружены сейсморазрывы общей протяженностью около 140 км, можно отнести к 10-11 балльной зоне.

Олюторское землетрясение сопровождалось мощной серией афтершоков, которая к началу 2007 г. еще не завершилась. Настоящая статья посвящена анализу части данных об афтершоковом процессе Олюторского землетрясения, полученных Камчатской региональной сетью, и обработанных к концу 2006 г.

Основные результаты обработки афтершоковой серии Олюторского землетрясения.

Землетрясение произошло в труднодоступном и малоизученном районе Корякского нагорья. Практически вся сеть сейсмических станций Камчатского филиала ГС РАН, данные которой используются в рутинной обработке камчатских землетрясений, расположена довольно далеко на юг от очаговой зоны землетрясения. Единственная станция сети «Каменское» (КАМ) находится в 175 км к северо-западу от главного события. Другая ближайшая станция «Оссора» находится в 300 км к юго-западу. При таком расположении станций довольно трудно получить достоверное определение положения гипоцентра.

В связи с этим для локации землетрясений привлекались данные сети Магаданского филиала ГС РАН (станции «Сеймчан» (SEY), «Эвенск» (EVN)), а также данные сети IRIS («Магадан» (MA2), «Билибино» (BILL)). Кроме того, 2÷18 мая в эпицентральной зоне работали временные станции «Тиличики» (ST01), «Хаилино» (ST02), «Ледяная» (ST03). Карта расположения сейсмических станций, данные с которых участвовали в обработке, приведена на рис.1.

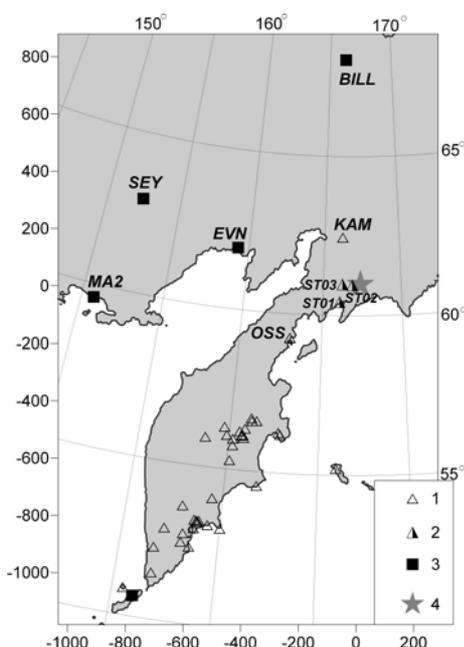


Рис.1 Карта расположения сейсмических станций.

1 – постоянные станции КФ ГС РАН; 2 – временные станции КФ ГС РАН; 3 – станции Магаданского и Сахалинского филиалов ГС РАН; 4 – инструментальный эпицентр Олюторского землетрясения

Общие энергетические оценки очагового процесса. Сильнейшие афтершоки.

На рис.2 приведена временная зависимость кумулятивной сейсмической энергии, выделявшейся в очаговой зоне Олюторского землетрясения в течение 40 дней, начиная с главного толчка. Однако для вычислений мы расширили временной интервал, включив в него все

афтершоки (по данным [6]), произошедшие в Олюторском очаге к концу февраля 2007 г. Полная энергия за 10 месяцев активности очага составляет примерно $1.5 \cdot 10^{15}$ Дж. Заметим, что на последние 7 месяцев активности очага приходится всего 0.58% всей энергии. Поэтому ограничение графика рис.2 сорока днями не меняет общей картины.

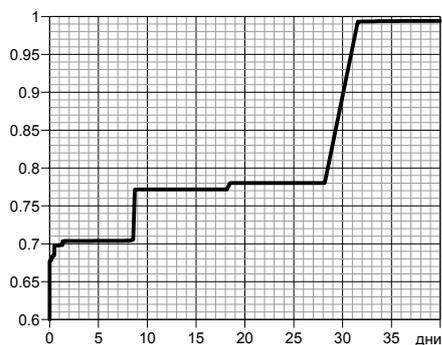


Рис.2 Временная зависимость сейсмической энергии, выделявшейся в очаговой зоне Олюторского землетрясения в течение первых 40 дней, начиная с главного толчка. График нормирован на значение полной энергии, выделившейся в очаговой зоне до конца февраля 2007 г.

За последнюю декаду апреля и май 2006 г. в Олюторском очаге произошло 19 (включая главный толчок) землетрясений с $K_S \geq 11.6$ ($M_{max} \geq 5.1$). Положение этих событий в очаговой зоне отмечено на рис.3.

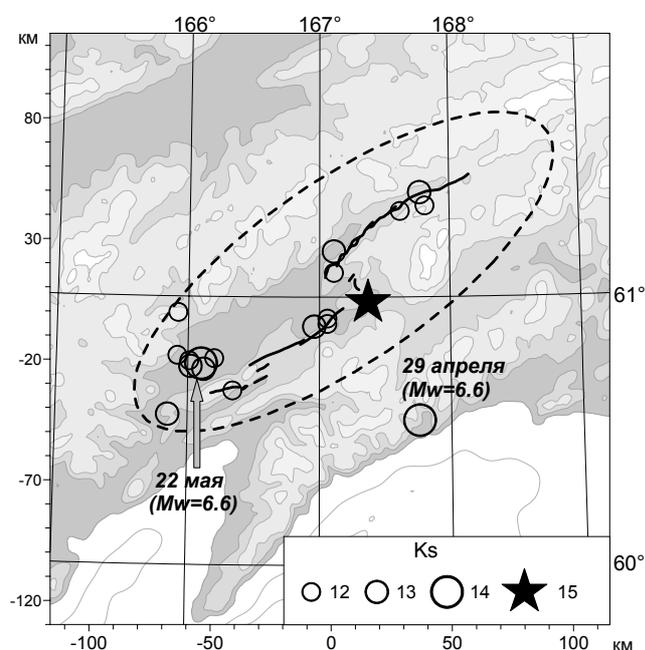


Рис.3 Эпицентры сильнейших событий, произошедших в очаговой зоне Олюторского землетрясения в течение первых 40 дней, начиная с главного толчка. Здесь и на следующих рисунках отмечен эпицентр главного толчка, открытые кружки - эпицентры афтершоков, жирные линии - сейсморазрывы [7,8], пунктирный эллипс аппроксимирует форму очаговой зоны.

Два сильнейших афтершока: 29 апреля ($K_S=14.0$, $M_W=6.6$) и 22 мая ($K_S=14.5$, $M_W=6.6$), соответствуют по магнитуде Хаилинскому землетрясению 1991 г. Но они не породили сравнимых с Хаилинским собственных афтершоковых процессов. За землетрясением 22 мая в его окрестности последовала серия достаточно сильных толчков (максимальный класс $K_S=12.6$, $m_b=5.3$), но она продолжалась всего неделю.

Событие 29 апреля имело единственный достаточно сильный собственный афтершок ($K_S=10.6$, $m_b=5.0$) и несколько более слабых.

Необходимо отметить, что землетрясение 29 апреля произошло в стороне от основной очаговой зоны на параллельных ей структурах (в 60 км к юго-востоку от эпицентра основного толчка). Поэтому, возможно, его следует рассматривать не как афтершок Олюторского, а как независимое событие. Тем не менее, их связь подтверждается тем, что всего через 35 минут после главного Олюторского землетрясения в районе будущего эпицентра 29 апреля зафиксирован "форшок" с $K_S=9.7$.

Форма облака афтершоков. На карте рис.4 нанесены эпицентры всех землетрясений, произошедших 20-25 апреля, 3-7 мая, а также наиболее сильные афтершоки апреля-мая (определения Камчатской региональной сети).

Максимальное количество афтершоков располагается в окрестности зоны сейсмотектонических нарушений, протянувшейся вдоль юго-восточного борта долины р.Вывенки [2,3]. Исключение составляет юго-западная часть зоны, где выделяется поперечная структура, переходящая на противоположный борт долины Вывенки. Осевая часть зоны имеет сигмообразную, вытянутую на северо-восток форму. Однако для ее простейшего описания мы традиционно используем простейшую эллиптическую аппроксимацию. В этом грубом

приближении основная часть зоны, где произошло подавляющее большинство (93 %) афтершоков, имеет размеры 205x75 км и простираение большой оси 55° (пунктирный эллипс).

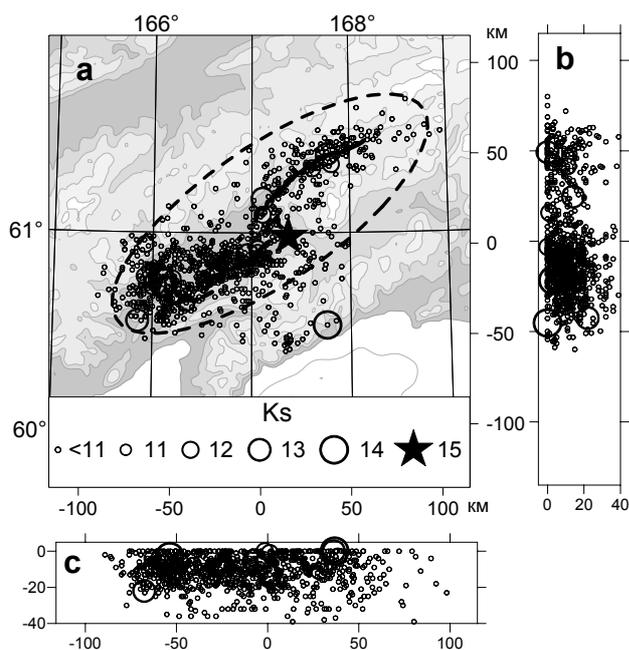


Рис.4 Пространственное распределение афтершоков Олюторского землетрясения по данным КФ ГС РАН

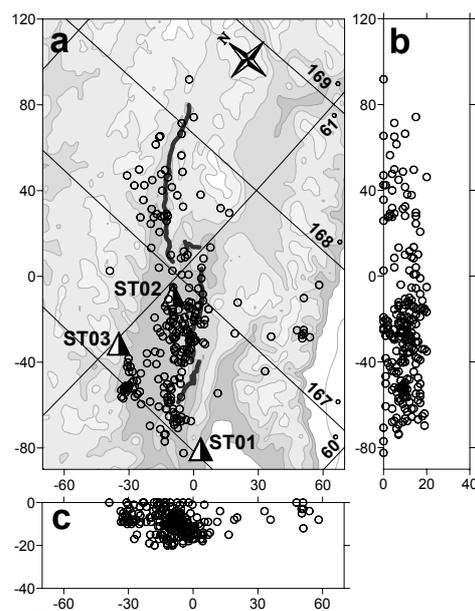


Рис.5 Пространственное положение землетрясений, у которых в определении координат присутствуют три временные станции (ST01, ST02, ST03). а – карта эпицентров; б – глубинный разрез на вертикальную плоскость, совпадающую с направлением разрывов; с – глубинный разрез на вертикальную плоскость, перпендикулярную направлению разрывов

Глубина 99% афтершоков не превосходит 35 км. Однако для большинства событий она определена весьма неточно, что связано с удаленностью станций. Исключение составляют события, входящие в каталог 3-6 мая, для локации которых использовались данные временных станций, располагавшихся в пределах эпицентральной зоны. Значения глубин этих землетрясений не превышают 20 км (рис.5). Для остальных землетрясений доверительные области глубин часто захватывают всю земную кору. Тем не менее, отсутствие более глубоких решений подтверждает коровый характер очага. Осевая поверхность облака афтершоков наклонена на юго-восток.

Механизмы землетрясений. Предварительные расчеты механизмов главного события и афтершоков, происшедших в апреле-мае в очаговой зоне Олюторского землетрясения, проводились по стандартным методикам КФ ГС РАН, основанным на знаках смещений в первых вступлениях Р-волн. Использовались сейсмограммы станций Камчатской региональной сети, а также бюллетени NEIC [6] и еженедельный бюллетень ГС РАН [4]. Механизм очага определен для 20 землетрясений с энергетическим классом $K_S > 10.5$ и имеющих не менее 25 знаков первых вступлений Р-волны. По принятым в КФ ГС РАН стандартам качество 15 из 20 решений ниже среднего, однако, учитывая предварительный характер представляемых материалов, мы приводим все результаты.

На карте рис.6 приведены полученные решения механизмов и их пространственное распределение в пределах очаговой зоны. Все механизмы относятся к двум типам: взбросам и сдвигам. С учетом выбора (по геологическим данным) предпочтительных плоскостей разрыва встречаются как правые, так и левые сдвиги. Надежные сбросы среди решений отсутствуют. В северо-восточной части очаговой зоны преобладают взбросовые движения, хотя встречаются и сдвиги различных направлений. В юго-западной части зоны наоборот сдвиговые подвижки (также обоих типов) встречаются (6 из 10) чаще взбросов. Два механизма афтершоков, относящихся к центральной части зоны, являются правыми сдвигами.

Несколько решений представляют особый интерес. Механизм главного толчка (№1 на рис.6) формально определен как правый сдвиг с небольшой взбросовой компонентой. Однако в пределах ошибки данный механизм может считаться чистым правым сдвигом. Предпочтительная

плоскость подвижки имеет типичное для структур очаговой зоны юго-запад - северо-восточное простирание. Такое решение не соответствует длиннопериодным оценкам тензора сейсмического момента [5,6], в которых преобладает взбросовая компонента. Полевые наблюдения [2,3] определили, что в области главного эпицентра происходит смена преобладающего типа подвижки. Юго-западнее эпицентра наблюдаются в основном правые сдвиги, севернее и северо-восточнее преобладают взбросовые движения. Подобная картина приближенно соответствует и описанной выше форме облака афтершоков, а также не противоречит распределению механизмов на рис.6. Поэтому, возможно, отличие механизма, построенного по первым вступлениям от результирующего тензора сейсмического момента говорит о том, что движение началось в юго-западной части очаговой зоны как чистый правосторонний сдвиг, и лишь через несколько секунд трансформировалось во взброс, распространившийся на северо-восток.

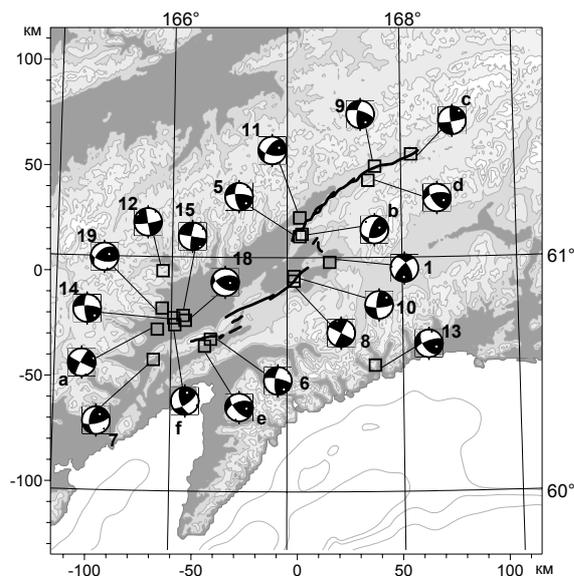


Рис.6 Карта механизмов очагов афтершоков Олюторского землетрясения. Открытыми квадратами обозначены эпицентры землетрясений.

На юго-западном краю зоны сеймотектонических нарушений располагается 16-ти километровый субширотный разрыв, кинематика которого (левосторонний сдвиг) противоположна движениям, наблюдавшимся в остальных частях зоны. Поэтому весьма интересно, что в окрестности этого сейсморазрыва в разное время зафиксирована целая серия афтершоков, механизмы которых соответствуют левосторонним сдвигам по субширотным плоскостям. Это события: №6 ($K_S=12$, $m_b=5$), №14 ($K_S=13.1$, $M_W=5.7$) и №15 ($K_S=14.5$, $M_W=6.6$). Значительная левосторонняя составляющая присутствует и в землетрясении е на рис.6 ($K_S=11.5$, $m_b=5.1$). Наиболее вероятно, что сейсморазрыв связан с сильнейшим афтершоком №15, произошедшим 22 мая и близким по магнитуде к Хаилинскому землетрясению. Однако, первое из перечисленных событий произошло еще 21 апреля, а второе 9 мая. Это означает, что левосторонние движения на юго-западе зоны продолжались в течение практически всей наиболее активной стадии действия очага.

Второй крупнейший афтершок №13, также сравнимый с Хаилинским землетрясением, произошел 29 апреля ($K_S=14.0$, $M_W=6.6$) в стороне от основной очаговой зоны на побережье Олюторского залива. В его механизме также присутствует левосдвиговая составляющая (при выборе плоскости юго-западного простирания, что соответствует местной структуре), но преобладают взбросовые деформации.

Заключение

Олюторское землетрясение 20 апреля 2006 г., $M_W=7.6$, произошло в юго-западной части Корякского сейсмического пояса, который является современной северо-западной границей плиты Берингии и отделяет ее от Северо-Американской плиты. Эпицентр Олюторского землетрясения практически совпадает с эпицентром предыдущего сильнейшего землетрясения Корякии - Хаилинского, 1991 г., $M_W=6.6$. Поэтому Хаилинское землетрясение, вообще говоря, можно считать форшоком Олюторского. Оба события уникальны для сейсмической истории региона последних 80-100 лет.

Олюторское землетрясение сопровождалось интенсивной серией афтершоков, которая еще продолжалась в мае 2007 г. В настоящее время Камчатской региональной сетью окончательно

определены параметры около тысячи из них. Сильнейшие афтершоки достигают магнитуды 6.7. За апрель-май 2006 г. в очаге Олюторского землетрясения зарегистрировано 19 событий энергетическим классом выше 11.5, из них 11 событий в течение первых пяти дней, а 9 – в течение первых двенадцати часов.

Полная сейсмическая энергия, выделившаяся в очаговой области за все прошедшее время ее активности, оценивается как $1.5 \cdot 10^{15}$ Дж. Две трети этой величины приходится на главное землетрясение и одна треть на афтершоковый процесс.

Очаговая область Олюторского землетрясения протянулась в северо-западном направлении вдоль долины р.Вывенки на расстояние более 200 км. На протяжении 140 км большое число афтершоков концентрируется вблизи наблюдавших на поверхности сейсморазрывов. Ширина главной области афтершоков около 75 км, однако, небольшая часть землетрясений распространилась на юго-восток на расстояние до 60 км от эпицентра. Основное облако афтершоков располагается вдоль наклонной поверхности, падающей на юго-восток.

После Олюторского землетрясения Корякское нагорье должно рассматриваться как область высокой сейсмической активности, которая требует достаточно детальных наблюдений. В настоящее время на краях региона располагается всего две сейсмические станции. Как показал опыт обработки данных Олюторского землетрясения этого явно не достаточно для качественных текущих наблюдений. Только установка в эпицентральной зоне временных станций позволила рассчитать для конкретного очага поправки к стационарным годографам на станциях Камчатской региональной сети, и тем самым устранить значительные систематические сдвиги в оценках положения гипоцентров. Поэтому вопрос об организации на севере Корякии новых стационарных сейсмических станций является весьма актуальным.

Список литературы

1. Зобин В.М., Бахтиаров В.Ф., Борисенко В.С., Гусева Е.М., Иванова Е.И., Левин В.Е., Матвиенко Ю.Д., Самылов Н.И., Чиркова В.Н. Корякское землетрясение 8 марта 1991 г. // Землетрясения в СССР в 1991 году. М.: ОИФЗ РАН, 1997. С.76–88
2. Пинегина Т.К. Сейсмические деформации в эпицентральной зоне Олюторского землетрясения // Олюторское землетрясение (20(21) апреля 2006 г., Корякское нагорье). Первые результаты исследований Петропавловск-Камчатский: ГС РАН, 2007. С. 126-169
3. Рогожин Е.А., Овсяченко А.Н., Мараханов А. В., Новиков С.С., Пинегина Т.К. Олюторское землетрясение в Корякии 20 (21) апреля 2006 г.: результаты геологического и макросейсмического изучения эпицентральной области // Олюторское землетрясение (20(21) апреля 2006 г., Корякское нагорье). Первые результаты исследований. Петропавловск-Камчатский: ГС РАН, 2007. С. 170-206
4. Сейсмологический бюллетень (ежедекадный) за 2006 год. / Отв. ред. Старовойт. Обнинск: Изд-во ЦОМЭ ИФЗ РАН
5. Harvard CMT catalog <http://www.globalcmt.org/CMTsearch.html>
6. USGS National Earthquake Information Centre <http://neic.usgs.gov/neis/epic/epic.html>