

ПАРАДОКСЫ ОЧАГА ОЛЮТОРСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 2006 г. - ГЛУБИННАЯ СТРУКТУРА И ДИНАМИКА

Ландер А.В.¹, Пинегина Т.К.²

¹Международный Институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН,
Москва, land@mitp.ru

²Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский

Введение. Олюторское землетрясение 20(21) апреля 2006 г., 60.98N 167.37E, M=7.6 произошло на юге Корякского нагорья и является уникальным для крайнего Северо-Востока Азии событием. По магнитуде оно значительно превзошло наблюдавшийся здесь прежде уровень сейсмичности. Очаг землетрясения был подробно исследован как со структурной так и с сейсмологической точек зрения. В очаговой зоне на протяжении 140 км на поверхности выявлена система разнообразных по кинематике сейсморазрывов с амплитудой смещения до 4 м. Для землетрясения составлен каталог афтершоков, включающий более 2.5 тыс. событий, и исследованы пространственные закономерности распределения повторных толчков. Посчитаны механизмы главного события и его сильнейших афтершоков. Собранные структурные и сейсмологические данные позволили составить общую картину и оценить важнейшие характеристики процессов, происходивших в очаге землетрясения [3]. Однако при детальном сравнении различных данных в их интерпретации выявился целый ряд кажущихся противоречий. Последующий анализ этих "частных парадоксов" привел к построению более полной модели, описывающей не только сам очаг, но и его место в общих тектонических процессах, порождающих сейсмичность Корякии.

Положение и общая структура очага. Олюторское землетрясение относится к Корякскому сейсмическому поясу, протянувшемуся по континентальным и шельфовым областям вблизи азиатского побережья Берингова моря, и ограничивающему с запада и северо-запада литосферную плиту Берингию [2]. Наиболее отчетливо дешифрируемым структурным элементом этой границы является Хатырско-Вывенская зона разломов, протянувшаяся в северо-восточном направлении вдоль оси Корякского нагорья (рис.1). Олюторское землетрясение вызвано подвижкой по юго-западному сегменту этой зоны. На

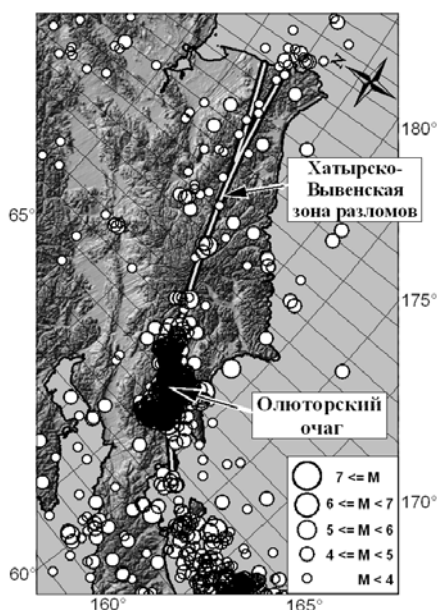


Рис.1. Корякский сейсмический пояс

рис.2 показаны главные наблюдаемые элементы очаговой области Олюторского землетрясения: облако афтершоков, зарегистрированных Камчатской региональной сетью и поверхностные сейсморазрывы, обнаруженные в процессе полевых работ [4-6]. Облако афтершоков подразделяется на три части, из которых две поперечные (B и C на рис.2) связаны с сильнейшими афтершоками и структурой активной при Хаилинском землетрясении 1991 г. Главная продольная полоса афтершоков (A на рис.2) протянулась вдоль левого борта долины р.Вывенки в северо-восточном направлении примерно на 160 км при ширине 10-25 км. Она включает эпицентр главного землетрясения, большинство сильных афтершоков (кроме двух сильнейших). В ее пределах располагаются и все обнаруженные на поверхности сейсморазрывы. Таким образом, именно эта зона связана с главным толчком Олюторского землетрясения. Как структурные, так и сейсмологические данные приводят к одинаковому разделению главной зоны афтершоков на три надстраивающих друг друга по

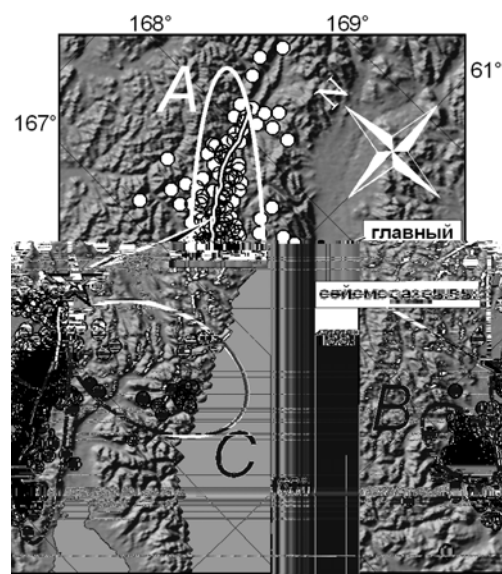


Рис.2. Эпицентральная зона и афтершоки Олюторского землетрясения.

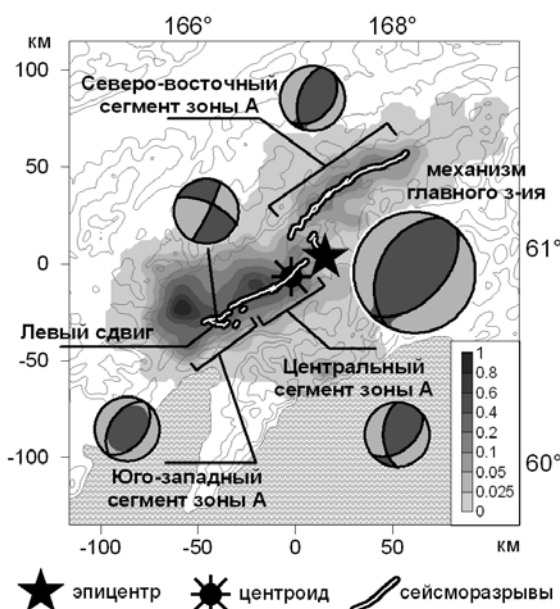


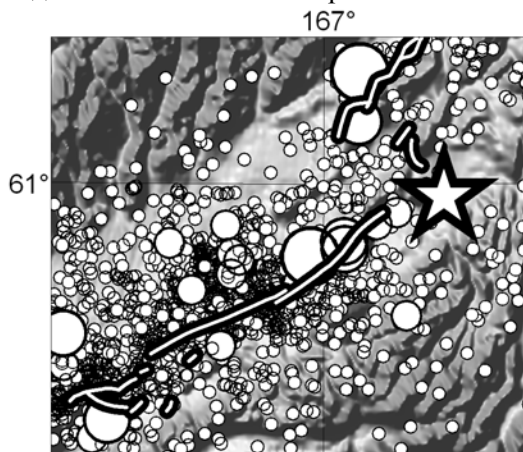
Рис.3. Три сегмента Олюторского очага и средние механизмы землетрясений на них. Фоном показана карта плотности афтершоков, нормированная на максимум (шкала справа).

простирацию сегмента: Северо-Восточный, Центральный и Юго-Западный, отличающиеся по кинематике разрывов и по пространственному распределению афтершоков (рис.3). На Центральном сегменте наблюдаются почти исключительно правосдвиговые поверхностные сейсморазрывы, в то время как на Северо-Восточном и Юго-западном сегментах преобладают взбросы северо-западной направленности (с сохранением небольшой сдвиговой компоненты). Сейсморазрывы Северо-Восточного сегмента смещены в плане примерно на 15 км поперек основного простираия. В свою очередь Юго-Западный сегмент отделен от Центрального косым по отношению к главному простираию левым сдвигом. Большинство

эпицентров афтершоков главной зоны располагается на расстоянии не более 20 км от сейсморазрывов. Наибольшее число афтершоков зарегистрировано на Центральном сегменте, однако сильные события с магнитудой 5 и более происходили на всем протяжении главной зоны. Среди механизмов афтершоков преобладают взбросы, соответствующие наблюдаемым движениям в сейсморазрывах Северо-Восточного сегмента.

Парадоксы очага. Таким образом, на первый взгляд структура и картина движений в очаге Олюторского землетрясения выглядят достаточно определенными. Однако при более детальном сравнении структурных и сейсмологических данных мы сталкиваемся с целым рядом кажущихся противоречий. (1) Центроид главного толчка, то есть центр тяжести модуля подвижки на поверхности разрыва, располагается в Центральном сегменте [1, 7]. Здесь же фиксируется максимальная плотность афтершоков. Эти данные с большой вероятностью указывают на область максимальных подвижек. Можно было бы ожидать, что и общий тензор сейсмического момента отражают, в первую очередь, движения на Центральном сегменте. Однако здесь на поверхности наблюдаются практически чистые правые сдвиги, в то время как механизм главно толчка почти не содержит сдвиговой компоненты и близок к взбросу, соответствующему поверхностным дислокациям Северо-Восточного сегмента (рис.3). (2) Принципиальное различие в кинематике сейсморазрывов Центрального и Северо-Восточного сегментов почти не выражено в типе механизмов афтершоков этих областей. В среднем механизме сильнейших афтершоков Центрального сегмента, как и Северо-Восточного, преобладает взбросовая компонента. (3) Все плоскости сместителя зафиксированные в сейсморазрывах трех сегментов, падают под юго-восточное крыло, либо субвертикальны. Если подобная геометрия разрывов сохраняется и на глубине, следовало бы ожидать, что большинство эпицентров афтершоков будет располагаться юго-восточнее поверхностных сейсморазрывов. Однако на Центральном сегменте картина обратная (рис.4) – две трети эпицентров афтершоков в плане попадают в северо-западное крыло. (4) На протяжении более чем 100 км в поверхностных сейсморазрывах зафиксирована только право-сдвиговая составляющая подвижек. Однако на границе Центрального и Юго-западного сегментов на протяжении 1 км наблюдался левосторонний сдвиг. Первоначально этот разрыв был отдешифрирован далее на юго-запад на 16 км [6]. То есть казалось, что правосторонняя подвижка на юго-западе практически стыкуется с левосторонней того же простираия. В этом районе произошел один афтершок $M=5.2$, механизм которого можно интерпретировать как левосторонний сдвиг. Однако простираие соответствующей нодальной плоскости субширотное, а магнитуда землетрясения явно недостаточна для разрыва подобной длины.

Рис.4. Афтершоки Центрального сегмента Олюторского очага. Большинство эпицентров располагается в северо-западном крыле сейсморазрывов.



Поверхность главного разрыва (объяснение трех парадоксов). Очаг Олюторского землетрясения находится на большом расстоянии от большинства сейсмических станций Камчатской сети, что затрудняет точное определение координат событий этого района. Однако благодаря кратковременной работе в эпицентральной зоне трех временных станций и специальному исследованию по оценке станционных поправок к стандартным годографам сейсмических волн удалось значительно повысить точность определения гипоцентров, особенно их глубины. Это позволило построить трехмерную карту облака афтершоков, на которой четко проявилась наклонная поверхность главного разрыва. На рис.5 приведена серия разрезов облака, построенных по этой карте. На разрезах также показано соответствующее положение известных сейсморазрывов, и Вывенской впадины (долины р.Вывенки). Во всех случаях наклонная линия, вдоль которой группируются афтершоки, приближается к земной поверхности в районе Вывенской впадины. Это отражает тот факт, что афтершоки на всех сегментах главного разрыва выстраиваются вдоль единой несмещенной наклонной поверхности. Однако разрезы Северо-Восточной (1-4) и Центральной (5-8) зон обладают принципиальным отличием. На первых наблюдаемые сейсморазрывы располагаются в районе приближения поверхности разрыва (афтершоков) к земной поверхности, а на вторых далеко (около 15 км) в его тылу. Это дает объяснение появлению двух первых парадоксов. На Центральном сегменте главный разрыв, на котором выделилась основная энергия, не достиг поверхности и может наблюдаться лишь по расположению афтершоков. Параллельные ему и смещенные к юго-востоку сейсморазрывы маркируют здесь на дневной поверхности другой разлом - тыловой сдвиг. На Северо-Восточном сегменте ситуация обратная - основной разрыв достиг поверхности, а тыловой сдвиг отсутствует. Этим объясняется наблюдаемое резкое смещение вкост простирания поверхностных сейсморазрывов при переходе между сегментами. На Центральном сегменте скрытое присутствие на глубине главной дислокации объясняет смещение на северо-запад большинства эпицентров афтершоков относительно сейсморазрывов (тылового сдвига). Наконец, сходство механизмов главного толчка и большинства афтершоков на всех сегментах главной зоны говорит в пользу единого направления главной подвижки по единому разрыву на всем протяжении очага. Обратим также внимание, что на тыловом сдвиге не возникло большого числа афтершоков.

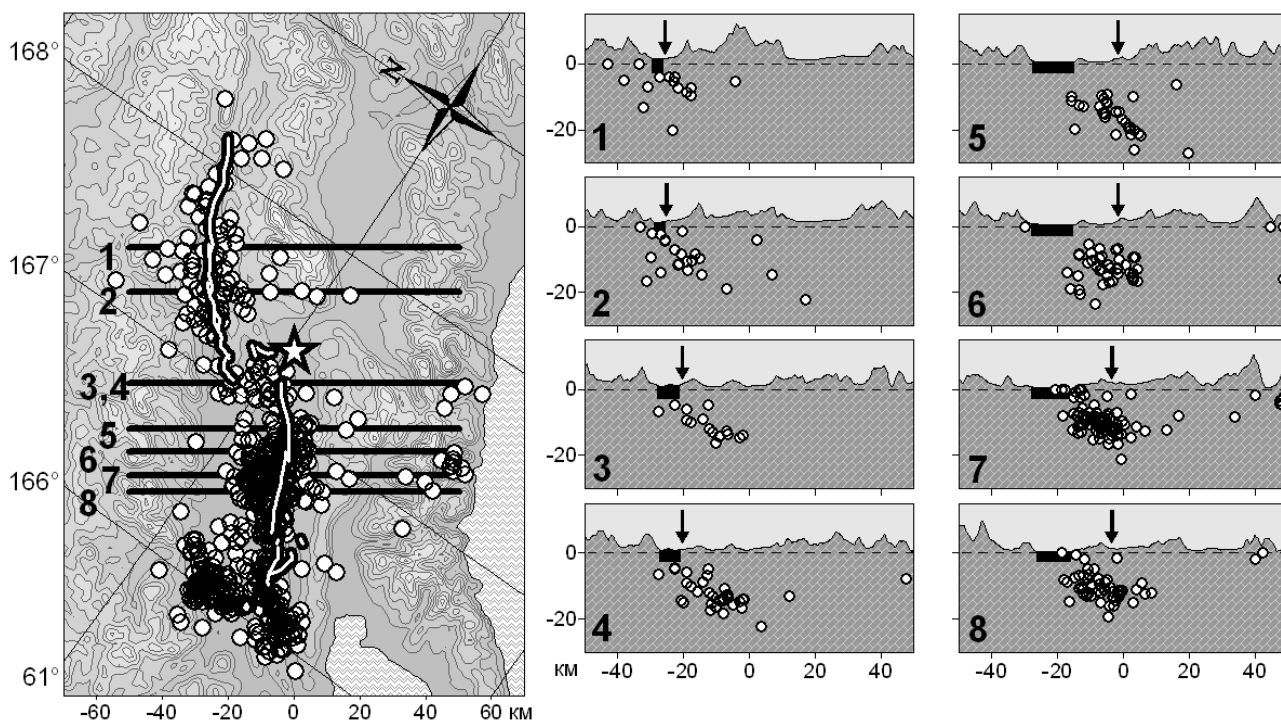


Рис.5. Разрезы облака афтершоков Северо восточного и Центрального сегментов Олюторского очага. Положение разрезов указано на карте. На разрезах: черный прямоугольник - Вывенская впадина, вертикальная стрелка - положение поверхностных сейсморазрывов.

Поперечные движения на границах блоков (объяснение четвертого парадокса). Детальное дешифрирование космических снимков Quick Bird, сделанных после землетрясения в июне 2006 г. позволило уточнить положение левостороннего сейсморазрыва, зафиксированного между

Центральным и Юго-Западным сегментами. Оказалось, что этот разрыв короче, чем указывалось ранее [6], около 4 км, и имеет не юго-западное, а субширотное простирание, пересекая главную зону под углом примерно 45°. В частности, он соединяется на западе с окончанием протяженного сейсморазрыва, который на большей своей части является тыловым сдвигом, а в районе пересечения, судя по результатам дешифрирования, приобретает значительную вертикальную компоненту. Интересно, что в узле - пересечении этих разломов зафиксировано несколько сейсмогравитационных оползней, очевидно связанных с землетрясением или одним из его афтершоков. Новые данные о протяженности и простирании левосторонней сейсмодислокации значительно лучше соответствуют магнитуде и механизму афтершока, произошедшего здесь 29(30) апреля 2006 г М=5.2. Таким образом, левосторонний разрыв, по-видимому, вызван небольшим различием в амплитуде перемещения прилегающих участков южных крыльев Центрального и Юго-западного сегментов в общем (примерно западном) направлении.

Модель "щепки". Сопоставление представленных результатов с морфологией рельефа очаговой зоны позволяет построить модель структуры главного очага Олюторского землетрясения и происходивших в нем движений. На Центральном и Северо-Восточном сегментах описанные выше разрывы (наклонный основной, частично скрытый, и тыловой, вероятно субвертикальный) пространственно соответствуют двум параллельным горным грядам, образующим юго-восточный борт Вывенской впадины. Ближайшая к впадине гряда - Увалистый хребет - фактически маркирует линию (частичного) выхода на дневную поверхность главного разрыва Олюторского землетрясения. Тыловой сдвиг соответствует Останцовому хребту. Северо-восточнее последний переходит в более высокий хребет Майны-Какыйне, который после Олюторского землетрясения не обследовался. Однако соответствующий разлом неизвестного возраста прежде наблюдался в обнажениях южного склона этого хребта (собственные наблюдения 1996 г.). На северо-востоке, в верховьях р.Вывенка, и на юго-западе эти гряды соединяются в единые хребты. В результате они ограничивают с двух сторон узкий вытянутый блок (соотношение размеров примерно 1:10), по-видимому, имеющий в вертикальном сечении треугольную форму (рис.6). Таким образом, Олюторское землетрясение явилось подвижкой по существовавшей ранее и хорошо проявленной в рельефе сложной структуре, включающей несколько разломов.

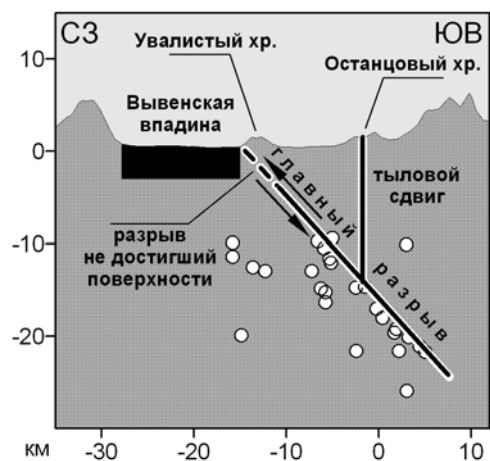
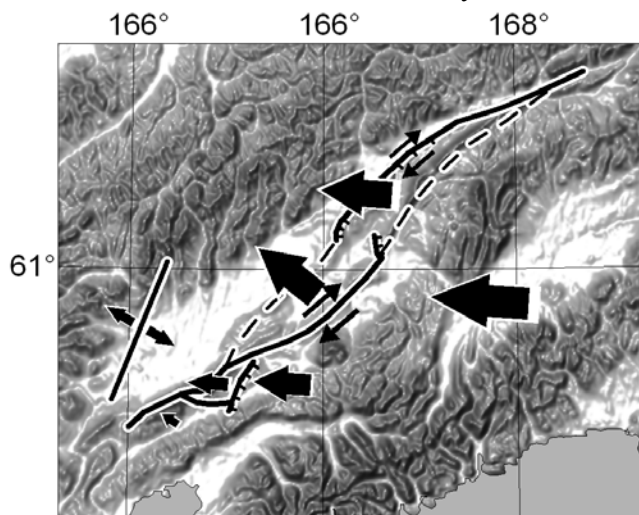


Рис.6. Модель разреза очага Олюторского землетрясения (соответствует разрезу 5 на рис.5).

В [2] предполагается, что Хатырско-Вывенская зона разломов является одной из главных структур, отделяющих литосферную плиту Берингию от Северо-Американской плиты, причем в районе Олюторского очага юго-западное берингийское крыло зоны движется относительно северо-американского приблизительно в западном направлении. Это создает на границе плит северо-восточного простирания транспрессионные условия, что и наблюдается в механизмах землетрясений. Изложенные выше данные позволяют сделать вывод о существовании в рассматриваемом районе в пределах границы плит узкого вытянутого блока, зажато между основными крыльями и перемещающегося вдоль границы с промежуточной по отношению к их движению скоростью (рис.7). Полная относительная подвижка крыльев (плит) при Олюторском землетрясении распределилась в основном между двумя разломами, ограничивающими этот блок: наклонным взбросом его на Вывенскую впадину и тыловым сдвигом.

Рис.7. Модель структуры и движений в очаге Олюторского землетрясения. Толстые стрелки - движения относительно северо-западного крыла зоны, узкие стрелки - движения на разрывах.



Вдоль границы может располагаться несколько подобных блоков, движущихся вдоль нее с несколько разной скоростью. Это приводит к появлению между этими блоками косых (по отношению к главному простиранию) дислокаций произвольного типа. В частности, в Олюторском очаге краевая Юго-западная область несколько отстает в западном движении от наиболее активной Центральной, что привело к возникновению описанного выше локального левостороннего разрыва.

Рассматриваемая структура хорошо известна в зонах косой субдукции [8, 9] и иногда называется "щепкой" (sliver). Она является следствием продольного скольжения передовых блоков нависающей плиты вдоль главной границы, вызванного частичным сцеплением с погружающейся плитой. Наиболее яркими представителями таких структур являются огромная Бирманская микроплита - щепка, подвижка которой привела к катастрофическому Суматранскому землетрясению 2004 г., и Командорский блок, перемещающийся вдоль Алеутского желоба в сторону Камчатки (рис.8).

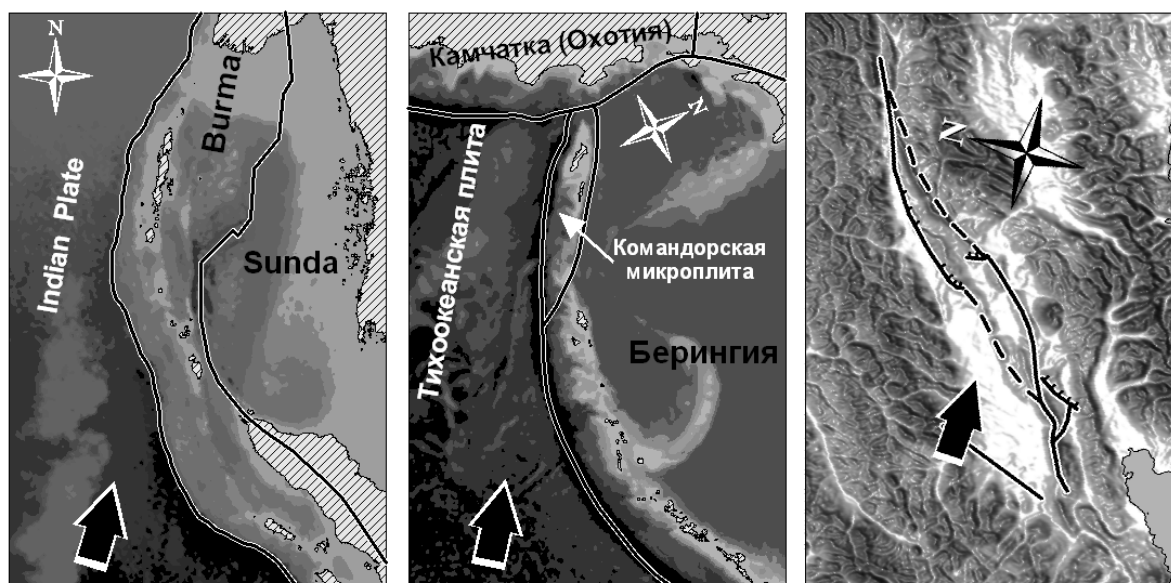


Рис.8. Три "щепки", возникающие при косом поддвиге различного масштаба, слева направо: Бирманская, Командорская, Олюторский очаг. Срелки указывает относительное направление движения поддвигающейся плиты (крыла). В Олюторском очаге Вывенская впадина прогибается при косом малоамплитудном поддвиге под узкий протяженный блок, передвигающийся на северо-восток вдоль Хатырско-Вывенской зоны разломов.

Список литературы

1. Абубакиров И. Р., Павлов В. М. Предварительные оценки параметров очага Олюторского землетрясения 20 апреля 2006 г., $M_w=7.6$, по длиннопериодным сейсмограммам Р-волн мировой сети станций. Олюторское землетрясение (20 (21) апреля 2006 г., Коряжское нагорье). Первые результаты исследований / Отв. ред. В.Н. Чебров. Петропавловск-Камчатский: ГС РАН, 2007. с.170-206.
2. Ландер А.В., Букчин Б.Г., Дроздин Д.В., Кирюшин А.В.. Тектоническая позиция и очаговые параметры Хаилинского (Коряжского) землетрясения 8 марта 1991 г.: существует ли плита Берингия?, Вычислительная сейсмология, вып. 26, М: Наука, 1994, с.103-122.
3. Олюторское землетрясение (20 (21) апреля 2006 г., Коряжское нагорье). Первые результаты исследований / Отв. ред. В.Н. Чебров. Петропавловск-Камчатский: ГС РАН, 2007. 290 с.
4. Пинегина Т.К., Константинова Т.Г. Макросейсмическое обследование последствий Олюторского землетрясения 21 апреля 2006 года. Вестник КРАУНЦ, Серия Науки о Земле 2006, №1, вып. №7, стр. 169-173.
5. Пинегина Т.К. Сейсмические деформации в эпицентральной зоне Олюторского землетрясения. Олюторское землетрясение (20 (21) апреля 2006 г., Коряжское нагорье). Первые результаты исследований / Отв. ред. В.Н. Чебров. Петропавловск-Камчатский: ГС РАН, 2007. с.126-169.
6. 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., Коряжское нагорье). Первые результаты исследований / Отв. ред. В.Н. Чебров. Петропавловск-Камчатский: ГС РАН, 2007. с.170-206.
7. Global CMT catalog: <http://www.globalcmt.org/CMTsearch.html>
8. Kimura, Gaku. Oblique subduction and collision: Forearc tectonics of the Kuril arc / *Geology*; May 1986; v. 14; no. 5; p. 404-407.
9. Satyabala S.P. Oblique plate convergence in the Indo-Burma (Myanmar) subduction region / *Pure and Applied Geophysics*, 2003, v.160, p. 1611-1650.