

ХАИЛИНСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 1991 г. ($M=6.6$) – ФОРШОК ОЛЮТОРСКОГО 2006 г. ($M=7.6$)? (ТЕКТОНОФИЗИЧЕСКИЙ ВЗГЛЯД НА ПРОБЛЕМУ)

А.В.Ландер¹, В.И.Левина², С.В.Митюшкина³

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

² *Геофизическая служба РАН, г. Обнинск*

³ *Камчатский филиал Геофизической службы РАН, г. Петропавловск-Камчатский*

Введение. До середины 80-х годов 20 века в Южной части Корякского нагорья не было известно сильных землетрясений. Ретроспективный взгляд на тот период, учитывающий последующие события, позволяет распознать в редкой сейсмичности элементы известного сегодня Корякского сейсмического пояса. Однако в то время этого не произошло. Даже небольшая активизация Корякского нагорья во второй половине 80-х на фоне общей сейсмичности Северо-Востока Азии и, тем более, Камчатки почти не привлекла к себе внимания исследователей. Поэтому Хаилинское землетрясение 8 марта 1991 г. $M_w=6.6$, произошедшее в "пустой" на карте сейсмичности области, и почти на единицу магнитуды превосходившее все предыдущие события Корякии было неожиданным для сейсмологов. Казалось, что столь сильное событие может служить эталоном для оценки сейсмической опасности региона. Однако всего через 15 лет 20 апреля 2006 г. там же произошло значительно более сильное Олюторское землетрясение $M_w=7.6$, вновь принципиально изменившее представления о современной тектонической активности региона.

Гипоцентры и механизмы обоих землетрясений практически совпадают. Промежуток времени между событиями (15 лет) значительно меньше 70-летнего интервала, в течение которого в данном районе инструментально регистрируются землетрясения с магнитудой 5.5. За все это время подобных событий здесь не было (в течение месяца после Олюторского последовало еще два землетрясения, равных по магнитуде Хаилинскому, но они являются очевидными афтершоками) [3]. Поэтому возникает очевидный вопрос, следует ли рассматривать Хаилинское землетрясение как форшок Олюторского? Можно привести возражение. Афтершоковая активность Хаилинского очага затухла задолго до Олюторского события и предшествовавшие последнему 6 лет в общей очаговой зоне наблюдалось полное затишье. Ответ на поставленный вопрос важен, в частности, для оценки характерной сейсмической активности региона, требующей создания каталога "независимых" событий. К сожалению, обычный статический подход к решению этих вопросов в данном случае не применим из-за недостатка данных. Каталог Корякии на сегодня более чем на 95% состоит из афтершоков двух рассматриваемых землетрясений. Оставшихся, примерно ста, независимых событий явно недостаточно для оценки сейсмического фона, тем более, что в окрестности совместного эпицентра Хаилинского и Олюторского землетрясений число "фоновых" землетрясений измеряется единицами. Поэтому в настоящей заметке мы подойдем к вопросу о форшоке с тектонофизической точки зрения: рассмотрим модели процессов, происходивших в их очагах, и обсудим возможность

того, что меньший разрыв, выразившийся Хаилинским землетрясением, привел в конечном итоге к возникновению значительно большего по масштабу Олюторского. Важные характеристики Олюторского очага описаны в статье настоящего сборника [Ландер, Пинегина. Парадоксы ...], и здесь не повторяются. Ниже ссылки на эту работу приведены в виде: [ЛП].

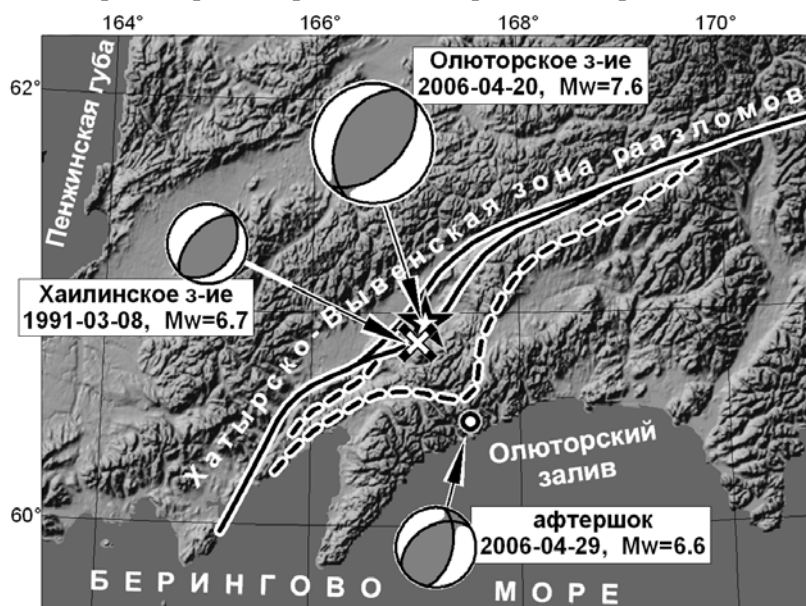


Рис.1. Эпицентральная зона Хаилинского и Олюторского землетрясений.

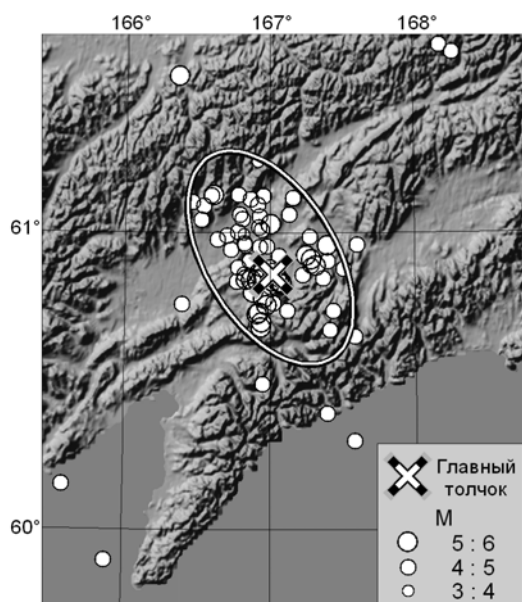


Рис.2. Афтершоки Хаилинского землетрясения. Эллипс аппроксимирует форму облака.

Сходство и различие в строении очагов.

Хаилинское и Олюторское землетрясения произошли на активной Хатырско-Вывенской зоне разломов, наиболее отчетливой структуре Корякской границы плит: Берингии и Северной Америки [2]. Инструментальные эпицентры двух событий находились на расстоянии менее 15 км друг от друга (при размерах очаговых зон 60 и 200 км) (рис.1). Гипоцентры располагались вблизи дневной поверхности, причем Олюторский разрыв на значительном протяжении достиг ее. Согласно механизмам главных толчков [7], для обоих событий простирания главных разрывов соответствовали северо-восточному простиранию Хатырско-Вывенской зоны. В обоих очагах преобладала взбросовая подвижка, но присутствовала и компонента правого сдвига (энергетическое отношение 3:1). Однако в

геометрии очагов заметны и существенные различия. Облако афтершоков, главные сейсморазрывы и изосейсты Олюторского землетрясения вытянуты в северо-восточном направлении и соответствуют общему структурному плану региона. Очаг Олюторского землетрясения протянулся примерно на 200 км вдоль Хатырско-Вывенской зоны разломов и явился следствием активизации существовавших ранее структур [ЛП рис.2, 7]. Аналогичные поля Хаилинского очага выглядят совершенно иначе. Облако афтершоков и изосейсты Хаилинского землетрясения практически перпендикулярны Хатырско-Вывенской зоне (рис.2, 3) [1]. По-видимому, в противоположные стороны падали поверхности, по которым происходили подвижки (при близком простирании). Для Олюторского очага надежно установлено юго-восточное падение главного разрыва. Оно наблюдалось повсеместно в поверхностных дислокациях [4-6] и четко проявлено в форме облака афтершоков [3; ЛП рис.5]. Очаг Хаилинского землетрясения не достиг дневной поверхности и о направлении его падения не имеется

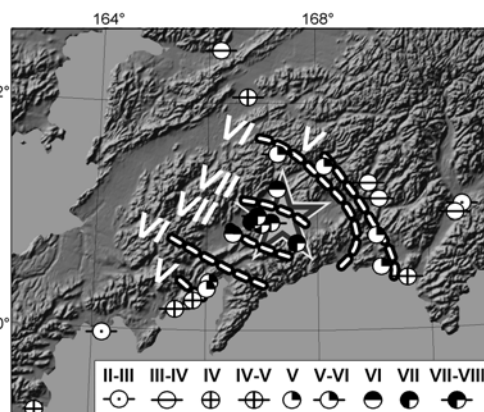
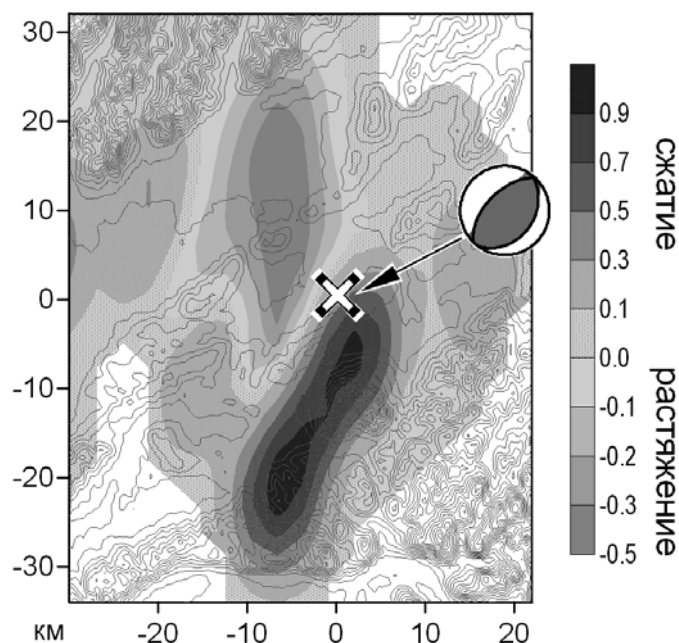


Рис.3. Пункты макросейсмических наблюдений со значениями балльности и изосейсты Хаилинского землетрясения. Большая звезда на заднем плане -



непосредственных данных. Низкая точность определения глубины гипоцентров не позволяет оценить наклон облака афтершоков. Однако недостаток информации частично можно восполнить, интерпретируя поле сеймотектонических деформаций в афтершоковом процессе Хаилинского землетрясения (рис.4) [2]. Наблюдаемая картина - четкое деление на фронтальную область горизонтального сжатия и тыловую растяжения, типична для взбросовых событий и указывает на северо-западное падение плоскости основного разрыва [2]. После Олюторского землетрясения Хаилинская очаговая область была вновь активизирована

Рис.4. Поле сеймотектонических деформаций в афтершоковом процессе Хаилинского землетрясения.

образовав боковую ветвь облака афтершоков [ЛП рис.2, зона С].

Форма, движения, и характеристики вспарывания в очаге Хаилинского землетрясения.

В [2] по записям длиннопериодных поверхностных волн были определены вторые пространственно-временные моменты очага Хаилинского землетрясения. Это позволило построить его трехмерную модель и определить интегральную скорость вспарывания главного разрыва (рис.5). Основная дислокация имела вытянутую форму (соотношение главных осей 2:1) и располагалась косо по отношению к направлениям простирания и падения плоскости разрыва (угол между большой осью дислокации и вектором падения 40°). Вспарывание произошло поперек дислокации (60° к большой оси), в направлении близком к простиранию разрыва. Таким образом, можно предположить, что в процессе землетрясения было разрушена в кратчайшем поперечном сечении узкая преграда, блокировавшая движения по основному разлому. После устранения преграды движение крыльев разрыва происходило не по

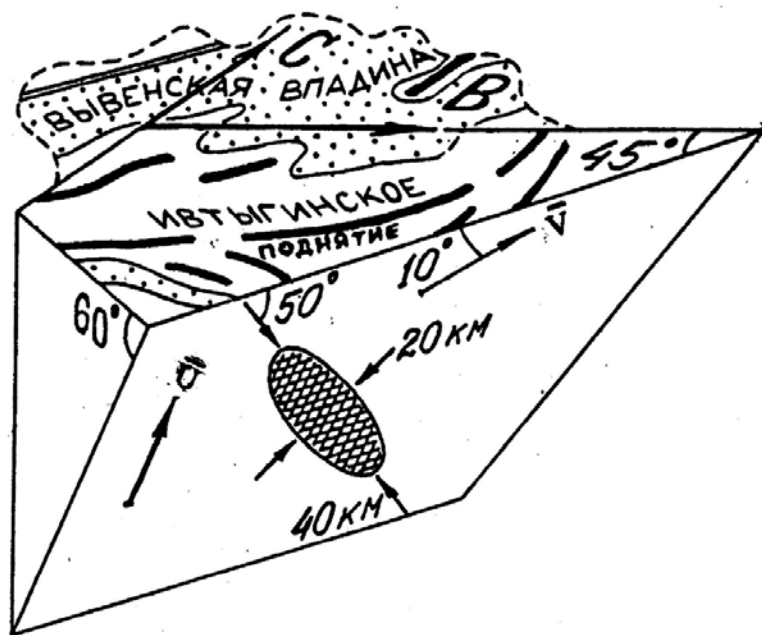


Рис.5. Модель очага главного Хаилинского землетрясения по записям длиннопериодных поверхностных волн [1].

направлению вспарывания, а в соответствии с местным полем тектонических напряжений, в данном случае примерно против вектора падения. В афтершоковом процессе роль сдвиговой составляющей несколько возросла (с 25% до 40% общей энергии деформаций). Интересно, что аналогичное возрастание роли сдвиговых деформаций при переходе от главного события к афтершоковому процессу наблюдалось позднее в центральной части Олюторского очага, прилегающей к Хаилинскому эпицентру. Таким образом, облако афтершоков Хаилинского землетрясения, вытянутое вкрест региональных структур, соответствует пространственному расположению разрушенной преграды, определившей форму очага. В соответствии с формой дислокации располагаются и изосейсты.

Структурная и генетическая связь Хаилинского и Олюторского событий. Приведенные

данные позволяют построить следующую модель сейсмического процесса. До Хаилинского землетрясения в течение длительного времени (больше 60 лет) движение по южной части Хатырско-Вывенской зоны разломов (границе плит) было блокировано косым блоком-преградой размером не менее 40 км, что выразилось в длительном сейсмическом затишье. В результате Хаилинского землетрясения эта преграда была разрушена (рис.6). По-видимому, преграда была не единственной или разрушилась не полностью, и зона разломов вновь на относительно короткое время была заперта. После 9-ти лет афтершоковой активности в районе на 6 лет вновь

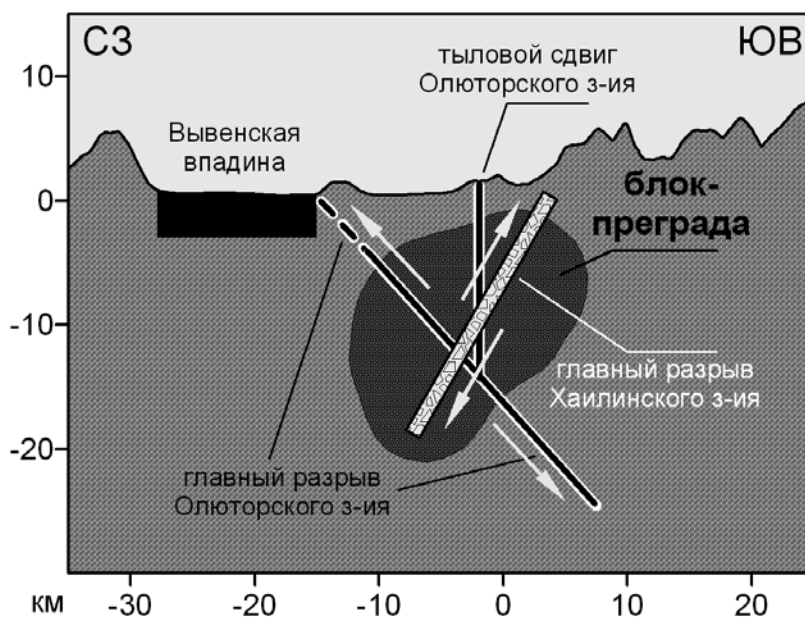


Рис.6. Схематический разрез главных очаговых дислокаций в районе гипоцентров Хаилинского и Олюторского землетрясений.

установилось затишье, которое закончилось значительно более масштабной подвижкой - Олюторским землетрясением. Процесс начался вблизи от первой преграды (близость гипоцентров по сравнению с ее размерами), то есть фактически стартовал с ее окончательного разрушения. В Олюторском очаге движения происходили по двум основным разломам: наклонному фронтальному главному взбросу и тыловому сдвигу [ЛП]. В Хаилинском землетрясении они не проявились. Но, судя по пространственному положению Хаилинского очага и возрастанию в его афтершоках сдвиговой составляющей, разрушение первой преграды могло освободить тыловой сдвиг, сохранив запертым главный взброс. На окончательное разрушение преграды потребовалось еще 15 лет.

Положение Хаилинского и Олюторского эпицентров или, в рамках рассматриваемой модели, преграды, блокировавшей движения по Хатырско-Вывенской зоне разломов, по-видимому, не является случайным. Боковая ветвь афтершоков Олюторского землетрясения, отходящая от основного облака в районе эпицентров [ЛП, рис.2, зона С], протягивается на юг-юго-восток на 50 км, дальше, чем Хаилинский очаг, и заканчивается сильным афтершоком 29 апреля 2006 г. $M=6.6$, практически равным по силе Хаилинскому событию. Кроме того, единственный значительный (длина 2 км) поверхностный сейсморазрыв, обнаруженный после Хаилинского землетрясения в 20 км юго-западнее эпицентра (собственные наблюдения 1993 г.) не соответствовал механизму главного толчка и являлся левосторонним сдвигом северо-западного простирания (по-видимому, он связан с одним из афтершоков). Эти факты, казалось бы, говорят о существовании активной протяженной поперечной структуры юго-восточного простирания, на пересечении которой с основной Хатырско-Вывенской зоной возникла преграда, блокировавшая движение вдоль последней. Однако полевое картирование и дешифрирование снимков не подтвердили существования подобной разрывной структуры. По-видимому, общее положение гипоцентров двух землетрясений имеет иную природу. Эпицентры располагаются в области, где Хатырско-Вывенская зона разломов пересекает под острым углом древнюю (вероятнее всего, поздне-миоценовую) субширотную депрессию. В настоящее время хребты Хатырско-Вывенской зоны разделяют эту депрессию на две независимых впадины: Вывенскую и Пылговаямскую. В районе пересечения с депрессией Хатырско-Вывенская зона образует в плане флексурный изгиб (рис.7). Можно предположить, что появление этого локального

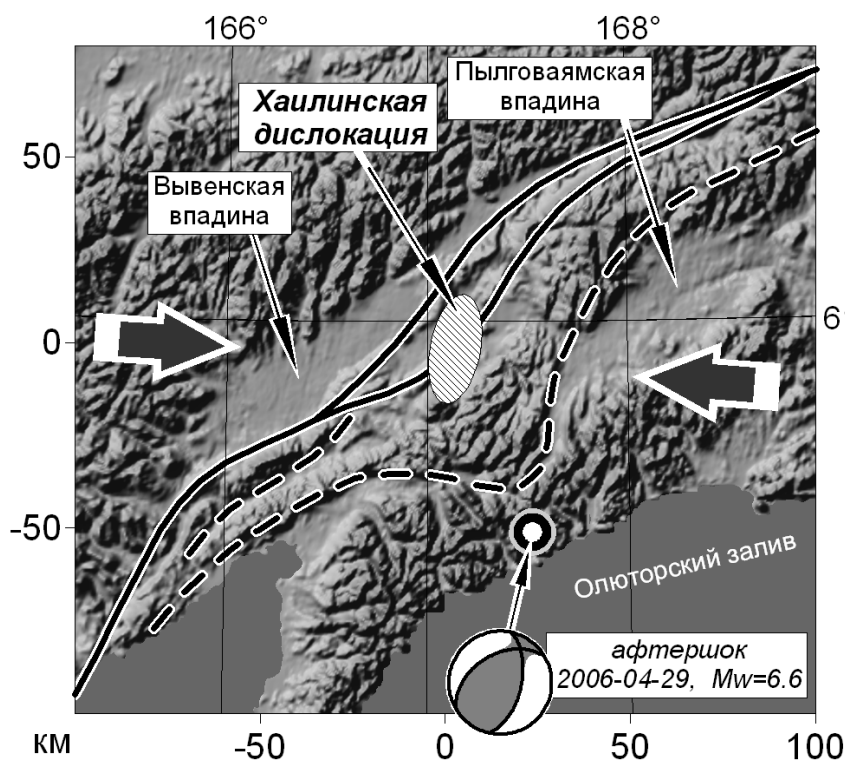


Рис.7. Горизонтальная флексура на Хатырско-Вывенской зоне разломов в эпицентральной области Хаилинского и Олюторского землетрясений. Толстые стрелки указывают направление относительного движения крыльев зоны, принадлежащих Берингской и Северо-Американской плитам.

изгиба связано различием в реологии или мощности фундамента депрессии и окружающих хребтов. Северо-восточное крыло флексуры смещено к северу относительно юго-западного (возможно в результате левосторонних сдвиговых деформаций вдоль субширотной оси депрессии). При такой геометрии центральная часть флексуры является локальным препятствием для правосторонних движений, наблюдаемых на Хатырско-Вывенской зоне. Поэтому в ней наиболее вероятно образование блоков, запирающих зону разломов. Формально можно сказать, что Хаилинское и Олюторское землетрясения произошли в узле - пересечении зоны разломов с депрессией. Однако следует подчеркнуть, что в данном случае узел, по-видимому, не является областью пересечения двух активных разломов, а появление преграды связано с локальной

пространственной неоднородностью фундамента. Описанная флексура не является симметричной (рис.7). Ее значительное расширение к юго-востоку привело к развитию в районах, прилегающих к Олюторскому заливу современных структур сжатия (с главной осью направленной к юго-востоку), в частности четко выраженных в рельефе асимметричных межгорных (краевых) прогибов, в которых располагаются озера Потат-Гытгын и Илир-Гытгын. Движения именно по этим структурам сжатия, отражены в юго-восточной боковой ветви афтершоков Олюторского землетрясения, в том числе во взбросовом событии 29 апреля 2006 г., $M=6.6$.

Таким образом, пространственно-временные и структурные особенности очагов Хаилинского и Олюторского землетрясений указывают на их тесную генетическую связь. Причем речь идет не только о том, что они произошли на одной структуре в общей тектонической обстановке. Частичное разрушение преграды, блокировавшей движение по крупной зоне разломов, произошедшее при Хаилинском землетрясении, по-видимому, было лишь началом более масштабного Олюторского процесса. Следовательно, Хаилинское землетрясение можно рассматривать как форшок Олюторского.

Выводы. На основании рассмотренного материала предлагается следующая модель.

- Хаилинское и Олюторское землетрясения возникли в районе, где основная структура Корякской границы плит - Хатырско-Вывенская зона разломов, пересекает древнюю Вывенско-Пылговую депрессию.
- Связанная с депрессией неоднородность фундамента привела к возникновению на Хатырско-Вывенской зоне горизонтальной флексуры, локально затрудняющей движение вдоль границы плит, и появлению в центральной части флексуры блоков-преград, блокировавших движение по разлому.
- Результатом блокировки Хатырско-Вывенской зоны явилось длительное сейсмическое затишье в южных районах Корякского нагорья.
- При Хаилинском землетрясении произошло частичное разрушение преграды, блокировавшей движение по Хатырско-Вывенской зоне, что явилось началом процесса, в конечном итоге приведшего к значительно большей подвижке.
- При Олюторском землетрясении преграда была окончательно разрушена, зона разломов разблокирована, и движения распространились на значительные расстояния (около 100 км в каждую сторону) от локальной области разрушения.
- Хаилинское событие - часть Олюторского процесса, и может рассматриваться как форшок этого крупнейшего землетрясения региона.
- Промежуток времени 15 лет, разделявший Хаилинское и Олюторское землетрясения, по-видимому, не следует рассматривать в качестве даже очень грубой оценки характерного периода повторяемости сильных землетрясений Корякии.

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. Ландер А.В., Букчин Б.Г., Дроздин Д.В., Кирюшин А.В.. Тектоническая позиция и очаговые параметры Хаилинского (Корякского) землетрясения 8 марта 1991 г.: существует ли плита Берингия?, Вычислительная сейсмология, вып. 26, М: Наука, 1994, с.103-122.
3. Ландер А.В., Левина В.И., Иванова Е.И. Олюторское землетрясение 20 (21) апреля 2006 г. $M_w=7.6$: сейсмическая история региона и предварительные результаты исследования серии афтершоков / Отв. ред. В.Н. Чебров. Петропавловск-Камчатский: ГС РАН, 2007. с.14-33.
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., Корякское 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., Корякское 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>