

**ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЛИТОСФЕРНЫХ ПЛИТ И ВЕРОЯТНАЯ ПРИРОДА
ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ КОРЯКСКОГО РЕГИОНА***Авдейко Г. П.^{1,2}, Палуева А. А.¹*¹*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, gavdeiko@kscnet.ru*²*Камчатский государственный университет им. Витуса Беринга, Петропавловск-Камчатский*

Олюторское землетрясение, произошедшее 20 апреля 2006 г. с $M_w=7.6$, является не единственным сильным землетрясением на северо-западной окраине Тихого океана вне современной зоны субдукции. В марте 1991 г. произошло Хаилинское землетрясение с $M=7.1$ ($M_w=6.6$), эпицентр которого практически совпадал с эпицентром Олюторского землетрясения, а в ноябре 1969 г. Озерновское землетрясение с $M=7.7$ ($M_I=6.9$). Эти землетрясения сопровождалось афтершоками (рис. 1). Кроме того, еще несколько довольно сильных землетрясений магнитудой до 5.3 – 5.7 произошло в полосе северо-западного простирания, протягивающейся от полуострова Озерной до Чукотского полуострова, что позволило А. В. Ландеру с соавторами выделить плиту Берингия [2]. И в случае принятия, и в случае непринятия представлений о существовании плиты Берингия встает вопрос о природе сильных землетрясений этого региона. В связи с тем, что все сильные землетрясения произошли на месте миоценовой зоны субдукции под Срединный хребет, нами было высказано предположение, что эти землетрясения обусловлены остаточными напряжениями миоценовой зоны субдукции под Срединный хребет и восстановлением нарушенного этой субдукцией изостатического равновесия [1]. Рассмотрим предложенную нами модель с учетом полученных дополнительных данных.

По результатам обследования, проведенного еще в период проявления афтершоков, Т. К. Пинегина [4] зарегистрировала на поверхности магистральный сейсморазрыв общего северо-восточного простирания, состоящий из большого числа кулисообразно расположенных разрывов. По характеру преобладающего типа движений кулисы были объединены в три группы – южную, центральную и северную. Для южной группы, состоящей из двух кулис, характерен взбросовый тип движений с надвинутым (висячим) юго-восточным крылом и небольшой компонентой правого сдвига. Амплитуда взброса достигает 2-3 м. В центральной части разрыва протяженностью около 40 км преобладает правосторонний сдвиг амплитудой до 1.6 км с небольшой до 0.5 м взбросовой компонентой. В северной части магистрального сейсморазрыва протяженностью около 70 км снова преобладает взброс амплитудой до 3.5 м с небольшой правосторонней компонентой [4,5].

В результате сеймотектонического изучения эпицентральной области Олюторского землетрясения, проведенного Е. А. Рожогиным с соавторами летом 2006 г. [5], установлено, что общая протяженность выраженного на поверхности магистрального сейсморазрыва составляет около 140 км. В дополнение к полученным Т. К. Пинегиной результатам [4] выявлено, что крайняя юго-западная часть сейсморазрыва протяженностью около 16 км представляет собой левосторонний сдвиг с амплитудой 1.3 – 1.8 м и небольшой взбросовой компонентой. Северо-восточная же часть сейсморазрыва представляет собой взброс, переходящий в надвиг с углом падения плоскости сместителя 20 – 30° [5].

Кроме того, наряду с сейсморазрывом северо-восточного простирания, ярко проявившегося в очаговой зоне Олюторского землетрясения, в юго-восточной части очаговой зоны Хаилинского землетрясения наблюдался левосторонний сдвиг юго-восточного простирания протяженностью около 2 км и амплитудой смещения 0.5 м [3].

Проведенный А.В. Ландером и др. [3] предварительный анализ механизмов очагов Олюторского землетрясения и его афтершоков показал общее их совпадение с наблюдаемым на поверхности характером движений по сейсморазрыву. Все механизмы относятся к взбросам и сдвигам. На северо-востоке очаговой зоны преобладают взбросы, а на юго-западе – сдвиги обоих направлений. По данным [3] глубина практически всех афтершоков не превышает 35 км. По средним глубинам афтершоков отчетливо проявляется поверхность облака афтершоков северо-восточного простирания с падением на юго-восток (максимальные углы 20-25°), что соответствует наблюдаемым на поверхности характеристикам сейсмодислокаций. По этим данным максимальная глубина сейсморазрыва достигает 30-35 км.

Следует подчеркнуть, что район локализации Олюторского и Хаилинского землетрясений проявляет сейсмическую активность в течение длительного времени. «Реконструированные

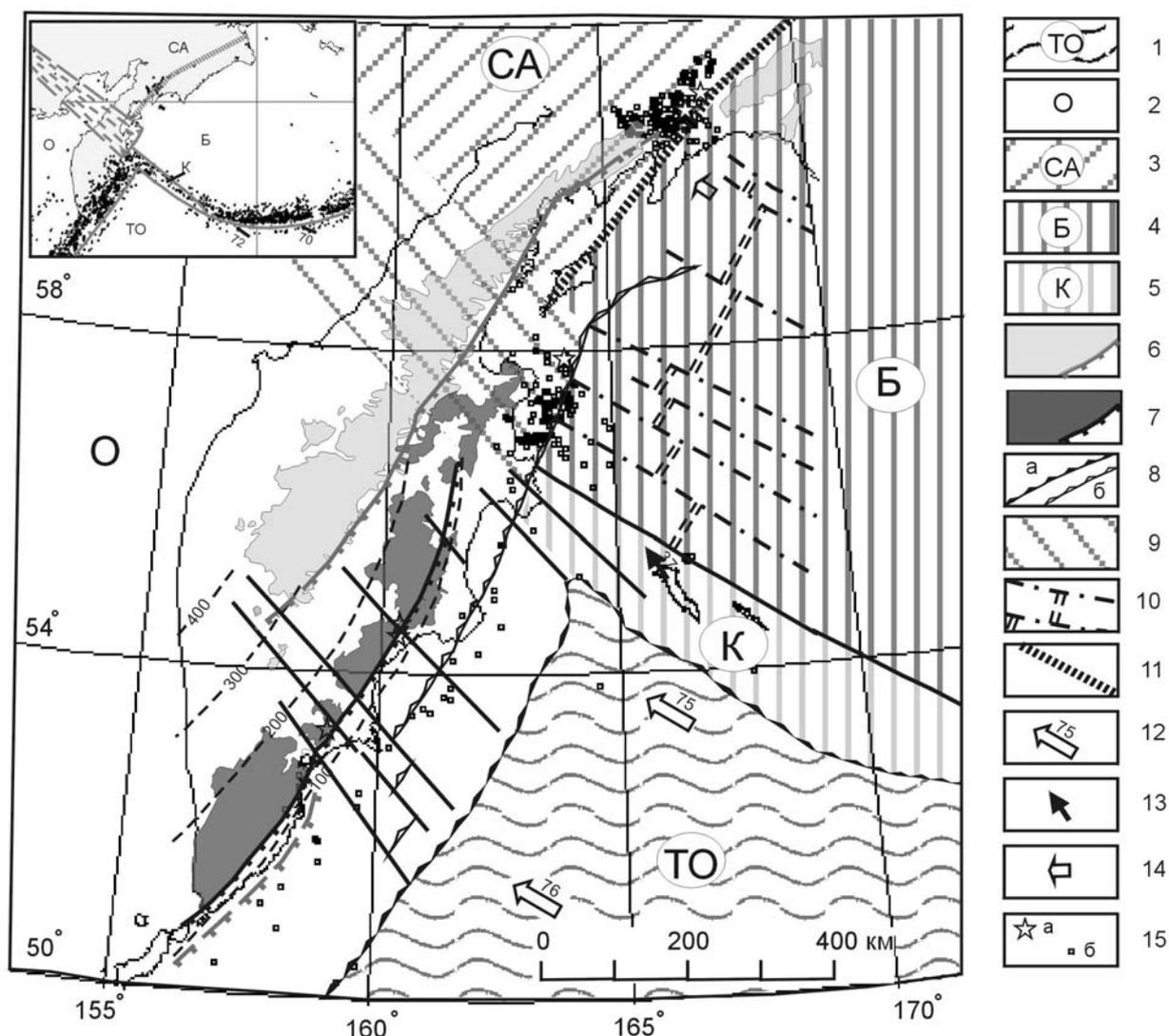


Рис. 1. Схема взаимодействия литосферных плит в Камчатско-Беринговоморском регионе. 1-5: литосферные плиты: 1 – Тихоокеанская, 2 – Охотская, 3 – Северо-Американская, 4 – Берингия, 5 – Командорская микроплита; 6 – вулканический пояс миоценовой Срединно-Камчатской дуги и ее вулканический фронт; 7 – вулканический пояс современной Курило-Камчатской дуги и ее вулканический фронт; 8 – субдукционные (а) и палеосубдукционные (б) – границы литосферных плит; 9 – рассредоточенная (дисперсная) граница между Охотской и Северо-Американской плитами; 10 – палеорифты и трансформные разломы миоценовой Командорской зоны спрединга; 11 – взбросо-сдвиговая граница между Северо-Американской и Берингийской плитами; 12 – направление и скорость движения Тихоокеанской плиты; 13 – направление движения Командорской микроплиты; 14 – направление действия напряжения сжатия плиты Берингия на Северо-Американскую плиту; 15 – эпицентры очагов Озерновского (1969), Хаилинского (1991) и Олюторского (2006) землетрясений (а) и их афтершоков (б).

древние землетрясения имеют приблизительные рамки 7000-6000, 3700-3500, 2500-2000 и 1500-100 л. н. [5, с. 193], т.е. периодичность проявления сильных землетрясений составляет несколько более 1000 лет.

Таким образом, данные по характеру проявления сейсмодислокаций на поверхности и по механизмам очагов землетрясений свидетельствуют о том, что рассматриваемый район в течение длительного времени испытывает напряжение сжатия, ориентированное в северо-западном направлении. Сейсмический пояс и взбросо-сдвиговая система кулисообразно ориентированных сейсмодислокаций имеют северо-восточное простирание, соответствующее общему простиранию структур данного региона, ортогональному относительно направления сжатия. Характерно, что магистральный сейсморазрыв приурочен к Вывенскому прогибу, состоящему из отдельных мелких прогибов, ориентированных кулисообразно по отношению друг к другу и эти кулисы в целом соответствуют кулисам юго-западной, центральной и северо-восточной групп

магистрального сейсморазрыва. Создается впечатление, что магистральный сейсморазрыв Олюторского землетрясения унаследовал разрывные структуры, проявленные при более ранних землетрясениях.

С учетом рассмотренных данных нам представляется следующий сценарий тектонического развития региона. В миоцене в Корякско-Камчатском регионе существовала зона субдукции под Срединный хребет Камчатки [1, 6, 7]. Об этом свидетельствует наличие вулканического пояса с формационными комплексами пород типичного субдукционного типа. К югу от Алеутско-Камчатского сочленения субдукция была обусловлена движением Тихоокеанской плиты, а к северу от него - существованием Командорской зоны спрединга (рис. 1). Как и для всех современных зон субдукции, для нее было характерно наличие сопряженных положительной и отрицательной гравитационных аномалий в изостатической редукции – отрицательной для желоба и положительной для тектонической дуги, расположенной между желобом и вулканической дугой. В конце миоцена к югу от Алеутско-Камчатского сочленения произошла блокировка зоны субдукции Тихоокеанской плиты под Срединный хребет и ее перескок на современное положение (рис. 1). В плиоцен-четвертичное время здесь имело место восстановление изостатического равновесия. На месте отрицательной изостатической аномалии наблюдался подъем с формированием Восточно-Камчатских хребтов, а на месте положительной аномалии – опускание с формированием Центрально-Камчатской депрессии [7]. Так как напряжение сжатия, вызванное давлением со стороны Тихоокеанской плиты, не прекратилось, то разломная зона между этими структурами, очевидно, носила надвиговый характер.

В Корякском регионе, к северу от Алеутско-Камчатского сочленения, где субдукция была обусловлена Командорской зоной спрединга [6], прекращение субдукции, по-видимому, было не таким резким. Очаговая область афтершоков Озерновского землетрясения 1969 г. была локализована в пределах субгоризонтальной ветви сейсмофокальной зоны миоценовой субдукции под Срединный хребет. Зона магистрального сейсморазрыва Олюторского землетрясения так же, как и всех землетрясений этого региона, приурочена к миоценовой зоне субдукции и, на наш взгляд, локализована в пределах пограничной зоны между существовавшими в миоцене положительной и отрицательной изостатическими аномалиями. Взбросовый механизм землетрясений и взбросовый характер подвижек явились следствием напряжений сжатия северо-западного направления. Иными словами, магистральная зона сейсморазрывов Олюторского землетрясения и вся полоса эпицентров землетрясений, по которым проводится западная граница плиты Берингия [2], по нашему мнению, является аналогом зоны разломов между хребтами Восточной Камчатки и Центральной Камчатской депрессии.

Напряжения сжатия могут быть следствием нескольких причин. Это могут быть остаточные напряжения миоценовой субдукции. Они могут передаваться от Тихоокеанской плиты через плиту Берингия при косоугольной субдукции в западной части Алеутской дуги (врезка рис. 1). Во всяком случае, за счет передачи напряжения при косоугольной субдукции Тихоокеанской плиты под плиту Берингия откололась Командорская микроплита [7]. Кроме того, В. П. Трубицын и др. [6] рассчитали математическую модель, по которой трансформное взаимодействие Тихоокеанской и Северо-Американской (Берингийской) плит привело к образованию в миоцене наведенной конвекции в мантии под Берингийской плитой и Командорской зоной спрединга, в свою очередь, Командорская зона спрединга явилась причиной субдукции в районе к северу от Алеутско-Камчатского сочленения. В настоящее время, в связи с перескоком зоны субдукции Тихоокеанской плиты и, соответственно, остановкой или резким замедлением субдукции севернее Алеутско-Камчатского сочленения, происходит перестройка конвекции. А поскольку динамика взаимодействия Тихоокеанской, Охотской и Берингийской плит осталась примерно такой же, как в миоцене, то, в соответствии с моделью [6], в ближайшем будущем можно ожидать заложение новой зоны спрединга под плитой Берингия и формирование новой или подновление старой зоны субдукции севернее Алеутско-Камчатского сочленения. Такая перестройка может быть еще одной причиной напряжения сжатия в Корякском регионе.

Сдвиговые напряжения, по-видимому, являются следствием сегментации надвигаемой плиты, в данном случае плиты Берингия, в процессе субдукции за счет неравномерного сцепления между взаимодействующими блоками. В случае отклонения направления напряжения сжатия от ортогонального по отношению к блокам сегментации может проявляться либо правосторонний, либо левосторонний сдвиги в пределах магистрального сейсморазрыва. Пограничные участки со сменой преобладающего режима между юго-западной, центральной и северо-восточной частями магистрального сейсморазрыва, возможно, являются границами между блоками сегментации.

Такой границей, по-видимому, является и сдвиг северо-западного простирания, зафиксированный после Хаилинского землетрясения [3].

Выделенная А. В. Ландером [2] плита Берингия является частью крупной Северо-Американской плиты. Если она и существовала в миоценовое время, то ее западная граница проходила по Командорской зоне спрединга (рис. 1). В современном виде плита Берингия оформилась уже в плиоцен-четвертичное время после прекращения субдукции. В среднем-позднем миоцене существовала Палеокомандорская микроплита, ограниченная с востока Командорской зоной спрединга, с запада – зоной субдукции под северную часть Срединного хребта, а с севера и юга – трансформными разломами (рис. 1). После прекращения существования Командорской зоны спрединга Палеокомандорская плита вошла в состав плиты Берингия.

Современная граница плиты Берингия с материнской Северо-Американской плитой является взбросо-сдвиговой, обусловленной напряжениями сжатия. В южной части между островом Карагинский и полуостровом Озерной граница является размытой, но, по-видимому, ее следует проводить по оси миоценового палеожелоба (рис. 1). Необходимо отметить, что эта граница, проявленная по Корякскому сейсмическому поясу, является неоднородной. В южной части, включая очаговые зоны Хаилинского и Олюторского землетрясений, она наследует структуры миоценовой зоны субдукции. Северо-восточное замыкание этой зоны, судя по характеру распространения вулканических пород субдукционного типа, было приурочено как раз к району очаговых зон этих землетрясений и было аналогично современному северо-восточному замыканию Алеутской дуги. Граница между Охотской и Северо-Американской плитами, судя по положению эпицентров землетрясений, является дисперсной (рассредоточенной). По-видимому, она представляет собой не линейную границу, а пограничную зону, которую мы помещаем между продолжением края Тихоокеанской плиты и линией, которая обычно проводится большинством сейсмологов.

Выводы

1. Сильные землетрясения Корякского региона приурочены к миоценовой зоне Корякской зоне субдукции под Срединный хребет, в настоящее время отмершей. Прекращение субдукции в Корякском регионе, к северу от Алеутско-Камчатского сочленения произошло после блокировки субдукции к югу от этого сочленения и перескока зоны субдукции Тихоокеанской плиты на современное положение. Хаилинское (1991 г.) и Озерновское (1969 г.) произошли вблизи северо-восточного замыкания зоны субдукции, аналогичного восточному замыканию современной Алеутской дуги.

2. Субдукция в Корякском регионе явилась следствием наведенной Командорской зоны спрединга. В связи с этим прекращение субдукции, по-видимому, было не таким резким как южнее зоны Алеутско-Камчатского сочленения и здесь могли сохраниться напряжения, действовавшие в процессе субдукции.

3. В структурном плане Озерновское и Хаилинское землетрясения были локализованы вблизи тектонической дуги Корякской зоны субдукции. Очевидно, для этой зоны субдукции, как и для всех современных зон субдукции, было характерно наличие сопряженных положительной и отрицательной гравитационных аномалий в изостатической редукции. Положительная аномалия была приурочена как раз к тектонической дуге, а отрицательная – к глубоководному палеожелобу.

4. Динамика Олюторского землетрясения была обусловлена напряжениями сжатия и восстановления изостатического равновесия. Магистральный сейсморазрыв приурочен к пограничной области между положительной и отрицательной изостатическими аномалиями в Корякской зоне субдукции. Юго-восточное крыло сейсморазрыва, располагавшееся на месте континентального склона глубоководного желоба, было областью отрицательной изостатической аномалии. После завершения субдукции эта область испытывает поднятие. Северо-восточное крыло сейсморазрыва, наоборот, располагалось в области положительной изостатической аномалии в миоцене и, после завершения субдукции, оно испытывает погружение. Пограничная область между ними – зона максимальных касательных напряжений. Напряжения горизонтального сжатия северо-восточного направления могут быть обусловлены и/или остаточными напряжениями завершившейся Корякской субдукции, передачей напряжения от Тихоокеанской плиты при ее косоугольной субдукции под плиту Берингия, а также напряжениями, создаваемыми при перестройке конвективных течений в мантии под плитой Берингия.

5. Граница между плитой Берингия и материнской Северо-Американской плитой, проводимая по Корякскому сейсмическому поясу [2, 3], не является однородной. От зоны

Алеутско-Камчатского сочленения на юге, до очаговых зон Олюторского и Хаилинского землетрясений она наследует структуры Корякской зоны субдукции. Севернее этого района природа этой границы нами не рассматривалась. Возможно, она связана с поднятием Корякского нагорья.

Высказанные здесь представления о природе сильных землетрясений Корякского региона представляется нам наиболее правдоподобными. Во всяком случае, приуроченность землетрясений к миоценовой зоне субдукции не вызывает сомнений, а относительно динамики взаимодействия плит возможны и другие модели.

Мы благодарим сотрудников Камчатского филиала Геофизической службы РАН за предоставленные материалы. Особая благодарность В. И. Левиной, А. В. Ландеру и Т. К. Пинегиной за обсуждение материалов, использованных в данной статье. Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП «Мировой океан», тема 4, договор № 43.634.11.0004/3.

Список литературы

1. Авдейко Г. П., Палуева А. А. Олюторское землетрясение 2006 г. как результат взаимодействия литосферных плит в Корякско-Камчатском регионе // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2006. № 2. С. 54-68.
2. Ландер А. В., Букчин Б. Г., Дрозин Д. В., Кирюшин А. В. Тектоническая позиция и очаговые параметры Корякского (Хаилинского) землетрясения 8 марта 1991 г. в контексте проблемы существования современной плиты Берингия // Математическое моделирование сеймотектонических процессов в литосфере, ориентированное на проблему прогноза землетрясений. Выпуск 1. 1993. С. 74-88.
3. Ландер А. В., Левина В. И., Иванова Е. И. Олюторское землетрясение 20 (21) апреля 2006 г. Корякское нагорье. Первые результаты исследований. // Олюторское землетрясение (20 (21) апреля 2006 г., Корякское нагорье). Первые результаты исследований. Петропавловск-Камчатский: ГС РАН, 2007. С. 14-33.
4. 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.
5. 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.
6. Трубицын В. П., Шапиро М. Н., Рыков В. В. Численное моделирование доплиоценовых мантийных течений в области сочленения Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг // Физика Земли. 1998. № 4. С. 10-19.
7. Avdeiko G.P., Savelyev D.P., Palueva A.A., Popruzenko S.V. Evolution of the Kurile-Kamchatkan volcanic arcs and dynamics of the Kamchatka-Aleutian junction // Geophysical Monograph 173. Volcanism and subduction: the Kamchatka region. American Geophysical Union. Washington D.C. 2007. P. 41-60.