

УДК 551.242

АКТИВНЫЕ РАЗЛОМЫ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ КАМЧАТСКОГО ПОЛУОСТРОВА И КОМАНДОРСКАЯ ЗОНА СДВИГА

© 2010 Б.В. Баранов¹, К. Гедике², Р. Фрейтаг³, К.А. Дозорова¹

¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, 117997, e-mail: bbaranov@ocean.ru

²Федеральный Институт геологических наук и природных ресурсов, Германия, 30655, Ганновер

³Институт геологических наук, Йенский университет, Германия, 07743, Йена

Обобщение данных, полученных при полевых работах 2007-2008 гг. в рамках российско-германского проекта КАЛЬМАР и при предыдущих исследованиях (Freitag et al., 2001; Gaedicke et al., 2000; Kozhurin, 2007), позволило установить характер смещения на активных разломах юго-восточной части Камчатского полуострова. Были выделены: правосторонний взбросо-сдвиг юго-западного простирания, левосторонний сбросо-сдвиг, ориентированный в северо-западном направлении, и субширотные и субмеридиональные сбросы. Первые два разрывных нарушения являются наиболее протяженными структурами, связанными с Командорской зоной сдвига. Они ограничивают блок земной коры, который внедряется в массив Камчатского полуострова, что согласуется с моделью тектонического внедрения при коллизии блоков Алеутской дуги с Камчатским полуостровом.

Ключевые слова: Камчатский полуостров, полевые исследования, активные разломы, кинематические модели.

ВВЕДЕНИЕ

Камчатский полуостров приурочен к участку переходной зоны Тихого океана, расположенному в точке сложного сочленения различных тектонических структур. В этой точке происходит стык Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг, а в прилегающей части Тихого океана – одноименных глубоководных желобов. Хорошо известно, что Курило-Камчатская дуга приурочена к зоне субдукции, тогда как самый западный отрезок Алеутской дуги, соответствующий Командорским островам, представляет собой зону сдвига.

Вопрос о характере взаимодействия этой зоны сдвига с Камчатским полуостровом, т.е. каким образом она влияет на его современную геодинамику, и в частности на распределение и кинематику активных разломов, обсуждался рядом исследователей (Бахтеев и др., 1992; Кожурин, 1985; Freitag et al., 2001; Gaedicke et al., 2000; Geist, Scholl, 1994; Kozhurin, 2007; McElfresh et al., 2002).

В 2007-2008 гг. исследования активных разломов юго-западной части Камчатского полуострова проводились в рамках российско-германского проекта КАЛЬМАР (Курило-Камчатская и Алеут-

ская системы – окраинное Море – островная дуга: взаимодействие между геодинамикой и климатом в пространстве и времени). Настоящая работа посвящена рассмотрению полученных результатов и обсуждению существующих моделей взаимодействия Командорской зоны сдвига с Камчатским полуостровом.

ОСНОВНЫЕ ЧЕРТЫ СТРОЕНИЯ КАМЧАТСКОГО ПОЛУОСТРОВА

Физиографически юго-восточная часть Камчатского полуострова состоит из двух горных массивов, разделенных долиной реки 1-ая Перевальная. На северо-западе массивы переходят в низменную часть полуострова, с юго-востока они ограничены акваторией Тихого океана (рис. 1). Эти горные массивы состоят из пород мел-палеогенового возраста, включая разнообразные габброиды и ультрабазиты, кремнисто-вулканогенные образования и кремнисто-вулканогенно-терригенные отложения. Низменные части полуострова заполнены осадочными образованиями позднеплиоценового-раннечетвертичного возраста (Государственная ..., 2007).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Одним из основных признаков, служащих для выделения активных разломов, является то, что эти разломы секут молодые формы рельефа, смещают русла рек, ручьев и оврагов и поэтому могут быть выделены при дешифрировании аэро- и космоснимков (Кожурин и др., 2008; Kozhurin, 2007). Для дешифрирования этих структур нами были использованы снимки, полученные со спутника QUICKBIRD (сайт Google Earth: www.google.com/earth). Основными преимуществами этих снимков являются широкая полоса охвата (размер сцены – 16,5 × 16,5 км) и высокая метрическая точность. Высокая точность дает возможность создавать топографические и специальные карты и планы вплоть до масштаба 1:2000. Область покрытия съемкой с этого спутника охватывает большую часть юго-востока Камчатского полуострова, расположенную между м. Камчатский и м. Африка (рис. 1).

Выделение активных разломов на юго-востоке Камчатского полуострова было проведено ранее по аэрофотоснимкам (Freitag et al., 2001; Gaedicke et al., 2001; Kozhurin, 2007). Использование снимков со спутника QUICKBIRD дало нам воз-

можность: (1) выделить ряд ранее не известных разломов, (2) более детально установить особенности строения и характер смещений для известных разломов, (3) создать трехмерные изображения, дающие более наглядное представление о структурном рисунке разломов. На участке, покрытом съемкой, при дешифрировании были выделены системы разломов северо-западного, субширотного и субмеридионального простираний (рис. 1). Эти системы разломов были обследованы нами во время полевых работ в 2007-2008 гг., проводимых в рамках российско-германского проекта КАЛЬМАР (Дулло и др., 2007).

Наиболее примечательным среди них является крупный разлом, простирающийся в северо-западном – юго-восточном направлении. Юго-восточная и центральная части разлома были обследованы в августе 2008 г., его северо-западное окончание изучалось ранее при полевых работах 1998 г., проводимых по российско-германскому проекту КОМЭКС (Курило-Охотский Морской Эксперимент) (Gaedicke et al., 2000). На космоснимке видно, что в рельефе разлом прослеживается практически от побережья Берингова моря вглубь суши на расстояние около 9 км (рис. 2).



Рис. 1. Активные разломы юго-восточной части Камчатского п-ова, (жирные линии). Положение разлома на правом борту реки 2-ая Перевальная дано по работе (Kozhurin, 2007), остальных – на основании дешифрирования снимков со спутника QUICKBIRD. Пунктирной линией обозначены русла рек: 1П = 1-ая Перевальная, 2П = 2-ая Перевальная, П = Пикеж. Прямоугольники, показанные тонкими пунктирными линиями, соответствуют площадям, отснятым со спутника QUICKBIRD.

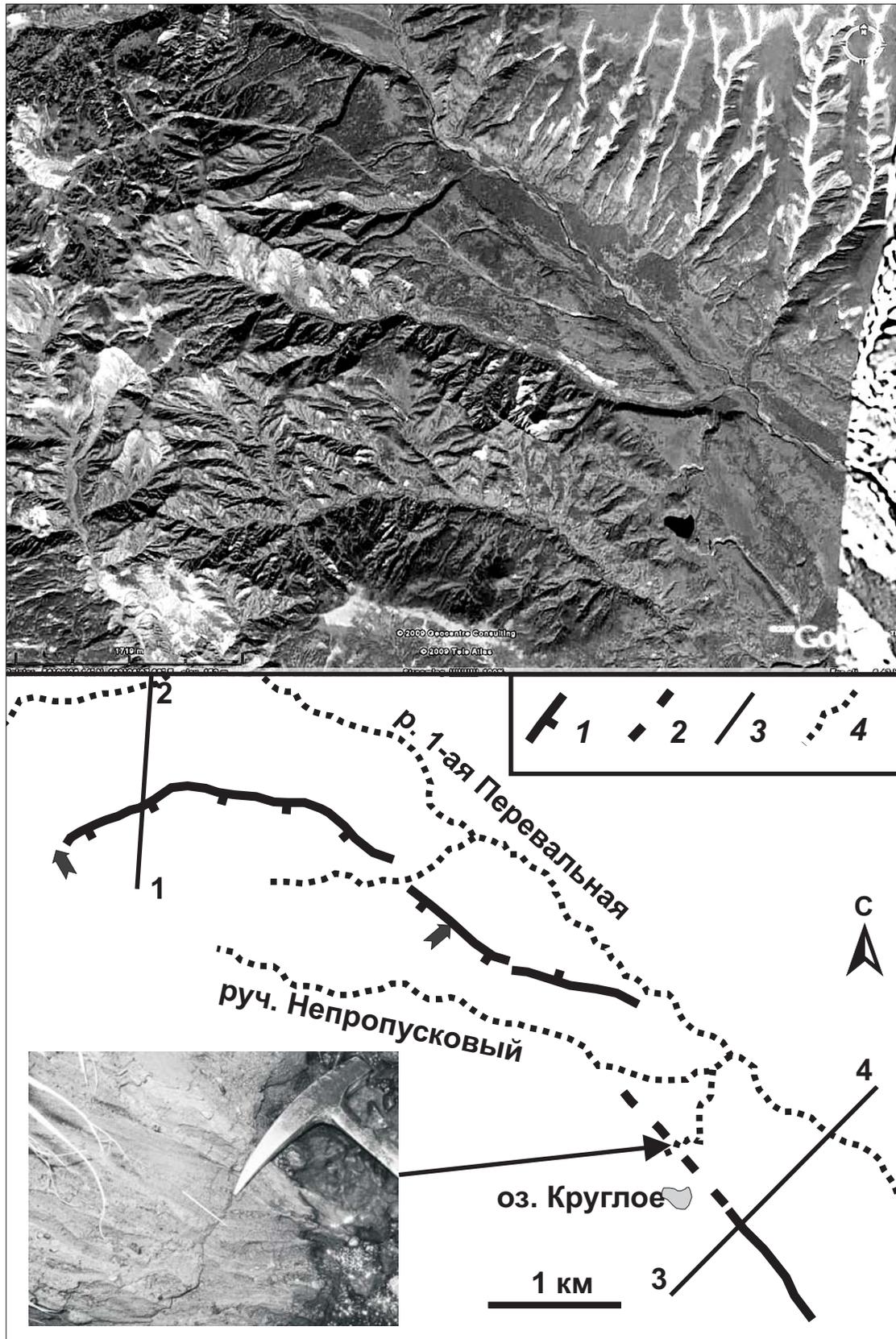


Рис. 2. Фрагмент снимка со спутника QUICKBIRD (вверху) и его интерпретация (внизу). На врезке приводится фотография деформированных осадков, обнажающихся в русле ручья и соответствующих плоскости разлома. Участок разлома, расположенный между стрелками, показан в более крупном масштабе на рис. 4. Местоположение района представлено на рис. 1. 1 – активные участки разлома, штрихи расположены на опущенном крыле разлома; 2 – неактивные участки разлома; 3 – геоморфологические профили; 4 – русла рек и ручьев.

Вначале разлом имеет северо-западное – юго-восточное направление; с удалением от побережья его простираение постепенно меняется на субширотное.

В рельефе разлом начинает проявляться на расстоянии около 1 км от береговой линии в виде V-образного трога глубиной порядка 40-50 м (рис. 3а, профиль 3-4, и 3б). Протяженность трога составляет около 1 км, его северо-восточный склон является более крутым по сравнению с юго-западным. Оба борта трога расположены практически на одном уровне, что свидетельствует об отсутствии значительных вертикальных перемещений.

Далее на северо-запад разлом в рельефе не выражен; он может быть прослежен только по четкой прямолинейной границе, которая разделяет участки с кустарниками и травой (на рис. 2а темно-серый и светло-серый тон соответственно). На этом участке плоскость разлома обнажается только в русле небольшого ручья, где она перекрыта осадочной толщей мощностью порядка 6 м с горизонтально залегающими озерными и речными отложениями. В русле ручья местами обнажаются слабослоистые отложения, представленные чередованием горизонтов крупнозернистого песка и гравия (рис. 2б, врезка). Замеры показали, что плоскости напластования имеют азимут падения от 60 до 90° при углах от 45 до 70°; наблюдается небольшой будинаж, а на плоскостях появляются царапины и борозды скольжения. Видимая протяженность зоны деформированных отложений, которая соответствует плоскости разлома, составляет порядка 30 м.

Разлом снова появляется в рельефе к северу от р. Непропусковой и представляет собой ассиметричный трог с опущенным юго-западным крылом. Амплитуда смещения составляет порядка 10-15 м (см. рис. 3б), причем ее величина увеличивается в северо-западном направлении и на субширотном отрезке разлома составляет порядка 20-25 м (см. рис. 3а, профиль 1-2).

Кроме вертикальных, в этой части разлома по смещениям русел ручьев и оврагов надежно фиксируются левосторонние горизонтальные смещения (рис. 4). Смещения на северо-западном окончании составляют 40 м и увеличиваются до 60 м на субширотном отрезке.

Простираение следующей группы разломов близко к субширотному (рис. 1). Эта группа была обследована нами при полевых исследованиях в августе 2008 г. Полученные данные подтверждают ранее высказанное предположение (Kozhurin, 2007) о том, что данную систему разломов можно рассматривать в качестве сбросов, плоскости сместителей которых обращены на юг. Протяженность разломов – около 4 км, вертикальное разделение по поверхности составляет 10-12 м. Как на снимках, так и на местности, свидетельства латеральных перемещений не фиксируются.

Следующая группа разломов располагается вблизи южной оконечности Камчатского полуострова и простирается в субмеридиональном направлении (рис.1) Они отчетливо видны в рельефе, поскольку секут склоны хребтов и их длина колеблется от 400 м до почти 2 км. Один из субмеридиональных разломов длиной около 2 км пересекает террасу, расположенную на высоте 620 м.

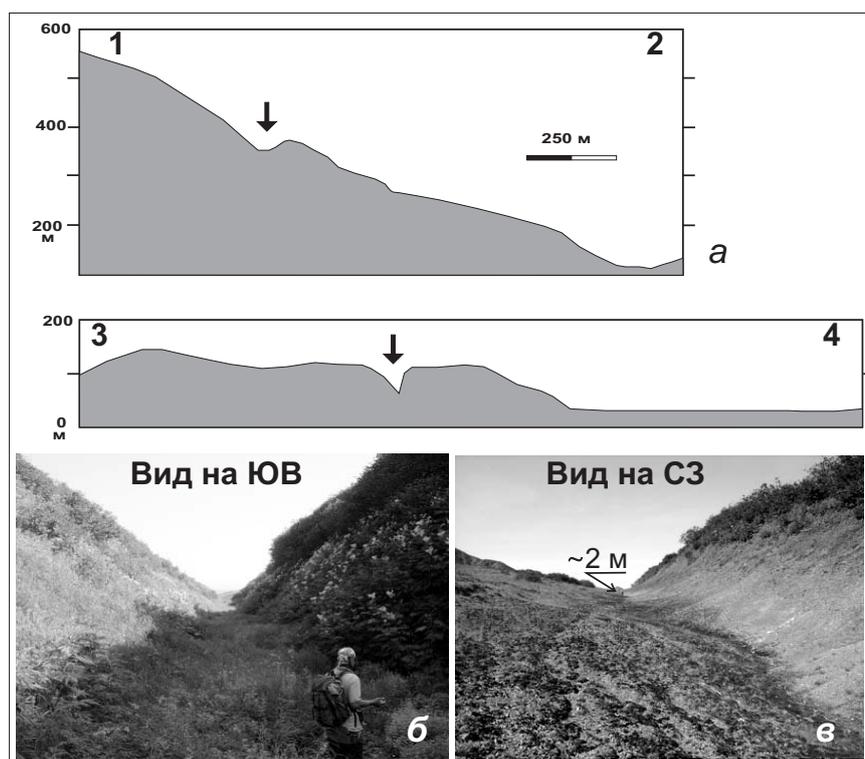


Рис. 3. Геоморфологические профили через северо-западную и юго-восточную части разлома (правый борт р. 1-ая Перевальная), обозначенного стрелками (а). Положение профилей представлено на рис. 2. Разлом является симметричным на своем юго-восточном отрезке (б). К северо-западу от руч. Непропусковой опущенными являются юго-западное и южное крылья разлома (в).

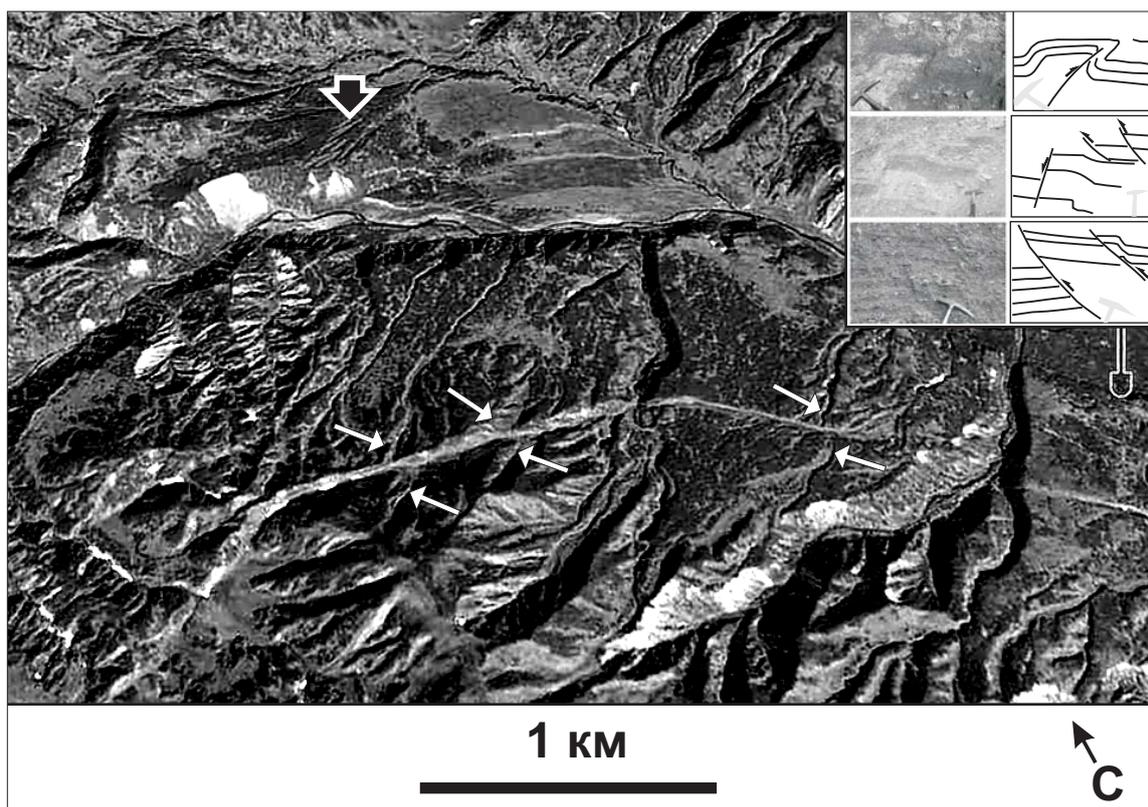


Рис. 4. Разлом р. 1-ая Перевальная смещает русла ручьев и оврагов, обозначенных белыми стрелками, по типу левостороннего сдвига (трехмерное изображение снимка QUICKBIRD). Большая стрелка указывает на веер структур, соответствующих окончанию правостороннего сдвига р. 2-ая Перевальная. На врезке приведены фотографии, иллюстрирующие характер деформаций на окончании данного разлома.

Этот разлом был обследован во время полевых работ летом 2007 г. и в результате было установлено, что аналогично предыдущим разрывным нарушениям он имеет асимметричный профиль с опущенным западным крылом (рис. 5). По ориентировке царапин и борозд скольжения (зеркала скольжения) было определено, что разлом представляет собой сброс, горизонтальные смещения зарегистрированы не были.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Изучение активных разломов юго-восточной части Камчатского полуострова, как отмечалось выше, проводилось рядом исследователей (Бахтеев и др., 1992; Кожурин, 1985; Freitag et al., 2001; Gaedicke et al., 2000; Kozhurin, 2007). В работе (Бахтеев и др., 1992) были рассмотрены позднеплейстоценовые-голоценовые сдвиги и сбросо-сдвиги северо-западного - субмеридионального простираний, расположенные между реками 1-ая Перевальная и Пикеж. По смещениям контуров ниже-среднеплейстоценовых и верхнеплейстоценовых аллювиальных и аллювиально-морских террас предполагаются правосторонние смещения с горизонтальной амплитудой 100-200 м, что по мнению авторов за голоцен соответствует скорости горизонтальных движений 1-2 см/год.

Сдвиги затухают в северо-западном направлении и вертикальная составляющая перемещений по отдельным сбросо-сдвигам, выделяемая геоморфологическими методами, не превышает 30 м. Предполагалось, что сдвиги и сбросо-сдвиги являются оперяющими структурами Командорского трансформного разлома (Бахтеев и др., 1992).

Активные разломы, расположенные в юго-восточной части Камчатского полуострова, также рассматривались в работах (Кожурин, 1985; Kozhurin, 2007). Методика, которая использовалась в данных работах, была аналогична используемой нами, т.е. первоначальному дешифрированию аэрофотоснимков с выделением активных разломов и дальнейшему их полевому изучению. В отличие от работы (Бахтеев и др., 1992), где не упоминается о методике исследования активных разломов, в данном случае мы можем провести прямое сравнение полученных результатов.

Кинематика активных разломов. Наиболее крупный разлом северо-восточного - юго-западного простирания начинается практически от побережья Берингова моря к северу от мыса Африка и прослеживается вглубь суши на расстояние около 18 км (рис. 1). Детальные исследования данной структуры (Kozhurin, 2007) свидетельствуют о правостороннем смещении голоценовых форм рельефа, таких как овраги и террасы, на

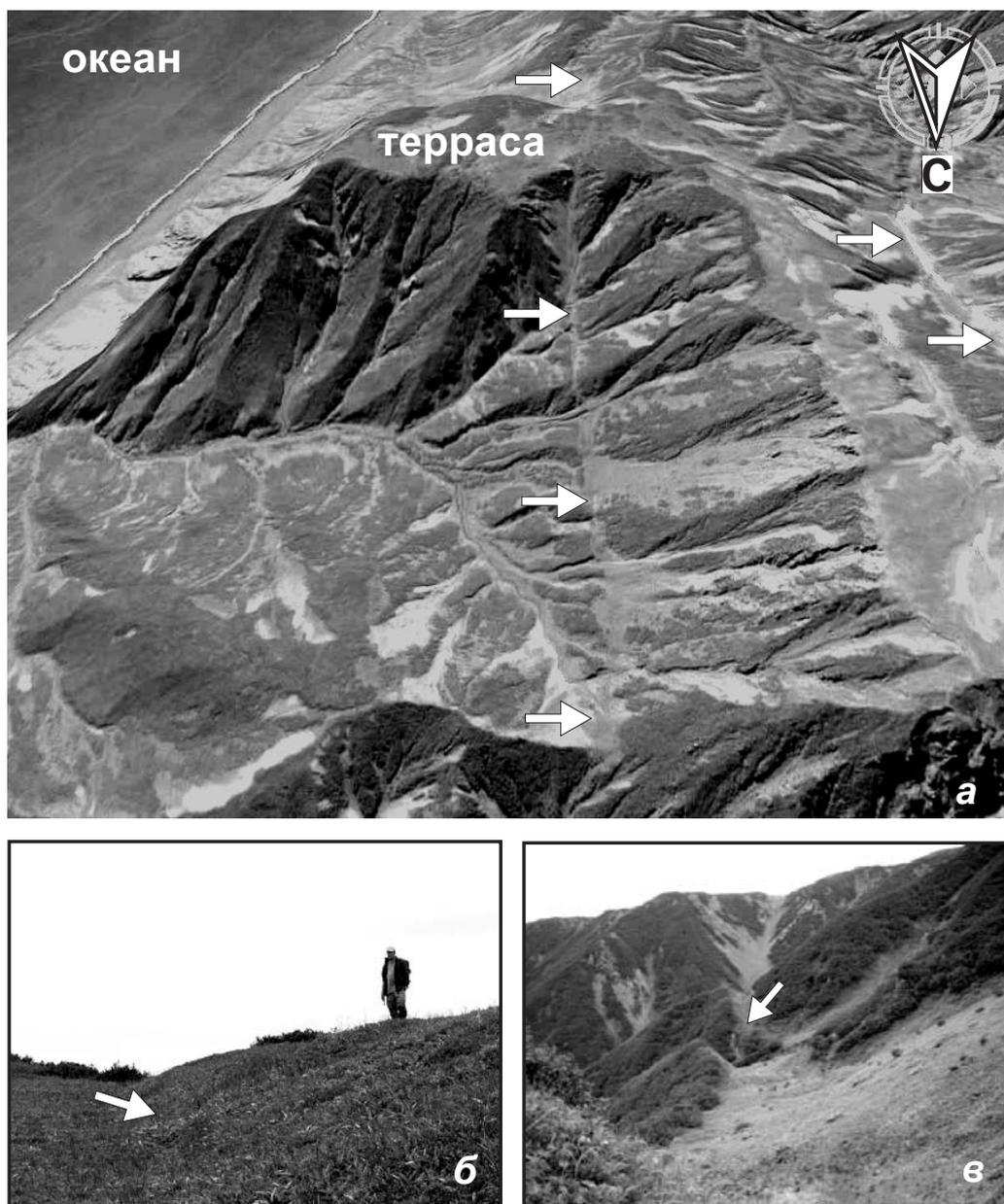


Рис. 5. Трехмерное изображение фрагмента снимка QUICKBIRD с субмеридиональными разломами, обозначенными стрелками (а). Положение представлено на рис. 1. На террасе вертикальное смещение по плоскости разлома составляет 2-3 м (б), на склоне – до 15-20 метров (в).

величину от 2 до 70-75 м со скоростью около 4 мм/год и периодичностью повторных смещений каждые 500 лет. Вертикальная компонента является незначительной, т.е. разлом является правосторонним сдвигом.

Западное окончание этого разлома представляет собой веер разрывных нарушений, которые секут аллювиальную террасу, обрывающуюся в сторону р. 1-ая Перевальная (рис. 4). Материал, слагающий террасу, представлен плохо сортированным неокатанным гравием и крупнозернистым песком и, как правило, не является слоистым. Там, где можно различить отдельные слои, видны их смещения, обусловленные наличием взбросов и асимметричных складок, связанных со взбросами

(рис. 4, врезка). Простираение разломов варьирует от 50 до 80° с падением до 85° на юго-восток. Величина смещения на отдельных разломах достигает 30-40 см (Freitag et al., 2001). В связи с этим можно предполагать, что правосторонние смещения на окончании данного разлома затухают, трансформируясь в систему взбросов.

Следующая зона разломов, расположенная на правом борту долины реки 1-ая Перевальная (рис. 1), и имеющая генеральное северо-западное – юго-восточное простираение, интерпретировалась в качестве сброса (Kozhurin, 2007). Основанием для этого являлось то, что данное разрывное нарушение маркируется уступом, который в зависимости от простираения разлома «северо-западное – суб-

широтное» обращен соответственно на юго-запад или юг. Подобные взаимоотношения, по мнению (Kozhurin, 2007), указывают на южное – юго-западное падение плоскости разлома и на сбросовый характер перемещения по всему разлому. Латеральная компонента смещения является незначительной и, по-видимому, левосторонней.

Полученные нами данные дают основание предложить другую интерпретацию кинематики данного разрывного нарушения. В работе (Kozhurin, 2007) отмечалось, что амплитуда вертикального смещения рельефа вдоль разлома является наибольшей – до 15–20 м, там где он имеет субширотное простирание (на севере), и уменьшается до 5–7 м на его отрезке, который простирается в северо-западном – юго-восточном направлении.

Действительно, такое закономерное увеличение амплитуды вертикального смещения от нескольких метров до 20–25 м наблюдается вдоль разлома при движении на северо-запад, начиная от точки, расположенной на его пересечении с руч. Непропускным (рис. 2). С другой стороны, максимальной выраженностью в рельефе характеризуется самый юго-восточный отрезок разлома. Этот отрезок соответствует V-образному трогу, глубина которого, как отмечалось выше, достигает до 40–50 м (рис. 3а и 3б). Поскольку оба борта трога находятся практически на одинаковой высоте и небольшое воздымание его юго-западного борта связано с общим воздыманием террасы, то можно утверждать, что вертикальные движения здесь отсутствуют и, следовательно, этот участок разлома не является сбросом. Интерпретация данного отрезка в качестве очень узкого грабена (Kozhurin, 2007), по нашему мнению, возможна только в том случае, если он является отрицательной структурой типа цветка/пальмовой ветки (*negative flower structure*), возникающей над основным сдвигом. Свидетельством латеральных перемещений вдоль этого разлома является наблюдаемое смещение (40–60 м) русел оврагов по типу левостороннего сдвига (рис. 4).

Приведенные данные дают нам основание интерпретировать этот разлом в качестве левостороннего сдвига с наличием сбросовых смещений. Величина сбросовых смещений является максимальной на северо-западном окончании разлома, где он имеет дугообразную форму, что, принимая во внимание его геометрию, подтверждает левосторонний характер смещения.

Простирание следующей группы разломов, расположенных в бассейне р. Пикеж, близко к субширотному. Полученные нами данные подтверждают ранее высказанное предположение (Kozhurin, 2007) о том, что данную систему разломов можно рассматривать в качестве сбросов, плоскости сместителей которых обращены на юг. Как на космоснимках, так и на местности латеральные перемещения не наблюдаются.

Самая западная группа разломов простирается в субмеридиональном направлении (рис. 1). Один из разломов этой группы был обследован, и по зеркалам скольжения было установлено, что он является сбросом. На снимках со спутника QUICKBIRD горизонтальных смещений здесь не наблюдается, поэтому чисто сбросовые смещения, вероятно, характерны для всех разломов этой группы.

Изучение активных разломов юго-восточной части Камчатского полуострова привело к появлению двух моделей, объясняющих характер деформаций, возникающих на сочленении Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг. На основании первой модели (Gaedicke et al., 2000) разломы Командорской зоны сдвига продолжают на Камчатский полуостров, что свидетельствует о столкновении западного отрезка Алеутской дуги с полуостровом (модель тектонического внедрения).

Согласно второй модели (Kozhurin, 2007) активные разломы не являются продолжением Командорской зоны сдвига и в соответствии с их кинематикой (от правостороннего сдвига к сбросам) возникают за счет вращения полуострова по часовой стрелке. В свою очередь, правостороннее вращение обусловлено давлением блоков Алеутской дуги на Камчатский полуостров, скорости смещения которых увеличиваются с севера на юг.

Прежде чем перейти к обсуждению этих моделей с использованием новых данных, рассмотрим строение Командорской зоны сдвига, установленное по результатам морских исследований в этом районе (Селиверстов, 1987, 1998; Baranov et al., 1991), и характер смещений блоков Алеутской дуги, выявленный по результатам GPS наблюдений (Левин и др., 2006; Avé Lallement, Oldow, 2000).

Командорская зона сдвига. Достаточно давно было показано (Cormier, 1975), что самый западный отрезок Алеутской островной дуги представляет собой не зону субдукции, а правосторонний сдвиг. В результате морских исследований, выполненных главным образом Институтом вулканологии ДВО РАН (Селиверстов, 1987, 1998), было установлено, что современный структурный план западного сектора Алеутской дуги определяется несколькими протяженными магистральными разломами СЗ простирания. Эти разломы располагаются как в тылу, так и во фронтальной части дуги и вместе с опережающими их разрывами составляют парагенетически связанный комплекс структур – Командорскую зону сдвига (рис. 6).

Наиболее протяженным магистральным разрывом этой зоны является разлом Беринга, который отделяет Алеутскую островную дугу от Командорской котловины и протягивается на рас-

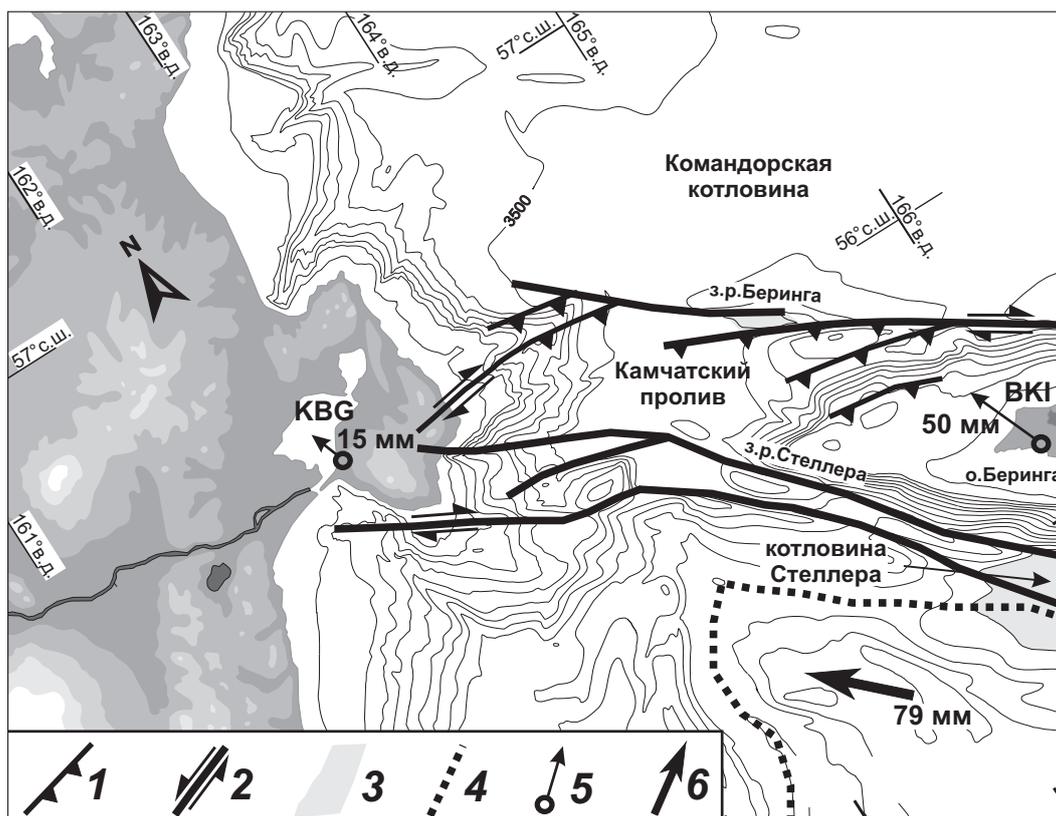


Рис. 6. Основные разрывные нарушения западного окончания Командорской зоны сдвига (по: Селиверстов, 1996; Varanov et al., 1992; Gaedicke et al., 2000) с упрощением: 1 – сдвиги; 2 – взбросы; 3 – котловины растяжения; 4 – ось желоба; 5 – горизонтальная составляющая скоростей современных движений земной коры по данным GPS (Левин и др., 2006); 6 – вектор скорости перемещения Тихоокеанской плиты относительно Евразийской (De Mets et al., 1994).

стояние более 500 км от континентального склона Камчатки до восточного окончания Командорского блока. Эта структура является наиболее изученной; она прекрасно выражена в рельефе дна и фундамента. Вблизи Командорских островов разлом Беринга проходит вдоль основания очень крутого и прямолинейного склона, а к северо-западу от них соответствует прямолинейному уступу, отделяющему депрессию Камчатского пролива от Командорской котловины. По механизмам очагов землетрясений (Cormier, 1975; Geist, Scholl, 1994; Newberry et al., 1986,) и структурным данным (Селиверстов, 1987, 1998; Varanov et al., 1991) было установлено, что разлом Беринга является правосторонним сдвигом. Кулисное строение разлома и вариации в простирации его фрагментов приводят к возникновению на отдельных участках разлома структур растяжения и/или сжатия. Особенно отчетливо это видно вблизи о. Беринга, а также на западном окончании разлома, где правосторонние смещения в пределах континентального склона компенсируются системой оперяющих взбросов субширотного – запад-юго-западного простираций, т.е. чешуйчатым веером сжатия (рис. 6).

К внешнему склону Командорского блока приурочена еще одна магистральная струк-

тура – зона разломов Стеллера (рис. 6). Эта зона включает в себя два разлома и отчетливо прослеживается в рельефе дна от котловины Стеллера до подножья континентального склона Камчатского полуострова. В рельефе дна она соответствует линейным поднятиям. Наиболее крупное из них расположено напротив юго-восточной оконечности о. Беринга и протягивается до подножья Камчатского полуострова, отделяя область сочленения желобов от депрессии Камчатского пролива. Одна из ветвей зоны разломов Стеллера соответствует Пикежскому каньону и продолжается на сушу в пределы полуострова Камчатский в виде разлома, расположенного на правом борту р. 1-ая Перевальная (рис. 1). Таким образом, можно считать, что системы разломов Беринга и Стеллера протягиваются на континентальный склон Камчатки и даже в пределы самого полуострова. В связи с этим предполагается, что блоки коры Алеутской дуги, заключенные между магистральными разломами, перемещаются в западном направлении, сталкиваются с Камчаткой и аккрецируются на ее континентальный склон (Селиверстов, 1998; Gaedicke et al., 2000).

Дополнительная информация о том, что блоки Алеутской островной дуги перемещаются в западном направлении, была получена при анализе данных GPS. Так, с востока на запад из-за

увеличения сдвиговой составляющей, скорости перемещения равны 3.1, 9.6 и 31.4 мм/год для восточной, центральной и западной частей дуги, соответственно (Avé Lallement, Oldow, 2000).

Скорость перемещения блоков возрастает на самом западном сегменте Алеутской дуги, приуроченном к Командорскому блоку, где косой подвиг трансформируется в сдвиг. Данные GPS свидетельствуют о том, что за последние несколько лет о. Беринга (станция ВКИ на рис. 6) перемещался по направлению к Камчатке со скоростью около 50 мм/год (Левин и др., 2006). Это значение составляет порядка 2/3 скорости схождения между Тихоокеанской и Евразийской (Охотской) плитами вблизи точки сочленения Алеутского и Курило-Камчатского желобов, равной около 79 мм/год (DeMets et al., 1994). В связи с этим предполагается (Селиверстов, 2009), что в настоящее время правостороннее смещение Тихоокеанской плиты относительно структур Командорской котловины в основном реализуется не по разломам, расположенным во фронтальной части Командорского блока, а по разлому Беринга, находящемуся в его тыловой части.

Дополнительным свидетельством того, что

смещения между Северо-Американской и Тихоокеанской плитами в настоящее время происходят в основном вдоль зоны разломов Беринга, является характер распределения сильных землетрясений с $M \geq 6$ в пределах Командорского блока (рис. 7). На рисунке видно, что во фронтальной части блока землетрясения наблюдаются только вблизи сочленения Алеутского и Курило-Камчатского желобов, а участок дуги вплоть до восточной рамки карты является полностью асейсмичным для событий таких магнитуд. С другой стороны, в течение рассматриваемого промежутка времени наблюдается значительная концентрация землетрясений с $M \geq 6$ в тыловых частях Командорского блока, т.е. в пределах зоны разломов Беринга.

Обобщение всех имеющихся к настоящему времени данных по кинематике активных разломов Камчатского полуострова, строению Командорской зоны сдвига, GPS данным по смещениям, сейсмичности и скоростям воздымания побережья дает нам основание более полно рассмотреть существующие представления о взаимодействии блоков Алеутской дуги с Камчатским полуостровом.

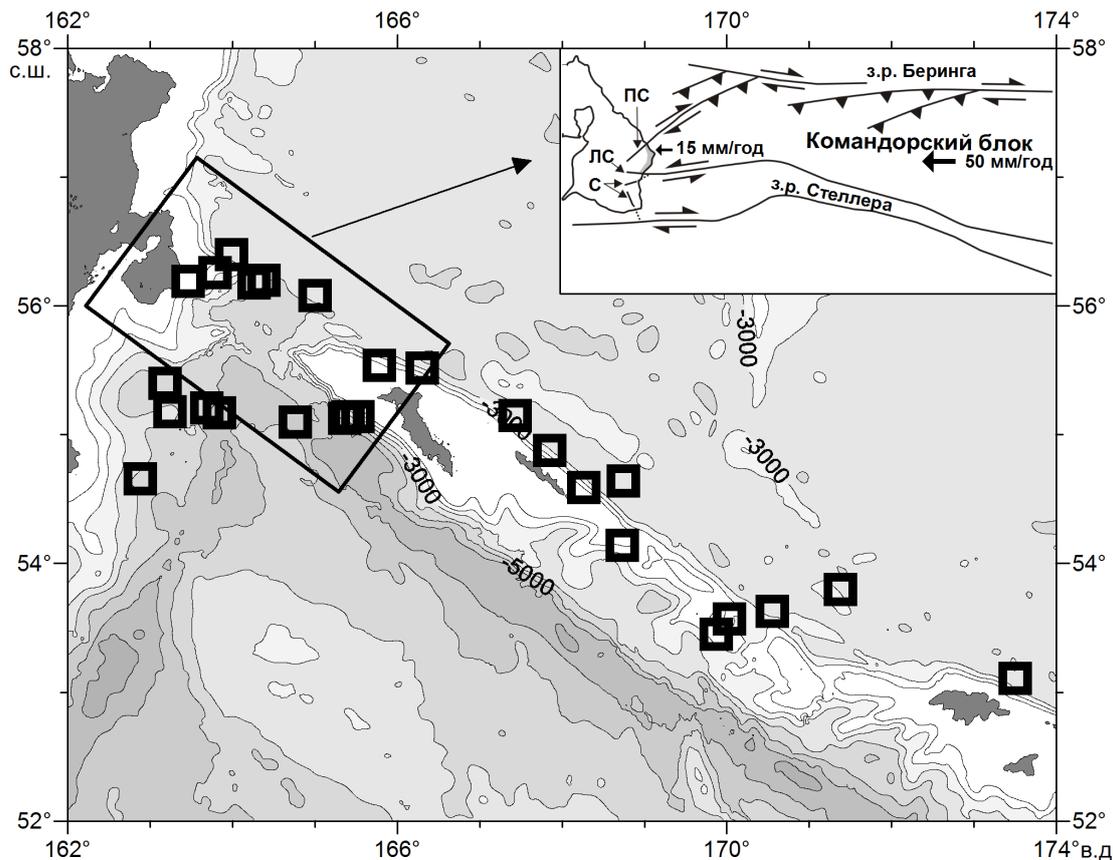


Рис. 7. Распределение эпицентров землетрясений с $M \geq 6$ в западной части Алеутской дуги с 1973 по 2009 г. (каталог NEIC). Основой является карта рассчитанного рельефа (predicted topography) (Smith, Sandwell, 1977) с сечением изолиний 1000 м. На врезке показана кинематическая модель взаимодействия Командорского блока с Камчатским полуостровом. Серым цветом обозначен участок побережья с высокой скоростью поднятия (по: Пинегина и др., 2010). Сокращения: пс = правосторонний сдвиг; лс = левосторонний сброс; с = сброс. Условные обозначения представлены на рис. 6 (см. текст для дальнейшего объяснения).

Модели взаимодействия Командорского блока и Камчатского полуострова. Как уже отмечалось, в настоящее время существуют две модели, объясняющие характер деформаций, возникающих на сочленении Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг, а именно: модель вращения полуострова при коллизии (Kozhurin, 2007) и модель тектонического внедрения при коллизии (Gaedicke et al., 2000).

Первая модель, предложенная в работе (Kozhurin, 2007), является очень интересной, однако она противоречит ряду недавно полученных данных. Так, заключение о вращении Камчатского полуострова по часовой стрелке исходит из предположения о том, что величина давления блоков Алеутской дуги на Камчатский полуостров увеличивается с севера на юг в соответствии с увеличением скорости их смещения в том же направлении. Однако данные GPS и распределения сильных землетрясений, рассмотренные выше, говорят о том, что скорость смещения вдоль разлома Беринга является выше скорости смещения на фронтальных разломах, поэтому если Камчатский полуостров и вращается, то только в противоположном направлении, т.е. против часовой стрелки. Полученные нами данные по кинематике одного из наиболее крупных разломов северо-западного – юго-восточного простирания также не укладываются в рамки этой модели, поскольку данный разлом является левосторонним сдвигом со сбросовыми смещениями, а не чистым сбросом. Кроме того, по модели вращения величина сбросовых смещений должна увеличиваться на юго-восток, т.е. по направлению к побережью, однако данные геоморфологических наблюдений, приведенные выше, показывают, что картина является противоположной.

Обобщая наши данные с данными предыдущих исследований (Freitag et al., 2001; Gaedicke et al., 2000; Kozhurin, 2007), разрывные нарушения юго-восточной части Камчатского полуострова по кинематике можно разделить на правосторонний взбросо-сдвиг юго-западного простирания, левосторонний сбросо-сдвиг, ориентированный в северо-западном направлении, и субширотные и субмеридиональные сбросы. Первые два разлома являются наиболее протяженными структурами. Они ограничивают блок земной коры, который внедряется в основной массив Камчатского полуострова (рис. 7, врезка), что находится в соответствии с моделью тектонического вдавливания (Gaedicke et al., 2000). В связи с этим возникает вопрос: какое количество движения передается от Командорской зоны сдвига на активные разломы Камчатского полуострова?

По данным GPS, за последние несколько лет Командорский блок перемещался по направлению

к Камчатке со скоростью около 50 мм/год, в то время как скорости, измеренные на Камчатском полуострове, были равны 15 мм/год (станция KVG на рис. 6) (Левин и др., 2006). Аналогичные скорости, равные 10–20 мм/год, предполагаются для голоцена по смещению террас, которые пересекаются разломами (Бахтеев и др., 1992). Меньшие скорости смещения для голоцена, равные 4 мм/год, были получены для разлома р. 1-ая Перевальная (Kozhurin, 2007).

Данные о скорости перемещения Командорского блока за голоцен отсутствуют, поэтому более справедливо сравнивать измеренные скорости на станциях KVG (15 мм/год) и ВКИ (50 мм/год). В этом случае на активные разломы Камчатского полуострова передается около 1/3 скорости перемещения Командорского блока. Подобное уменьшение скорости сближения, по всей видимости, обусловлено развитием надвиговых структур в веерах сжатия разлома Беринга, возникающих вблизи о. Беринга и на континентальном склоне полуострова.

В связи с этим можно полагать, что величина тектонического внедрения Командорского блока в основной массив Камчатского полуострова также существенно уменьшается – модель ослабленного тектонического вдавливания. Это согласуется с наблюдаемой картиной слабых деформаций сжатия, проявляемых в виде взбросов и асимметричных складок, связанных со взбросами на окончании самого крупного активного разлома юго-западного простирания (рис. 4, врезка). О внедрении Командорского блока может также свидетельствовать характер голоценовых вертикальных движений побережья полуострова Камчатский. При изучении морских террас (Пинегина и др., 2010) было установлено, что интенсивные вертикальные поднятия наблюдались на побережье между разломами рр. 1-ая и 2-ая Перевальная (рис. 7, врезка). Эти разломы, как отмечалось выше, ограничивают блок земной коры, который внедряется в основной массив Камчатского полуострова.

Сбросы субширотного и субмеридионального простирания не связаны с тектоническим внедрением, а, вероятно, являются разрывными нарушениями, опережающими зону разломов Стеллера (рис. 7, врезка). Поэтому преобладающее опускание побережья Камчатского полуострова к юго-западу от р. 1-ая Перевальная (Пинегина и др., 2010), по всей видимости, отражает локальные условия растяжения, существующие на этом участке.

ВЫВОДЫ

Имеющиеся к настоящему времени данные по кинематике активных разломов Камчатского полуострова и строению Командорской зоны

сдвига дают нам основание считать, что два наиболее протяженных разлома юго-восточной части Камчатского полуострова являются продолжением Командорской зоны сдвига. Разломы ограничивают блок земной коры, который внедряется в основной массив Камчатского полуострова, что подтверждается вертикальным поднятием этого участка побережья в голоцене (Пинегина и др., 2010).

Сближение Командорского блока с Камчатским полуостровом компенсируется развитием надвиговых структур, опережающих зону разломов Беринга. Это приводит к тому, что на активные разломы Камчатского полуострова передается не более 1/3 скорости перемещения Командорского блока.

В результате этого взаимодействие Командорского блока с основным массивом Камчатского полуострова существенно ослабевает (модель ослабленного тектонического вдавливания), что согласуется с наблюдаемой картиной слабых деформаций сжатия на окончании самого крупного разлома юго-западного простирания.

Работа проводилась в рамках российско-германского проекта КАЛЬМАР при финансовой поддержке Федерального министерства образования и научных исследований Федеративной республики Германия и Министерства образования и науки Российской Федерации (ГК № 02.515.12.5016).

Список литературы

- Бахтеев М.К., Морозов О.Ю., Тихомирова С.Р.* О парагенезисе позднекайнозойских структур зоны сочленения Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 1992. № 3. С. 18-25.
- Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200000. Изд. 2-е. Серия Восточно-Камчатская. Лист 0-58-XXVI, XXXI, XXXII (Усть-Камчатск). Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2007.
- Дулло В.-К., Ван ден Богаарт К., Баранов Б.В., Селиверстов Н.И.* Российско-германский проект «КАЛЬМАР»: комплексные исследования Курило-Камчатской и Алеутской зон субдукции // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2007. № 2. Вып. 10. С. 165-170.
- Кожурин А.И.* Четвертичная тектоника хр. Кумроч и полуострова Камчатский (Восточная Камчатка) // Геотектоника. 1985. № 2. С. 76-86.
- Кожурин А.И., Пономарева В.В., Пинегина Т.К.* Активная разломная тектоника юга центральной Камчатки // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2008. № 2. Вып. 12. С. 10-27.
- Левин В.Е., Магуськин М.А., Бахтияров В.Ф. и др.* Мультисистемный геодезический мониторинг современных движений земной коры на Камчатке и Командорских островах // Вулканология и сейсмология. 2006. № 3. С. 54-67.
- Пинегина Т.К., Кравчуновская Е.А., Ландер А.В. и др.* Голоценовые вертикальные движения побережья полуострова Камчатский (Камчатка) по данным изучения морских террас // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2010. № 1. Вып. 15. С. 100-115.
- Селиверстов Н.И.* Сейсмоакустические исследования переходных зон. М.: Наука, 1987. 112 с.
- Селиверстов Н.И.* Строение дна прикамчатских акваторий и геодинамика зоны сочленения Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг. М.: Научный мир, 1998. 164 с.
- Селиверстов Н.И.* Геодинамика зоны сочленения Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг. Петропавловск-Камчатский: КамГУ им. Витуса Беринга, 2009. 191 с.
- Avé Lallemant H.G., Oldow J.S.* Active displacement partitioning and arc-parallel extension of the Aleutian volcanic arc based on Global Positioning System geodesy and kinematic analysis // Geology. 2000. V. 28. № 8. P. 739-742.
- Baranov B.V., Seliverstov N.I., Muravev A.V. et al.* The Komandorsky Basin as a product of spreading behind a transform plate boundary // Tectonophysics. 1991. V. 199. P. 237-269.
- Cormier V.F.* Tectonics near the junction of the Aleutian and Kuril-Kamchatka Arcs and a mechanism for Middle Tertiary magmatism in the Kamchatka Basin // Geological Society of America Bulletin. 1975. V. 86. P. 443-453.
- DeMets C., Gordon R.G., Argus D.F. et al.* Effect of recent revisions to the geomagnetic reversal time scale on estimates of current plate motion // Geophysical Research Letters. 1994. V. 21. P. 2191-2194.
- Freitag R., Gaedicke Ch., Baranov B. et al.* Collisional processes at the junction of the Aleutian-Kamchatka arcs: New evidence from fission track analysis and field observation // Terra Nova. 2001. V. 13. P. 433-442.
- Gaedicke Ch., Baranov B., Seliverstov N. et al.* Structure of an active arc-continent collision area: the Aleutian-Kamchatka junction // Tectonophysics. 2000. V. 325. P. 63-85.
- Geist E.L., Scholl D.W.* Large-scale deformation related to the collision of the Aleutian Arc with Kamchatka // Tectonics. 1994. V. 13. P. 538-560.
- Kozhurin A.* Active Faulting in the Kamchatsky Peninsula, Kamchatka-Aleutian Junction // Volcanism and Subduction: Kamchatka Region. Geophysical Monograph Series 172. W.D.C.: AGU, 2007. P. 107-116.

- McElfresh S.B.Z., Harbert W., Ku C.Y. et al.* Stress modeling of tectonic blocks at Cape Kamchatka, Russia, using principal stress proxies from high-resolution SAR: new evidence for the Komandorsky Block // *Tectonophysics*. 2002. V. 354. P. 239-256.
- Newberry J.T., Laclair D.L., Fujita K.* Seismicity and tectonics of the far western Aleutian Islands. // *Journal of Geodynamics*. 1986. V. 6. P.13-32.
- Smith W.H.F., Sandwell D.T.* Global sea floor topography from satellite altimetry and ship depth sounding. // *Science*. 1977. V. 277. P. 1956-1962.

ACTIVE FAULTS OF SOUTH-EASTERN KAMCHATSKY PENINSULA AND KOMANDORSKY SHEAR ZONE

B.V. Baranov¹, C. Gaedicke², R. Freitag³, K.A. Dozorova¹

¹*P.P. Shirshov Institute of Oceanology of RAS, Moscow, 117997*

²*Federal Institute for Geosciences and Natural Resource, Germany, Hannover, 30655*

³*Institute of Geosciences (IGW), University Jena, Germany, Jena, 07743*

Summary from field works fulfilled in 2007-2008 in frames of German-Russian KALMAR Project and previous investigations (Gaedicke et al., 2000; Freitag et al., 2001; Kozhurin, 2007) allowed to classify faults of south-eastern Kamchatsky Peninsula in kinematical aspect as right-lateral reverse strike-slip of south-western strike, left-lateral normal strike-slip oriented in north-western direction, sub-latitudinal and sub-longitudinal normal faults. First two faults are the longest structures associated with Komandorsky Shear Zone. They bound an Earth's crust block, which intrudes in main massif of Kamchatsky Peninsula according to the character of dislocations. It supports an indentation tectonic model of the collision of Aleutian arc slivers with Kamchatka.

Keywords: Kamchatsky Peninsula, field works, active faults, and kinematics models.