АКТИВНЫЕ РАЗЛОМНЫЕ ДЕФОРМАЦИИ ПОЛУОСТРОВА КАМЧАТСКИЙ

А.И. Кожурин^{1,2}, Т.К. Пинегина²

¹Геологический институт РАН, г. Москва ²Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский

Введение

На северо-западе Тихого океана коллизионный характер взаимодействия доказан для пар дуг Изу-Бонинской и Японской [20, 9] и Японской и Курильской [17, 18, 16]. Движущей силой сближения дуг (их окончаний) является тангенциальная компонента движения океанических плит, которая появляется при не ортогональном поддвиге [11, 12]. Коллизионный характер взаимодействия Алеутской дуги с Камчаткой предполагался давно, впервые явно в работе Гейста и Шолла [15]. Позднее эта идея высказывалась неоднократно [14, 13, 1], однако оставалась не подтвержденной структурными данными.

Для полуострова, в отличие от других восточных полуостровов Камчатки, характерна высокая плотность активных тектонических нарушений. Основные черты их распределения, в отдельных случаях – кинематических параметров, были выявлены давно [2, 3]. Позднее некоторые разломы были изучены детально.

Ниже приводятся данные о распределения и кинематике активных разломов полуострова, позволяющие ответить на вопрос, насколько активные разломные деформации полуострова соответствуют коллизионному характеру взаимодействия двух дуг и, в случае такого соответствия, каковы детали процесса коллизии.

Методика исследований

Выделение активных разломов включало, прежде всего, дешифрирование материалов аэро- и космических съемок земной поверхности. Кинематические параметры движения по разломам восстанавливались при изучении смещений элементов современного рельефа, как эрозионных, так и аккумулятивных. В случаях, когда разломы выходили в прибрежную зону, детально исследовались деформации голоценовых морских террас, при этом для корректной интерпретации их разломных деформаций применялась методика определения положения береговой линии в прошлом [7]. На особенно важных участках изучаемых разломов выполнялась детальная топографическая съемка с использованием электронного лазерного тахеометра Trimble-3m. Разломные деформации молодых отложений изучались в стенках пройденных через разломы канав. При выборе мест проходки канав, а также для определения положения плоскости разлома в более глубоких (первые десятки метров) горизонтах применялось георадарное профилирование. Датирование смещаемых разломов форм рельефа и отложений, позволяющее оценивать средние скорости движений по разломам и возраст отдельных подвижек, выполнялось тефрохронологическим методом [19].

Результаты

Изучение распределения и кинематики разломов разных направлений выявило наличие на полуострове однотипных сочетаний субмеридиональных взбросов и надвигов и субширотных правых сдвигов.

Наиболее западным является сочетание взбросо-надвига в основании восточного склона хр. Кумроч (с западным падением плоскости) и правосдвигового разлома Покатый, протягивающегося от р. Ветловки до побережья Берингова моря (разломы 1 и 2 на рис. 1). Разлом восточного подножья хр. Кумроч, возможно, подставляется на юге разломами западного ограничения депрессии, занятой долиной р. Асхава (№ 3 на рис. 1). Разлом Покатый продолжается под водой в каньоне Покатом на склоне к Командорской впадине, на его северном склоне [15]. Эти два разлома отделяют полуостров Камчатский от собственно Камчатки. Характерным является то, что сдвиговый разлом располагается в лежачем крыле надвига. Это означает активное пододвигание впадины под поднятие, то есть смещение блока полуострова Камчатский на СЗ относительно Камчатки. Пододвигание обеспечивает воздымание висячего крыла и собственно формирование поднятия северной (севернее р. Камчатка) части хр. Кумроч.



Рис. 1. Активные разломы полуострова Камчатский. 1 – разломы: взбросы (а), сбросы (б), неопределенной кинематики (в), сдвиги и со сдвиговой компонентой (г) и их возможные подводные продолжения (д); 2 – номера разломов (см. текст). Основа рисунка – SRTM data V3.

Для разлома Покатый удалось оценить возраст последней и предпоследней подвижки - $\sim 3500^{14}$ C и $\sim 5500^{14}$ C л.н., соответственно, а также величины сдвиговой и поперечной разлому компонент разового смещения – 4.5 и 2.5 м. Средняя скорость сдвига составляла при этом 2-3 мм в год (минимальное значение). Величина общей разовой подвижки, порядка 5 м, показывает, что моментная магнитуда генерируемых подвижками по разлому землетрясений могла достигать 7.6-7.8.

В юго-восточной части полуострова аналогичное сочетание образуют субширотный правосдвиговый разлом 2-й Перевальный (\mathbb{N} 4) и меридиональная зона активных деформаций, включающая разлом \mathbb{N} 5 (впервые описан Барановым и др. в [1]). В зоне расположены откартированные при геологической съемке разломы в основном надвиговой кинематики, деформирующие отложения вплоть до позднеплиоцен-эоплейстоценовых [8]. Пространственное совпадение восточной границы поднятого горного массива с меридиональной разломной зоной и нахождение в ее пределах активного разлома (\mathbb{N} 5) позволяют предположить ее активность в целом и взбросо-надвиговую кинематику с относительным воздыманием западного крыла. Так же, как и в районе хр. Кумроч, сочетание сдвига и взбросо-надвиговой зоны означает смещение в западном направлении ограниченного ими блока юго-восточной части полуострова относительно остальной его части.

Средняя за голоцен скорость горизонтальных движений по разлому 2-й Перевальный составляет 14-15 мм, за последние примерно 2000 лет – 18-19 мм в год, то есть, возможно, увеличиваясь к современности. Экстраполяция значений средней скорости за различные интервалы голоцена на современное время, при допущении линейного характера их зависимости в пределах короткого интервала времени (голоцен), дает значение современной скорости по разлому примерно в 20 мм в год.

Минимальные значения амплитуд сдвиговых смещений лежат в диапазоне 2-3 м. При высокой скорости сдвига это означает, что разлом может раз в 100-200 лет продуцировать землетрясения с Мw до 7.

Примером ныне практически не активной меридиональной зоны горизонтального сокращения является система разломов на западной склоне хр. Камчатский Мыс, деформирующих образования позднеплиоцен-эоплейстоценовой ольховской свиты [8]. По аналогии с описанными структурными сочетаниями можно предположить, что на севере зона примыкала к сдвиговому разлому, ныне не активному и в рельефе не выраженному.

Обсуждение результатов и выводы

Распределение и кинематика активных разломов полуострова обнаруживают определенный структурный мотив, проявленный в однотипных сочетаниях сдвигов и взбросов или надвигов. Такие сочетания однозначно свидетельствуют о том, что в четвертичное время земная кора полуострова деформировалась и продолжает деформироваться в режиме сжатия, а блок полуострова и меньшего размера блок его юго-восточной части двигались и продолжают двигаться с разной скоростью относительно собственно Камчатки на запад-северо-запад (рис. 2).



Рис. 2. Модель коллизионного взаимодействия Алеутской и Камчатской островных дуг. 1 – активные разломы основные (а) и второстепенные (б) взбросовой или надвиговое (треугольники), сдвигово (стрелки) и сбросовой (штрихи) кинематики (в) (, незалитые символы соответствуют предполагаемому направлению движений), край погруженной части Тихоокеанской плиты (г); 2 блоки западной (основной) части п-ова Камчатский (а) и его юго-восточной части (б); 3 – векторы смещений пунктов GPS (на В), по [10]: западная стрелка – пункт в пос. Крутоберегово, восточная – пункт в пос. Беринга. Подводные разломы Командорского сегмента Алеутской дуги - по [5]: Б – Беринга, П – Пикеж, С – Стеллера, А – Алеутский (по оси глубоководного желоба). ЗК-западный коллизионный контакт, ВК – восточный коллизионный контакт

Полуостров Камчатский находится между Камчаткой и Алеутской дугой, за западным окончанием Алеутского трансформного разлома, и его деформации можно связать лишь с давлением со стороны Алеутской дуги, ее коллизией с Камчаткой. Сближение Командорского блока Алеутской дуги с полуостровом следует из сравнения скорости горизонтальных движений по самому «быстрому» разлому полуострова, разлому 2- Перевальный, со скоростями движения пунктов GPSизмерений на п-ове Камчатский и о-ве Беринга [10, 6]. Так, если скорость движения пункта Крутоберегово на северо-запад, примерно 15 мм/год, отнести к северному крылу разлома 2-й Перевальный, то южное крыло разлома должно двигаться в том же направлении со скоростью порядка 35 мм/ год. Скорости смещения к западу и северного, 15 мм в год, и южного, 35 мм в год, крыльев разлома 2-й Перевальный оказываются существенно более медленными, чем скорость движения на северо-запад пункта на о-ве Беринга, то есть Командорского блока (примерно 50 мм в год). Зона с деформациями сокращения, обусловленными этой разницей скоростей, может находиться на восточном континентальном склоне полуострова, возможно, в его основании (рис. 2). Скорее всего, ее следует сопоставлять с зоной «сейсмогенного контакта» Алеутской дуги и полуострова Камчатский, существование которой предположили на основе сейсмологических данных Гейст и Шолл [15]. Следует отметить, что налиичие восточного коллизионного контакта противоречит представлениям о продолжении продольных сдвигов западных Алеут на полуостров Камчатский [4, 13, 14, 1]. Единые разломы связывали бы Командорский блок и блок полуострова Камчатский структурным каркасом в одно целое, не оставляя возможности для их взаимных перемещений. В целом, взаимодействие Алеутской и Камчатской островных дуг можно определить как случай «мягкой» коллизии, при которой хотя бы одна из взаимодействующих сторон (в рассматриваемом случае - Алеутская) представлена не единым жестким блоком, а несколькими, способными перемещаться до некоторой степени независимо друг относительно друга.

Список литературы

- 1. Баранов Б.В., Гедике К., Фрейтаг Р., Дозорова К.А. Активные разломы юго-восточной части Камчатского полуострова и Командорская зона сдвига // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2010. № 2. Выпуск № 16. С. 66-77.
- 2. Кожурин А.И. Молодые сдвиги хр. Кумроч и полуострова Камчатский (Восточная Камчатка) // Тихоокеанская геология. 1990. № 6. С. 45-55.
- 3. Кожурин А.И. Четвертичная тектоника хр. Кумроч и полуострова Камчатский (Восточная Камчатка) // Геотектоника. 1985. № 2. С. 76-87.
- 4. Селиверстов Н.И. Строение зоны сочленения Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг по данным непрерывного сейсмического профилирования // Вулканология и сейсмология. 1983. № 2. С. 53-67.
- Селиверстов Н.И., Сугробов В.М., Яновский Ф.А. О геологическом строении и развитии Командорской котловины (по результатам геофизических исследований) // Вулканология и сейсмология. 1995. № 1. С. 38-53.
- 6. Титков Н.Н., Бахтиаров В.Ф., Ландер А.В., Полетаев В.А. Оценки деформации и перемещений по данным наблюдений Камчатской GPS сети // Материалы конференции Проблемы сейсмичности и современной геодинамики Дальнего Востока и Восточной Сибири. Хабаровск: ИТиГ ДВО РАН, 2010. С. 312.
- 7. Пинегина Т.К., Кравчуновская Е.А., Ландер А.В., Кожурин А.И., Буржуа Дж., Мартин Е.М. Голоценовые вертикальные движения побережья полуострова Камчатский (Камчатка) по данным изучения морских террас // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2010. № 1. С. 100-116.
- Государственная геологическая карта Российской Федерации. М-б 1:200000. Изд. 2-е. Объяснительная записка. Серия Восточно-Камчатская. Лист 0-58-XXVI, XXXI, XXXII - Усть-Камчатск. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2007.
- Arai, R., Iwasaki, T., Sato, H., Abe, S., Hirata, N. Collision and subduction structure of the Izu–Bonin arc, central Japan, revealed by refraction/wide-angle reflection analysis // Tectonophysics. 2009. Vol. 475. P. 438– 453.
- 10. Bürgmann, R., Kogan, M.G., Steblov, G.M., Hilley, G., Levin, V.E., Apel. E. Interseismic coupling and asperity distribution along the Kamchatka subduction zone // J. Geophys. Res. Vol. 110. B07405.
- DeMets, C. Oblique convergence and deformation along the Kuril and Japan trenches // J. Geophys. Res. 1992. Vol. 97. P. 17615-17625.
- 12. Fitch, T.J. Plate convergence, transcurrent faults and internal deformation adjacent to southeast Asia and the western Pacific // J. Geophys. Res. 1972. Vol. 77. P. 4432-4460.
- Freitag R., Gaedicke C., Baranov B. Tsukanov N. Collisional processes at the junction of the Aleutian-Kamchatka arcs: new evidence from fission track analysis and field observations // Terra Nova. 2001. Vol. 13. P. 433-442.
- 14. Gaedicke C., Baranov B., Seliverstov N., Alexeiev D., Tsukanov N., Freitag R. Structure of an active arccontinent collision area: the Aleutian–Kamchatka junction // Tectonophysics. 2000. Vol. 325. P. 63–85. 13
- 15. Geist E.L., Scholl D.W. Large-scale deformation related to the collision of the Aleutian Arc with Kamchatka // Tectonics. 1994. Vol. 13. P. 538-560.
- Ito, T. Active faulting, lower crustal delamination and ongoing Hidaka arc-arc collision, Hokkaido, Japan // Seismotectonics in convergent plate boundary, Eds. Y. Fujinawa and A. Yoshida. Tokio: Terra Scientific Publishing Company (TERRAPUB), 2002. P. 219-224.
- 17. Kimura, G. Collision orogeny at arc-arc junctions in the Japanese Islands // The Island Arc. 1996. № 5. P. 262-275.
- Kimura, G. Oblique subduction and collision: Forearc tectonics of the Kuril arc // Geology. 1986. Vol. 14. P. 404-407.
- 19. Lowe, D.J. Tephrochronology and its application: a review // Quat. Geochronol. 2011. Vol. 6. P. 107-153.
- 20. Yamazaki, H. Tectonics pf a plate collision along the northern margin of Izu Peninsula, Central Japan // Bull. Geol. Soc. Japan. 1992. Vol. 43. № 10. P. 603-657.