

УДК 551.248.2 (571.64)

## АКТИВНЫЕ РАЗЛОМНЫЕ ДЕФОРМАЦИИ ПОЛУОСТРОВА КАМЧАТСКИЙ

*А.И. Кожурин<sup>1,2</sup>, Т.К. Пинегина<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Геологический институт РАН, г. Москва*

<sup>2</sup>*Институт 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.

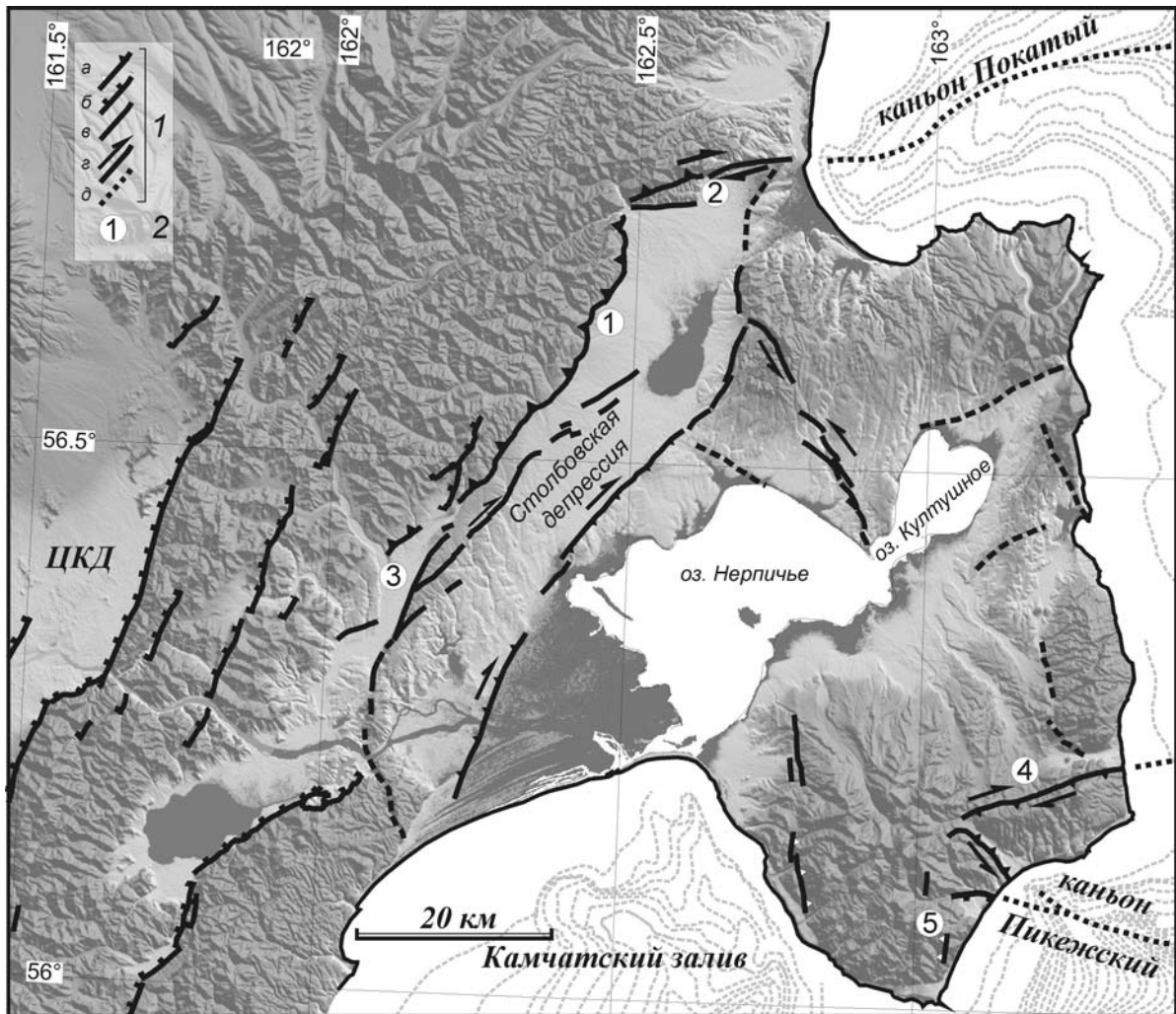


Рис. 1. Активные разломы полуострова Камчатский. 1 – разломы: взбросы (а), сбросы (б), неопределенной кинематики (в), сдвиги и со сдвиговой компонентой (г) и их возможные подводные продолжения (д); 2 – номера разломов (см. текст). Основа рисунка – SRTM data V3.

Для разлома Покатый удалось оценить возраст последней и предпоследней подвижки - ~ 3500  $^{14}\text{C}$  и ~ 5500  $^{14}\text{C}$  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 правосдвиговой разлом 2-й Перевальный (№ 4) и меридиональная зона активных деформаций, включающая разлом № 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 (№ 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 Mw 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-север-запад (рис. 2).

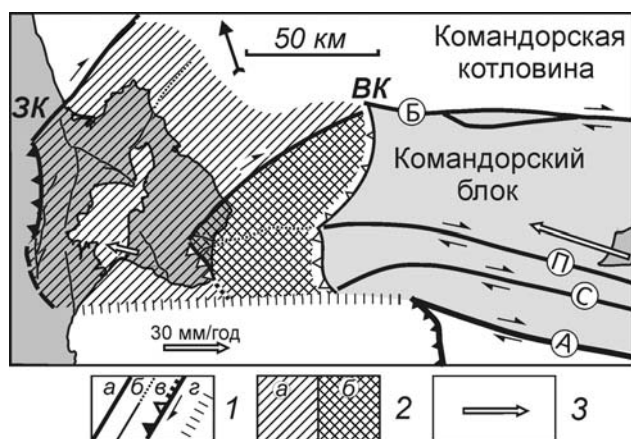


Рис. 2. Модель коллизионного взаимодействия Алеутской и Камчатской островных дуг.

1 – активные разломы основные (а) и второстепенные (б) взбросовой или надвиговое (треугольники), сдвигово (стрелки) и сбросовой (штрихи) кинематики (в), (г), (д), (е) (незалитые символы соответствуют предполагаемому направлению движений), край погруженной части Тихоокеанской плиты (з); 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 GPS-измерений 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 наличие 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.
5. 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.
8. 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.
9. 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., Hille, G., Levin, V.E., Apel, E. Interseismic coupling and asperity distribution along the Kamchatka subduction zone // J. Geophys. Res. Vol. 110. B07405.
11. 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.
13. 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 arc-continent 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.
16. 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.
18. 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 of a plate collision along the northern margin of Izu Peninsula, Central Japan // Bull. Geol. Soc. Japan. 1992. Vol. 43. № 10. P. 603-657.