

РАЗВЕРНУТЫЙ НАУЧНЫЙ ОТЧЕТ ПО ПРОЕКТУ 11-05-00136-А " АКТИВНАЯ ТЕКТНИКА ЗАПАДНОГО ОБРАМЛЕНИЯ КОМАНДОРСКОЙ КОТЛОВИНЫ"

Объявленные цели проекта:

В целом проект был направлен на изучение активных движений в переходной между Тихим океаном и его континентальным обрамлением зоне – Тихоокеанском тектоническом поясе, в определении Ю.М. Пущаровского (1972). Северо-западный сегмент пояса, включающий Командорскую котловину и ее обрамления, до работ по проекту оставался наименее изученным. Отсутствовали данные о распределении и кинематике активных разломов, в движениях по которым прямо проявляются основные особенности режима деформирования земной коры пояса на разном удалении от границ Тихоокеанской плиты. Район Командорской задуговой котловины специфичен и интересен общей геодинамической ситуацией, в которой Тихоокеанская плита, практически по нормали погружаясь под Камчатку, движется параллельно самому западному, Командорскому, сегменту Алеутской дуги (рис. 1). Предполагалось, что такое движение Тихоокеанской плиты вызывает

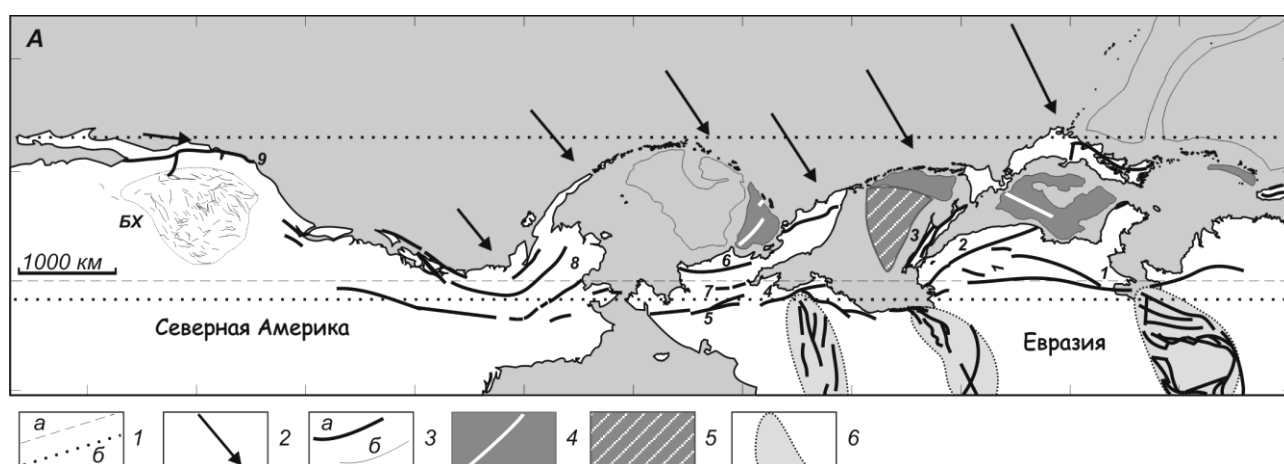


Рис. 1. Позднекайнозойский Тихоокеанский пояс (по (Kozhurin, 2004) с изменениями и дополнениями). 1 – дуга большого круга, описывающая положение на сфере Американской и Азиатской окраин Тихого океана (а) и примерные ограничения структур пояса (б); 2 – векторы относительного движения Тихоокеанской плиты относительно Северной Америки и Евразии; 3 – основные правосдвиговые активные разломы пояса (а), сбросы Провинции Бассейнов и Хребтов (б); 4 – задуговые впадины растяжения с новообразованной океанической корой и оси спрединга в них; 5 – участки с утоненной континентальной корой; 6 – примерные контуры внутриконтинентальных подвижных поясов. Цифры – правосдвиговые разломы: 1 – Танлу, 2 – Центральный Сихоте-Алиньский, 3 – Сахалинский, 4-5 – Ланково-Омолонская зона, 6 – Хатырско-Вывенская зона, 7 – предполагаемая разломная зона Пенжинского хребта, 8 – Денали, 9 – Сан-Андреас. БХ – Провинция Бассейнов и Хребтов.

перемещение западных Алеут на северо-запад и их коллизию с Камчаткой (Geist, Scholl, 1994), и что относительное движение между Тихоокеанской плитой и Алеутской дугой распределено в широкой (диффузной) трансформной зоне (Алеутской), с уменьшением скорости сдвига от Алеут к Командорской котловине (Cormier, 1995; Kozhurin, 2007). При отсутствии прямых структурных данных оставалось неясным, насколько процесс коллизии двух дуг реален, каковы параметры активной тектонических процессов в обширном районе к северу от котловины, насколько оправдано выделение в этом секторе Тихоокеанского пояса малых литосферных плит (Охотской и Берингской).

Степень выполнения поставленных в проекте задач:

Поставленные в проекте задачи выполнены полностью.

Полученные важнейшие результаты:

Северное обрамление котловины, включающее Корякское нагорье и прилегающие части северо-востока Азии, изучалось, главным образом, при площадном дешифрировании детальных космических снимков. Наиболее значимыми результатами этой работы были следующие. 1. Выявление единой зоны активных разломов, протягивающейся в северо-восточном, до субширотного на востоке, простирании примерно в осевой части Корякского нагорья (рис. 2). Зона соответствует выделенной ранее с использованием, в основном, сейсмологических данных Хатырско-Вывенской разломной зоне (Ландер и др., 1994),

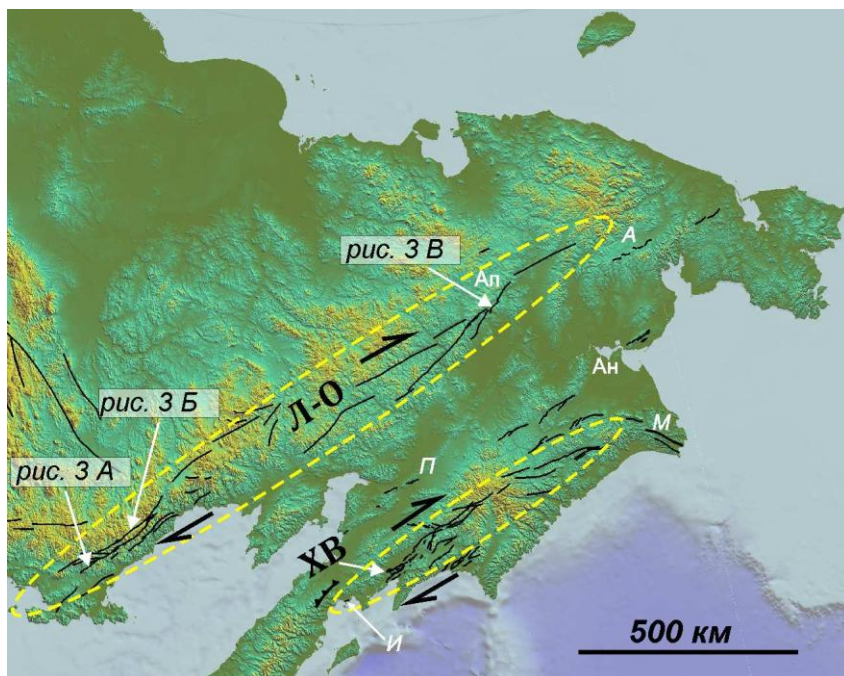


Рис. 2. Схема активных разломов СВ Азии по данным дешифрирования снимков КН-9 (<http://earthexplorer.usgs.gov/>). Л-О – Ланково-Омолонская зона, ХВ – Хатырско-Вывенская зона. А – Амгуэмская впадина, М – Мейныпильгынский хр., И – п-ов Ильпыр, П – Пенжинский хр., Ан – Анадырская низменность, Ап – Анадырское плоскогорье.

интерпретируемой как сегмент северной границы Берингийской плиты. Выявленные на снимках детали взаимоотношений элементов зоны с рельефом, а также полученные до работ по проекту данные изучения эпицентральной зоны Олюторского землетрясения (Пинегина, 2007; Пинегина, Константинова, 2006; Пинегина, Кожурин, 2010; Рогожин и др., 2007, 2009, 2010) свидетельствуют о взбросо-правосдвиговой кинематике зоны. Движение южного крыла зоны к западу реализуется во взбросо-надвиговых движениях по субмеридиональному разлому на Камчатском перешейке (рис. 2). Судя по большим периодам повторяемости подвижек по разломам в районе Олюторского землетрясения, скорость перемещения южного крыла зоны очень мала (порядка миллиметра в год). 2. Выявление отчетливых признаков активных правосдвиговых перемещений вдоль Ланково-Омолонской зоны, протягивающейся от северного побережья Охотского моря на северо-восток примерно вдоль Охотско-Чукотского вулканического пояса (рис. 3). Правосдвиговая кинематика ставит Ланково-Омолонскую зону в один ряд с крупнейшими продольными правосдвиговыми разломами внешней периферии пояса запада Северной Америки (Сан-Андреас), Аляски (Денали, Калтаг, Кобук и др.) и востока Азии (Танлу на востоке Китая, продольная правосдвиговая зона на Сахалине) (рис. 1). Обладая одним простиранием и кинематикой, вместе они образуют единую систему правосдвиговых разломов внешней периферии Тихоокеанского тектонического пояса, в движениях по которой реализуется часть движения Тихоокеанской плиты относительно ее континентального обрамления. Активность Ланково-Омолонской зоны свидетельствует также о непродолжении активных структур системы хребтов Момский и Черский к юго-востоку, за Ланково-Омолонскую зону. Это подтверждается результатами дешифрирования – между Ланково-Омолонской зоной и Алеутской островодужной системой не обнаружены какие-либо активные поперечные структуры, которые можно было бы сопоставить с границей предполагаемой Охотской плиты.

Работы в южном обрамлении Командорской котловины включали полевые работы по выделению, картированию и изучению активных разломов в пределах Камчатского полуострова, расположенного между Командорским сегментом Алеутской дуги и собственно Камчаткой. Основным решаемым при этом вопрос заключался в определении режима активного деформирования полуострова и насколько он соответствует предполагавшейся только по сейсмологическим данным коллизии двух дуг. Результатом было выявление в пределах полуострова определенного структурного мотива – повторяющихся сочетаний

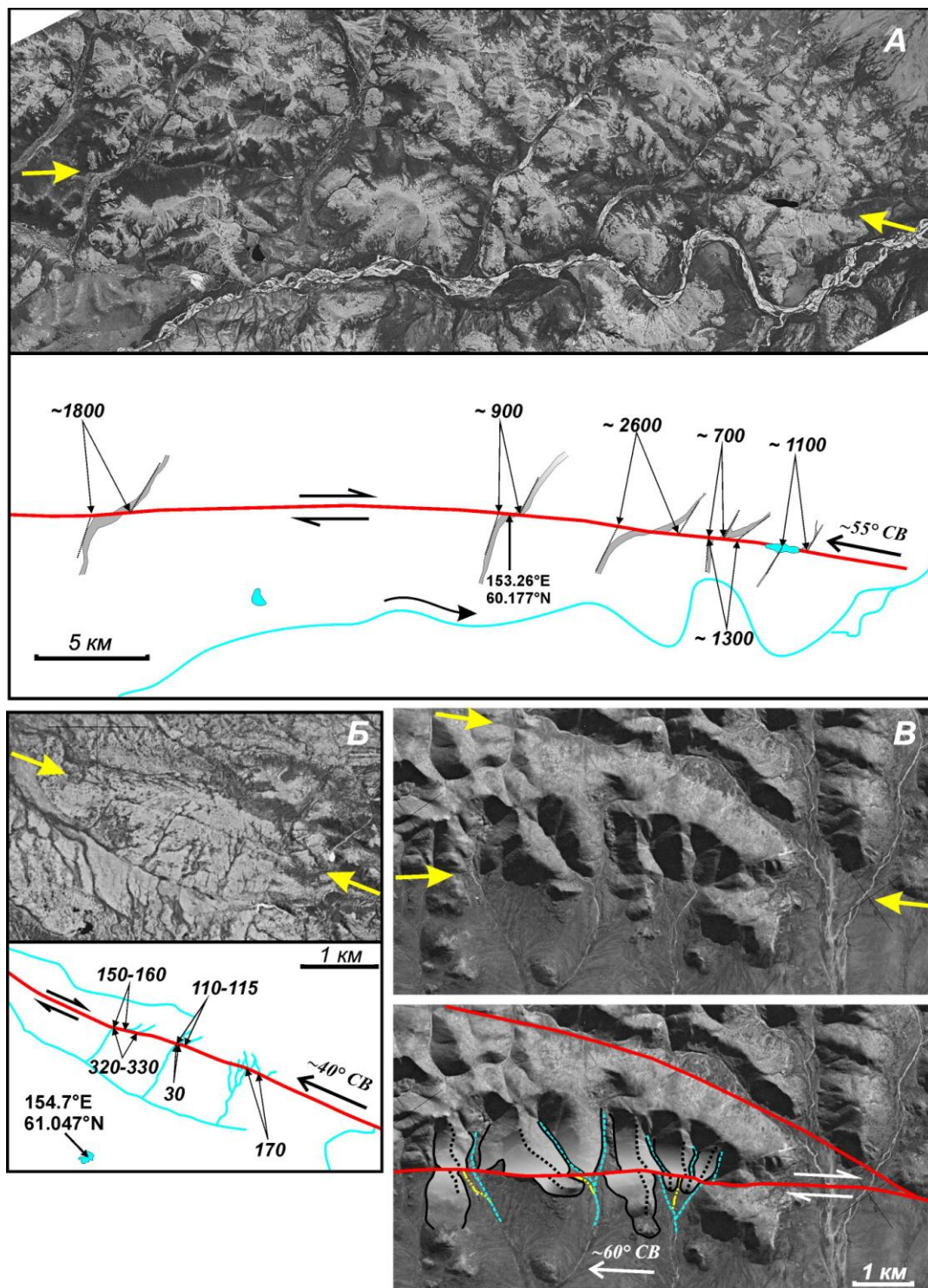


Рис. 3. Правосторонние смещения вдоль разломов Ланково-Омолонской зоны (Кожурин, 2012). А, Б – в южной части зоны (координаты центров рисунков примерно 153.343° в.д., 60.277° с.ш. и 154.74° в.д., 61.04° с.ш., соответственно), цифры внизу - амплитуды смещений, м; В – в северной части зоны (координаты центра 171.565695° в.д., 66.026071° с.ш.), красные линии – активные разлома, черные точечные – линии водоразделов. Положение рисунков см. на рис. 3.1.

активных субширотных правосдвиговых и субмеридиональных взбросо-надвиговых разломов (рис.4). Во всех случаях кинематика разломов доказана установленными фактами смещений элементов рельефа, результатами изучения деформированных отложений в стенках канав и, иногда, георадарным профилированием (Пинегина и др., 2013;

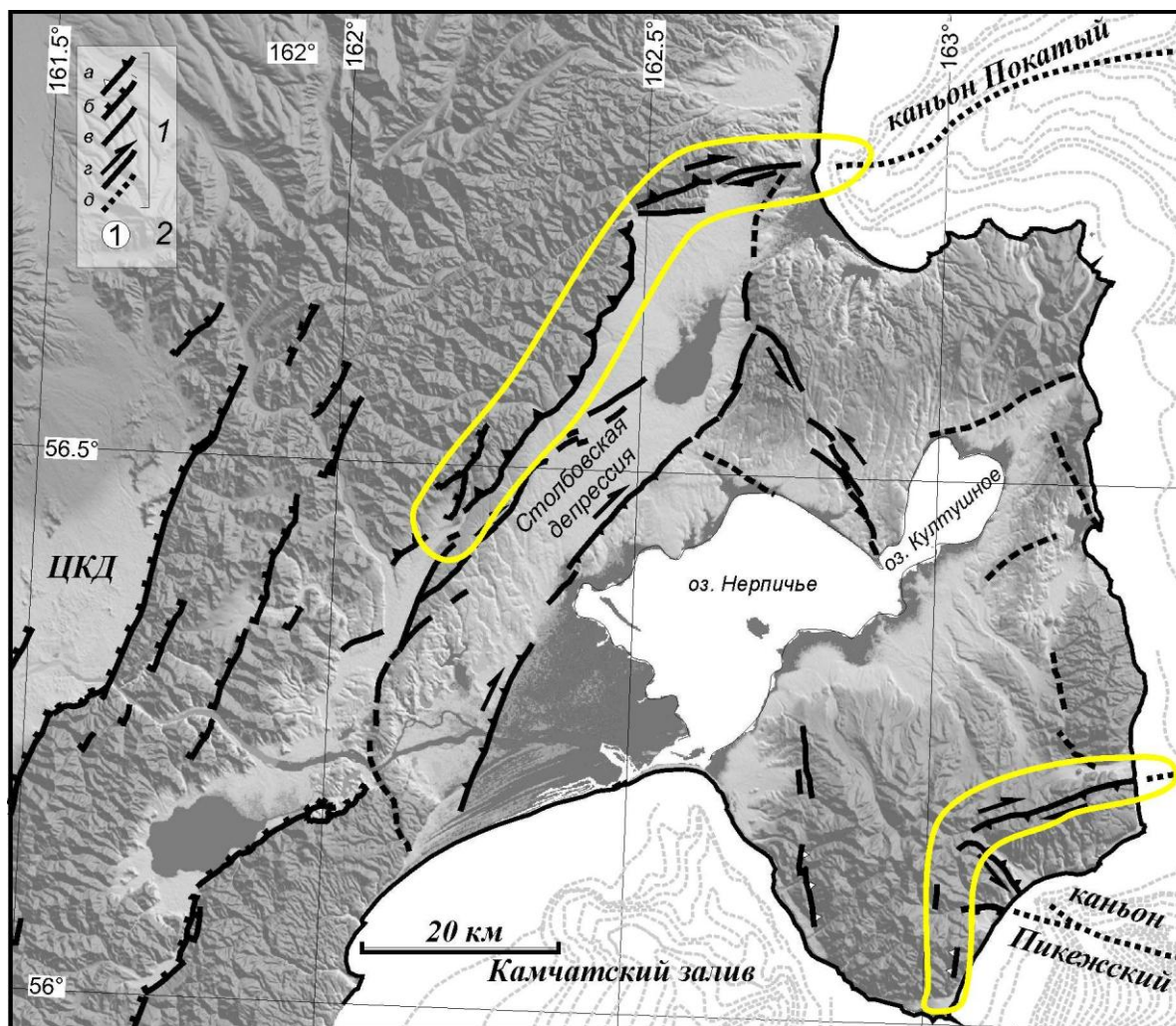


Рис. 4. Активные разломы полуострова Камчатский. 1 – разломы: взбросы (а), сбросы (б), неопределенной кинематики (в), сдвиги и со сдвиговой компонентой (г) и их возможные подводные продолжения (д); 2 – номера разломов (см. текст); 3 – примерное положение канав (см. текст). Основа рисунка – SRTM data V3, <http://srtm.csi.cgiar.org> (Jarvis et al., 2006). По (Kozhurin, 2007a; Кожурин, Пинегина, 2011; Kozhurin, Pinegina, 2011a, 2011b; Кожурин и др., 2014, в печати) с дополнениями

Пинегина и др., 2012; Pinegina et al., 2013; Кожурин и др., 2014, в печати). В целом, такие структурные сочетания свидетельствует о деформации латерального сокращения земной коры полуострова в северо-западном – юго-восточном направлении, что соответствует сближению Алеутской дуги с Камчаткой и их коллизионному взаимодействию. Наиболее западное сочетание сдвиг-взброс отделяет блок Камчатского полуострова от собственно Камчатки, представляя, в этом смысле, основной коллизионный контакт Алеутской дуги и Камчатки. Камчатский полуостров выступает в этой системе как элемент Алеутской дуги. Максимальная скорость коллизионных деформаций блока Камчатского полуострова оценена по скорости правосторонних движений по субширотному разлому в его юго-восточной части (Кожурин и др., 2014, в печати). Скорость относительного движения крыльев разлома с течением времени возрастала, достигнув к современности значения порядка 20 мм в год, а движения южного крыла разлома в сторону основной части Камчатки – порядка 35 мм в год. Сравнение этого значения со скоростью северо-западного дрейфа Командорского блока

(скоростью смещения пункта на о-ве Беринга, примерно 55 мм в год) свидетельствует о наличии зоны латерального сокращения – восточного коллизионного контакта – в пределах восточного подводного склона полуострова. Сопоставление полученных значений скоростей означает, что из примерно 8 см в год относительного движения Тихоокеанской плиты около двух третей (5.5 см/год) реализуется в перемещении Командорского блока Алеутской дуги в сторону Камчатки, из которых опять примерно две трети (3.5 см/год) уходит на деформацию блока Камчатского полуострова. Следующая из полученных в работах по проекту структурных данных модель коллизионного взаимодействия Алеутской дуги и Камчатки отличается от предложенных другими исследователями (Gaedike et al., 2000; Баранов и др. 2010). В ней основной коллизионный контакт располагается гораздо западнее, чем предполагалось, коллизионные деформации не ограничиваются крайней восточной частью полуострова, блок Камчатского полуострова перемещается до некоторой степени независимо от Командорского блока Алеутской дуги, а в коллизионных деформациях существенная роль принадлежит поддвиговой компоненте движений (рис. 5) (Кожурин и др., 2014, в печати).

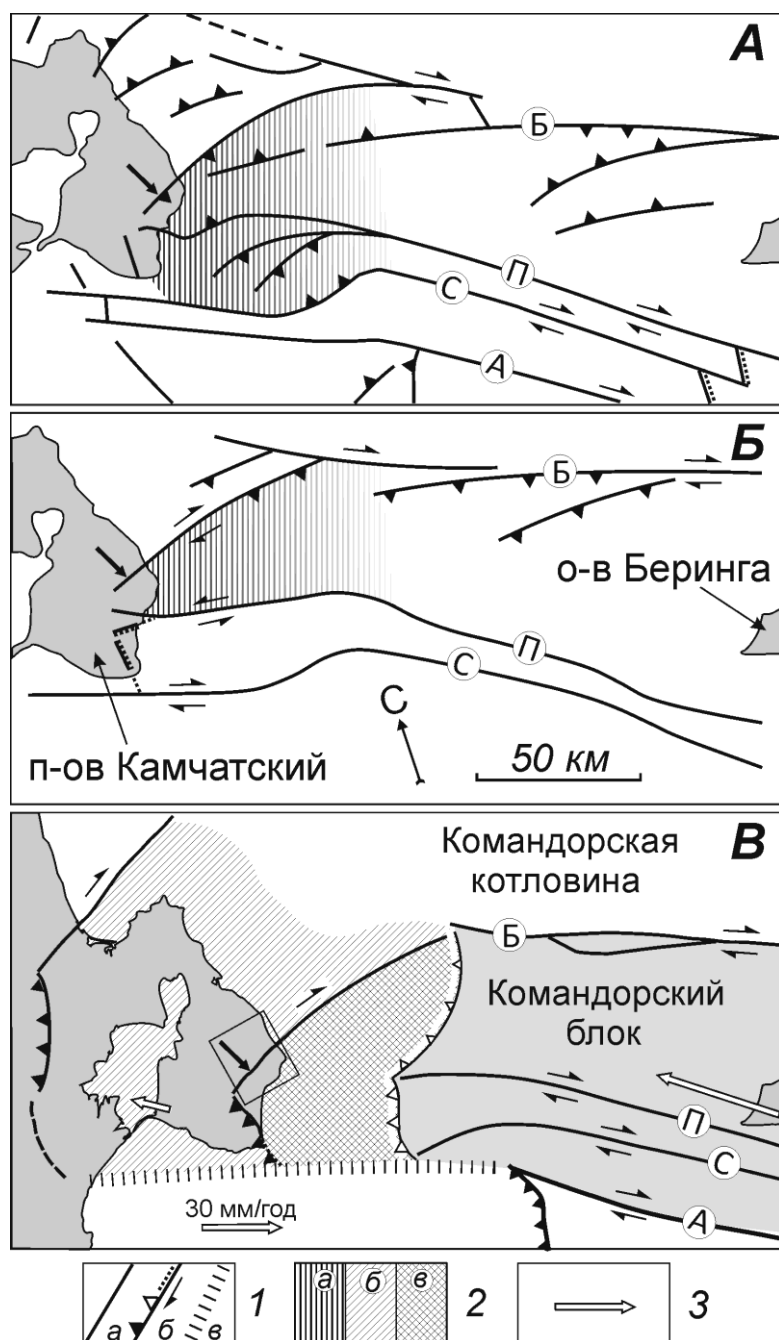


Рис. 5. Модели коллизионного взаимодействия Алеутской и Камчатской островных дуг: А – по (Gaedike et al., 2000), Б – по (Баранов и др. 2010), В – по (Кожурин и др., 2014, в печати). 1 – активные разломы основные (а), (б) – взбросовое или надвиговое (треугольники), сдвиговое (стрелки) и сбросовое (штрихи) направление движений по разломам (незалитые символы соответствуют предполагаемому направлению движений), край погруженной части Тихоокеанской плиты (в); 2 – фронтальная часть единого Командорского блока (а) (на А и Б) и блоки западной (основной) части п-ова Камчатский (б) и его юго-восточной части (в) (на В); 3 – векторы смещений пунктов GPS (на В): западная стрелка – пункт в пос. Крутоберегово, восточная – пункт в пос. Беринга. Подводные разломы Командорского сегмента Алеутской дуги на В показаны по (Селиверстов и др., 1995). Буквы в кружках – названия разломов: Б – Беринга, П – Пикеж, С – Стеллера, А – Алеутский (по оси глубоководного желоба). Черная стрелка на А, Б и В указывает на разлом 2-й Перевальный

Результаты работ по проекту показывают, что и в северном, и в южном обрамлениях Командорской котловины активное деформирование земной коры происходит в транспрессионном режиме. Первичной причиной движений является в целом не ортогональное сближение Тихоокеанской плиты с ее обрамлением (Kozhurin, 2004), трансформное относительно западного окончания Алеутской дуги. В ряду смещающихся к западу объемов земной коры наибольшей скоростью обладает Командорский блок Алеутской дуги (первые сантиметры в год), наименьшей (видимо, доли мм в год) – южное крыло Ланково-Омолонской зоны. В целом выявляется общая закономерность уменьшения скорости горизонтальных перемещений вдоль разломов Тихоокеанского пояса с удалением от Тихоокеанской плиты.

Методы и подходы, использованные в ходе выполнения проекта:

При работах по проекту применялись апробированные стандартные геологические, геоморфологические и структурные методы. Значительную роль играло дешифрирование материалов дистанционных съемок земной поверхности и ее изображений (космические снимки разного разрешения, аэрофотоснимки, цифровые модели рельефа), в том числе с использованием специального программного обеспечения. Для условий Камчатки чрезвычайно результативным было тефрохронологическое датирование смещенных форм рельефа и отложений. Среди относительно редко применяемых, но информативными при изучении активной разломной тектоники оказались георадарное профилирование и детальная топографическая тахеометрическая съемка.

Степень новизны полученных результатов:

К новым относятся полученные данные о распределении и кинематике активных разломов в Корякском нагорье и прилегающих районах Северо-Востока Азии, правосдвиговой кинематике Хатырско-Вывенской и Ланково-Омолонской разломных зон, распределении активных разломов в зоне коллизии Алеутской дуги с Камчаткой (на Камчатском полуострове) и точные данные о направлении и скорости движений по ним. Новыми является модель коллизионного взаимодействия Алеутской дуги и Камчатки и данные о скорости коллизионных деформаций блока Камчатского полуострова. Существенной новизной обладают данные и выводы от отсутствия Охотской плиты как единого жесткого образования.

Сопоставление полученных результатов с мировым уровнем:

Расшифровка процесса коллизии островных дуг, действующего в определенной геодинамической обстановке, представляет собой важную научную задачу. Г. Кимура считал, что коллизионное взаимодействие островных дуг вносит существенный вклад в формирование земной коры в области их смыкания (Kimura, 1996). Несомненно, внимания заслуживает структурное выражение процесса коллизии. На северо-западе Тихого океана детальные структурные и геофизические данные получены для районов смыкания Изу-Бонинской и Японской, Японской и Курильской островных дуг. Представление о том, что взаимоотношение Камчаткой и Алеутской дуг является коллизионным, основывалось, до работ по проекту, главным образом, на сейсмологических данных (см. ниже). При отсутствии прямых структурных признаков коллизии ее реальность оставалась под вопросом. При работах по проекту получены данные, подтверждающие реальность коллизионного взаимодействия Алеутской дуги и Камчатки и раскрывающие детали такого взаимодействия в обстановке чисто трансформного движения океанической плиты относительно островной дуги. Это дает основу для сравнения процессов коллизии островных дуг в геодинамических ситуациях с разным соотношением нормальной и тангенциальной компонент в относительном движении плит.

Полученные данные о распределении активных разломов в Корякском нагорье и в регионе в целом показывают, что азиатским сегментом северной границы Берингийской плиты, если согласиться с ее существованием, может быть только Хатырско-Вывенская

активная разломная зона с правосторонними, в условиях транспрессии, движениями. В то же время, прямые свидетельства активности и правосдвиговой кинематики Ланково-Омолонской зоны, полученные при работах по проекту, заставляют, следуя гипотезе малых плит, выделять из состава Северо-Американской плиты еще одну, меньшего размера, чем Берингская, плиту (между Ланково-Омолонской и Хатырско-Вывенской зонами). Однако, доказанное при работах по проекту отсутствие сегмента Охотской плиты между Ланково-Омолонской зоной и Алеутской дугой (или западным обрамлением Командорской котловины) позволяет утверждать, что в виде единого жесткого образования Охотской плиты нет.

Значение полученных данных о распределении и кинематике активных разломов в регионе состоит также в том, что только с их учетом могут быть правильно интерпретированы данные спутниковых геодезических измерений движений земной коры (GPS). Практическое применение полученных данных состоит в том, что их необходимо учитывать при оценке сейсмической опасности в пределах изученных территорий и сейсмическом районировании.