

УДК 550.348:550.834(265.5)

О СТРОЕНИИ И СЕЙСМОТЕКТОНИКЕ КУРИЛЬСКОЙ СИСТЕМЫ ДУГА–ЖЕЛОБ

В.Л. ЛОМТЕВ, Т.В. НАГОРНЫХ, Д.А. САФОНОВ

Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН,
г. Южно-Сахалинск, Россия

Аннотация. По данным нового регионального каталога фокальных механизмов 396 сильных ($M \geq 6.0$) курило-охотских и частично японских землетрясений за 1964–2009 гг., а также одно- (НСП) и многоканального (МОГТ) сейсмопрофилирования методом отраженных волн (МОВ) анализируются особенности строения и сейсмотектоники Курильской системы дуга–желоб и связанных с ними встречных сейсмофокальных зон Беньофа и Тараканова. Показано, что первая является глубинным надвигом, по которому Курильская дуга (или тектонический фронт Евразии) сместилась на ложе Пацифики на несколько десятков (до 50–70) км за последние 0.5–1.0 млн лет (пасаденская глобальная фаза складчатости и орогенеза по Г. Штилле). При надвигании сформировались средняя и нижняя части тихоокеанского склона, региональный шарьяж Пегаса и аккреционная призма (тектонопара), рамповая структура Курильского желоба и, вероятно, встречные сейсмофокальные зоны.

Ключевые слова: Курильская система дуга–желоб, встречные сейсмофокальные зоны Беньофа и Тараканова, фокальный механизм землетрясения, глубинный надвиг, шарьяж Пегаса, аккреционная призма, акустический фундамент, кайнозойский осадочный чехол, типы сейсмодислокаций.

ВВЕДЕНИЕ

Геологическое строение Курильской системы дуга–желоб изучается уже около 100 лет. Сначала исследования проводились в основном японскими учеными, а в послевоенное время к ним присоединились и отечественные [Сергеев, 1976; Тектоника..., 1980, 2004; Геолого-геофизический..., 1987]. Большой вклад в изучение Курило-Охотского региона внес Международный геофизический год, когда в Охотском море и прикурильской части Тихого океана (Пацифика) ИФЗ АН СССР осуществил глубинное сейсмическое зондирование по сети профилей, определившее основные черты строения земной коры, а НИС «Пегас» СахКНИИ провело региональную геолого-геофизическую съемку, включавшую промер, непрерывное одноканальное сейсмопрофилирование методом отраженных волн (НСП МОВ), набортную грави- и магнитометрию, а также драгирование [Васильев и др., 1979; Тектоника..., 1980, 2004]. Позднее трестом «Дальморнефтегеофиз-

разведка» здесь были отработаны несколько региональных профилей многоканального МОВ–ОГТ (МОГТ, или метод общей глубинной точки [Ломтев, Патрикеев, 1985; Гнибиденко, 1987; Тектоника..., 2004]). В итоге удалось наметить региональные черты геологического строения и истории развития внешней, невулканической (в настоящее время – Малая Курильская гряда и ее подводное продолжение – хребет Витязя), и внутренней, вулканической (Большая Курильская гряда), дуг и Курильского желоба. Вместе с тем остаются существенные расхождения во взглядах и трактовках геофизических и геологических данных по сейсмотектонике и строению Курильской системы дуга–желоб, особенно после открытия на ложе Северо-Западной Пацифики по данным бурения и НСП континентальных, прибрежных и шельфовых региофаций позднего мезозоя–раннего кайнозоя и сменивших их фаций позднекайнозойских фанов (конусы выноса) каньонов Японо-

Курило-Камчатской континентальной окраины на вале Зенкевича и мористее Камчатского контурного мегафана – в котловине Тускарора [Ломтев и др., 1997; Патрикеев, 2009].

Сейсмотектоника региона изучается продолжительное время (и в основном сейсмологами ИМГиГ и Сахалинского филиала Геофизической службы ДВО РАН) по материалам стационарных наблюдений на сейсмостанциях региона и мировой сети (эпи- и гипоцентра, фокальные механизмы землетрясений, скоростные неоднородности в коре и верхней мантии, геостатистика), а также по результатам полевого изучения сейсмодислокаций на островах в очаговых зонах сильных землетрясений [Аверьянова, 1968; Симбирева и др., 1976; Тараканов и др., 1977; Рудик, Поплавская, 1987; Балакина, 1995; Тараканов, 2004; Тихонов и др., 2008]. Установлено, что основной вклад в региональную сейсмичность вносят встречные сейсмофокальные зоны Беньофа или Вадати–Заварицкого–Беньофа [Ломтев, Патрикеев, 1985] и Тараканова [Кропоткин, 1978], выходящие на дно на внешней дуге и желобе [Тараканов и др., 1977; Тараканов, 2004], а также автономная мелкофокусная сейсмичность, вероятно, аллохтонной коры, частью локализованная в молодых орогенных морфоструктурах и зонах активных разломов [Тектоника..., 1980; Ломтев и др., 2007].

Вместе с тем тектонические аспекты сейсмичности, строение и история геологического развития рассматриваемого региона или отдельных его морфоструктур до сих пор во многом остаются дискуссионными. Так, в теории фиксизма предполагают сбросовую или сбросо-оползневую структуру Курильского желоба (рифтограбен [Васильев и др., 1979; Тектоника..., 1980; Гнибиденко, 1987; Верба и др., 2011]), как структуры растяжения и опускания коры и подстилающей мантии. Такой подход основан на прямой геологической интерпретации временных разрезов НСП со сложным волновым полем и многочисленными помехами, что требует их минимизации или устранения при построении глубинных разрезов в реальном (1:1) масштабе [Ломтев, Патрикеев, 1985, 2006]. Однако в его рамках не находят объяснения асимметрия поперечных и продольного профилей этого и других желобов Пацифики, формирование аккреционной призмы, регионального шарьяжа акустического фундамента и смежных поднятий краевого вала Зенкевича (Хоккайдо) и двойной Курильской дуги

высотой 5 и 10 км соответственно, изгиб системы дуга–желоб и курильской секции зоны Беньофа в сторону океана. В мобилизме, или тектонике литосферных плит, на внешнем склоне Курильского желоба обычно предполагают растяжение и опускание блоков субдуцирующей с мела Тихоокеанской плиты по системе нормальных (ступенчатых) сбросов, а на внутреннем склоне – оползни, сбросы, аккрецию кайнозойского чехла с чешуйчатыми надвигами западной вергентности (см. обзор в работе [Ломтев, Патрикеев, 1985]) или, напротив, его субдукцию в тектонических карманах акустического фундамента [Пишон и др., 1977; Уэда, 1978]. Таким образом, на склонах Курильского и других фронтальных желобов Пацифики большинство исследователей предполагают разный стиль деформаций, а следовательно, и тектонического строения. Не менее значительны существующие расхождения и по возрасту, или времени заложения, тихоокеанских желобов, варьирующие от юры–мела до плейстоцена–голоцена (см. обзор в работе [Ломтев, 1989]).

С учетом недавних катастрофических Симуширских 2006–2007 гг. и Великого Японского в марте 2011 г. землетрясений, сопровождавшихся цунами высотой более 10–30 м [Тихонов и др., 2008; Тихонов, Ломтев, 2011], акцент в настоящей работе сделан на строении и сейсмотектонике сейсмофокальной зоны Беньофа – крупнейшего дугового глубинного разлома Земли, и зоны его выхода на тихоокеанском склоне Курильской дуги и одноименном желобе [Тараканов и др., 1977; Тараканов, 2004].

Фактологической основой работы стали материалы нового регионального каталога фокальных механизмов сильных ($M \geq 6.0$) курило-охотских землетрясений за 1964–2009 гг., подготовленного по современным международным стандартам [Каталог..., 2011], а также глубинные разрезы НСП и МОГТ, построенные способом апланатных поверхностей (огигающих фронтов волн) в масштабе 1:1 с точностью положения отражающих площадок в кровле акустического фундамента, аккреционной призмы и кайнозойском осадочном чехле до 50–100 м и частью основанная на них модель южного фланга Курильской системы дуга–желоб. Заметим, что упомянутый выше способ интерпретации сложных волновых полей до сих пор не имеет аналогов в опубликованных материалах одно- и многоканальной сейсморазведки МОВ по желобам Пацифики, Атлантического и Индийского океанов.

В последние годы вкладываются большие средства в развитие инфраструктуры Курильских островов с целью повышения их инвестиционной привлекательности. Безусловно, капитальное строительство в зоне 10-бальных сотрясений (согласно карте ОСР-97) сопряжено с большими рисками. Для уменьшения возможного ущерба необходимо полномасштабное изучение геологического строения и тектонических процессов, протекающих в земной коре и верхней мантии одного из наиболее сейсмически активных регионов мира. Настоящая работа может стать надежной тектонической и сейсмодислокационной основой для решения многих задач инженерной сейсмологии. В частности, преимущественное (>75 %) развитие взбросов и надвигов на выходе зоны Бенъофа (до глубин 80 км) определяет более высокую интенсивность воздействия землетрясений на объекты промышленной и транспортной инфраструктуры Северных и Южных Курил, повышенную тектоническую трещиноватость и раздробленность земной коры. Поэтому картирование сейсмогенных трещин, кластических даек, активных магистральных и оперяющих разломов (сейсморазрывы) и их активных (подвижных) крыльев остается главной задачей практической сейсмологии, для решения которой привлекаются переносные цифровые сейсмостанции, малоглубинная сейсморазведка на *P*- и *S*-волнах, георадары, геофоны, геодезические и GPS-наблюдения. Представленные в настоящей статье материалы указывают на геологическую молодость Курильской системы дуга-желоб в виде крыла глубинного надвига зоны Бенъофа. Поэтому зоны затишья, например на ее северном фланге, не являются признаком окончания коромантийного надвига Евразии на ложе Тихоокеанской дуги в эпоху глобальной пасаденской орогении (средний плейстоцен–настоящее время), а всего лишь отражают особенности накопления напряжений и подготовки новых сильных землетрясений, обычно с тектоническими (взбросо-надвиговыми) цунами. Эти выводы подтверждены результатами изучения землетрясения 11.03.2011 г. у берегов Японии [Кособоков, 2011; Левченко и др., 2011; Лутиков, 2011; Любушин, 2011а,б; Маловичко и др., 2011; Рогожин, 2011; Рогожин и др., 2011; Родкин, Тихонов, 2011; Сидорин, 2011а,б; Трубицын, 2011; Шебалин, 2011; Юнга, 2011]. В отдаленной перспективе можно ожидать залечивание зоны Бенъофа, переход к более спокойной и амагматичной фазе тектоническо-

го развития, когда будут доминировать процессы гравитационного расползания горного сооружения Курильской дуги с менее интенсивной коровой сейсмичностью и сейсмодислокациями растяжения (сбросы и сдвиги). Однако в ближайшее время практическое изучение сейсмичности, особенно мелкофокусной, включая вопросы прогноза сильных событий, в рассматриваемом и смежных регионах Тихоокеанского региона остается столь же актуальным делом, как и прогноз погоды.

СВЯЗЬ СЕЙСМОДИСЛОКАЦИЙ И ТЕКТОНИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ КУРИЛО-ОХОТСКОГО РЕГИОНА (ПО МАТЕРИАЛАМ [КАТАЛОГ..., 2011])

На основе нового каталога механизмов очагов 396 курило-охотских и частично японских сильных землетрясений $M \geq 6.0$ за 1964–2009 гг. [Каталог..., 2011] рассмотрены связи между сейсмодислокациями и строением курильской секции зон Бенъофа и Тараканова, в пределах которой они проявляются, путем статистической интерпретации результатов определения механизма очага, а также с помощью рассмотрения конкретных картин ориентировки напряжений и других характеристик очагов внутри зоны. Последнее позволяет разделить сейсмодислокации по их значимости, что крайне необходимо для определения роли отдельных типов дислокаций в формировании структур зоны. В качестве методической основы решаемой задачи были приняты базовые алгоритмы программы «Механизм» [Массовое..., 1979]. В ней определяется не одно «наилучшее» решение, а вся совокупность решений, совместимых с наблюдаемыми данными (85 %-ная доверительная область), что позволяет полнее охарактеризовать точность и степень неопределенности искомой модели в каждом конкретном случае. Данная программа прошла испытание в Курило-Охотском регионе в 1964–1999 гг. [Каталог..., 2011].

На рис. 1 представлены механизмы очагов сильных землетрясений по типу сейсмодислокаций $M \geq 6.0$ за 1964–2009 гг. В плане и по глубине очаги землетрясений распределены неравномерно (см. [Каталог..., 2011], рис. 1, 2). Так, по глубине выделяются три группы очагов землетрясений (см. рис. 2). Их подавляющее большинство (65.1 %) произошли на глубинах ≤ 80 км. Вторая группа землетрясений произошла в промежуточном интервале глубин 81–300 км (22.6 % общего числа землетрясений). Третью группу состави-

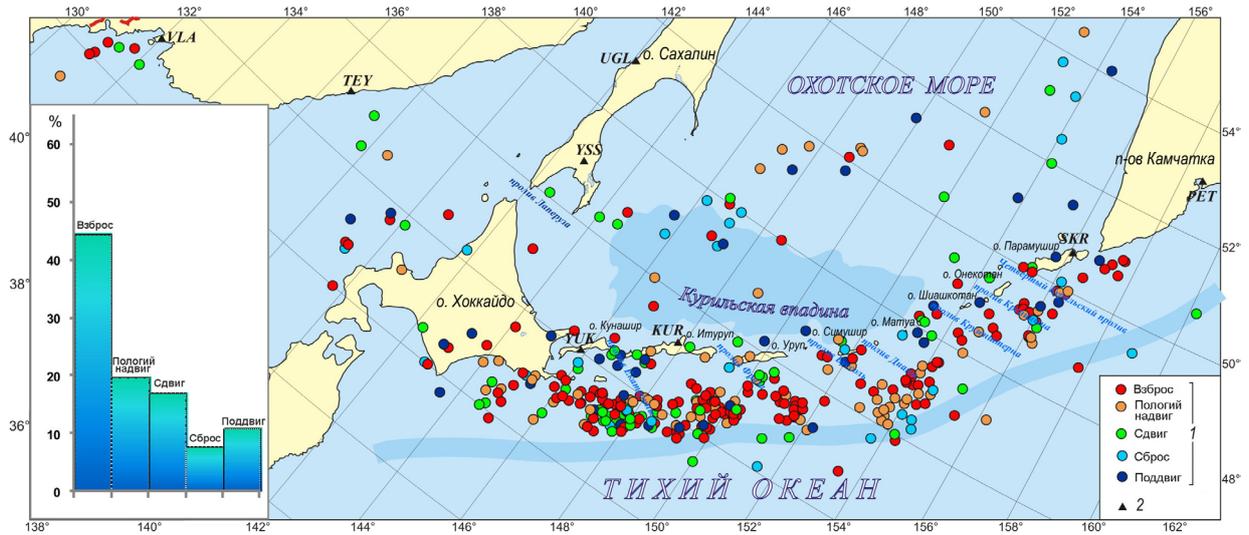


Рис. 1. Карта сейсмодислокаций Курило-Охотского региона за 1964–2009 гг. На врезке: гистограмма распределения типов сейсмодислокаций
1 – типы сейсмодислокаций; 2 – сейсмические станции

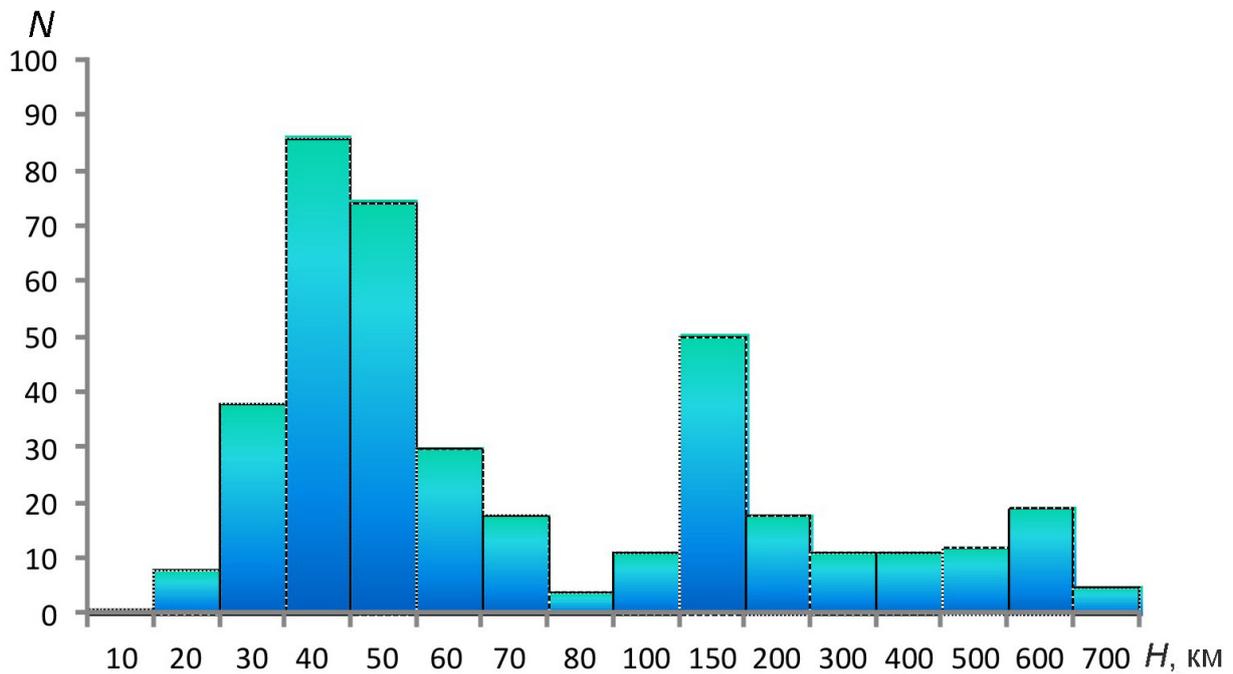


Рис. 2. Гистограмма распределения землетрясений Курило-Охотского региона по глубине

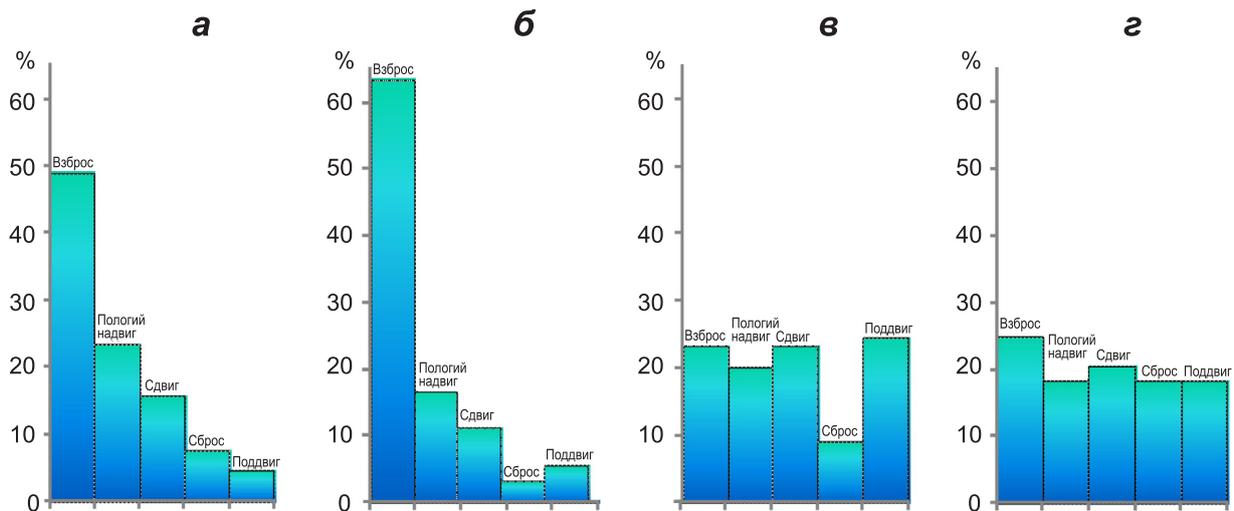


Рис. 3. Распределение сейсмодислокаций Курило-Охотского региона по глубинам: а – 0–40 км; б – 41–80 км; в – 81–300 км; г – 301–700 км

ли глубокофокусные землетрясения с $H = 301$ –700 км (12.3 %).

Анализ распределения сейсмодислокаций по типам (см. врезку на рис. 1) показал, что подавляющее большинство очагов сильных землетрясений ($M \geq 6.0$) Курило-Охотского региона находилось под воздействием напряжений сжатия, которое обусловило подвижки типа взброса (45 % общего количества данных), пологого надвига (20 %) и сдвига (17 %). 18 % очагов землетрясений находились под воздействием напряжений растяжения, для которых характерны сбросы (7 %) и поддвиги (11 %).

Для детального анализа распределения сейсмодислокаций по разным интервалам глубин были построены гистограммы (рис. 3), из которых следует, что для глубин 0–40 км, практически как и для всего каталога (см. рис. 1, врезка) механизмов землетрясений, преобладали взбросы – 48.9 %; пологие надвиги составляли 23.3 %, сдвиги – 16 %, сбросы – 10 %, а поддвигов отмечалось на 50 % меньше, чем для всего каталога (см. врезку на рис. 1). Для землетрясений с глубиной 41–80 км, по сравнению с предыдущими, увеличилось число взбросов на 32 %, а число остальных сейсмодислокаций уменьшилось на 25–41 % (см. рис. 3, б). В дальнейшем с увеличением глубины очагов землетрясений количество разных типов сейсмодислокаций стало уравниваться. Так,

для $H = 81$ –300 км взбросы составили 23.3 %, пологие надвиги – 20 %, сдвиги – 23.3 %, поддвиги – 21.4 %. Исключением являются сбросы – 8.9 % (см. рис. 3, в и врезку на рис. 1). Для глубины 301–700 км количество типов сейсмодислокаций колебалось от 18 до 23 %.

Несмотря на многообразие механизмов очагов изученных землетрясений, совершенно отчетливо выявляются общие свойства, присущие большинству очагов. Это наглядно иллюстрируется с помощью построения векторных диаграмм частот повторения некоторых пространственных параметров, характеризующих механизм очага (осредненный интервал – 10°). На рис. 4, а–в приведены векторные диаграммы всех параметров механизма очагов изученных землетрясений. Горизонтальные проекции параметров механизма очага имеют два равнозначных направления, отличающихся по азимуту на 180° .

Векторная диаграмма распределения осей напряжений сжатия по азимутам относительно направления на зенит имеет два отчетливых максимума (см. рис. 4, а). Один из них находится в интервале от 120 до 150° (или 300 – 330°). Для напряжений растяжения выявляются практически те же самые преимущественные направления, что и для напряжений сжатия, хотя общее распределение их по азимутам дает менее отчетливые максимумы: одно из них – от 100 до

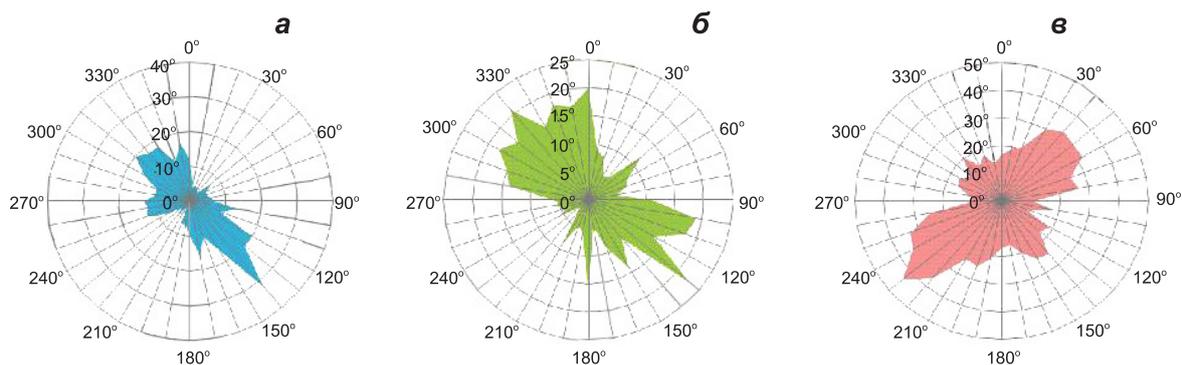


Рис. 4. Векторные диаграммы параметров очагов землетрясений Курило-Охотского региона: *а* – напряжения сжатия; *б* – напряжения растяжения; *в* – азимуты простирания нодальных плоскостей (NP1, NP2)

150° или 280–360° – в противоположном направлении (см. рис. 4, б). Следует особо подчеркнуть, что горизонтальная проекция напряжений сжатия ориентирована преимущественно под прямым углом к Курильской островной дуге и желобу. Этот результат отмечается и в работе Л.М. Балакиной [1995].

На рис. 4, в видно, что азимуты простирания нодальных плоскостей тоже имеют два преимущественных направления. Один из них составляет от 220 до 260° относительно направления на север, и подавляющее большинство нодальных плоскостей ориентированы вдоль простирания структур Курильской дуги со средним углом падения ~50° к западу. Во втором возможном варианте плоскости разрыва ориентированы от 30 до 80° и также обнаруживают неплохую согласованность с простиранием островной дуги, но с падением к востоку, что не противоречит данным В.Н. Аверьяновой [1968]. Менее отчетливый максимум отмечается в интервале от 120 до 150° и в противоположном направлении от 290 до 340°, но количество землетрясений в этом интервале намного меньше, чем в ранее рассмотренном.

ОСНОВНЫЕ ТИПЫ КОРОВЫХ СЕЙСМОДИСЛОКАЦИЙ КУРИЛО-ОХОТСКОГО РЕГИОНА С ГЛУБИНОЙ 0–40 КМ

На рис. 5 видно, что мелкофокусные землетрясения расположены между Курильскими о-вами и осью глубоководного Курильского желоба, образуя несколько отдельных, территориально обособленных групп, в каждой из которых преоблада-

ет конкретный тип сейсмодислокаций. Несмотря на то, что большинство коровых землетрясений находились в условиях преобладания близгоризонтальных напряжений сжатия, ортогонального простиранию Курильской дуги, основные типы сейсмодислокаций в этих группах разные.

Первая довольно компактная (37 событий) группа расположена напротив пролива Екатерины. В ее очагах преобладали взбросы (40.5 %) и сдвиги (32.5 %).

Вторая и третья компактные группы землетрясений произошли мористее островов Итуруп и Уруп, ближе к оси Курильского желоба. В их очагах преобладали взбросы (67 %) и пологие надвиги (20–27 %).

Четвертая группа гипоцентров расположена ближе к желобу, мористее о. Симушир. В очагах этой группы землетрясений преобладали пологие надвиги (50 %) и взбросы (32 %). В эту группу входят и недавние сильнейшие Симуширские события [Тихонов и др., 2008]. Первое из них является пологим надвигом, второе – сбросом.

Дополнительно можно выделить цепочку отдельных сейсмических событий вдоль о. Хоккайдо, где чередуются отдельные сейсмодислокации: подвиг, сдвиг и два взброса. Вторая цепочка сейсмических событий оконтуривает ось Курильского желоба. В данной цепочке сейсмодислокации чередуются: 50 % случаев землетрясения произошли в условиях близгоризонтального сжатия, а 50 % – в условиях близгоризонтального растяжения.

Особо отметим зоны отсутствия сильных землетрясений с известными механизмами в земной коре на южном и (что наиболее важно) северном

О СТРОЕНИИ И СЕЙСМОТЕКТОНИКЕ КУРИЛЬСКОЙ СИСТЕМЫ ДУГА-ЖЕЛОБ

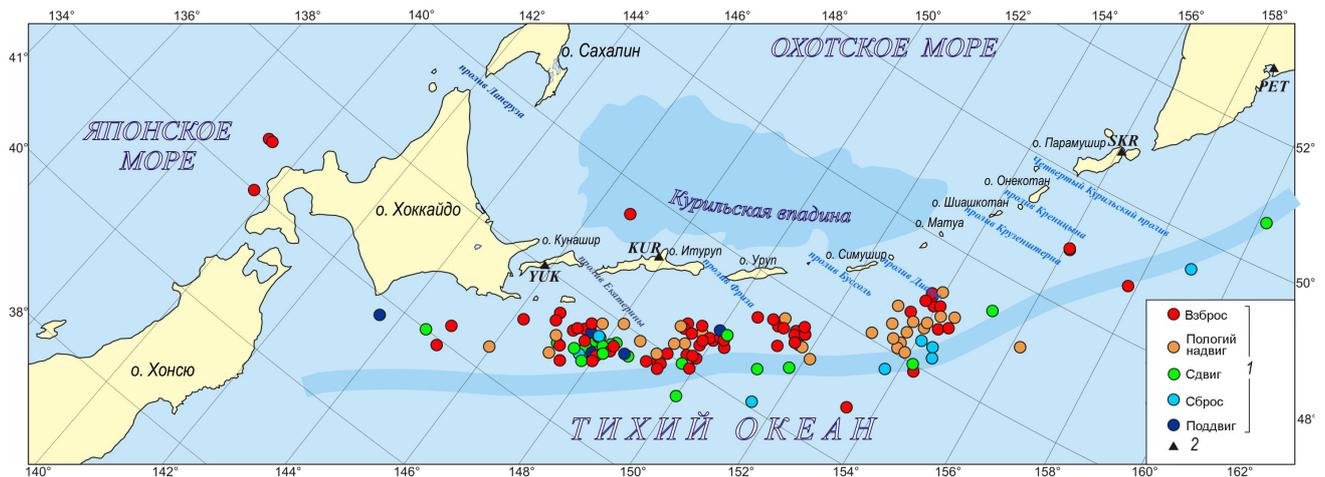


Рис. 5. Карта сейсмодислокаций Курило-Охотского региона на глубинах 0–40 км
1 – типы сейсмодислокаций; 2 – сейсмические станции

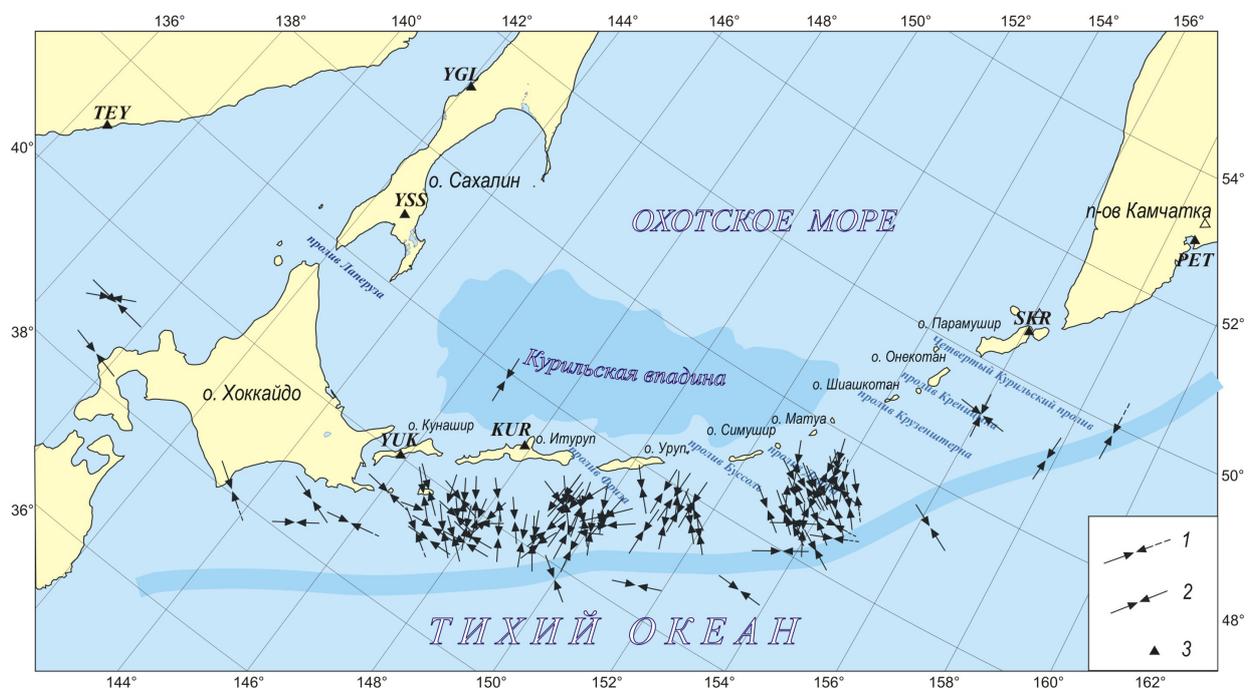


Рис. 6. Ориентация осей напряжений сжатия для коровых ($H = 0-40$ км) землетрясений Курило-Охотского региона
1 – близгоризонтальное сжатие; 2 – значительный наклон оси сжатия (число штрихов стрелки соответствует 20°); 3 – сейсмические станции

флангах Курильской системы дуга-желоб, включая, возможно, и Южную Камчатку, которые могут быть местами возникновения будущих сильных землетрясений.

Проведено сопоставление ориентации напряжений сжатия в очагах коровых землетрясений с простираем поверхностных тектонических структур (рис. 6). Отмечено, что для первой

и четвертой групп землетрясений в общем числе случаев преобладают напряжения сжатия, перпендикулярные к островной дуге и близкие к горизонтальным. В остальных группах прослеживаются горизонтальные напряжения сжатия, ориентированные субмеридионально, хотя присутствуют и отдельные события субширотного направления.

**Основные типы сейсмодислокаций
Курило-Охотского региона на глубинах
41–80 км**

На рис. 7 представлены основные типы сейсмодислокаций с глубиной очага 41–80 км. Гипоцентры землетрясений данного интервала глубин расположены между Большой Курильской грядой и осью желоба, образуя довольно широкую цепочку, которая прерывается к юго-востоку от Средних Курильских о-вов, переходя в небольшие группы или отдельные события.

В районе Северных Курильских о-вов количество землетрясений увеличилось, и группы стали более компактными, эпицентры группируются в районе проливов. Большинство землетрясений находилось в условиях преобладания близгоризонтальных напряжений сжатия, ориентированных ортогонально простиранию Курильской дуги, или субмеридионально (характерный тип подвижки – взброс – 63.9 %, пологий надвиг – 16.7 %, сдвиг – 11 %). В юго-восточной части зоны встречаются более крутые субмеридиональные и субширотные напряжения сжатия (рис. 8).

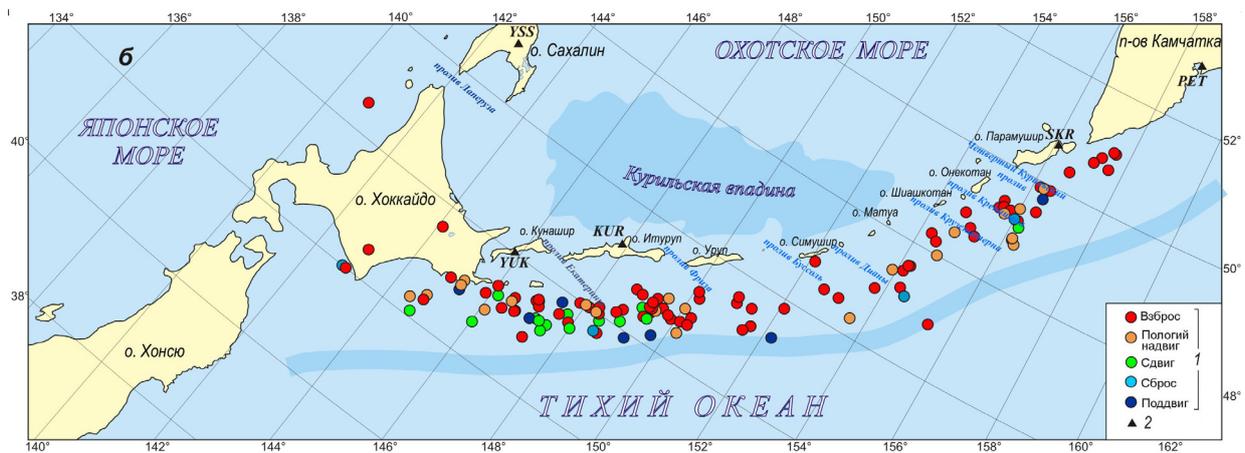


Рис. 7. Карта сейсмодислокаций Курило-Охотского региона на глубинах 41–80 км
1 – типы сейсмодислокаций; 2 – сейсмические станции

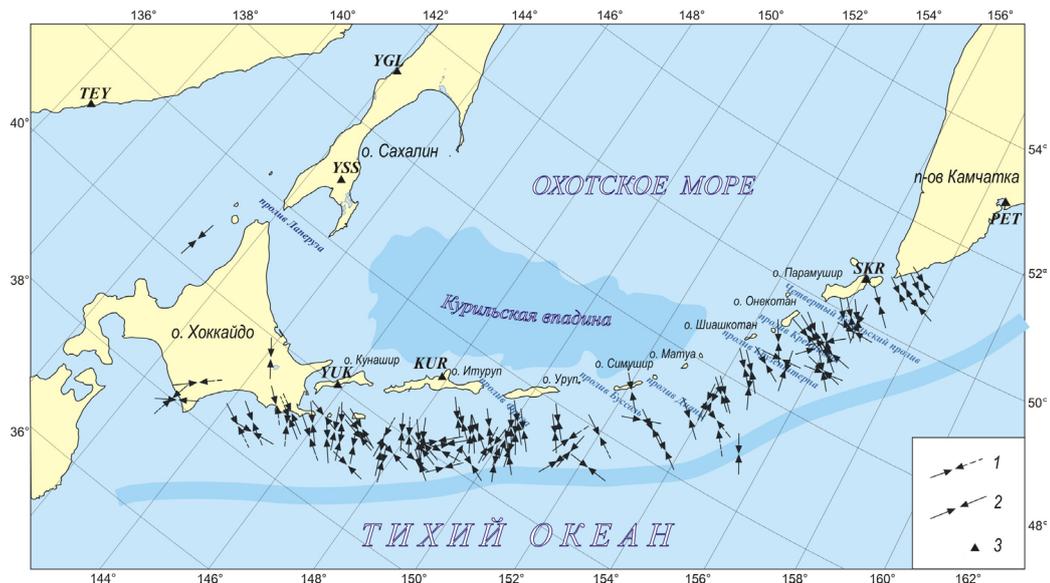


Рис. 8. Ориентация осей напряжений сжатия для землетрясений Курило-Охотского региона с глубиной очага 41–80 км
1 – близгоризонтальное сжатие; 2 – значительный наклон оси сжатия (число штрихов стрелки соответствует 20°); 3 – сейсмические станции

Основные типы сейсмодислокаций Курило-Охотского региона на глубинах 81–300 км

Группа землетрясений с очагами в промежуточном интервале глубин 81–300 км (22.6 % общего числа землетрясений) представляет собой довольно узкую полосу событий, произошедших непосредственно под Курильскими о-вами (рис. 9). Группа разбивается на небольшие подгруппы.

В рассматриваемом районе большинство землетрясений находились в условиях преобладания

сжимающих напряжений, хотя это для них и не столь существенно. Доминируют довольно крутые субмеридиональные и реже субширотные направления (рис. 10). Для осей растяжения также характерны крутые субмеридиональные и субширотные направления.

В общем числе случаев напряжения сжатия, перпендикулярные структурам островной дуги и близкие к горизонтальным, представляют единичные события. Сейсмодислокации распределены по типам, %: сдвиги – 25; взбросы – 24; поддвиги – 25; пологие надвиги – 16; сбросы – 10.

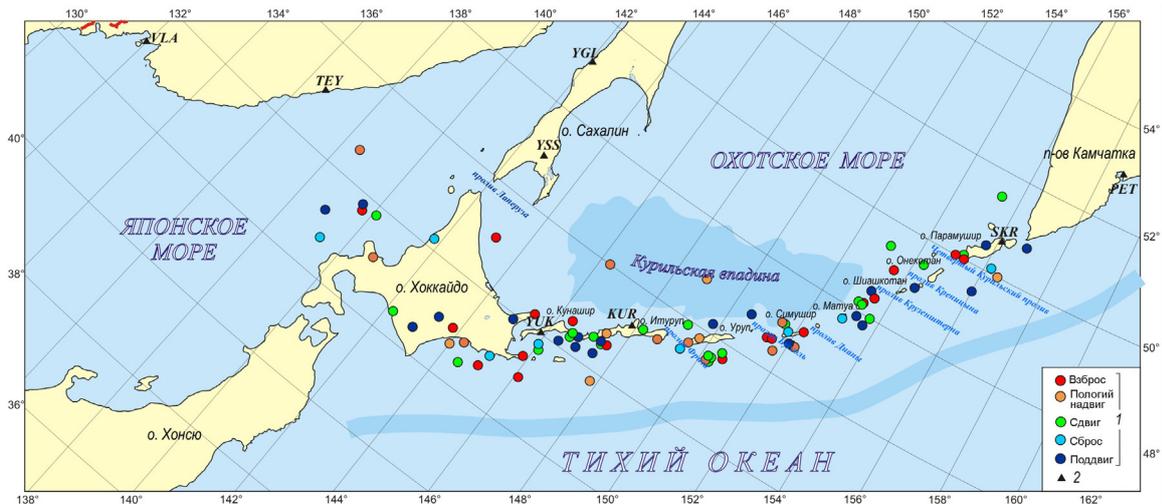


Рис. 9. Карта сейсмодислокаций Курило-Охотского региона на глубинах 81–300 км
1 – типы сейсмодислокаций; 2 – сейсмические станции

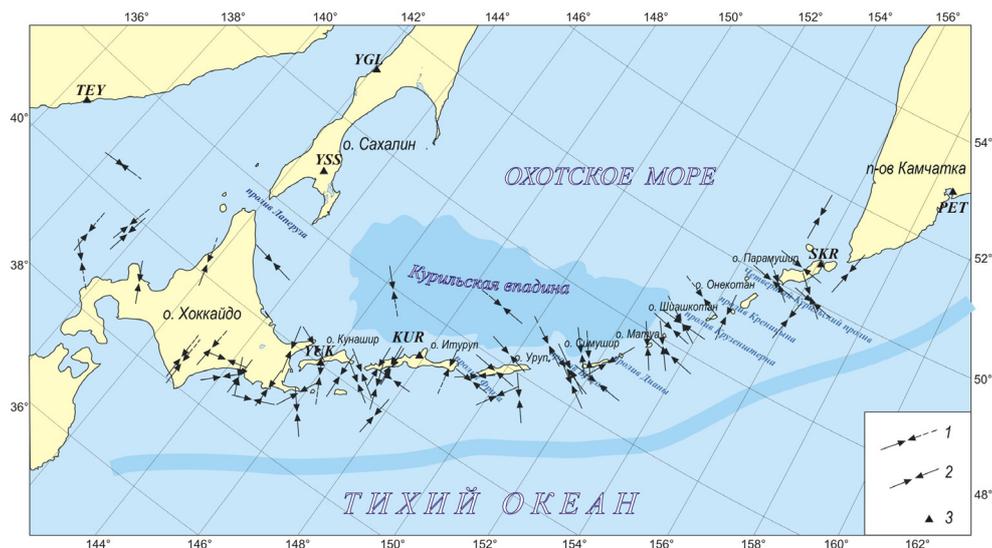


Рис. 10. Ориентация осей напряжений сжатия для землетрясений Курило-Охотского региона с глубиной очага 81–300 км
1 – близгоризонтальное сжатие; 2 – значительный наклон оси сжатия (число штрихов стрелки соответствует 20°); 3 – сейсмические станции

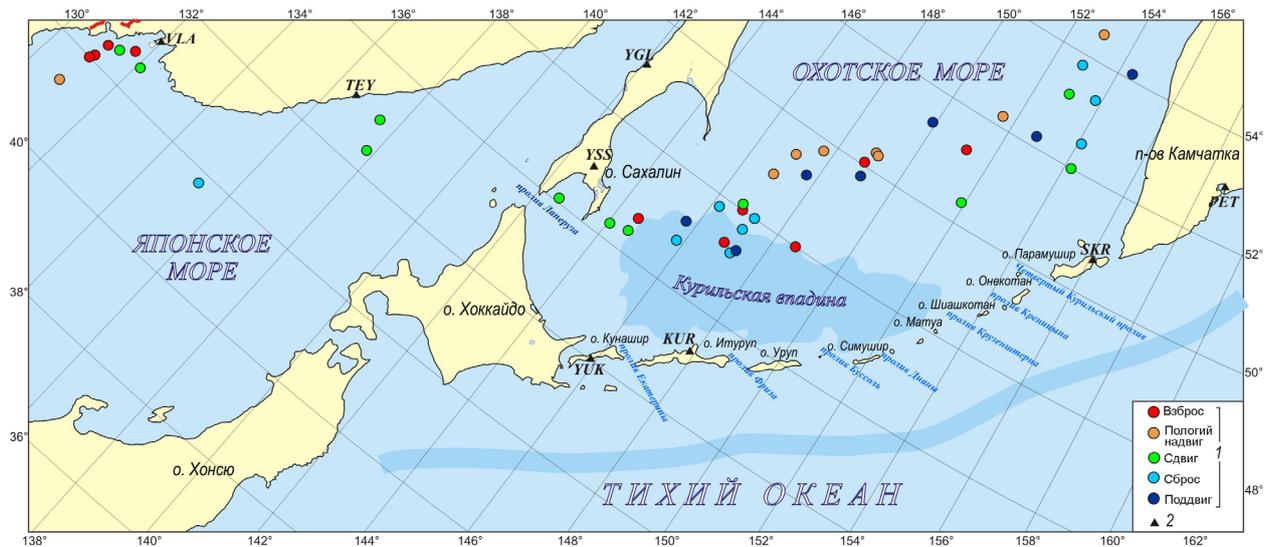


Рис. 11. Карта сейсмодислокаций Курило-Охотского региона на глубинах 301–700 км
1 – типы сейсмодислокаций; 2 – сейсмические станции

Выделяется небольшая группа землетрясений между о. Хоккайдо и побережьем Приморья. Землетрясения здесь происходили как в условиях растяжения (поддвиг – 32 %, сброс – 17 %), так и в условиях сжатия (взброс – 17 %, пологий надвиг – 17 %, сдвиг – 17 %), ориентированных диагонально островной дуге.

ОСНОВНЫЕ ТИПЫ СЕЙСМОДИСЛОКАЦИЙ КУРИЛО-ОХОТСКОГО РЕГИОНА НА ГЛУБИНАХ 301–700 КМ

Рассматриваемую группу составили глубокофокусные землетрясения (301–700 км; 12.3 % общего числа землетрясений в [Каталог..., 2011]), которые протягиваются широкой полосой от западного побережья п-ва Камчатка через Курильскую впадину в Приморье (до зал. Петра Великого), образуя разобщенные группы (рис. 11). Выделяются несколько территориально обособленных групп, в каждой из которых преобладают конкретные напряжения и типы сейсмодислокаций.

Первая группа эпицентров землетрясений, где преобладали близгоризонтальные растягивающие напряжения, ориентированные субширотно, широкой полосой тянется вдоль п-ва Камчатка. Распределение по типам сейсмодислокаций, %: сбросы – 25; поддвиги – 25; сдвиги – 25; пологие надвиги – 17; взбросы – 8.

Вторая группа эпицентров землетрясений расположена севернее Курильской (Южно-Охотской) батинальной котловины. Основные типы сейсмодислокаций, %: пологий надвиг – 62; взброс – 13; поддвиг – 25; преобладали довольно крутые напряжения сжатия, ориентированные ортогонально или субмеридионально островным структурам.

Третья группа эпицентров землетрясений расположена в северо-западной части Курильской котловины. Землетрясения произошли в условиях преобладания близгоризонтальных растягивающих напряжений, ориентированных диагонально островной дуге. Основные типы сейсмодислокаций, %: сбросы – 37; взбросы – 28; поддвиги – 21; сдвиги – 14.

Четвертая группа глубокофокусных землетрясений группируется в Японском море напротив сейсмостанции «Владивосток». Основные типы сейсмодислокаций, %: взбросы – 57; сдвиги – 29. В данной группе преобладали близгоризонтальные напряжения сжатия, ориентированные субширотно.

Таким образом, анализ каталога механизмов очагов 396 сильных землетрясений Курило-Охотского региона за 1964–2009 гг. показал, что большинство очагов землетрясений с глубиной ≤ 80 км находились в условиях преобладания близгоризонтальных сжимающих напряжений, ориентированных ортогонально островным структурам, и

имели крутую ориентацию осей растяжения. Характерный тип дислокации – взброс (56.3 %).

Для землетрясений с глубиной очага > 81 км подобной закономерности механизмов очагов не установлено, число гипоцентров землетрясений резко сокращается, характерный тип дислокаций не прослеживается.

ТЕКТОНИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ КУРИЛЬСКОЙ ОСТРОВНОЙ ДУГИ

В строении Курильской островной дуги традиционно выделяют внутреннюю, вулканическую, и внешнюю, невулканическую (в настоящее время), дуги, которые разделяет междуговой Срединно-Курильский прогиб, а также широкую, тихоокеанскую, и узкую, охотскую, подводные континентальные окраины [Сваричевский и др., 1979; Тектоника..., 1980; Геолого-геофизический..., 1987]. Внешняя дуга располагается за бровкой или внешним краем тихоокеанского шельфа Малой Курильской гряды и вершинного аваншельфа ее подводного продолжения – хребтов Южного и Северного Витязя и глубоководного бенча мористее о. Си-

мушир, а внутренняя – за бровкой охотоморских островных шельфов Большой Курильской гряды (рис. 12–15).

В рельефе тихоокеанского склона Курильской дуги по данным промера выделяют верхнюю, среднюю и нижние части склона. Первая и последняя представляют собой крутые (до ~10°) уступы, разделенные средней, ступенчатой частью склона с крупными – верхней и нижней – глубоководными ступенями (террасами). Нижний уступ высотой 1–2 и шириной до 10–12 км одновременно является и внутренним склоном Курильского желоба, который некоторые авторы ранее рассматривали в объеме всего тихоокеанского континентального склона. Внешний, пологий (3–5°), склон желоба высотой 3–4 и шириной 40–50 км имеет характерное для желобов Пацифики ступенчатое, местами клавишно-ступенчатое строение. Он ограничивает с запада уплощенную вершину краевого вала Зенкевича и опирается на дно желоба, который имеет здесь ширину 5–15 км. Желоб на глубинных разрезах МОВ в масштабе 1:1 представляет собой долину глубиной 500 м со ступенчатыми (террасированными) бортами и уплощен-

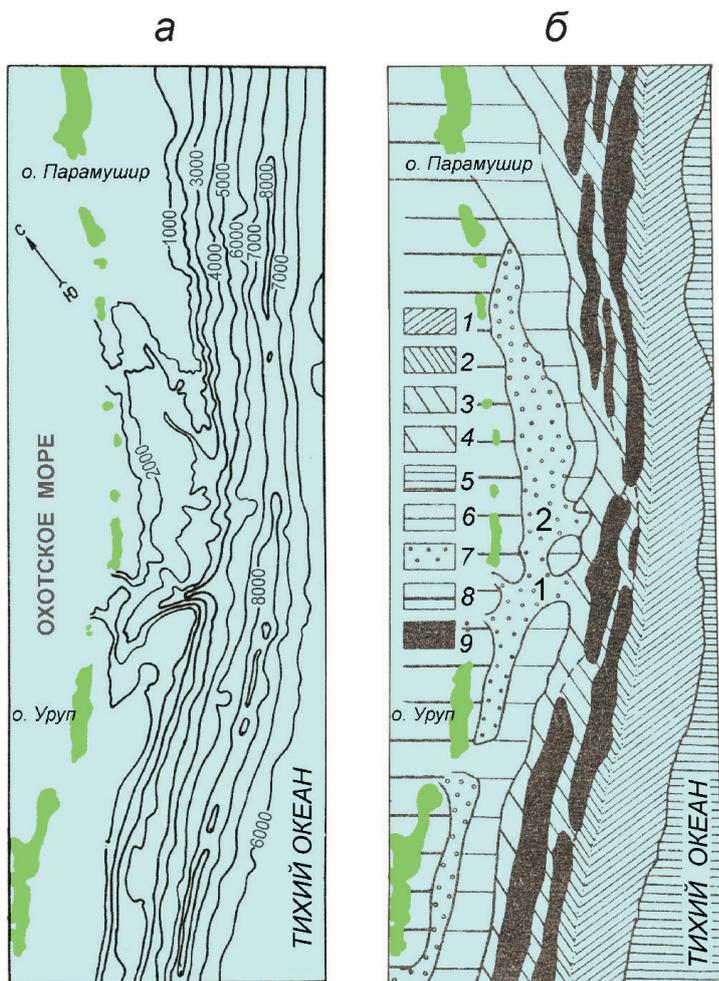


Рис. 12. Батиметрическая карта (а) [Тектоника..., 1980] и морфографическая схема (б) Курильской системы дуга-желоб

1, 2 – внешний и внутренний склоны желоба соответственно; 3, 4 – средняя, ступенчатая, и верхняя части тихоокеанского склона соответственно; 5 – вершина краевого вала; 6 – вершина внешней, невулканической (в настоящее время), дуги; 7 – междуговой Срединно-Курильский прогиб; 8 – внутренняя, вулканическая, дуга (Большая Курильская гряда); 9 – тектонические ступени (террасы) тихоокеанского склона. Цифрами на схеме обозначены: 1 – каньон и грабен Буссоль; 2 – глубоководный бенч. Сечение изобат через 1000 м

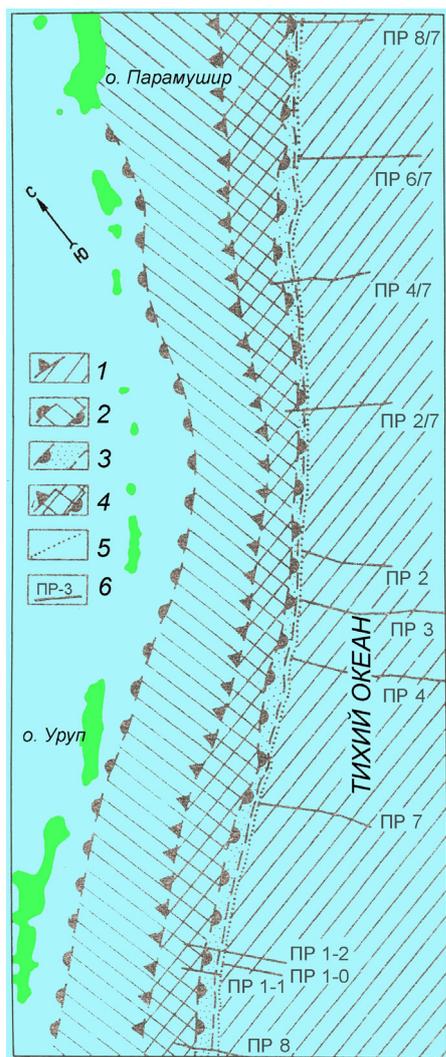


Рис. 13. Структурная схема Курильской системы дуга–желоб с положением глубинных разрезов МОВ (см. рис. 14)

1 – выступ акустического фундамента внешнего борта желоба (А); 2 – выступ акустического фундамента тихоокеанского склона (Б); 3 – аккреционная призма на внутреннем склоне желоба; 4 – региональный шарьяж Пегаса; 5 – тальвег Курильского желоба, 6 – профили НСП и МОГТ

ным, аккумулятивным дном шириной 1–3 км на глубинах до 9550–9600 м, а с учетом изменения скорости звука с глубиной – до 9717 м [Тектоника ..., 1980].

При описании тектонической структуры Курильской системы дуга–желоб существенна ее модель (см. рис. 15), разработанная с учетом данных МОВ (см. рис. 14). Ее ключевыми элементами являются два выступа акустического фундамента

(А и Б) и аккреционная призма внутреннего склона желоба.

Выступ А представляет собой пологонаклонную к Курильской дуге периферию северо-западной части плиты Пасифики, погребенную на ее тихоокеанском склоне под отложениями аккреционной призмы и регионального шарьяжа Пегаса в средней части склона. Западный край выступа погружен на 10–15 км или несколько более под верхнюю глубоководную террасу. Его местоположение предполагается по минимуму кондуктивного теплового потока и положению оси зоны Мейнца (линейная отрицательная аномалия силы тяжести в желобах по Г. Штилле), очагам региональных цунами и данным сейсмологии по расположению выхода зон Беньофа и Тараканова [Тараканов, 2004; Тараканов и др., 1977]. Несколько южнее на тихоокеанском склоне дуги Хонсю западный край плиты также погружен на значительную (10–20 км) глубину и, вероятно, обрезан зоной Беньофа, что установлено сейсмологическими данными (микроземлетрясения) более надежно [Хасегава и др., 1978].

При анализе глубинных разрезов НСП и МОГТ (см. рис. 14) важно обратить внимание на тектоническую раздробленность выступа А, особенно на профилях МОГТ, возрастающую от бровки к основанию внешнего склона желоба. Ширина ступеней варьирует от первых десятков сотен метров до первых десятков километров (ср., например, профили МОГТ 1-1, 1-0 с профилями НСП 4, 4/7). При корреляции уступов в кровле акустического фундамента и рельефе дна в большинстве случаев надежно устанавливается наклон сместителей разломов к востоку под краевой вал Зенкевича согласно падению сейсмофокальной зоны Тараканова. Считая их висячее крыло активным, приходим к выводу, что большинство разломов внешнего склона Курильского желоба являются надвигами и взбросами с горизонтальной и вертикальной амплитудами смещения до 0.5–1.5 км. При этом в строении крупных ступеней нередко наблюдается вергентность разломов – от пологих во фронте до крутых и субвертикальных обратного падения в тылу (складчатые надвиги по Г.Д. Ажгирею).

Таким образом, на внешнем склоне Курильского желоба наблюдается региональное скупивание коры с формированием мегадуплекса разломов сжатия преимущественно восточного падения. В работе [Ломтев, 2008] последнее связывают с позднекайнозойским гравитационным сползанием

ем слоев 1–4 на внешнем склоне, что сопровождается, судя по данным донных сейсмографов, сейсмической активностью, местами значительной [Тектоника ..., 1980]. Хотя традиционно здесь выделяют разломы растяжения типа нормальных сбросов, падающих в основном к оси желоба [Пишон и др., 1977; Тектоника ..., 1980; Верба и др., 2011].

Выступ Б, судя по рис. 14, включает в себя внешнюю дугу, а также верхнюю и среднюю части ее тихоокеанского склона. Последняя имеет ключевое значение для расшифровки современной структуры и тектонической истории Курильской системы дуга-желоб, поскольку ее формирует выступ акустического фундамента «посреди склона» (по Д.Е. Каригу). Здесь же намечается

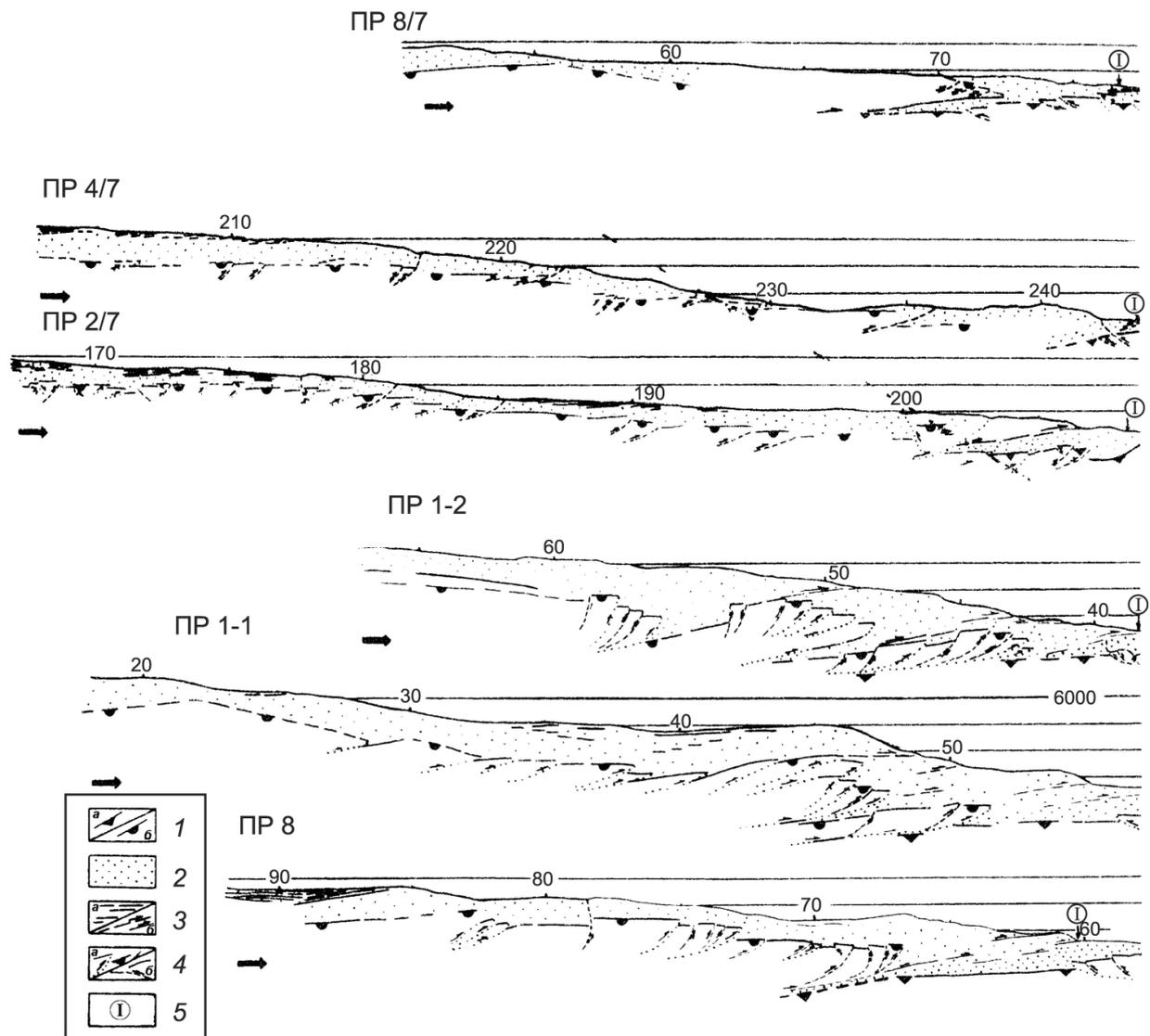


Рис. 14 (начало). Интерпретированные глубинные разрезы по профилям НСП (ПР 8/7, 6/7, 4/7, 2/7, 2-4, 7, 8) и МОГТ (ПР 1-1, 1-0, 1-2) в пределах Курильской системы дуга-желоб
1 – кровля мелового акустического фундамента внешнего борта желоба, или слой 2 СЗ плиты Пацифики (а) и тихоокеанского склона (б); 2 – кайнозойский чехол тихоокеанского склона и аккреционная призма (разрежение точек); 3 – отражающие площадки в чехле: а – линзы турбидитов, б – сместители надвигов в аккреционной призме; 4 – разломы акустического фундамента: а – установленные, б – предполагаемые; 5 – фронт аккреции и одновременно основание внутреннего склона желоба и тихоокеанского склона. Положение разрезов см. на рис. 13

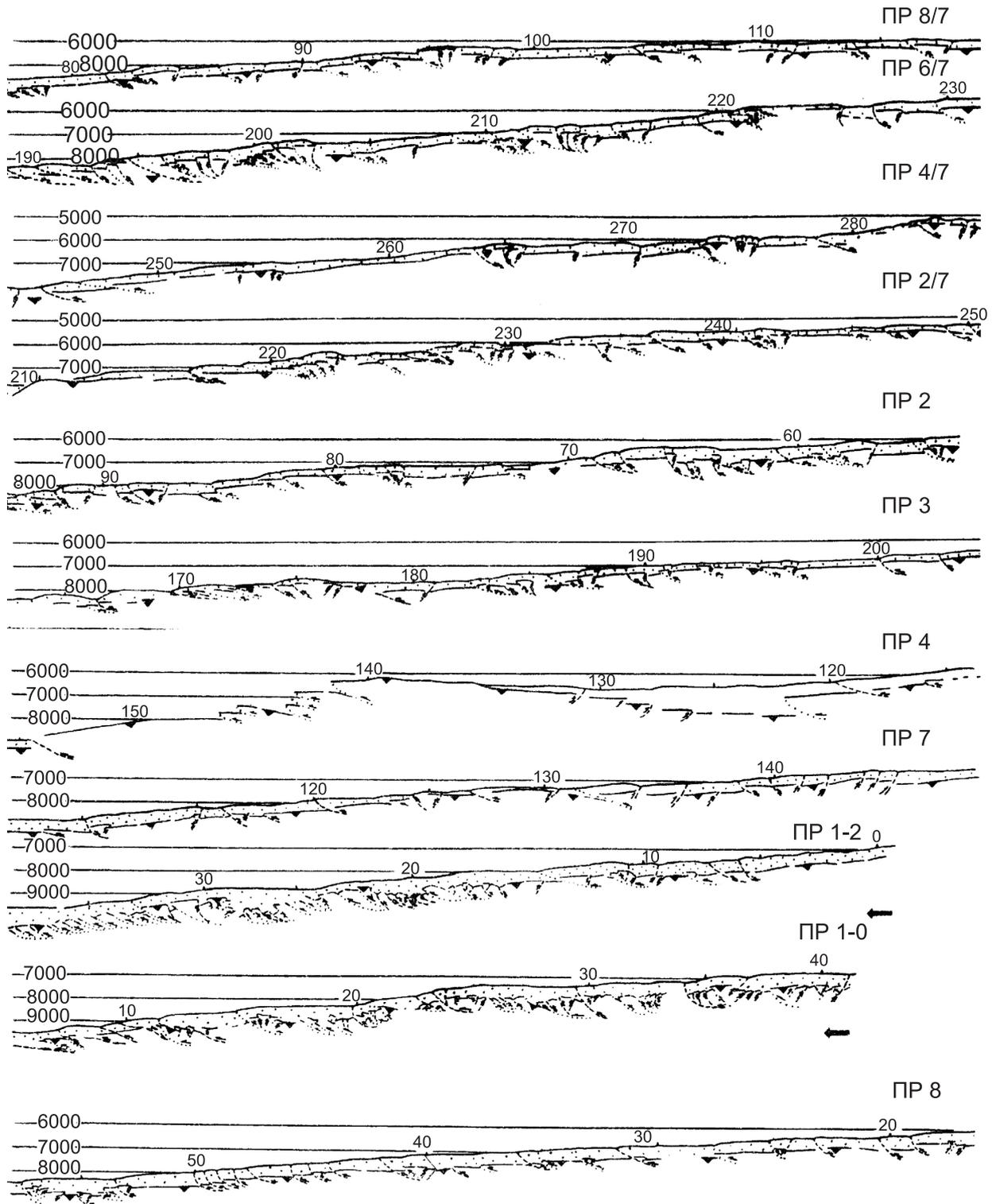


Рис. 14 (продолжение)

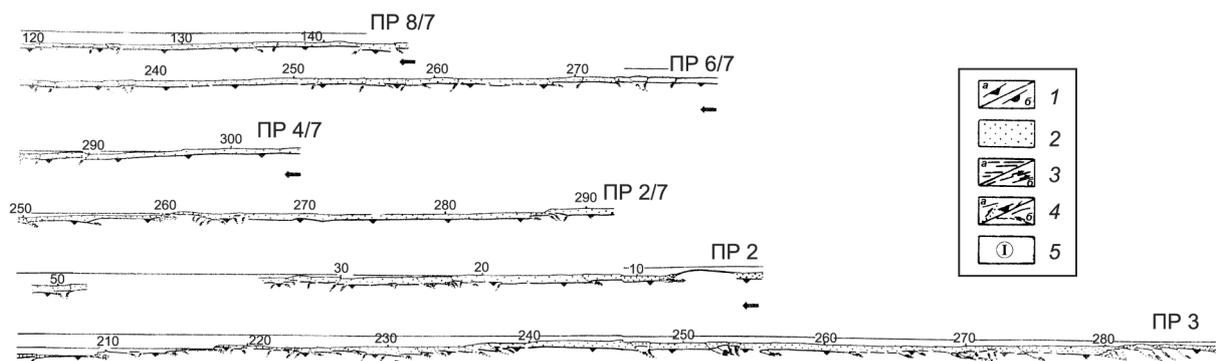


Рис. 14 (окончание)

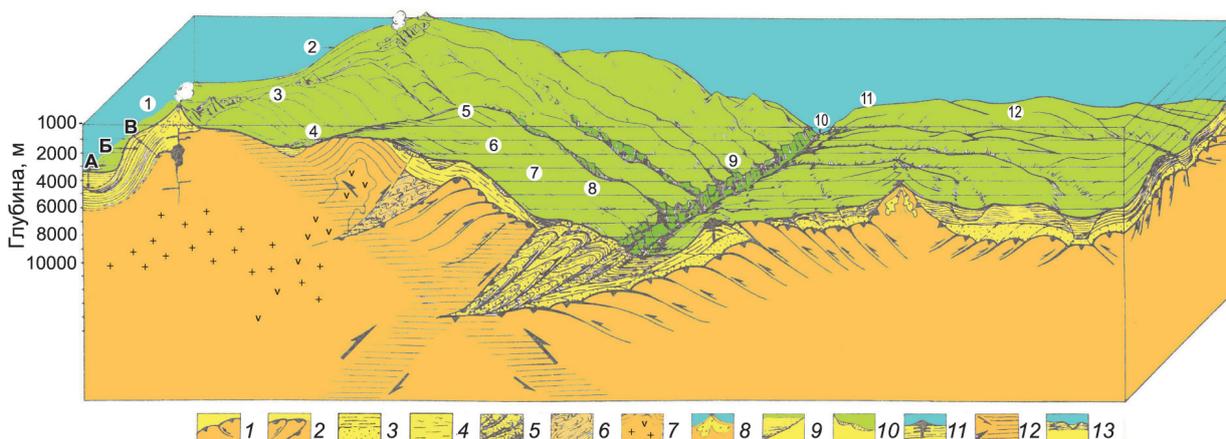


Рис. 15. Модель южного фланга Курильской системы дуга-желоб

1, 2 – кровля мелового акустического фундамента внешнего борта и средней части тихоокеанского склона (шарьяж Пегаса) соответственно; 3 – кайнозойский океанический чехол с лёссами Пацифиды и гемитерригенными осадками (фаны) выше; 4 – кайнозойский чехол тихоокеанского склона; 5 – аккреционная призма; 6 – древняя аккреционная призма миоценового(?) желоба (верхняя терраса); 7 – миоценовый(?) шарьяж внешней дуги, сложенный осадочно-вулканогенными толщами мезозоя и палеозойскими гранитоидами, прорванными молодой Курильской мегадайкой [Ломтев, Патрикеев, 2006]; 8 – разновозрастные вулканы; 9 – угловое несогласие в подошве турбидитного комплекса желоба; 10 – оползни; 11 – грязевулкан; 12 – сейсмофокальные зоны Беньофа и Тараканова; 13 – абиссальные долины, обвалованные намывными дамбами. Цифры в кружках: 1 – ложе тыловой Курильской (Южно-Охотской) бативальной впадины; 2, 3 – охотский склон и вершина внутренней вулканической дуги соответственно; 4 – Срединно-Курильский прогиб; 5 – вершина внешней дуги; 6–8 – тихоокеанский склон Курильской дуги: 6 – верхняя часть склона и верхняя глубоководная терраса, 7 – средняя часть склона, 8 – нижняя глубоководная терраса; 9–11 – нижняя часть, или внутренний склон, тальвег и внешний склон Курильского желоба соответственно; 12 – краевой вал Зенкевича. Буквами обозначены: А – молодой комплекс выполнения Курильской котловины; Б – комплекс выполнения тылового палеожелоба; В – древний комплекс выполнения котловины

выход на дно верхней фокальной плоскости зоны Беньофа. Глубинные разрезы НСП и МОГТ (ПР 1-1, 1-2) показывают строение внешней части выступа шириной 20–40 км. Здесь он состоит из нескольких клиновидных тектонических пластин, ограниченных пологими надвигами западного падения. Местами в строении пластин можно наме-

тить отдельные, более мелкие тектонические чешуи фундамента, как, например, на ПР 1-2 и 1-1. Видимое горизонтальное смещение пластин и чешуй невелико (3–8 км) и объясняется, вероятно, недостаточной мощностью излучения (ср. с профилями МОГТ 1639 и 1700 ОАО «Дальморнефтегеофизика» в работе [Тектоника..., 2004] или

данными МОГТ в Японском желобе [Гнибиденко, 1987; Initial Reports..., 1980; Ломтев, Патрикеев, 1985]).

С учетом изложенного выступ акустического фундамента в средней части тихоокеанского склона Курильской дуги можно интерпретировать как региональный шарьяж акустического фундамента (Пегаса) с горизонтальным смещением 30–40 км в центре и 50–70 км на флангах (см. рис. 14, 15). Поскольку он является внешней частью Курильской дуги, следовательно, можно говорить о шарьировании последней на прилегающее ложе Пацифики или ее Северо-Западную плиту. В плане шарьяж Пегаса располагается на выходе зоны Беньофа, точнее, в ее верхней фокальной плоскости (аналогично шарьяжу Ойасио на тихоокеанском склоне дуги Хонсю [Тихонов, Ломтев, 2011]). Поэтому его можно считать приповерхностным структурным козырьком этой сейсмофокальной зоны, а ее саму – глубинным надвигом, что согласуется с ее классической тектонической трактовкой [Сергеев, 1976].

Внешний край выступа Б располагается вдоль нижней глубоководной террасы, за которой начинается внутренний борт желоба и его аккреционная призма (см. рис. 12,б–15). Последняя на временных разрезах обычно полупрозрачна, как и кайнозойский осадочный чехол, но насыщена многочисленными дифракциями, связанными в основном с надвигами и складчатостью. Мощность призмы максимальна (1–2 км) у фронта шарьяжа Пегаса, а к востоку (фронт аккреции) и западу (под шарьяжем) утоняется до 50–100 м и менее. На расстоянии 1–8 км от основания склона призма полого надвинута на кайнозойский океанический чехол, мощность которого под ней заметно сокращается к западу (см. ПР 8, 2/7 и др. на рис. 14). Следовательно, аккреционная призма суть пакет тектонических чешуй кайнозойского осадочного чехла, сорванных шарьяжем Пегаса при его движении к востоку, что позволяет рассматривать их как покровную тектонопару шарьяж–призма (аллохтон). Последняя оказывает значительное литостатическое давление, определяющее крупное асимметричное опускание автотона и прилегающего ложа океана (краевая часть Северо-Западной плиты Пацифики).

Заметим, что надвиги и взбросы на бортах Курильского желоба (см. рис. 14, 15) имеют в основном противоположное (встречное) падение, что позволяет рассматривать его как структуру бокового сжатия коры и, вероятно, верх-

ней мантии типа рампового грабена. Заложение желоба, судя по разрыву единой неоген-ранне-четвертичной долинной сети каньонов и абиссальных каналов фанов и ряду других признаков, произошло в среднем плейстоцене – примерно 0.5–1.0 млн лет назад [Ломтев и др., 1997; Патрикеев, 2009]. Этим временем Г. Штилле датирует начало пасаденской глобальной фазы складчатости и орогенеза [Ломтев, 1989]. Тот же возраст имеют, следовательно, средняя и нижняя части тихоокеанского склона Курильской дуги, формирующая их покровная тектонопара региональный шарьяж–аккреционная призма и, вероятно, встречные сейсмофокальные зоны Беньофа и Тараканова.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

При обсуждении материалов нового каталога фокальных механизмов сильных курило-охотских землетрясений [Каталог..., 2011] и их связи с данными НСП и МОГТ по строению тихоокеанского склона Курильской дуги и одноименного желоба выделим факт распространения сейсмодислокаций сжатия (взбросы и пологие надвиги) по всей длине курильского сегмента зоны Беньофа с доминированием в зоне ее выхода на глубинах < 80 км. С точки зрения сейсмотектоники и классической тектоники, это означает, что последняя представляет собой глубинный надвиг, по которому восточный край Евразии надвинут на ложе Пацифики. Это подтверждает давнюю гипотезу надвигания континентов на ложе океана [Сергеев, 1976] и коррелирует с векторными диаграммами на рис. 4, суммирующими ориентировку тектонических напряжений в коре и верхней мантии, ориентированных ортогонально простиранию Курильской системы дуга–желоб, и ее изгибом в сторону океана. Вместе с тем определение типа сейсмодислокации по одной из двух нодалных плоскостей, падающих в сторону океана или континента, как и выбор активного крыла разломов в тектонике, пока остается на усмотрение исследователя. Независимо подтверждают факт надвигания Евразии по глубинным надвигам курильской и японской зон Беньофа данные НСП и МОГТ, приведенные на рис. 14 и в работах [Тектоника..., 2004; Тихонов, Ломтев, 2011].

Сейсмодислокации сжатия также указывают на обстановку сжатия, особенно в земной коре и подстилающей мантии, что подтверждают и дан-

ные МОВ (покровная тектонопара региональный шарьяж–аккреционная призма и рамповая структура Курильского желоба на рис. 14, 15). В этих условиях сейсмодислокации растяжения (сбросы и поддвиги), особенно на глубинах > 80 км, на первый взгляд труднообъяснимы. С нашей точки зрения, они связаны с изгибом зоны глубинного надвига [Тараканов и др., 1977], при котором возникает относительное продольное растяжение в его подошвенной части и сжатие в кровельной. Между ними располагается асейсмичный слой, в котором эти деформации компенсируются (нейтральная плоскость в моделях изгиба). Подобная трактовка опирается на открытие двухслойной структуры японского сегмента зоны Бенъофа по микроземлетрясениям с сейсмодислокациями сжатия в верхней фокальной плоскости и растяжения в нижней [Хасегава и др., 1978]. Она позволяет более обоснованно подойти к пониманию дуплета сильных Симуширских цунамигенных землетрясений 2006 и 2007 гг. [Тихонов и др., 2008], связывая первое с верхней фокальной плоскостью зоны Бенъофа (пологий надвиг к востоку), а второе – со сбросом в ее нижней плоскости.

Сдвиги в очагах сильных землетрясений курильской секции зоны Бенъофа распространены почти равномерно (10–20 %). В моделях глубинного надвига Евразии или поддвиги Тихоокеанской плиты они не имеют сколько-нибудь ясной тектонической природы. Однако с точки зрения гравитационной тектоники, проявляющей себя, например, в коровых, моно- и дивергентных срывах на углах наклона деколлементов до 0.1° [Ломтев и др., 2007; Ломтев, 2008] или надвиге Евразии к востоку, важно обратить внимание на известный пологий подъем зоны Бенъофа к северу в направлении Камчатки с 600–700 до 200–300 км [Тараканов и др., 1977]. Существующий подъем позволяет предполагать гравитационное сползание висячего крыла глубинного надвига к югу, с чем можно связывать формирование орогенной перемычки между Сахалином и Южными Курилами (горная система о. Хоккайдо), входящего структурного угла, образованного Курило-Камчатским и Идзу-Марианским глубинными надвигами (см. карты сейсмоизобат зон Бенъофа в работах [Хамада, 1977; Тараканов и др., 1977], небольшой системы дуга–желоб Хонсю между ними и, возможно, тыловой Курильской впадины Охотского моря.

Отметим также бимодальный характер распределения исследованных 396 сильных событий по глубине с максимумами в интервалах

30–50 и 150–200 км (см. рис. 2). Первый из них – наиболее значительный, и располагается, вероятно, в области пересечения встречных сейсмофокальных зон Бенъофа и Тараканова, если ориентироваться на материалы по геометрии встречных сейсмофокальных зон на тихоокеанской окраине дуги Хонсю [Хасегава и др., 1978; Тараканов, 2004]. Второй, хотя и менее значительный, максимум сейсмичности приходится на зону магмогенерации под орогенной вулканической дугой (Большая Курильская гряда и ее охотская подводная окраина), предполагаемую многими исследователями в кровле зоны Бенъофа [Тектоника..., 1980, 2004; Подводный..., 1992; Тараканов, 2004].

Особо выделим географию, или эпицентрию, сильных коровых землетрясений в интервале глубин 0–40 км (см. рис. 5), которая фиксирует зоны сейсмического затишья на флангах Курильской системы дуга–желоб как места будущих сильных землетрясений (по С.А. Федотову). Ее северный фланг, в частности, памятен катастрофическим цунамигенным Камчатским землетрясением 1952 г., разрушившим г. Северо-Курильск.

Струппированные и/или субпоперечные Курильской системе дуга–желоб цепочки сильных землетрясений на картах их эпицентров, например в районе каньона и грабена Буссоль (см. рис. 1, 5, 7, 9), вероятно, намечают активные разломы висячего крыла одноименного глубинного надвига [Сергеев и др., 1982].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итак, в строении и сеймотектонике Курильской системы дуга–желоб, судя по материалам нового каталога фокальных механизмов 396 сильных ($M \geq 6.0$) курило-охотских и частично японских землетрясений [Каталог..., 2011], ключевое значение имеет одноименный глубинный надвиг сейсмофокальной зоны Бенъофа. По данным НСП и МОГТ его структурный козырек (шарьяж Пегаса во фронте Курильской дуги) надвинулся на ложе Пацифики на несколько десятков (до 50–70) километров за последние 0.5–1.0 млн лет. Надвижение сопровождалось аккрецией кайнозойского чехла с образованием аккреционной призмы, средней и нижней частей тихоокеанского склона и значительным опусканием краевой части Северо-Западной плиты Пацифики под литостатической нагрузкой аллохтона (тектонопара региональный шарьяж–аккреционная призма).

ЛИТЕРАТУРА

- Аверьянова В.Н. Глубинная сеймотектоника островных дуг. М.: Наука, 1968. 219 с.
- Балакина Л.М. Курило-Камчатская сейсмогенная зона – строение и порядок генерации землетрясений // Физика Земли. 1995. № 12. С. 48–57.
- Васильев Б.И., Жильцов Э.Г., Суворов А.А. Геологическое строение юго-западной части Курильской системы дуга–желоб. М.: Наука, 1979. 106 с.
- Верба М.Л., Иванов Г.И., Тихонова И.М. Отсутствие признаков субдукции в строении Курильского глубоководного желоба (по данным МОВ–ОГТ на опорном профиле 1-ОМ) // Современное состояние наук о Земле: Материалы Международной конференции, посвященной памяти В.Е. Хаина, г. Москва, 1–4 февраля 2011 г. М.: Геол. фак-т МГУ им. М.В. Ломоносова, 2011. С. 318–323.
- Геолого-геофизический атлас Курило-Камчатской островной системы / Ред. К.Ф. Сергеев, М.Л. Красный. Л.: ВСЕГЕИ, 1987. 36 л.
- Гнибиденко Г.С. Структура глубоководных желобов Тихого океана (по данным МОВ–ОГТ). Владивосток: ДВО АН СССР, 1987. 50 с.
- Каталог механизмов очагов сильных ($M \geq 6.0$) землетрясений Курило-Охотского региона 1964–2009 гг. Владивосток: Дальнаука, 2011. 130 с.
- Кособоков В.Г. Мегаземлетрясения предсказуемы? // Геофизические процессы и биосфера. 2011. Т. 10, № 2. С. 5–21.
- Кропоткин П.Н. Сейсмичность, связанная с изломом погружающейся литосферной плиты (субдукцией) // Геотектоника. 1978. № 5. С. 3–6.
- Левченко Д.Г., Кузин И.П., Зубко Ю.Н., Червинчук С.Ю. Землетрясение в Японии: проблемы прогноза // Сейсмические приборы. 2011. Т. 47, № 1. С. 17–25.
- Ломтев В.Л. Методы датирования глубоководных желобов // Геология дна Тихого океана и зоны перехода к Азиатскому континенту. Владивосток: ДВО АН СССР, 1989. С. 105–111.
- Ломтев В.Л. Новые данные по тектонике и магматизму Северо-Западной Пацифики // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. 2008. № 4. С. 93–105.
- Ломтев В.Л., Патрикеев В.Н. Структуры сжатия в Курильском и Японском желобах. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1985. 141 с.
- Ломтев В.Л., Патрикеев В.Н. Сейсмические исследования ИМГиГ ДВО РАН в Северо-Западной Пацифике (1980–2005 гг.) // Вестн. ДВО РАН. 2006. № 1. С. 59–66.
- Ломтев В.Л., Патрикеев В.Н., Немченко Г.С. Сейсмостратиграфия кайнозойского осадочного чехла Северо-Западной плиты Тихого океана // Структура и вещественный состав осадочного чехла северо-запада Тихого океана. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 1997. С. 21–41.
- Ломтев В.Л., Никифоров С.П., Ким Ч.У. Тектонические аспекты коровой сейсмичности Сахалина // Вестн. ДВО РАН. 2007. № 4. С. 64–71.
- Лутиков А.И. Катастрофическое землетрясение Тохоку 11.03.2011 г.: Предварительный сейсмологический анализ // Геофизические процессы и биосфера. 2011. Т. 10, № 2. С. 37–48.
- Любушин А.А. Сейсмическая катастрофа в Японии 11 марта 2011 г.: долгосрочный прогноз по низкочастотным микросейсам // Геофизические процессы и биосфера. 2011а. Т. 10, № 1. С. 9–35.
- Любушин А.А. Анализ микросейсмического шума дал возможность оценить магнитуду, время и место сейсмической катастрофы в Японии 11 марта 2011 г. // Наука и технологические разработки. 2011б. Т. 90, № 1. С. 3–12.
- Маловичко А.А., Старовойт О.Е., Габсатарова И.П., Коломиец М.В., Чепкунас Л.С. Катастрофическое землетрясение Тохоку 11 марта 2011 г. в Японии // Сейсмические приборы. 2011. Т. 47, № 1. С. 5–16.
- Массовое определение механизмов очагов землетрясений на ЭВМ / Ж.Я. Аптекман, Т.С. Желанкина, В.Ф. Писаренко и др. // Теория и анализ сейсмических наблюдений. М.: Наука, 1979. С. 45–58.
- Патрикеев В.Н. Атлас сейсмических разрезов Северо-Западной плиты Тихого океана. М.: ГЕОС, 2009. 208 с.
- Пишон К. ле, Францито Ш., Боннин Ж. Тектоника плит. М.: Мир, 1977. 288 с.
- Подводный вулканизм и зональность Курильской островной дуги. М.: Наука, 1992. 528 с.
- Рогожин Е.А. Строение очага землетрясения Тохоку 11.03.2011 г. ($M=9.0$) в Японии, его макросейсмические, сейсмологические и геодина-

- мические проявления // Вопросы инженерной сейсмологии. 2011. Т. 38, № 1. С. 5–20.
- Рогожин Е.А., Юнга С.Л., Родина С.Н. Особенности реализации сейсмоструктурных деформаций при генезисе очага землетрясения Тохоку 11.03.2011 г. // Геофизические процессы и биосфера. 2011. Т. 10, № 2. С. 22–36.
- Родкин М.В., Тихонов И.Н. Мегаземлетрясение в Японии 11 марта 2011 г.: величина события и характер афтершоковой последовательности // Геофизические процессы и биосфера. 2011. Т. 10, № 1. С. 64–80.
- Рудик М.И., Поплавская Л.Н. Каталог механизмов очагов сильных ($M \geq 6.0$) землетрясений Курило-Охотского региона (1964–1982 гг.). Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 1987. 211 с.
- Сваричевский А.С., Ломтев В.А., Патрикеев В.Н. Новые данные по геоморфологии южной части Курильского глубоководного желоба // Структура осадочных отложений Курило-Камчатского желоба. Южно-Сахалинск: СахКНИИ ДВНЦ АН СССР, 1979. С. 37–50.
- Сергеев К.Ф. Тектоника Курильской островной системы. М.: Наука, 1976. 240 с.
- Сергеев К.Ф., Ким Ч.У., Кочергин Е.В. Поперечные глубинные разломы Курильской островной системы // Докл. АН СССР. 1982. Т. 264, № 2. С. 412–417.
- Сидорин А.Я. Выдающееся достижение Российской академии наук: успешный прогноз землетрясения в Японии 11 марта 2011 г. // Геофизические процессы и биосфера. 2011а. Т. 10, № 1. С. 5–8.
- Сидорин А.Я. Мегаземлетрясения предсказуемы! // Наука и технологические разработки. 2011б. Т. 90, № 1. С. 45–48.
- Симбирева И.Г., Федотов С.А., Феофилактов В.Д. Неоднородность поля напряжений Курило-Камчатской дуги по сейсмическим данным // Геология и геофизика. 1976. № 1. С. 70–85.
- Тараканов Р.З. Новый взгляд на природу сейсмофокальной зоны // Геодинамика, геология и нефтегазоносность осадочных бассейнов Дальнего Востока России. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2004. Т. 1. С. 157–175.
- Тараканов Р.З., Ким Ч.У., Сухомлинова Р.И. Закономерности пространственного распределения гипоцентров Курило-Камчатского и Японского регионов и их связь с особенностями геофизических полей // Геофизические исследования зоны перехода от Азиатского континента к Тихому океану. М.: Наука, 1977. С. 67–77.
- Тектоника и углеводородный потенциал Охотского моря. Владивосток: ДВО РАН, 2004. 160 с.
- Тектоника Курило-Камчатского глубоководного желоба. М.: Наука, 1980. 179 с.
- Тихонов И.Н., Ломтев В.А. Великое Японское землетрясение 11 марта 2011 г.: тектонические и сейсмологические аспекты // Геофизические процессы и биосфера. 2011. Т. 10, № 2. С. 49–66.
- Тихонов И.Н., Василенко Н.Ф., Золотухин Д.Е. и др. Симуширские землетрясения и цунами 15 ноября 2006 г. и 13 января 2007 г. // Тихоокеанская геология. 2008. Т. 27, № 1. С. 3–17.
- Трубицын В.П. Модель Японского землетрясения 2011 г. ($M=9.0$) // Геофизические процессы и биосфера. 2011. Т. 10, № 3. С. 5–19.
- Уэда С. Окраины глубоководных желобов северо-западной части Тихого океана // Геология континентальных окраин. М.: Мир, 1978. Т. 2. С. 170–191.
- Хамада К. Аномалии времен пробега продольных сейсмических волн и строение верхней мантии в Японии // Геофизические исследования зоны перехода от Азиатского континента к Тихому океану. М.: Наука, 1977. С. 40–55.
- Хасегава А., Умино Т., Такаги А. Двухслойная структура глубинной сейсмической зоны островной дуги Северо-Восточной Японии // Новые данные о строении коры и верхней мантии Курило-Камчатского и Японского регионов. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1978. С. 68–75.
- Шебалин П.Н. Широкомасштабная краткосрочная активизация сейсмичности перед сильнейшими землетрясениями Японии и Курил // Геофизические процессы и биосфера. 2011. Т. 10, № 1. С. 36–46.
- Юнга С.Л. Анализ временных вариаций высвобождения сейсмоструктурных деформаций в очаговых зонах подготовки крупных землетрясений // Наука и технологические разработки. 2011. Т. 90, № 1. С. 27–34.
- Initial reports of the deep-sea drilling project. Washington: U.S. Govern. Printing Office, 1980. V. 56/57, pt. 1. 629 p.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ЛОМТЕВ Владимир Леонидович – кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН. 693022, г. Южно-Сахалинск, ул. Науки, д. 16. Тел.: 8 (424) 279-16-90 (вахта), доб. 323. E-mail: lomtev@imgg.ru

НАГОРНЫХ Татьяна Васильевна – научный сотрудник, Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН. 693022, г. Южно-Сахалинск, ул. Науки, д. 16. Тел.: 8 (424) 279-16-90 (вахта), доб. 225. E-mail: nagornyh@imgg.ru

САФОНОВ Дмитрий Александрович – кандидат физико-математических наук, научный сотрудник, Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН. 693022, г. Южно-Сахалинск, ул. Науки, д. 16. Тел.: 8 (424) 279-33-35. E-mail: Safonov@imgg.ru

ABOUT STRUCTURE AND SEISMOTECTONICS OF THE KURIL ARC-TRENCH SYSTEM

V.L. LOMTEV, T.V. NAGORNYH, D.A. SAFONOV

Institute of Marine Geology and Geophysics, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

Abstract. Peculiarities of structure and seismotectonics of the Kuril arc-trench system and connected with them opposite seismofocal Benioff and Tarakanov zones analyse from the new regional catalogue of focal mechanisms of 396 strong ($M \geq 6.0$) Kuril-Okhotsk and partly Japan earthquakes by 1964–2009 years, and also single- and multichannel continuous seismic profiling data of wave reflection method. It is showed, that the first is the deep thrust which Kuril arc thrusting at the Pacific abyssal floor by some tens (to 50–70) kilometers at last 0.5–1.0 mln years ago (Pasadenan global phase of folding and orogenesis by H. Stille). Middle and low of the Pacific slope, regional Pegas nappe and accretionary prism (tectono-pair), ramp structure of the Kuril trench and possibly opposite seismofocal zones are formed by thrusting.

Keywords: Kuril arc-trench system, opposite seismofocal Benioff and Tarakanov zones, focal mechanism of earthquake, deep thrust, Pegas nappe, accretionary prism, acoustical basement, Cenozoic sedimentary cover, types of seismodislocations.