

УДК 550.348:550.834(265.5)

В.Л. Ломтев, Т.В. Нагорных, Д.А. Сафонов

Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск

ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ И СЕЙСМОТЕКТОНИКИ КУРИЛЬСКОЙ СИСТЕМЫ ДУГА-ЖЕЛОБ

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 сейсмо-тектоники 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 надвинута на ложе Пацифики на несколько десятков (до 50–70) километров 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, шарьяж Пегаса и аккреционная призма (тектонопара), рамповая структура Курильского желоба и, вероятно, встречные сейсмофокальные зоны.

Ключевые слова: система дуга-желоб, сейсмофокальная зона, фокальный механизм землетрясения, глубинный надвиг, шарьяж, аккреционная призма, кайнозойский чехол.

Введение

Геология и геофизика Курильской системы дуга-желоб изучается около 100 лет сначала в основном японскими, а в послевоенное время отечественными исследователями [1–4]. Основными вехами стали Международный геофизический год, когда ИФЗ АН СССР провел глубинное сейсмическое зондирование, определившее основные черты строения земной коры, и региональная геолого-геофизическая съемка НИС «Пегас» СахКНИИ, включавшая промер, НСП МОВ (непрерывное сейсмопрофилирование методом отраженных волн), драгирование, грави- и магнитометрию [3, 4]. Позднее трест «Дальморнефтегеофизика» отработал несколько профилей МОГТ (метод общей глубинной точки [4–6]). В итоге удалось наметить черты строения и истории развития внешней, невулканической (в настоящее время — Малая Курильская гряда и ее подводное продолжение хребет Витязя), внут-

© В.Л. ЛОМТЕВ, Т.В. НАГОРНЫХ, Д.А. САФОНОВ, 2013

ренней, вулканической дуги (Большая Курильская гряда) и Курильского желоба. Вместе с тем не сняты расхождения в трактовках, особенно, после открытия на ложе СЗ Пацифики по данным бурения и НСП континентальных, прибрежных и шельфовых фаций позднего мезозоя — раннего кайнозоя и сменивших их позднекайнозойских глубоководных фанов (конусы выноса) каньонов на краевом вале Зенкевича (Хоккайдо) и Камчатского контурного мегафана мористее в котловине Тускарора [7—9].

Сейсмотектоника региона также изучается продолжительное время и в основном сахалинскими сейсмологами (ИМГиГ и Сахалинский филиал Геофизической службы РАН) по материалам стационарных наблюдений на сеймостанциях региона и мировой сети (эпи- и гипоцентрия, 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 [10—15]. Установлено, что основной вклад в региональную сейсмичность вносят встречные сейсмофокальные зоны Беньофа и Тараканова, выходящие на дно на внешней дуге и в желобе [14], а также мелкофокусная сейсмичность вероятно аллохтонной коры, особенно в молодых орогенных морфоструктурах и их активных разломах [3,16]. Вместе с тем тектонические аспекты сейсмичности, строение и история развития рассматриваемого региона до сих пор дискутируются. Так, в теории фиксизма предполагают сбросовую или сбросо-оползневую структуру Курильского желоба [3,5,17] как структуры растяжения и опускания. Такой подход основан на прямой интерпретации временных разрезов НСП со сложным волновым полем и многочисленными помехами, что требует их минимизации или устранения и построения глубинных разрезов в реальном (1:1) масштабе. Однако он не объясняет формирование аккреционной призмы, регионального шарьяжа акустического фундамента и смежных поднятий вала Зенкевича и Курильской дуги высотой 5 и 10 км соответственно, изгиб системы дуга-желоб и курильской секции зоны Беньофа в сторону океана. В тектонике плит на внешнем склоне Курильского желоба обычно предполагают растяжение и опускание блоков субдуцирующей с мела Тихоокеанской плиты по системе нормальных сбросов, а на внутреннем склоне — оползни, сбросы, аккрецию кайнозойского осадочного чехла с чешуйчатыми надвигами западной вергентности (см. обзор в [6]) или, напротив, его субдукцию в депрессиях фундамента [18, 19]. Т.о. на склонах Курильского желоба предполагают разный стиль деформаций и тектонического строения. Не менее значительны расхождения по возрасту или времени заложения его и других тихоокеанских желобов, варьирующие от юры-мела до плейстоцена-голоцена (см. обзор в [20]).

С учетом катастрофических Симуширских 2006—2007 гг. и Великого Японского землетрясений в марте 2011 г., вызвавших цунами высотой более 10—30 м [15, 21], акцент в данной работе сделан на строении и сейсмотектонике зоны Беньофа, крупнейшего глубинного разлома Земли [13, 14]. В ее основу легли материалы нового каталога фокальных механизмов 396 сильных ($M \geq 6,0$) курило-охотских и частично япономорских землетрясений за 1964—2009 гг. (рис. 1—7), подготовленного по современным международным стандартам [22], а также глубинные разрезы НСП и МОГТ, построенные способом апланатных поверхностей (огигающих фронтов волн) в масштабе 1:1 с точностью положения отражающих площадок 50—100 м (рис. 8—11, а—в).

Материалы каталога. На основе [22] рассмотрены связи между сейсмодислокациями и строением курильской секции зон Беньофа и Тараканова, в пределах которой они проявляются, путем статистической интерпретации результатов определения механизма очага, а также рассмотрением конкретных картин ориентировки напряжений и других характеристик очагов внутри зоны. Последнее позволит разделить сейсмодислокации по их значимости, что крайне необходимо для определения роли отдельных типов дислокаций в формировании структур зоны. В качестве методической основы решаемой задачи приняты базовые алгоритмы программы «Механизм» [23]. В ней определяется не одно «наилучшее» решение, а вся совокупность решений, совместимых с наблюдаемыми данными (85 % 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. [22].

По данным каталога и рис. 1—5 отмечается неравномерное распределение землетрясений в плане и по глубине, где выделяются три группы с $H \leq 80$ км (65,1 %), 81—300 км (22,6 %) и 301—700 км (12,3 %). Анализ распределения сейсмодислокаций показал, что подавляющее большинство очагов сильных землетрясений

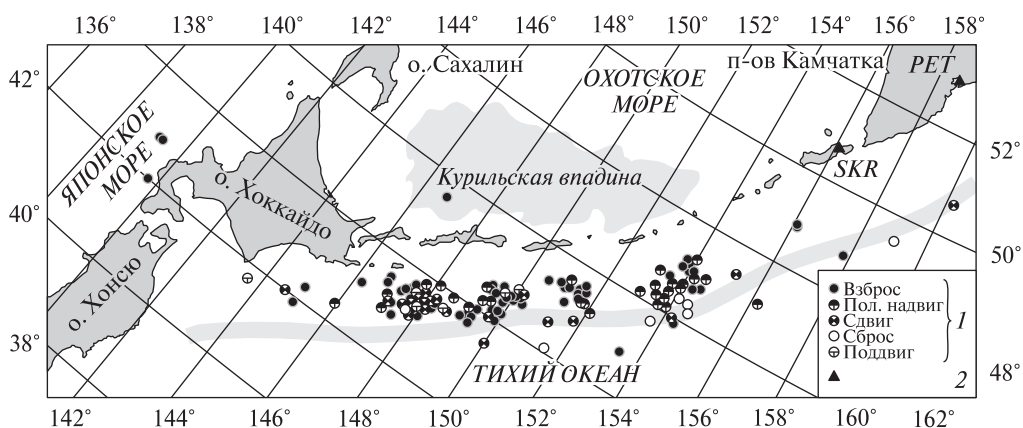


Рис. 1. Карта сейсмодислокаций на глубинах 0—40 км: 1 — типы, 2 — сейсмостанции

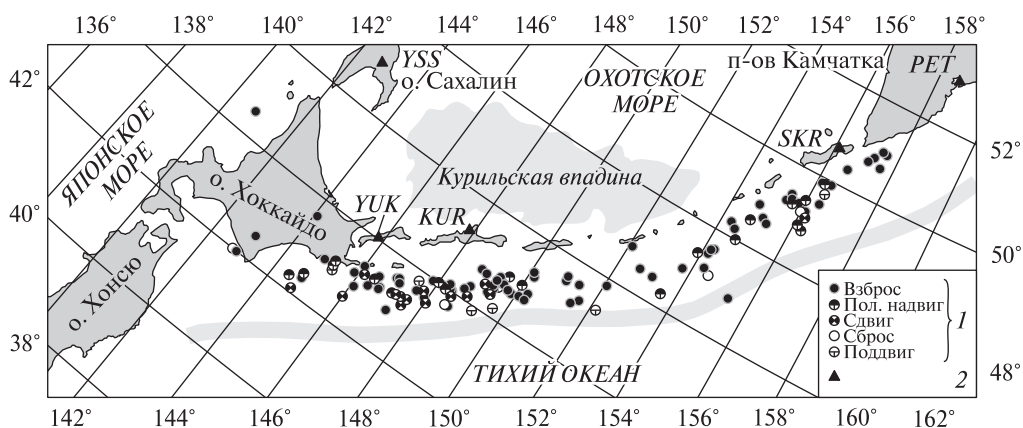


Рис. 2. Карта сейсмодислокаций на глубинах 41—80 км: 1 — типы, 2 — сейсмостанции

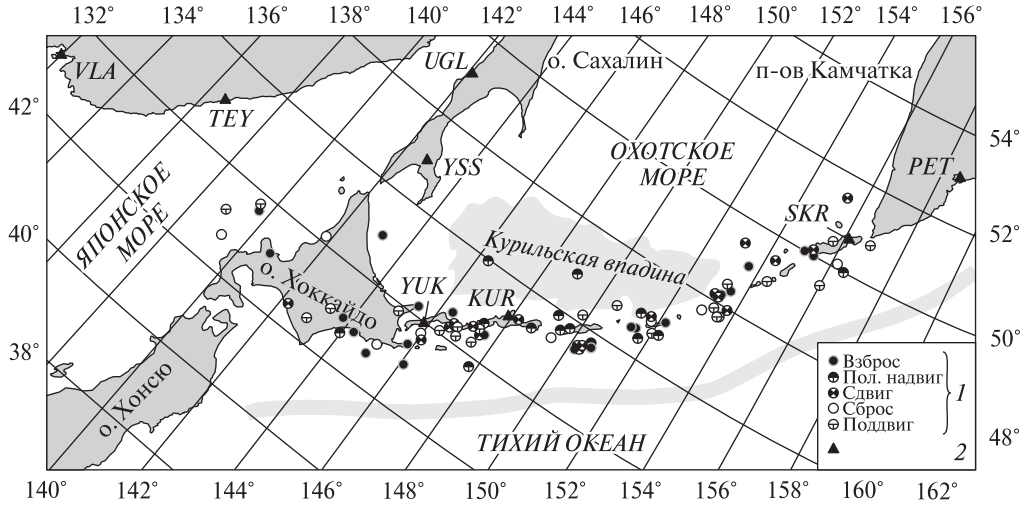


Рис. 3. Карта сейсмодислокаций на глубинах 81—300 км: 1 — типы, 2 — сейсмостанции

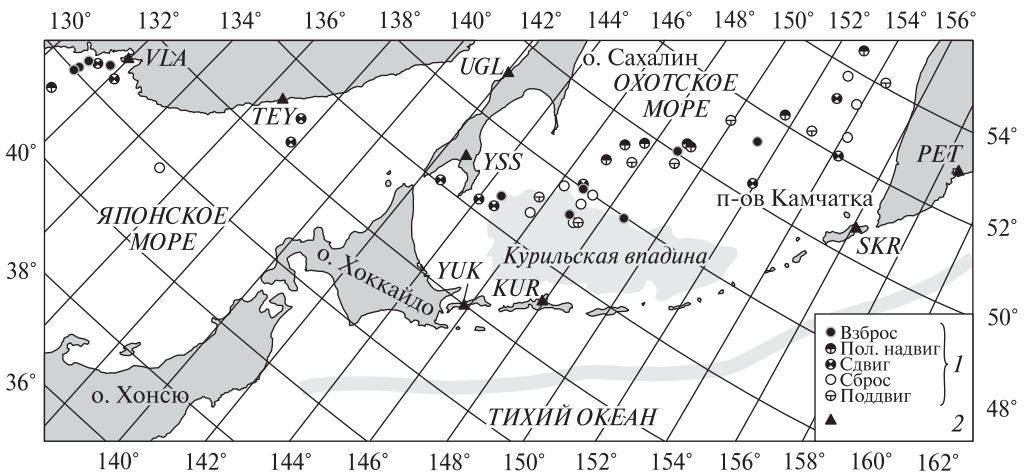


Рис. 4. Карта сейсмодислокаций на глубинах 301—700 км: 1 — типы, 2 — сейсмостанции

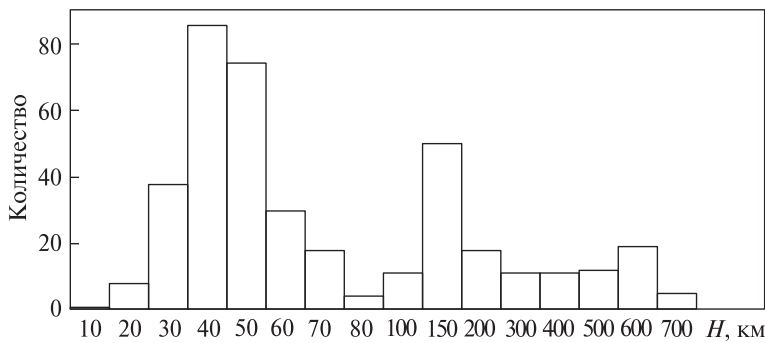


Рис. 5. Гистограмма распределения сильных землетрясений по глубинам

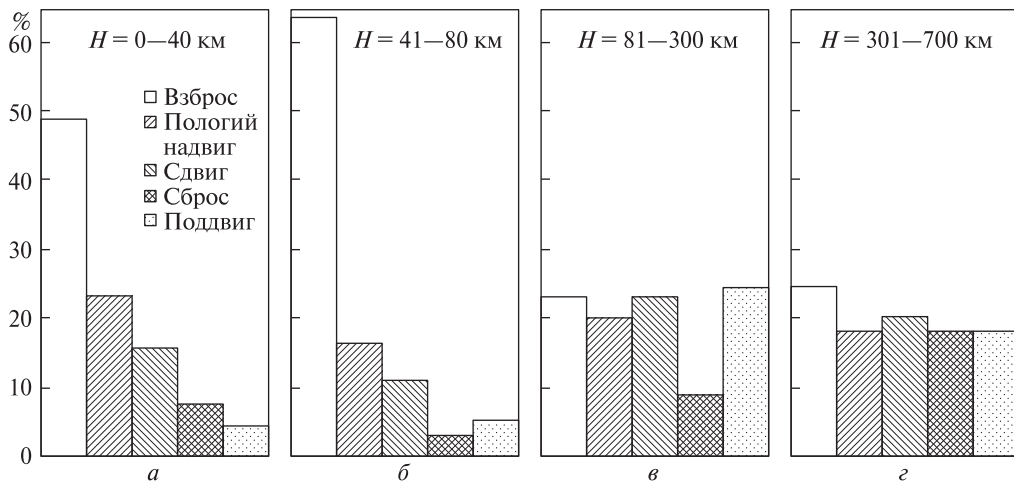


Рис. 6. Гистограмма распределения типов сейсмодислокаций по глубинам (а–г)

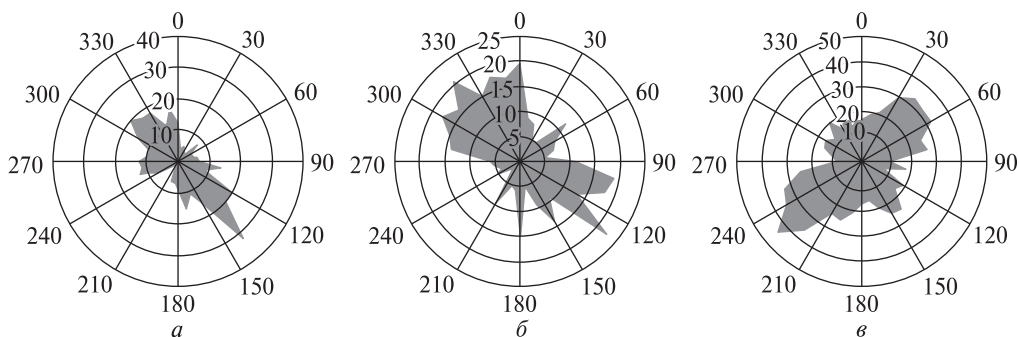


Рис. 7. Векторные диаграммы: а — напряжения сжатия; б — напряжения растяжения; в — азимуты простираения нодальных плоскостей (NP1, NP2)

($M \geq 6,0$) региона находилось под воздействием напряжений сжатия, которое обусловило подвижки типа взброса (45 % от 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 числа сейсмодислокаций на разных интервалах глубин были построены гистограммы (рис. 6).

Из них следует, что для глубин 0–40 км, практически как и для всего каталога механизмов [22], преобладали взбросы — 48,9 %, пологие надвиги — 23,3 %, сдвиги — 16%, сбросы — 10 %, а поддви́гов на 50 % меньше, чем для всего каталога. Для землетрясений на глубинах 41–80 км увеличилось число взбросов на 32%, а число остальных сейсмодислокаций уменьшилось на 25–41 % (рис. 6, б). В дальнейшем с увеличением глубины очагов землетрясений количество разных типов сейсмодислокаций стало уравниваться. Так, на глубинах 81–300 км взбросы составили 23,3 %, пологие надвиги — 20 %, сдвиги — 23,3 %, поддвиги — 21,4 %. Исключением являются сбросы — 8,9 % (рис. 6, в). В интервале глубин 301–700 км количество типов сейсмодислокаций колебалось от 18 % до 23 %.

Несмотря на многообразие механизмов, для них отчетливо выявляются общие свойства. Для выявления последних нами был применен наиболее наглядный способ (рис. 7) — способ построения векторных диаграмм частот повторения пространственных параметров, характеризующих механизм очага, осредненный интервал принят в 10° . На рис. 7, *a—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 (рис. 7, *a*). Один из них находится в интервале от 120° до 150° (или $300^\circ—330^\circ$). 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 150° (или $280^\circ—360^\circ$) в противоположном направлении (рис. 7, *б*). Особо подчеркнем, что горизонтальная проекция напряжений сжатия ориентирована преимущественно под прямым углом к Курильской дуге и желобу. Этот результат отмечается и в работах Л.М. Балакиной [11].

На рис. 7, *в* видно, что азимуты простирания нодальных плоскостей имеют тоже два преимущественных направления. Один из них составляет от 220 до 260° относительно направления на север, и подавляющее большинство нодальных плоскостей ориентированы вдоль простирания Курильской дуги со средним углом падения $\sim 50^\circ$ 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 [10]. 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 на глубинах 0—40 км. Очаги мелкофокусных землетрясений образуют несколько обособленных групп между Курильскими о-вами и осью одноименного желоба. В каждой из них преобладает конкретный тип сейсмодислокаций (см. рис. 1). Несмотря на то, что большинство коровых землетрясений находились в условиях преобладания близгоризонтальных напряжений сжатия, ортогональному простиранию Курильской дуги, основные типы сейсмодислокаций в этих группах разные. Первая группа, довольно компактная (37 событий), расположена напротив пролива Екатерины. В ее очагах преобладали взбросы (40,5 %) и сдвиги (32,5 %). Землетрясения второй и третьей компактных групп произошли мористее о-вов 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 преобладали пологие надвиги (50 %) и взбросы (32 %). В эту группу входят и недавние сильнейшие Симуширские события [15]. Первое из них является пологим надвигом, второе — сброс.

Дополнительно можно выделить цепочку отдельных сейсмических событий вдоль о. Хоккайдо, где чередуются отдельные сейсмодислокации: поддвиг, сдвиг и 2 взброса. Вторая цепочка сейсмических событий оконтуривает ось желоба. В ней сейсмодислокации чередуются: для 50% случаев землетрясения произошли в условиях близгоризонтального сжатия, а для остальных — близгоризонтального растяжения.

На южном и особенно северном флангах Курильской системы дуга-желоб, возможно включая и Южную Камчатку, особо отметим зоны отсутствия сильных землетрясений с известными механизмами в земной коре, которые, по С.А. Федотову, могут намечать места возникновения будущих сильных землетрясений. Проведено сопоставление ориентации напряжений сжатия в очагах коровых землетрясений с простиранием Курильской дуги. Отмечено, что для первой и четвертой групп землетрясений преобладают напряжения сжатия, перпендикулярные дуге и близкие к горизонтальным. В остальных группах прослеживаются горизонтальные напряжения сжатия, ориентированные субмеридионально, хотя присутствуют отдельные события субширотного направления.

Основные типы сейсмодислокаций на глубинах 41—80 км. На рис. 2 представлены основные типы сейсмодислокаций на глубинах 41—80 км. Гипоцентры этого интервала 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. В этом районе большинство землетрясений возникали 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 %). На юго-востоке этой зоны встречаются более крутые субмеридиональные и субширотные напряжения сжатия.

Основные типы сейсмодислокаций на глубинах 81—300 км. Гипоцентры землетрясений в промежуточном интервале глубин (22,6 % от общего числа землетрясений) образуют довольно узкую полосу непосредственно под Курильскими о-вами (рис. 3, 5), разбиваясь на небольшие группы. В этом районе большинство землетрясений происходило в условиях преобладания (хотя и не столь существенного) сжимающих напряжений. Доминируют довольно крутые субмеридиональные и реже субширотные направления. Для осей растяжения характерны также крутые субмеридиональные и субширотные направления. В общем числе случаев напряжения сжатия, перпендикулярные к структурам Курильской дуги и близкие к горизонтальным, представляют единичные события. Сейсмодислокации распределены по типам: сдвиги — 25 %, взбросы — 24 %, поддвиги — 25 %, пологие надвиги — 16 %, сбросы составляют только 10 % от общего количества сейсмодислокаций в группе. Выделяется небольшая группа землетрясений между о. Хоккайдо и побережьем Приморья. Они произошли как в условиях растяжения (поддвиг — 32 %, сброс — 17 %), так и в условиях сжатия (взброс, пологий надвиг, сдвиг — по 17 %), ориентированных диагонально островной дуге.

Основные типы сейсмодислокаций на глубинах 301—700 км. Гипоцентры глубокофокусных землетрясений с $H = 301—700$ км (12,3 % от общего числа землетрясений) протягиваются широкой полосой от западного побережья п-ва Камчатка до зал. Петра Великого, образуя разобценные группы (рис. 4, 5). В каждой группе преобладают конкретные напряжения и типы сейсмодислокаций. Первая группа широкой полосой тянется вдоль п-ва Камчатка, где преобладали близгоризонтальные растягивающие напряжения, ориентированные субширотно. Распределение по типам сейсмодислокаций: сбросы — 25 %, поддвиги — 25 %, сдвиги — 25 %, пологие надвиги — 17 %, взбросы — 8 %.

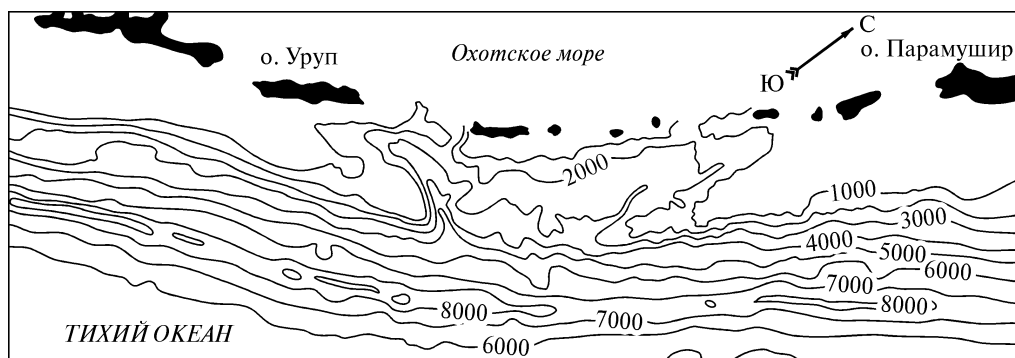


Рис. 8. Батикарта Курильской системы дуга — желоб [3]. Сечение изобат через 1000 м

Вторая группа расположена севернее Курильской впадины. Основной тип сейсмодислокаций — пологий надвиг — 62 %, взброс — 13 %, подвиг — 25 %, преобладали довольно крутые напряжения сжатия, ориентированные ортогонально или субмеридионально островным структурам.

Третья группа землетрясений расположена на северо-западе этой впадины. Они произошли в условиях преобладания близгоризонтальных растягивающих напряжений, ориентированных диагонально Курильской дуге. Основные сейсмодислокации: сбросы — 37 %, взбросы — 28 %, подвиги — 21 %, сдвиги — 14 %.

Четвертая группа землетрясений локализована в Японском море напротив сейсмостанции «Владивосток», основные типы сейсмодислокаций — взбросы — 57 %, сдвиги — 29 %. В данной группе преобладали близгоризонтальные напряжения сжатия, ориентированные субширотно.

Анализ каталога механизмов очагов 396 сильных землетрясений Курило-Охотского региона за 1964—2009 гг. показал, что большинство очагов землетрясений с глубиной $H \leq 80$ км находились в условиях преобладания близгоризонтальных сжимающих напряжений, ориентированных ортогонально Курильской системе дуга-желоб с и крутой ориентацией осей растяжения. Характерный тип дислокации: взброс — 56,3 %. Для землетрясений с глубиной очага $H > 81$ км данная закономерность механизмов очагов исчезает, а число гипоцентров резко сокращается, характерный тип дислокаций не прослеживается.

Тектоническое строение. В строении Курильской островной дуги выделяют внутреннюю, вулканическую и внешнюю, невулканическую (в настоящее время) дуги, разделенные междуговым Срединно-Курильским прогибом, а также широкую, тихоокеанскую и узкую, охотскую подводные континентальные окраины [1—3, 6]. Первая выделяется за внешним краем тихоокеанского шельфа Малой Курильской гряды, вершинного аваншельфа ее подводного продолжения (хребты Южного и Северного Витязя) и глубоководного бенча мористее о. Симушир, вторая — за бровкой охотоморских шельфов островов Большой Курильской гряды (рис. 8—11).

В рельефе тихоокеанского склона по данным промера выделяют верхнюю, среднюю и нижние части. Первая и последняя представляют собой крутые (до $\sim 10^\circ$) 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

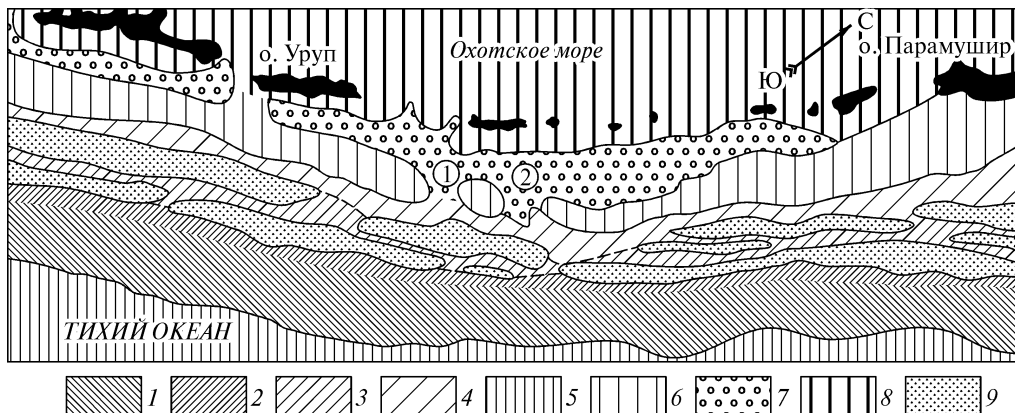


Рис. 9. Морфографическая схема Курильской системы дуга-желоб: 1, 2 — внешний и внутренний склоны желоба соответственно, 3, 4 — средняя, ступенчатая и верхняя части тихоокеанского склона соответственно, 5 — вершина краевого вала, 6 — вершина внешней дуги, 7 — Срединно-Курильский прогиб, 8 — внутренняя, вулканическая дуга, 9 — ступени (террасы). Цифры на схеме: 1 — каньон и грабен Буссоля, 2 — глубоководный бенч

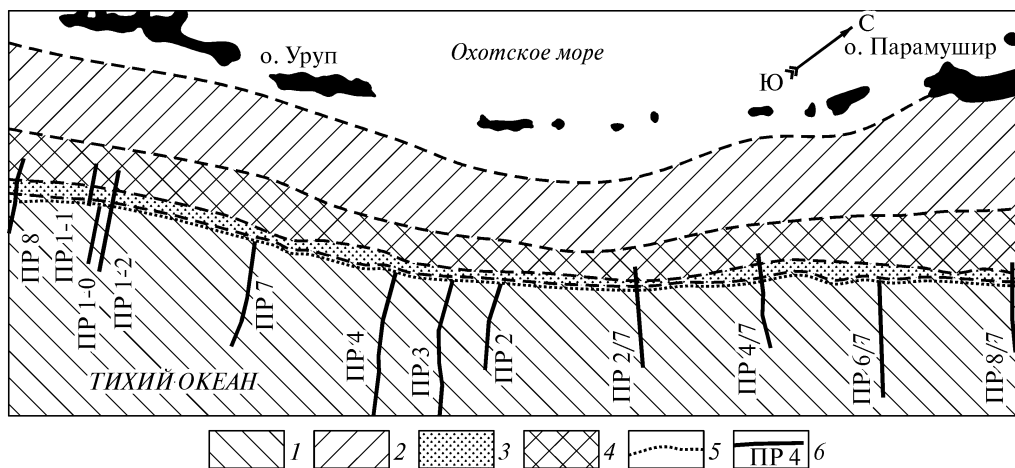


Рис. 10. Структурная схема с положением глубинных разрезов МОВ (см. рис. 11, а–в): 1 — выступ акустического фундамента внешнего борта желоба (А), 2 — выступ акустического фундамента тихоокеанского склона (Б), 3 — аккреционная призма на внутреннем склоне желоба, 4 — региональный шарьяж Пегаса, 5 — тальвег Курильского желоба, 6 — профили НСП и МОГТ

Курильского желоба. Внешний, пологий (3–50) склон желоба высотой 3–4 и шириной 40–50 км имеет ступенчатое, местами клавишно-ступенчатое, строение. Он ограничивает с запада уплощенную вершину краевого вала и опирается на дно желоба шириной 5–15 км. Последнее на глубинных разрезах МОВ в масштабе 1:1 (рис. 11, а–в) представляет собой долину глубиной 500 м со ступенчатыми (террасированными) бортами и уплощенным, аккумулятивным дном шириной 1–3 км на глубинах до 9550–9600 м, а с учетом изменения скорости звука с глубиной — до 9717 м [3].

При описании структуры тихоокеанского склона ключевыми элементами являются выступы акустического фундамента А и Б и аккреционная призма

внутреннего склона желоба. Выступ А представляет собой пологонаклонную к Курильской дуге периферию СЗ плиты Пацифики, погребенную под аккреционной призмой и шарьяжем Пегаса в средней части склона. Его западный край погружен на ~10–15 км под верхней глубоководной террасой, где предполагается по минимуму теплопотока и положению оси зоны Мейнеца (линейная отрицательная аномалия силы тяжести в желобах по Г. Штилле), очагам региональных цунами и данным сейсмологии по местоположению выхода зон Беньофа и Тараканова [13, 14]. На соседнем тихоокеанском склоне дуги Хонсю западный край выступа А погружен на значительную (10–20 км) глубину, погребен под шарьяжем Ойасио и аккреционной призмой и вероятно обрезан верхней плоскостью зоны Беньофа [6, 24].

При анализе рис. 11, а–в обратим внимание на 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 (сравни, например, профили МОГТ 1–1, 1–0 с

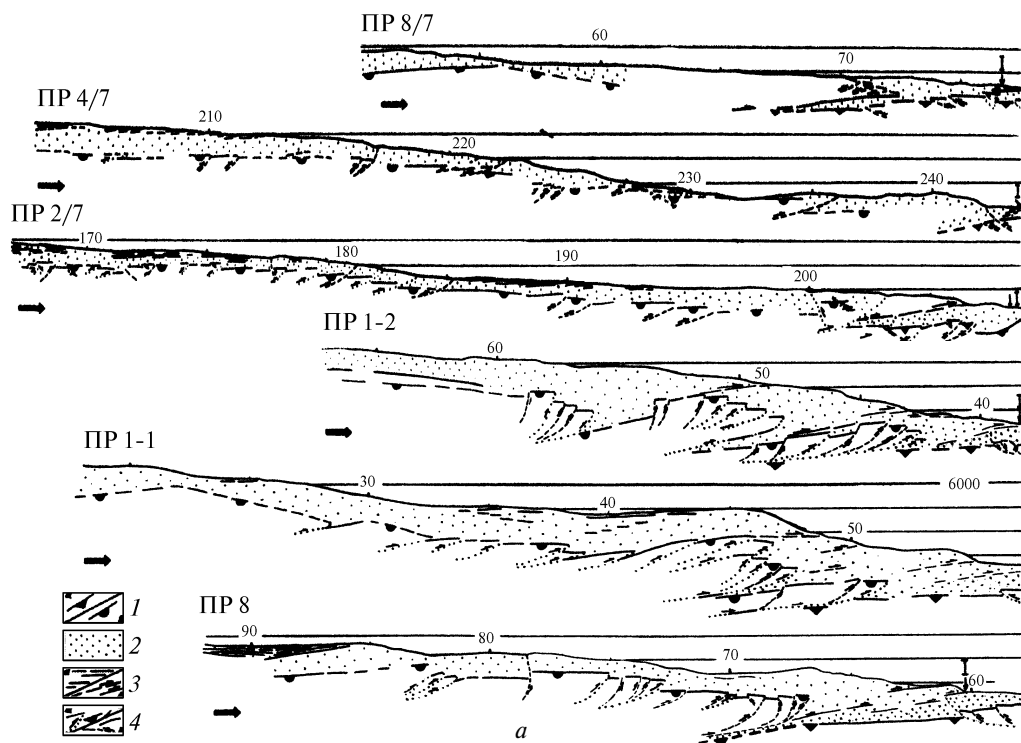
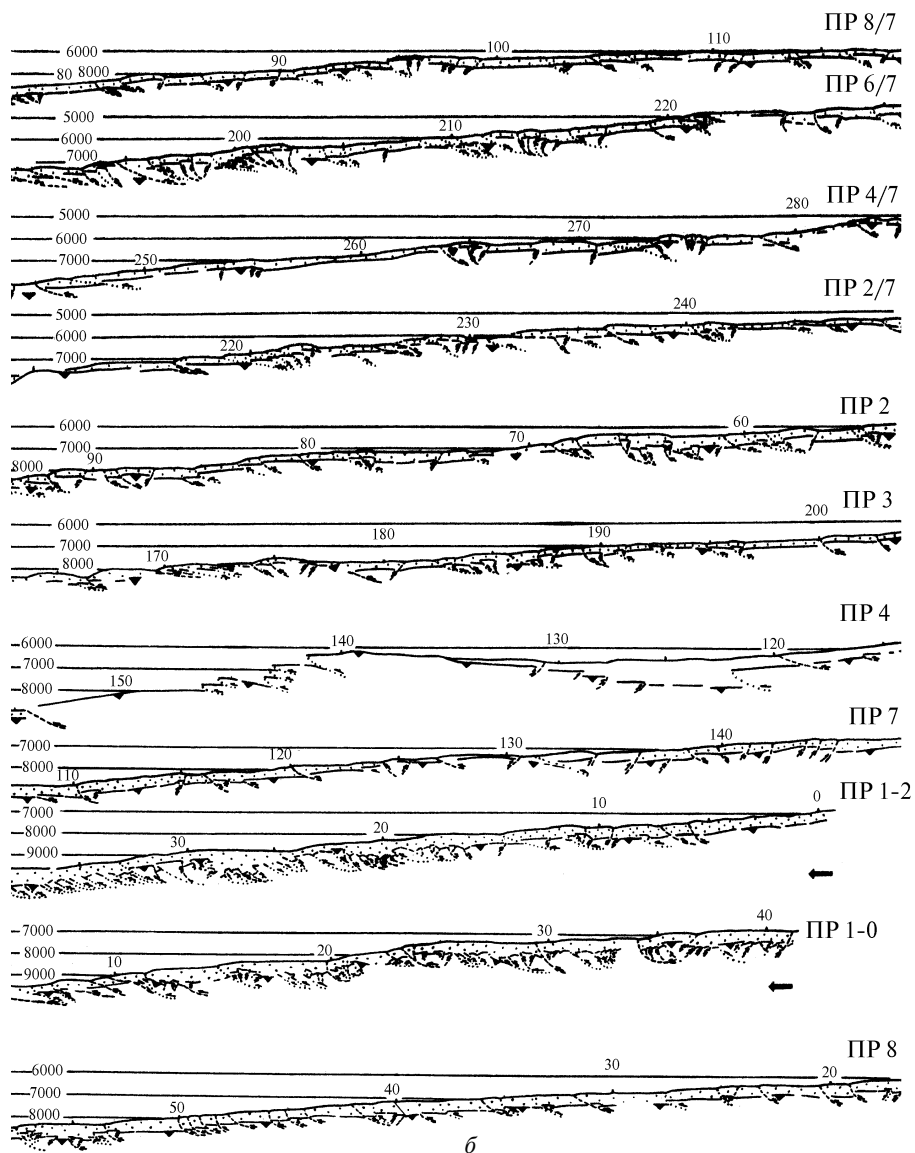
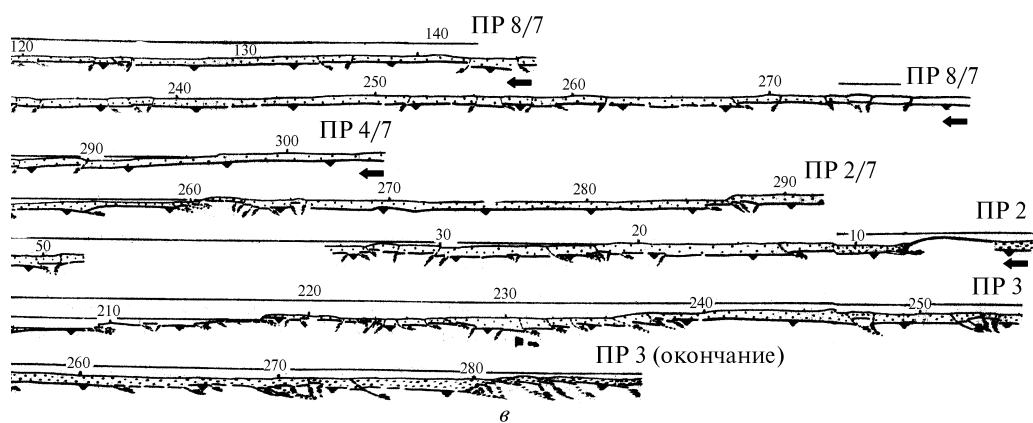


Рис. 11, а–в. Интерпретированные глубинные разрезы по профилям НСП (ПР 8/7, 6/7, 4/7, 2/7, 2–4, 7, 8) и МОГТ (ПР 1–1, 1–0, 1–2) через внутренний (а), внешний (б) склоны Курильского глубоководного желоба и западную часть краевого вала Зенкевича (в): 1 – кровля мелового акустического фундамента внешнего борта желоба или слоя 2 СЗ плиты Пацифики (а – слева) и тихоокеанского склона (б – справа); 2 – кайнозойский чехол тихоокеанского склона и аккреционная призма (разрежение точек), кайнозойский океанический чехол мористее (сгущение точек); 3 – отражающие площадки в чехле; а – линзы турбидитов (слева), б – сместители надвигов в аккреционной призме (справа); 4 – разломы акустического фундамента установленные (а – слева) и предполагаемые (б – справа). Цифрой 1 на разрезах обозначен фронт аккреции



б



б

Рис. 11 (Окончание)

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 согласно падению зоны Тараканова (мегадуплекс [6]). Считая их висячее крыло активным, находим, что разломы внешнего склона являются надвигами и взбросами с горизонтальной и вертикальной амплитудами смещения крыльев до 0,5—1,5 км. В строении крупных ступеней отметим вергентность разломов: от пологих во фронте до субвертикальных обратного падения в тылу (складчатые надвиги по Г.Д. Ажгирею). Т.о. на внешнем склоне Курильского желоба наблюдается сгучивание коры. В [9] его связывают с позднекайнозойским сползанием слоев 1—4 СЗ плиты, и по данным донных сейсмографов оно сопровождается сейсмической активностью [3].

Выступ Б включает в себя внешнюю дугу, верхнюю и среднюю часть ее тихоокеанского склона. Последнюю формирует выступ акустического фундамента посреди склона (по Д.Е. Каригу) и намечается выход верхней фокальной плоскости зоны Бенъофа [6]. Профили НСП и МОГТ (ПР1-1, 1—2 на рис. 11, а) освещают строение внешнего края выступа шириной 20—40 км, где он состоит из нескольких клиновидных пластин, ограниченных пологими надвигами западного падения. Местами в их строении выделяются и более мелкие чешуи, например, на ПР1-2 и 1—1. Видимое смещение пластин и чешуй к востоку невелико (3—8 км) и в основном из-за недостаточной мощности излучения (сравни с профилями МОГТ в [4] или Японском желобе [5, 6, 25]).

Таким образом выступ Б можно интер-претировать как региональный шарьяж (Пегаса) фундамента с горизонтальным смещением к востоку 30—40 км в центре и 50—70 км на флангах (рис. 9, 11). В плане он маркирует выход верхней фокальной плоскости зоны Бенъофа аналогично шарьяжу Ойасию на тихоокеанском склоне дуги Хонсю [24]. Поэтому его можно считать структурным козырьком этой сейсмофокальной зоны, а ее саму — глубинным надвигом, что согласуется с ее классической трактовкой [2]. Край выступа располагается вдоль нижней глубоководной террасы, за которой начинается внутренний борт Курильского желоба и его аккреционная призма (рис. 9—11, а). Последняя на временных разрезах полупрозрачна, как и кайнозойский чехол, но насыщена дифракциями [3], связанными в основном с надвигами и складчатостью. Мощность призмы максимальна (1—2 км) у фронта шарьяжа, 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 (ПР8, 2/7 и др. на рис. 11, б, в).

Таким образом аккреционная призма есть пакет тектонических чешуй кайнозойского чехла, сорванных шарьяжем Пегаса, что позволяет рассматривать их как покровную тектонопару «региональный шарьяж — аккреционная призма» (аллохтон). Последняя оказывает значительное литостатическое давление, определяющее асимметричное опускание автохтона и прилегающего ложа океана (внешний склон).

Преимущественно встречное падение разломов сжатия на бортах Курильского желоба позволяет считать его рамповым грабеном, а с учетом широтной асимметрии — полуграбеном. Разрыв неоген-раннечетвертичной долинной сети каньонов и абиссальных каналов ложа СЗ Пацифики и ряд других признаков

указывают на заложение Курильского желоба в среднем плейстоцене ~0,5—1,0 млн лет назад, что по Г. Штилле соответствует началу пасаденской глобальной фазы складчатости и орогенеза [7—9, 20]. Тот же возраст вероятно имеют средняя и нижняя части тихоокеанского склона Курильской дуги, тектонопара «шарьяж-призма» и сейсмофокальные зоны Беньофа и Тараканова.

Обсуждение результатов

При обсуждении материалов [22] и их связи с данными МОВ выделим факт распространения сейсмодислокаций сжатия (взбросы и пологие надвиги) по курильской секции зоны Беньофа с доминированием на глубинах до 80 км. Это означает, что она является сместителем глубинного надвига Евразии на ложе Пацифики. Этот вывод коррелирует с векторными диаграммами на рис. 7, суммирующими ориентировку тектонических напряжений в коре и верхней мантии, ориентированных ортогонально простиранию Курильской системы дуга — желоб, и с ее изгибом в сторону океана. Вместе с тем определение типа сейсмодислокации по одной из двух нодальных 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 данные МОВ [4], на рис. 11, *a—в* и особенно в Японском желобе, включая Великое цунамигенное землетрясение 11 марта 2011 г. [6, 21].

Сейсмодислокации сжатия также указывают на обстановку сжатия, особенно в земной коре и подстилающей мантии, что подтверждают и данные МОВ (тектонопара и рамповая структура желоба). В этих условиях сейсмодислокации растяжения (сбросы и поддвиги), особенно на глубинах более 80 км на первый взгляд труднообъяснимы. С нашей точки зрения они связаны с изгибом зоны глубинного надвига [14], 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 японской зоны Беньофа по микроземлетрясениям, с сейсмодислокациями сжатия в верхней фокальной плоскости и растяжения в нижней [24]. Она позволяет более обоснованно подойти к пониманию дуплета сильных Симуширских цунамигенных землетрясений в 2006—2007 гг. [15], связывая первое с верхней плоскостью зоны Беньофа (пологий надвиг к востоку), а второе — со сбросом в ее нижней плоскости.

Сдвиги в очагах сильных землетрясений курильской секции зоны Беньофа распространены почти равномерно (10—20 %). В моделях надвига Евразии или поддвига 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 деколлемента до $0,1^\circ$ [9, 16] или надвиге Евразии к востоку, важно обратить внимание на пологое восстание зоны Беньофа к Камчатке с 600—700 до 200—300 км [3, 14]. Оно позволяет предполагать сползание висячего крыла глубинного надвига к югу. С ним можно связывать формирование орогенной перемычки между Сахалином и Южными Курилами (горы о. Хоккайдо), входящего структурного угла, образованного Курило-Камчатским и Идзу-Марианским глубинными над-

вигами [14], системы дуга-желоб Хонсю между ними и возможно 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. 5). Наиболее значительный из них располагается в области пересечения зон Беньофа и Тараканова, если ориентироваться на материалы по их геометрии в [14, 24]. Второй, менее значительный максимум сейсмичности приходится на зону магмогенерации под Большой Курильской грядой и ее охотской окраиной, предполагаемой многими авторами в кровле зоны Беньофа [3, 4, 13].

Группирование и/или субпоперечные Курильской системе дуга-желоб цепочки сильных землетрясений на картах их эпицентров, например, в районе каньона и грабена Буссоль (рис. 1, 5, 7, 9), вероятно намечают активные разломы и сегментацию висячего крыла глубинного надвига [1—3].

Особо выделим географию сильных коровых землетрясений (см. рис. 1), которая фиксирует зоны сейсмического затишья на флангах Курильской системы дуга-желоб как места будущих сильных событий (по С.А. Федотову). Ее северный фланг памятен катастрофическим цунамигенным Камчатским землетрясением 1952 года, разрушившим Северо-Курильск.

Заключение

Итак, в строении и сейсмотектонике Курильской системы дуга-желоб, судя по материалам нового каталога фокальных механизмов 396 сильных ($M \geq 6,0$) землетрясений, ключевое значение имеет глубинный надвиг по зоне Беньофа. По данным НСП и МОГТ его структурный козырек (шарьяж Пегаса во фронте Курильской дуги) надвинулся на ложе Пацифики на 30—70 км за последние ~0,5—1,0 млн лет. Надвигание сопровождалось аккрецией кайнозойского чехла с образованием аккреционной призмы, средней и нижней частей тихоокеанского склона, значительным и асимметричным опусканием краевой части СЗ плиты под нагрузкой аллохтона (тектонопара).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геолого-геофизический атлас Курило-Камчатской островной системы. — Ленинград: ВСЕГЕИ, 1987. — 36 л.
2. *Сергеев К.Ф.* Тектоника Курильской островной системы. — М.: Наука, 1976. — 240 с.
3. Тектоника Курило-Камчатского глубоководного желоба. — М.: Наука, 1980. — 179 с.
4. Тектоника и углеводородный потенциал Охотского моря. — Владивосток: ДВО РАН, 2004. — 160 с.
5. Гнибиденко Г.С. Структура глубоководных желобов Тихого океана (по данным МОВ-ОГТ). — Владивосток: ДВО АН СССР, 1987. — 50 с.
6. *Ломтев В.Л., Патрикеев В.Н.* Структуры сжатия в Курильском и Японском желобах. — Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1985. — 141 с.
7. *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.
8. *Ломтев В.Л., Патрикеев В.Н., Сергеев К.Ф. и др.* Пацифида, Тетис и Пацифика // Геодинамика, геология и нефтегазоносность осадочных бассейнов Дальнего Востока России. — Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2004. Т. 1. — С. 131—144.
9. *Ломтев В.Л.* Новые данные по тектонике и магматизму СЗ Пацифики // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. — 2008. — № 4. — С. 93—105.

10. *Аверьянова В.Н.* Глубинная сейсмоструктура островных дуг. — М.: Наука, 1968. — 219 с.
11. *Балакина Л.М.* Курило-Камчатская сейсмогенная зона — строение и порядок генерации землетрясений // *Физика Земли.* — 1995. — № 12. — С. 48—57.
12. *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.
13. *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.
14. *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.
15. *Тихонов И.Н., Василенко Н.Ф., Золотухин Д.Е. и др.* Симуширские землетрясения и цунами 15 ноября 2006 года и 13 января 2007 года // *Тихоок. геология.* — 2008. — Т. 27, № 1. — С. 3—17.
16. *Ломтев В.Л., Никифоров С.П., Ким Ч.У.* Тектонические аспекты коровой сейсмичности Сахалина // *Вестник ДВО РАН.* — 2007. — № 4. — С. 64—71.
17. *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. Мат-лы межд. конф.* — М.: Изд-во Геол. фак-та МГУ им. М.В. Ломоносова. 2011. — С. 318—323.
18. *Пишон Ле. К., Францито Ш., Боннин Ж.* Тектоника плит. — М.: Мир, 1977. — 288 с.
19. *Уэда С.* Окраины глубоководных желобов северо-западной части Тихого океана // *Геология континентальных окраин.* — М.: Мир, 1978. Т. 2. — С. 170—191.
20. *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.
21. *Tikhonov I.N., Lomtev V.L.* Tectonic and seismological aspects of the Great Japan earthquake of March, 2011 // *Geodynamics & Tectonophysics.* — 2011. — V. 2, № 2. — P. 145—160.
22. *Каталог механизмов очагов сильных ($M \geq 6,0$) землетрясений Курило-Охотского региона 1964—2009 гг.* — Владивосток: Дальнаука, 2011. — 130 с.
23. *Массовое* определение механизмов очагов землетрясений на ЭВМ / Ж.Я. Аптекман, Т.С. Желанкина и др. // *Теория и анализ сейсмических наблюдений.* — М.: Наука, 1979. — С. 45—58.
24. *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.
25. *Initial Reports of the Deep-Sea Drilling Project. Vol. 56,57.* — Washington: U.S. Govern. Printing Office, 1980. Pt. 1. — 629 p.

Статья поступила 22.07.2011

В.Л. Ломтев, Т.В. Нагорный, Д.О. Сафонов

ОСОБЛИВОСТІ БУДОВИ Й СЕЙСМОТЕКТОНІКИ КУРИЛЬСЬКОЇ СИСТЕМИ ДУГА—ЖОЛОБ

За даними нового регіонального каталогу фокальних механізмів 396 сильних ($M \geq 6,0$) Курило-Охотського і частково японських землетрусів за 1964—2009 рр., а також одно- (НСП) і багатоканального (МОГТ) сейсмопрофілювання методом відбитих хвиль (МОВ) аналізуються особливості будови й сейсмоструктури Курильської системи дуга—жолоб і пов'язаних з ними зустрічних сейсмофокальних зон Беньофа і Тараканова. Показано, що перша є глибинним насувом, за яким Курильська дуга або тектонічний фронт Євразії насунута на ложе Пасифіки на кілька десятків (до 50—70) кілометрів за останні 0,5—1,0 млн років (Пасаденська глобальна

фаза складчастості і орогенезу по Г. Штілле). При насування сформувалися середня і нижня частини тихоокеанського схилу, шарьяжі Пегаса й акреційна призма (тектонопара), рампова структура Курильського жолобу і, ймовірно, зустрічні сейсмофокальні зони.

Ключові слова: *система дуга—жолоб, сейсмофокальна зона, фокальний механізм землетрусу, глибинний насув, шарьяж, акреційна призма, кайнозойський чохол.*

V.L. Lomtev, T.V. Nagornuch, D.A. Safonov

PECULIARITIES OF THE STRUCTURE AND SEISMOTECTONICS OF THE ARC—TROUGH KURILE SYSTEM

Peculiarities of structure & seismotectonics of the Kuril arc-trench system and connected with them opposite seismofocal Benoff & Tarakanov zones are analysed by 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- (continuous seismic profiling) & multichannel (CDP) data of wave reflection method. It is showed, that the first is the deep thrust on which Kuril arc thrust at the Pacific abyssal floor by some tens (to 50—70) kilometers for last 0,5—1,0 mln years ago (Pasadenan global phase of folding and orogenesis by H. Stille). Middle and low parts of the Pacific slope, Pegas nappe and accretionary prism (tectonopiar), ramp structure of the Kuril trench and possibly opposite seismofocal zones are formed by thrust.

Keywords: *arc-trench system, seismofocal zone, focal mechanism of earthquake, deep thrust, thrust nappe, accretion prism, Cenozoic cover.*