

МОРСКАЯ ГЕОЛОГИЯ

УДК 551.24

НОВЫЕ ДАННЫЕ О КАЙНОЗОЙСКИХ ДЕФОРМАЦИЯХ ЗАПАДНОЙ КАМЧАТКИ И ИХ ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ НОВЕЙШЕЙ ТЕКТОНИКИ ВОСТОКА ОХОТОМОРСКОГО РЕГИОНА

© 2009 г. В. Е. Вержбицкий¹, А. В. Соловьев²

¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва

²Геологический институт РАН, Москва

e-mail: verba@ocean.ru, solov@ilran.ru

Поступила в редакцию 31.07.2007 г., после доработки 25.03.2008 г.

Полученные новые мезоструктурные данные по комплексам Западной Камчатки с привлечением ранее опубликованных результатов позволяют сделать ряд выводов о кайнозойской кинематике и динамике восточной части Охотоморского региона. Восстановлены поля кайнозойских тектонических напряжений субмеридионального – СЗ-ЮВ растяжения. Эти результаты могут являться как независимым подтверждением модели рифтогенного раскрытия Охотского моря вследствие асимметричного отступания Курило-Камчатской зоны субдукции, так и соответствовать альтернативной концепции влияния процессов коллизии Индо-Австралийской и Евразиатской плит на кайнозойскую структуру Охотоморского региона (включая его восточную часть). Показана стадийность основных региональных структурообразующих этапов развития. СЗ-ЮВ сжатие является последней наиболее существенной стадией структурообразования и, по-видимому, может представлять собой отдаленную реакцию на завершение коллизии островной дуги Восточных полуостровов (Кроноцкой) с Камчаткой в среднем-позднем миоцене. В новейшей и современной внутриплитной геодинамической обстановке граница между предполагаемым блоком Охотского моря и Камчаткой (Восточно-Охотоморская зона разломов) разломов развивалась преимущественно в условиях левосторонней транспрессии и сдвига. Сопоставление полученных данных с проведенными ранее детальными сейсморазведочными работами на акватории Охотского моря в районе впадины Дерюгина показали принципиальную схожесть полученных результатов.

ВВЕДЕНИЕ

Проблемы кайнозойской кинематики и динамики Охотоморского региона достаточно широко освещаются в научной литературе, однако еще далеки от своего окончательного решения – во многом из-за очевидного недостатка данных прямых геолого-структурных наблюдений. В 1998–2001 гг. была проведена серия экспедиционных работ по изучению юрско-меловых комплексов Западной Камчатки с целью расшифровки ее докайнозойской структуры и истории развития. Основные полученные результаты уже были ранее опубликованы в виде отдельных статей [3–5, 26, 43–44] и обобщены в крупной тематической монографии [30, 38, 40, 44]. В ходе полевых работ были также получены новые данные о кайнозойских деформациях, несущих информацию о проявлении новейших тектонических процессов на Западной Камчатке и, очевидно, прилегающей части акватории Охотского моря. Проведенные геолого-структурные исследования могут представлять также определенный интерес в свете перспектив нефтегазоносности кайнозойского осадочного чехла Западной Камчатки и шельфа Охотского моря [7, 17, 19, 28, 41 и мн. др.].

В настоящей статье мы сознательно не останавливаемся на тектонической природе, стратиграфии

и литологии юрско-меловых комплексов фундамента и кайнозойских отложений осадочного чехла Западной Камчатки, достаточно подробно рассмотренных во многих предшествующих публикациях [6, 9–12, 15, 29, 34–36]. Здесь будут представлены результаты мезоструктурных исследований, проведенных нами на двух участках на Западной Камчатке. Основной целью данной работы является восстановление полей кайнозойских тектонических напряжений, уточнение кинематики региональных разрывных нарушений и рассмотрение возможной природы выделенных стадий деформаций. Мы предполагаем, что полученные нами результаты, несмотря на их локальность, во многом дополняют и расширяют представления о кайнозойских деформациях и полях тектонических напряжений, проявленных в восточной части Охотоморского региона.

ПОЛОЖЕНИЕ РАЙОНОВ ИССЛЕДОВАНИЙ В РЕГИОНАЛЬНОЙ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЕ

В современной геодинамической обстановке регион Охотского моря и его континентального обрамления, включая полуостров Камчатка, входит в состав Охотоморской литосферной плиты, граничащей с Евразиатской – на северо-западе, Северо-

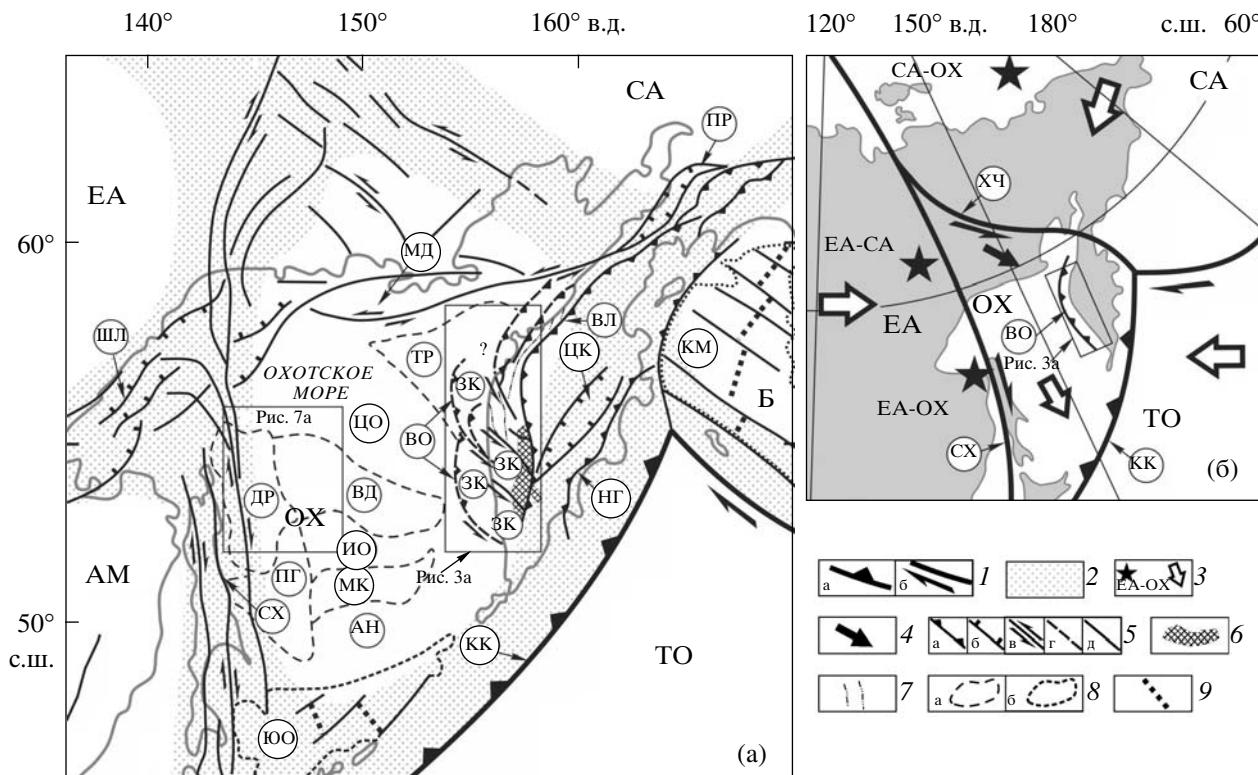


Рис. 1. Положение Западно-Камчатских структур в позднекайнозойской (а) и современной (б) геодинамической обстановке для Охотоморского региона.

(а) – схема позднекайнозойской геодинамики Охотоморского региона. Составлена на основе [60] с использованием [1, 8, 18–19, 22, 24, 28, 33, 50, 52, 55, 58, 63] с изменениями и дополнениями авторов; (б) – упрощенная схема современного взаимодействия литосферных плит в регионе по [46, 51, 57], с изменениями и дополнениями.

1 – идеализированные узкие границы плит (а – субдукционные; б – трансформные); 2 – области рассеянной деформации (современной сейсмичности), рассматриваемые как диффузные границы плит [50 и др.]; 3 – полюса вращения и направления относительных перемещений плит; 4 – идеализированное направление латерального выжимания тектонических блоков северной части Охотоморской плиты из зоны схождения Евразиатской и Северо-Американской плит; 5 – разломы: а – взбросы и надвиги, б – сбросы, в – сдвиги, г – предполагаемые авторами по гравиметрическим данным (см. рис. 3а), г – прочие; 6 – метаморфические комплексы Срединного и Ганальского хребтов; 7 – оси региональных складок кайнозойских отложений; 8 – глубоководные впадины с субокеанским (а) и океанским (б) типом коры; 9 – оси палеоспрединга.

ТО-Тихоокеанская плита, Б-Берингия, СА-Северо-Американская, ЕА-Евразиатская, АМ – Амурская, ОХ-Охотоморская, ЮО – Южно-Охотовская (Курильская) впадина, КК – Курило-Камчатская зона субдукции, НГ – надвиг Грешишкина, КМ – Командорская котловина, ЦК – Центрально-Камчатская депрессия, ВЛ – Ватыно-Лесновский надвиг, ПР – Пусторецкая впадина, ШЛ – Шантар-Лузинская впадина, СХ – зона разломов Сахалин-Хоккайдо, ХЧ – зона разломов хребта Черского, ДР – впадина Дерюгина, ПГ-Пограничный прогиб, ТР – впадина Тиро, МД – Магаданский прогиб, ВД – Восточно-Дерюгинский прогиб, МК – прогиб Макарова, ВО – Восточно-Охотоморская зона разломов, ЗК – Западно-Камчатский прогиб, ЦО – Центрально-Охотовское поднятие, ИО – поднятие Института океанологии, АН – поднятие Академии наук.

Американской – на северо-востоке, Берингией – на востоке, Тихоокеанской – на юго-востоке и Амурской плитами – на юго-западе [18, 24, 28, 33, 46, 51, 55, 57] (рис. 1а). Большинство из вышеперечисленных границ, кроме четко выраженной Курило-Камчатской зоны субдукции, имеет диффузный характер [50], фиксируемый по рассеянной сейсмичности. Для этих диффузных границ в основном характерны современные сдвиговые смещения. В ряде работ было показано, что Охотоморская плита выдавливается из зоны схождения Северо-Американской и Евразиатской мегаплит (на севере ре-

гиона) к югу-юго-востоку вдоль меридиональной правосдвиговой зоны Сахалина-Хоккайдо и СЗ-ЮВ зоны разломов хребта Черского и ее ЮВ продолжения с преобладающей левосдвиговой кинематикой [46, 51, 57] (рис. 1б). Забегая вперед, отметим, что компрессионное воздействие этих мегаплит на Охотоморскую плиту, вызывает экструзию отдельных тектонических блоков из ее северного “угла” в юго-юго-восточном направлении, что может оказывать существенное воздействие на современную внутреннюю структуру плиты (рис. 1б).

По мнению многих исследователей, современная Охотоморская плита имеет гетерогенное строение [3, 5, 28, 44] (рис. 1а, 1б). Крупнейшей структурной неоднородностью плиты в рассматриваемом нами регионе является субмеридиональная шовная зона (т.н. Омгоно-Паланский коллизионный пояс [3, 5, 44]), прослеженная вдоль западного побережья Камчатки и прилегающего шельфа. Предполагается, что данный тектонический шов возник в результате столкновения Охотоморского (в узком понимании: не включая Камчатку) и Западно-Камчатского блоков (микроплит) в конце мела [5, 44]. По мнению цитируемых авторов, фундаментом Западно-Камчатской микроплиты является блок с древней континентальной корой, выходы которого представлены метаморфическими породами Срединного хребта Камчатки. В то же время, природа основания блока Охотского моря остается дискуссионной и, согласно [3, 62], может представлять собой океаническое вулканическое плато. В качестве крупнейшей структурной неоднородности Охотоморской плиты в новейшей структуре мы выделяем Восточно-Охотоморскую зону разломов, трассируемую вдоль бровки шельфа Западной Камчатки и разделяющей Охотоморский и Камчатский неотектонические блоки (рис. 1а, 1б; подробнее см. ниже). По-видимому, положение выделенной нами зоны должно совпадать с восточным ограничением Охотоморского блока и западным Омгоно-Паланского коллизионного пояса цитируемых выше авторов.

Отметим, что районы наших полевых наблюдений удалены от современных границ плит, т.е. занимают внутриплитное положение, но приближены к упомянутой выше крупной тектонической зоне (рис. 1а, 1б), что представляет дополнительный интерес для проведения структурных исследований.

За исключением разрозненных выходов интенсивно дислоцированных юрско-меловых пород фундамента, большая часть территории Западной Камчатки (к западу от Срединного хребта) и прилегающего охотоморского шельфа представлена кайнозойскими осадочными отложениями, слагающими Западно-Камчатский прогиб (рис. 2–4), подразделяемый на ряд второстепенных впадин [7, 9–12, 15, 19, 21–23 и мн. др.].

Докайнозойские деформации. Для докайнозойских (юрско-меловых) вулканогенно-осадочных отложений западного побережья Камчатки характерны интенсивные складчато-разрывные дислокации. Докайнозойские деформации характеризуются достаточно выдержанной В–ЮВ вергентностью, связанной с поддвигом океанической коры плиты (плит) Палеопацифики под восточную окраину Азии ([5, 37–38], рис 5а, 5а'). В эти деформации вовлечены терригенные отложения, снесенные с Азиатской окраины, и чужеродные блоки океанического происхождения. Данные комплексы интерпрети-

рованы как фрагмент палеоаккреционной призмы, сформированной при субдукции палеоокеанических плит Пацифики под Евразиатскую континентальную окраину, в результате которой происходил вулканизм в пределах Охотско-Чукотского пояса. Завершение формирования этой структуры относится к концу мела, о чем, в частности, свидетельствуют результаты трекового датирования апатита. Согласно этим данным, время выведения палеоаккреционной призмы хребта Омгон, расположенной севернее наших районов исследований (рис. 3б), в близповерхностные (менее 4 км) условия соответствует концу позднего мела – порядка 70 млн. лет назад, в маастрихте [38]. Добавим, что в Паланском районе Западной Камчатки описана постстранномастихтская олистострома [31], тектонические условия формирования которой остаются не ясными.

Кайнозойские деформации. В кайнозойское время произошло как минимум два этапа деформаций: первый – в среднем эоцене, второй – в среднем миоцене (рис. 4). В среднем эоцене на образования палеоаккреционной призмы шарированы мел-палеогеновые комплексы Ачайваем-Валагинский (или Олюторской) островной дуги по Ватыно-Лесновскому надвигу (рис. 1а) [37]. После этого события начинается формирование молассовых кайнозойских отложений [12, 38 и др.]. На складчатых докайнозойских комплексах с резким угловым несогласием заливают кайнозойские осадочные и вулканогенно-осадочные отложения Западно-Камчатского прогиба, деформированные в значительно меньшей степени [4, 7, 19, 21–22, 37–38 и др.] (рис. 2).

Согласно приведенным в различных работах сейсмогеологическим разрезам [17, 21–22, 28 и др.], в нижнем комплексе осадочного чехла как сухопутной, так и морской части Западно-Камчатского прогиба широко представлены разрывные и связанные с ними складчатые дислокации (рис. 2а, 2б, 3а, 3б). Регионально проявленное четкое угловое несогласие в подошве среднемиоценовых отложений ильинской свиты (рис. 3, 4) определяет время проявления основного импульса сжатия, сформировавшего современный структурный план прогиба, в среднемиоценовое время. В большинстве случаев здесь выделяются взбросо-надвиги и связанные с ними складки как западной, так и восточной вергентности (рис. 2а, 2б). В некоторых случаях предполагаются разрывы и со сбросовой кинематикой смещения (рис. 2а). Сразу же оговоримся, что такие противоречивые сочетания одновозрастных структур характерны для зон сдвига или сочетания механических обстановок простого и чистого сдвига. Отчетливое преобладание компрессионных структур, наряду с характерными “выдавленными” блоками, ограниченными антивергентными взбросо-надвигами (pop-up, push-up structures) и так называемых “положительных цветковых структур” (positive flower structures) сви-

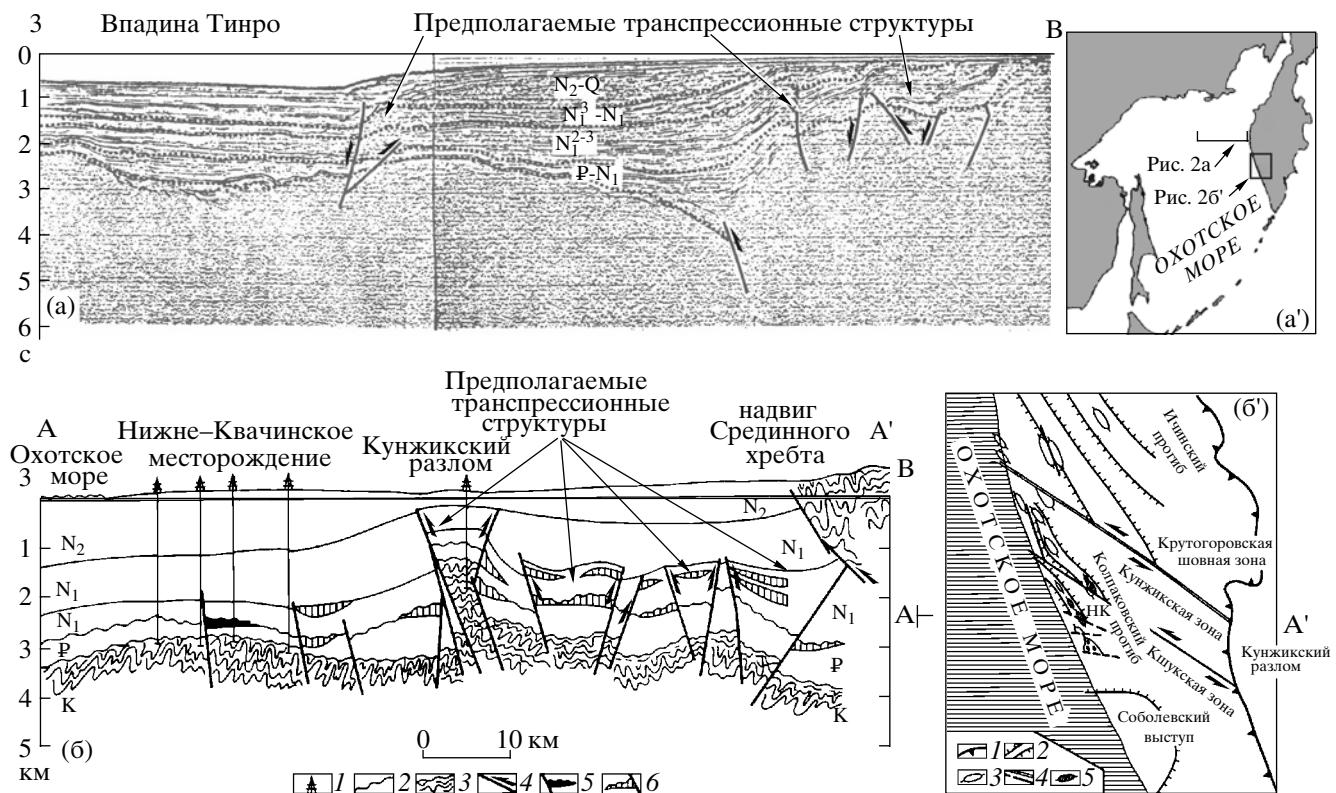


Рис. 2. Современная структура Западно-Камчатского прогиба: поперечные сейсмогеологические разрезы через морскую (а) [17, 22, 28, 41] и континентальную (б) [21] части, с изменениями и дополнениями. Положение разрезов показано на врезках (а') [28] и (б') [22–23].

(б) – Поперечный разрез Колпаковского прогиба [17, 22, 28, 41]:

1 – пробуренные скважины; 2 – поверхность несогласия; 3 – метаморфизованные породы фундамента; 4 – разломы с указанием характера смещения; 5 – залежи газоконденсата; 6 – прогнозируемые залежи.

(б') – Схема основных структурных элементов Колпаковского и Ичинского прогибов (подразделений Западно-Камчатского прогиба) [22–23]:

1 – граница Охотско-Камчатского (Западно-Камчатского) кайнозойского бассейна (прогиба); 2 – антиклинальные зоны; 3 – локальные поднятия; 4 – разломы; 5 – газовые и газоконденсатные месторождения. НК – Нижнее-Кавачинское газоконденсатное месторождение. АА' – положение профиля на рисунке (б).

детельствует о транспрессионной (сочетания сдвига со сжатием) природе наблюдаемых дислокаций [27, 32, 56, 61 и мн. др.]. Последнее характерно, например, для Кунжикского разлома СЗ простирания (рис. 2б, 2б'), причем ССЗ простижение развитых севернее и южнее складок кайнозойских отложений свидетельствует о его левосдвиговой кинематике (рис. 2б'). Сразу же оговоримся, что структуры типа выдавленных блоков (pop-up) весьма характерны также для инверсированных грабенов. Таким образом, нельзя исключать, что наблюдаемые на поперечных разрезах выдавленные блоки могли возникнуть в результате миоценовой инверсии отдельных более древних рифтовых структур. В пользу этого предположения говорят несколько повышенные мощности осадочного чехла в пределах отдельных выдавленных блоков (рис. 2б). Последние могли быть изначально заложены в виде грабенов в раннем палеоцене в результате постаккреционного близширот-

ного растяжения Западно-Камчатского сегмента окраины Евразиатского континента в раннем палеоцене [26].

КРАТКИЙ АНАЛИЗ СТРУКТУРНЫХ ДАННЫХ

Ниже представлены результаты мезоструктурных исследований, проведенных нами на Западной Камчатке в районе мыса Хайрюзова и в долине реки Тихая (хребты Берлога и Каныч) (рис. 3, 5а, 5б). В процессе полевых работ проводились систематические замеры элементов залегания плоскостей напластования и разрывных нарушений, осей складок и кинематически охарактеризованных трещин (зеркал скольжения). Визуализация полученных данных производилась на сферических диаграммах с использованием равноугольной проекции и отображении на верхней полусфере. Обработка и интерпретация плоскостных и линейных мезоструктурных

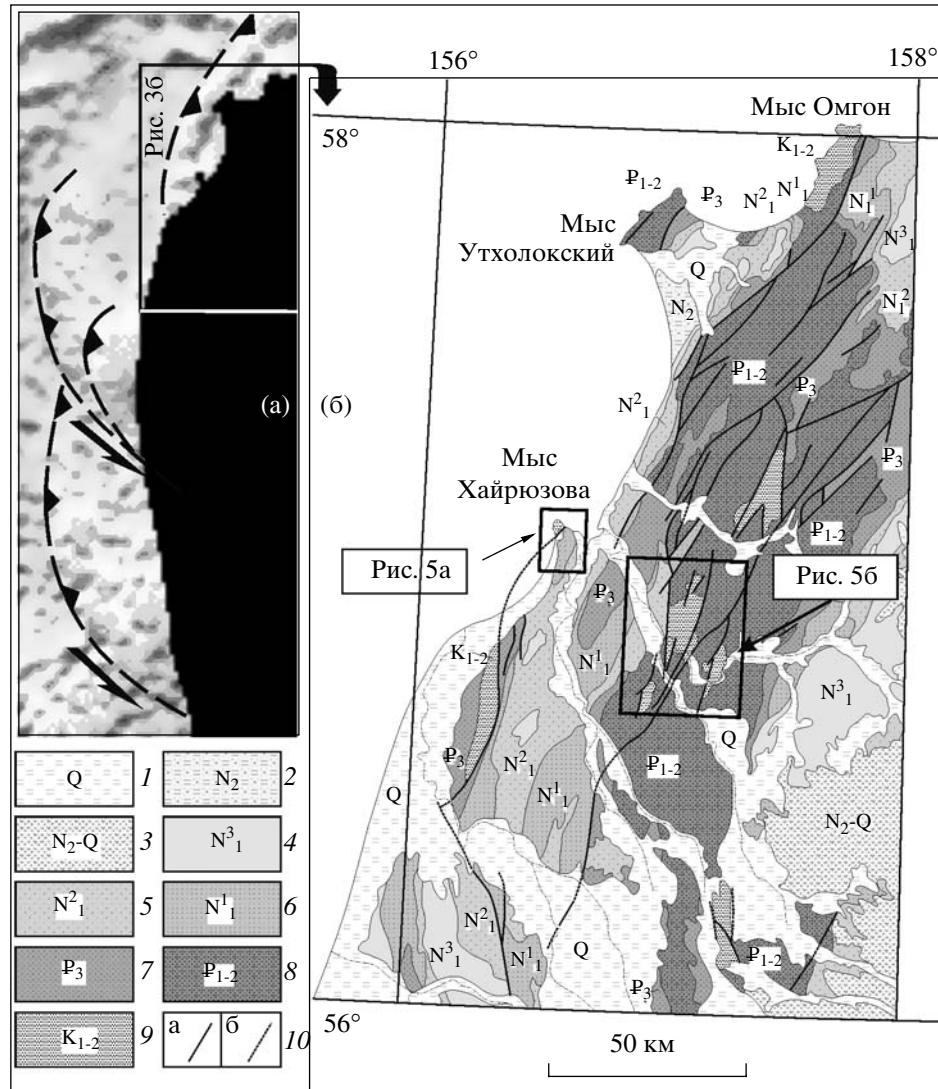


Рис. 3. Положение района исследований в региональной структуре Западной Камчатки и прилегающей акватории Охотского моря.

(а) – фрагмент карты гравитационных аномалий в свободном воздухе на основе спутниковой альтиметрии [58] для восточной части Охотского моря с элементами интерпретации. Черные пунктирные линии соответствуют предполагаемым западновергентным взбросо-надвигам, стрелки указывают на характер сдвиговых смещений. Пояснения в тексте.

(б) – схема геологического строения центральной части Западной Камчатки с указанием положения участков полевых наблюдений. По [19], упрощено.

1–8 – отложения Западно-Камчатского прогиба: 1 – четвертичные (нерасчлененные); 2 – плиоценовые (энемтенская свита); 3 – миоцен-четвертичные преимущественно вулканогенные (нерасчлененные); 4 – верхней части миоцена (здесь и далее – снизу вверх: этолонская и эрмановская свиты); 5 – средней части миоцена (ильинская и какертская свиты); 6 – нижней части миоцена (вивентекская и кулувенская свиты неразделенные); 7 – олигоценовые (рэтэгинская, гатчинская и ухтолокская свиты); 8 – палеоцен–эоценовые (хулгунская, напанская, снаторская свиты и ковачинская серия); 9 – юрско-меловые вулканогенно-осадочные отложения фундамента Западно-Камчатского прогиба; 10 – разрывные нарушения (а – выделенные, б – предполагаемые под чехлом четвертичных отложений).

элементов производилась с учетом [56]. Восстановление полей тектонических палеонапряжений на основе массовых замеров структур хрупкого разрушения (зеркал скольжения) производилось с использованием методики Гущенко [14] и ее варианта, адаптированного к случаям проявления разновоз-

растных полей тектонических деформаций и напряжений [13]. На сферических диаграммах нами визуально сепарировались отдельные парагенезисы сколовых структур, для которых находились оси сжатия или растяжения (как области пересечения кинематических плоскостей для отдельных сколов), отве-

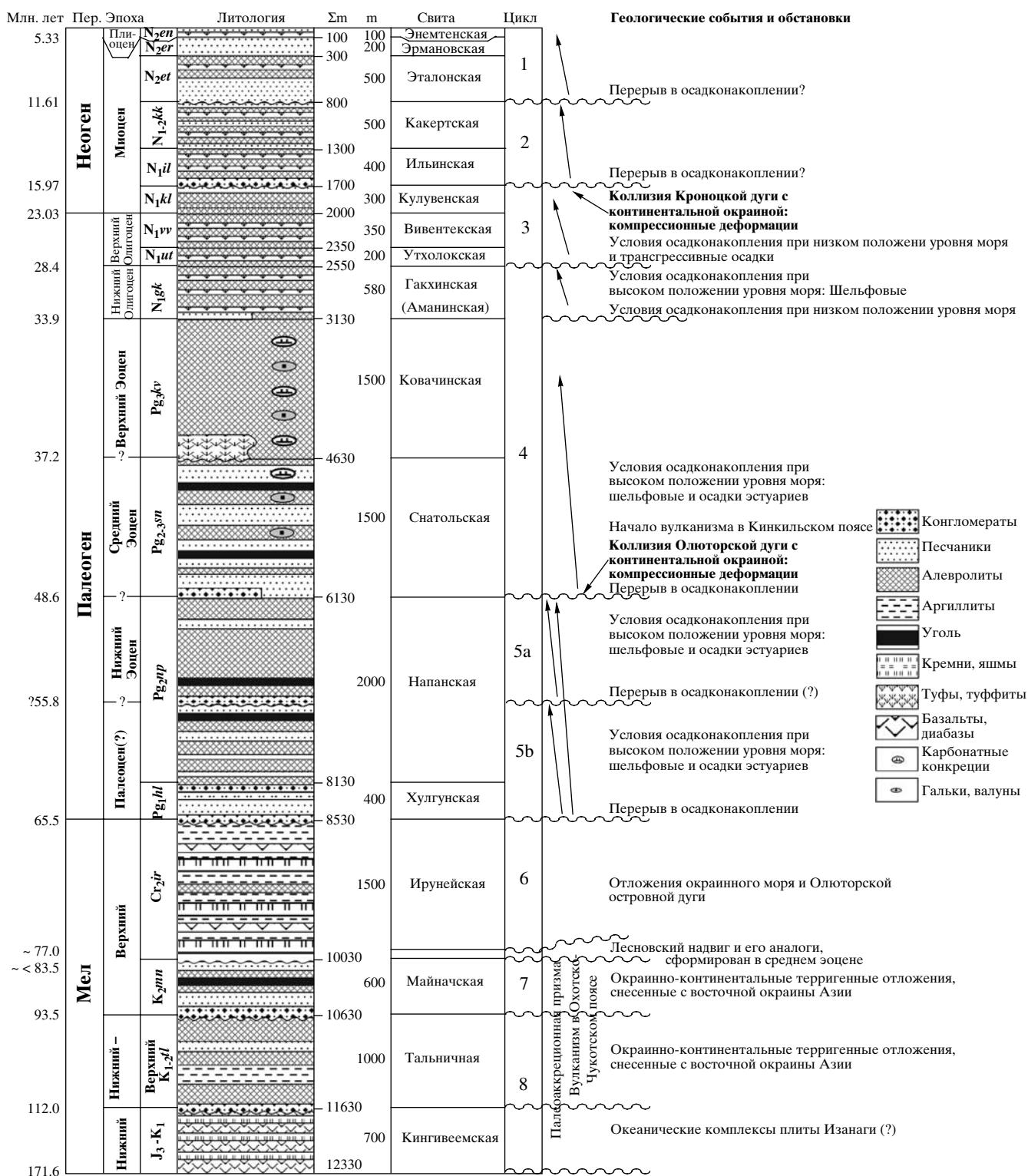


Рис. 4. Стратиграфическая колонка отложений в районе хребта Омгон (Западная Камчатка) [35] и главные геологические события в мезозое и кайнозое. Абсолютные возрасты, показанные слева от колонки, соответствуют максимальному возрасту стратиграфических единиц. Нижние части стратиграфических единиц могут быть моложе, но возраст верхних частей обоснован возрастом перекрывающих единиц. Σm – суммарная мощность отложений, m – мощности отдельных стратиграфических единиц.

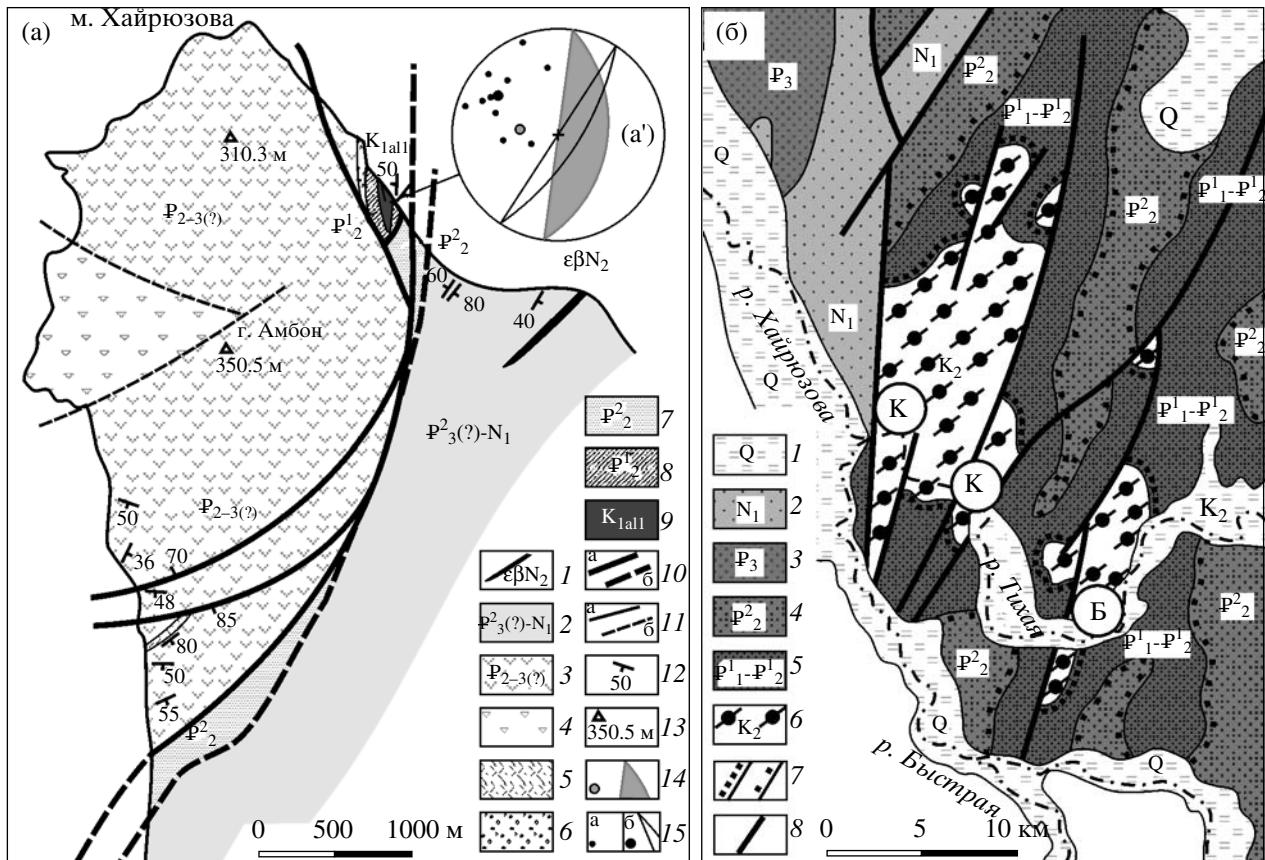


Рис. 5. Участки полевых наблюдений.

(а) – схема геологического строения мыса Хайрюзова (по [30] с дополнениями). На стереограмме (а') показаны основные мезоструктурные элементы, замеренные в раннемеловых отложениях (здесь и далее – сетка Вульфа, проекция на верхнюю полусферу).

1 – силы псевдолейцитовых данакитов (предположительно плиоценового возраста); 2 – вивентекская и кулувенская свиты: алевролиты, аргиллиты (верхний олигоцен? – нижний миоцен), 3–6 – вулканогенный комплекс (предположительно средний эоцен – олигоцен(?)); 3 – базальты, андезибазальты, туфы, лавобрекции, 4 – лахаровые брекчи, 5 – туфы, 6 – конгломераты; 7 – снатольская свита: песчаники, алевролиты (средний эоцен); 8 – напанская свита: песчаники, алевролиты, аргиллиты (нижний мел, нижний альб); 10 – главные разломы: а – установленные, б – предполагаемые; 11 – второстепенные разломы: а – установленные, б – предполагаемые; 12 – элементы залегания; 13 – вершины и их абсолютные отметки; 14–15 (для стереограммы а'): 14 – усредненный полюс слоистости и соответствующая ему плоскость; 15 – полюса мезоразрывов: а – ординарные, б – усредненный полюс и соответствующая ему плоскость.

(б) – схема геологического строения участка Западной Камчатки в районе выходов верхнемеловых отложений в долине р. Тихая по [19], упрощено, с использованием [40].

1 – четвертичные отложения; 2 – миоценовые отложения нерасчлененные; 3 – олигоценовые отложения нерасчлененные; 4 – отложения верхней части среднего–верхнего эоцена; 5 – отложения палеоцена – нижнего эоцена; 6 – верхнемиоценовые (конька-сантон) вулканогенно-обломочные отложения; 7 – границы угловых несогласий; 8 – разрывные нарушения. Б – хребет Берлога, К – хребет Каныч.

чающие, очевидно, различным этапам (стадиям) структурной эволюции изученных районов.

В районе мыса Хайрюзова верхнеолигоценовые-раннемиоценовые отложения (кулувенская и вивентекская свиты) вблизи контакта со средненеоценовыми (снатольская свита) смяты в напряженные тесно сжатые, в некоторых случаях близкие к изоклинальным, складки ЮВ вергентности и нарушены разломами СЗ падения (рис. 5а, 6а). По-видимому, для данных разрывов (в случае их парагенетичности со складками) должна быть характерна

взбросо-надвиговая кинематика. О такой природе этих разрывных нарушений говорит серия зеркал скольжения обратного ЮВ падения с отчетливым взбросо-надвиговым характером смещений (замеренных в породах силла основного состава и средненеоценовой-олигоценовой(?) вулканогенной толще) (рис. 4б, 4в). Очевидно, что последние нарушения парагенетичны складкам и могут представлять систему, сопряженную с разрывами СЗ падения. Отметим, что усредненная ось (шарнир) наблюдаемой складчатой структуры (π -ось [56]), рассчитанная

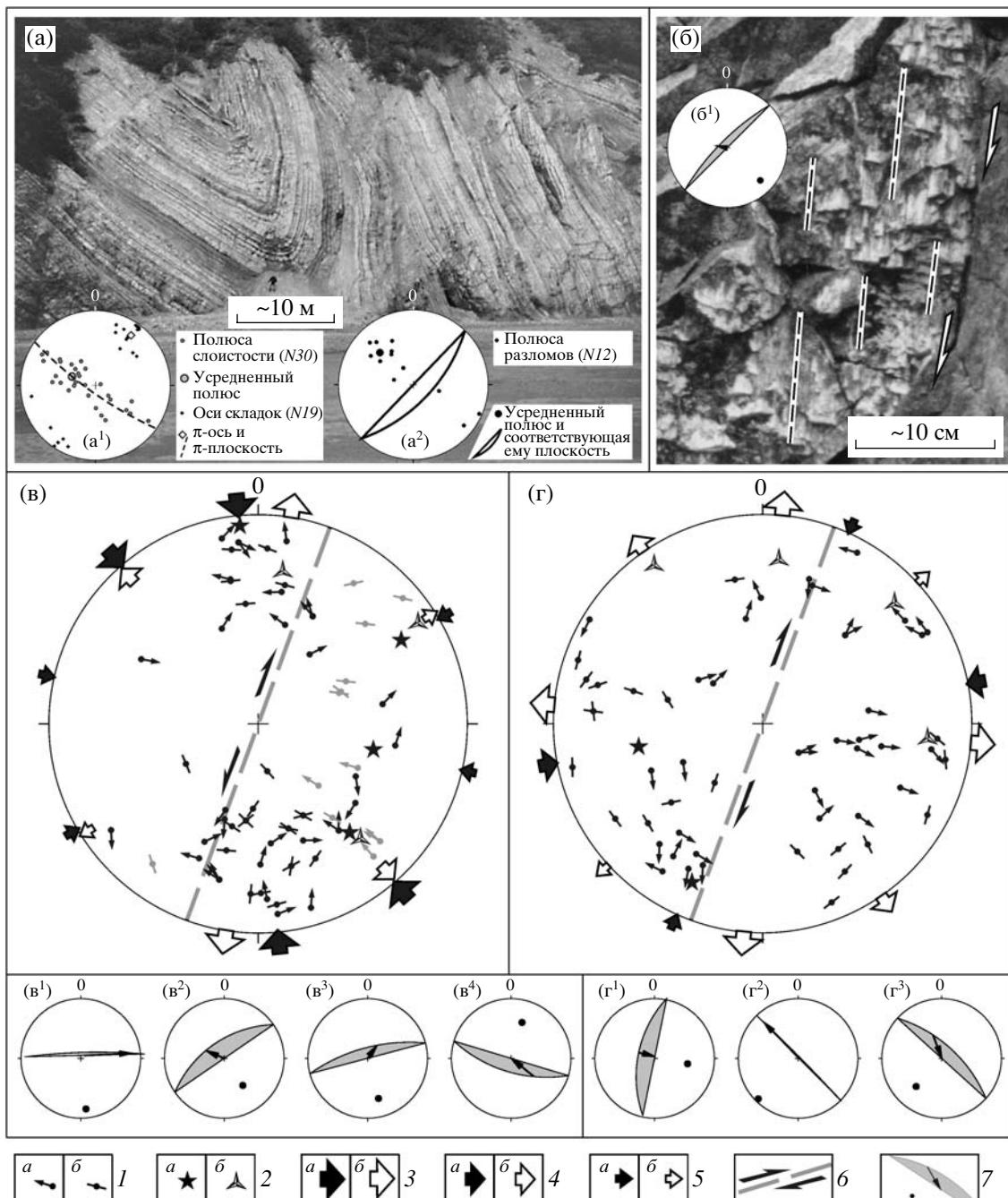


Рис. 6. Основные результаты структурно-кинематического анализа в районе мыса Хайрюзова и р. Тихой (хр. Берлога и Каныч).
 (а–б) – примеры кайнозойской дислокации в районе мыса Хайрюзова (фото авторов): (а) – складчатые дислокации ЮВ вергентности позднеолигоценовых-раннемиоценовых отложений (а^{1–2} – стереограммы основных структурных элементов); (б) – взбросовое зеркало скольжения на плоскости мезоразрыва ЮВ падения в породах плиоценового(?) силла псевдолейцитовых данакитов; направление штриховки подчеркнуто пунктирными линиями, стрелки указывают характер смещения эродированного лежачего крыла (б¹ – стереографическое изображение кинематики разрыва).
 (в–г) – стереограммы трещиноватости с восстановленными полями деформаций для мыса Хайрюзова (в), р. Тихой (г) и с указанием преобладающих систем трещинных мезоструктур различной кинематики для изученных участков (в^{1–4} и г^{1–3} соответственно).

1 – векторы смещений при полюсах зеркал скольжения; а – с установленным знаком смещения, б – с неустановленным (черный цвет соответствует замерам в среднеэоценовой-олигоценовой(?) вулканогенной толще, серый – в породах силла основного состава); 2 – оси напряжений, восстановленных по данным кинематического изучения трещиноватости (а – сжатия, б – растяжения); 3–5 – горизонтальные проекции осей напряжений (а – сжатия, б – растяжения): 3 – 1-го порядка, 4 – 2-го порядка, 5 – 3-го порядка; 6 – генерализованное простирание региональных разломов с указанием преобладающего характера смещения; 7 – полюса и плоскости преобладающих мезоразрывов различной кинематики с указанием характера смещения.

как нормаль к дуге большого круга, аппроксимирующей отчетливое поясное распределение полюсов скоистости на сфере (π -круг), слабо наклонена на ЮЗ (элементы Аз_{пд}, 215°/10°). Такое положение оси должно свидетельствовать о небольшой (~5–10°) левосдвиговой компоненте смещений по ассоциирующим разрывным нарушениям СЗ падения в процессе компрессионной деформации. Для складок характерны как острые, так и округлые замки. К ЮВ от контакта складчатые дислокации сменяются моноклинальным залеганием ЮВ падения (рис. 5а). По-видимому, данные дислокации имеют приразломный характер и, очевидно, были сформированы в условия СЗ-ЮВ сжатия при направлении тектонического транспорта на ЮВ. Схожий по ориентировке этап кайнозойского сжатия, но с противоположным направлением тектонического транспорта на СЗ, был отмечен нами ранее для более северного района исследований – мыса Омгон [4, 37–38] (рис. 3б). Здесь среднезоценовые отложения снатьльской свиты, с угловым несогласием перекрывающие мезозойские осадочно-вулканогенные комплексы палеоакреционной призмы, в районе контакта смяты в напряженные складки СВ-ССВ простирации, но противоположной – СЗ вергентности. По мере удаления от контакта к востоку складчатость становится менее напряженной и затем сменяется пологой моноклиналью ВЮВ падения [4, 37–38]. Учитывая схожие простижение и морфологию кайнозойских дислокаций в районе мыса Хайрюзова и мыса Омгон, можно предполагать их формирование в едином поле напряжений СЗ-ЮВ сжатия в постреннемиоценовое (по-видимому, среднемиоценовое) время.

Анализ полюсных стереограмм трещиноватости со следами сколовых смещений (зеркал скольжения), зафиксированных в пределах кайнозойских (средне-позднезоценовых? [30]) вулканогенных и вулкано-терригенных отложениях мыса Хайрюзова (рис. 6в) и верхнемеловых (конъяк-сантон) вулканогенно-обломочных [40] р. Тихая (рис. 6г), показал значительное более сложные сочетания преобладающих систем мезотектонических трещин различной кинематики и восстановленных полей напряжений. Для мыса Хайрюзова четко выделяются две системы взбросо-надвиговых трещин – южного и юго-восточного падения. Для обоих участков наблюдений характерны сбросы как южного, так и северного падений, а также существенные левосдвиговые компоненты смещений по мезоразрывам субширотного-СЗ простираций и, в меньшей степени, по меридиональным разрывам. Для долины реки Тихая была отмечена также серия трещин сбросовой кинематики В-ВСВ падения.

Прежде всего, для обеих точек наблюдения были восстановлены хорошо выраженные поля напряжений субмеридионального и СЗ растяжения (возможно отражающие самостоятельные стресс-режимы) и/или ассоциирующие с ними субширотно-

го и СВ сжатия (I). Во-вторых, выявлены поля напряжений и прямо противоположного знака – СЗ-ЮВ и субмеридионального сжатия (II). В пределах развития верхнемеловых отложений в долине р. Тихая было установлено также наличие поля палеонапряжений субширотного растяжения (III) (рис. 6г).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ И ДИСКУССИЯ

Прежде всего, отметим, что близширотное растяжение (III), установленное в пределах развития верхнемеловых вулканогенно-осадочных отложений, развитых в долине р. Тихая, не было выявлено в более молодых кайнозойских образованиях мыса Хайрюзова. С одной стороны, это может указывать на его относительно более древний возраст проявления. В этой трактовке данный этап может быть составлен с постаккреционным раннепалеоценовым растяжением Западно-Камчатского сегмента палеоазиатской окраины [26]. С другой стороны, нельзя исключать, что это поле напряжений отражает лишь локальное растяжение в сводовых частях антиклинальной (горст-антиклинальной?) структуры, в замке которой и выходят изученные меловые отложения (рис. 3б, 5б).

В общем же следует констатировать, что для обоих участков исследования восстановлены, в основном, принципиально схожие поля напряжений противоположного знака – как субмеридионального – СЗ-ЮВ сжатия (II), так и ориентированного подобным образом растяжения (I). Во-первых, это должно свидетельствовать об их позднекайнозойском (заведомо постпалеоценовом) возрасте и, во-вторых, может говорить о смене преобладающего тектонического режима за это время.

Взбросо-надвиговые зеркала скольжения ЮВ падения (отражающие СЗ-ЮВ сжатие (II) и, по-видимому, парагенетичны складчато-разрывным дислокациям позднекайнозойских отложений мыса Хайрюзова), были отмечены также в породах силла псевдолейцитовых данакитов, предположительно плиоценового возраста [29–30, 34] (рис. 6б, бв). Если постулирование возраста силла корректно, то деформации СЗ-ЮВ сжатия, относимые к постреннемиоценовому [38], а скорее среднемиоценовому, времени должны были продолжаться и позже – в плиоцен-четвертичное (?) время. Тем не менее, за отсутствием определенных геохронологических данных, этот вывод не является строгим.

На одной из точек наблюдений в районе мыса Хайрюзова было отмечено, что на единой плоскости мезоразрыва ЮВ падения, левосдвигово-взбросовые зеркала скольжения лучше выражены и выглядят более свежими, чем “замытые” правосдвигово-взбросовые, что может свидетельствовать о более позднем времени проявления субмеридионального сжатия относительно СЗ-ЮВ. С другой стороны, на

плоскостях разломов и напластований в области складчато-разрывных дислокаций олигоцен-раннемиоценовых отложений мы не обнаружили каких-либо наложенных более поздних деформационных структур. Соответственно, следует предполагать, что именно обстановка СЗ-ЮВ сжатия соответствует последнему, по крайней мере, последнему существенному, этапу структурообразования в данном регионе. Об этом же, в свете полученных данных, свидетельствует анализ геологического строения Западно-Камчатского прогиба, обладающего четко выраженной складчатой структурой ССВ простирации, осложненной разрывными нарушениями близкой ориентировки – очевидно, взбросами и надвигами противоположной вергентности (рис. 3б).

При субмеридиональной – СЗ-ЮВ ориентировке восстановленных осей максимального растяжения (I), вдоль разломов ССВ простирации, контролирующих генеральный структурный план Западной Камчатки (рис. 3б, 5, 6в, бг), должны реализовываться правосдвиговые смещения. Отаком характере смещений косвенно говорит тот факт, что среди преобладающих систем мезоструктур различной кинематики, для обоих участков выделяются левые сдвиги и сбросо-сдвиги близширотного – СЗ простирации, по-видимому, парагенетичные субмеридиональным-ССВ правым (рис. 6в, бг).

Данный вывод, в частности, должен относиться и к предполагаемой близмеридиональной региональной разломной зоне, разграничитывающей Охотоморский блок и юрско-меловые аккреционно-коллизионные структуры Западной Камчатки, выделяемой в восточной части Охотского моря по комплексу геолого-геофизических данных [3, 5, 28 и др.], но не выраженной современной сейсмичностью [28 и мн. др.].

Оговоримся, что о возможной правосдвиговой природе восточного ограничения Охотоморского блока ранее указывалось в работах [3, 63], причем в [63] – именно для кайнозойского времени. Новейшие (постстратномиоценовые) правосдвиговые и правосдвигово-взбросовые смещения вдоль разломов СВ простирации в западной части Берингоморского региона (на примере кайнозойской аккреционной острова Карагинский) были ранее установлены и нами [8]. Возможно, они отражают здесь кинематику смещений вдоль СЗ ограничения микроплиты Берингия (а сопряженные с ними ортогональные СЗ-ЮВ левые – характер смещений вдоль диффузной границы Охотоморской и Северо-Американской плит) [8] (рис. 1а). В работах [20, 53] была показана существенная роль позднечетвертичных современных правосдвиговых смещений вдоль генеральной ССВ структуры Камчатки, связываемых с несколько косым характером конвергенции Тихоокеанской и Охотоморской плит. Таким образом, существует достаточно много кос-

венных указаний на правосдвиговую кинематику предполагаемой разломной границы Охотоморского блока и Западной Камчатки.

Тем не менее, анализ карты аномалий поля силы тяжести в свободном воздухе [58] для восточной части Охотоморского региона (рис. 3а) свидетельствует о несколько иной трактовке новейшей структуры области сочленения структур Западно-Камчатского прогиба (в его морской части) и предполагаемого блока Охотского моря (см. [3, 5, 44, 62] и ссылки в них). Здесь выделяются четкая серия дугообразных, обращенных своей выпуклой стороной к западу, положительных аномалий, которые коррелируют с позднекайнозойскими структурами Западной Камчатки. Учитывая особенности их геометрии, генеральный структурный план Западной Камчатки (рис. 2, 3б) и часть имеющихся полевых структурных данных (парагенезис мезоструктур СЗ-ЮВ сжатия), мы интерпретируем их как серию З-ЗСЗ-вергентных надвигов, ограниченных с ЮЗ левосдвигово-взбросовыми разрывами СЗ простирации, часть из которых прослеживается в пределы континентальных структур. Не исключено, что формирование установленного сейсмопрофилированием западно-вергентного надвига в фундаменте Западно-Камчатского прогиба [22, 41] (рис. 2б) также связано со становлением рассмотренной выше компрессионной структуры. Таким образом, в новейшей (современной) структуре граница между предполагаемым блоком Охотского моря и мезо-кайнозойскими структурами Западной Камчатки не выражена единой прямолинейной субмеридиональной сдвиговой зоной [3, 5, 44, 63], а имеет компрессионный или, точнее, левосторонний транспрессионный характер (рис. 1а, 1б).

Сопоставление полученных нами данных с результатами проведенных ранее морских сейсморазведочных работ (рис. 7) показало принципиальную схожесть основных выводов о динамике и кинематике развития центральной части Охотоморского региона. Согласно [41], выделяются две основные стадии: растяжения (1), проявлявшаяся с палеоценом, наиболее активно протекавшая в позднем олигоцне-среднем миоцене, и приведшая к формированию рифтовых структур Охотского моря и (2) последующая за ней стадия сжатия, приведшая к частичной инверсии рифтовых бассейнов (рис. 7). Предполагается, что смена обстановки растяжения на сжатие произошла между поздним миоценом и плиоценом [41] и продолжается до настоящего времени [47].

В работе [47] подчеркивается, что для детально исследованной области в центральной части Охотского моря в районе впадины Дерюгина характерны сбросы и грабены ВСВ-ЗЮЗ простирации, осложненные протяженными ССЗ-ЮЮВ левосторонними сдвигами (рис. 7а), на стадии инверсии, также претерпевшие смену знака смещений на правосдвиговый (рис. 7б). Очевидно, что наблюдаемая рифтовая

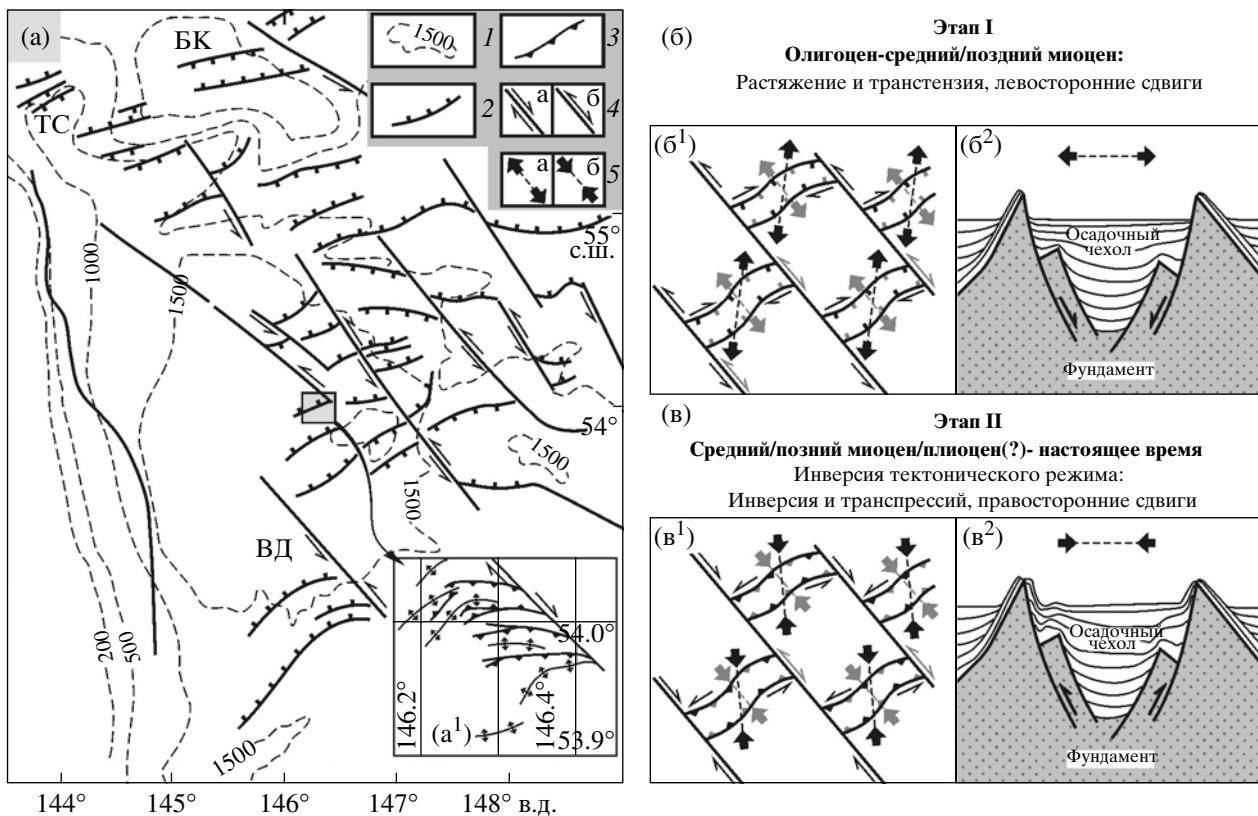


Рис. 7. Сопоставление результатов сейсморазведочных работ на акватории Охотского моря (по Баранову и др. [47, 59], упрощено) и мезоструктурных исследований в изученных участках Западной Камчатки.

(а) – структурная схема западной части центрального сегмента Охотского моря (северная часть области исследований “SAKURA”) [47]. Врезка (а¹) – структурная схема участка детальных исследований (“поле баритовой минерализации”, по [47], упрощено).

(б–в) – основные этапы и стадии структурной эволюции Охотского моря в позднем кайнозое на примере северной части области исследований “SAKURA” по [59], с изменениями и дополнениями авторов (а¹, б¹ – вид в плане, а², б² – в разрезе).

1 – изобаты, м; 2 – сбросы, 3 – взбросы и надвиги, 4 – сдвиги (а – установленной кинематики, б – неустановленной), 5 – горизонтальные проекции осей максимальных растягивающих (а) и сжимающих напряжений (б), установленных по данным мезоструктурных исследований (см. рис. бв, бг). Черный и серый цвета для пунктов 2–5 соответствуют различной ориентировке главных осей напряжений и характеру смещений по основным системам региональных разломов в течение выделенных стадий деформаций (подробнее см. текст).

структурата могла возникнуть при ЗСЗ-БЮВ (ортогональном) растяжении, однако левосдвиговый характер смещения по ортогональным разломам заставляет предполагать также проявление поля напряжений субмеридионального растяжения (рис. 7б). На последующем компрессионном этапе инверсия рифтов могла происходить в условиях преобладающего ЗСЗ-БЮВ (ортогонального) сжатия, но правосдвиговые смещения по поперечным разломам скорее следует связывать с субмеридиональным сжатием (рис. 7б). Отметим также, что на небольшом полигоне детальных сейсморазведочных работ на акватории Охотского моря были зафиксированы новейшие присдвиговые складки и взбросо-надвиги субширотной ориентировки (рис. 7а, 7а¹) [47], что может быть объяснено проявлением именно такого поля напряжений. Таким образом, для объяснения

наблюдаемой на акватории структуры следует предположить стадийность проявления разнонаправленных полей напряжений сжатия и растяжения в течение двух основных этапов развития (как рифтового, так и последующего компрессионного) центральной части Охотоморского региона, установленную нами по результатам мезоструктурных исследований на западной Камчатке. Исходя из вышеизложенного, несмотря на очевидную ограниченность имеющихся мезоструктурных данных, можно предполагать не локальное, а региональное проявление восстановленных кайнозойских полей напряжений и выделенных стадий деформации.

Возможная природа кайнозойского субмеридионального – СЗ-ЮВ растяжения. Широко известна точка зрения о существенном влиянии процессов коллизии Индо-Австралийской и Евразиатской



Рис. 8. Модель новейшей кинематики Охотоморского региона как результат отдаленного влияния Индо-Евразийской коллизии. По [63], упрощено (подробнее см. рис. 1 в [63]). Условные обозначения см. рис. 1.

плит на кайнозойскую структуру Охотоморского региона [63]. Согласно ей, в Охотоморском регионе выделяется сопряженная система правосдвиговых субмеридиональных разломов (Сахалин-Хоккайдо) и субширотных ВСВ левосдвиговых, осложненных СВ-ЮЗ простирания присдвиговыми бассейнами растяжения типа pull-apart (Шантарско-Лузианская и Пусторецкая впадины) (рис. 8). Возникновение этой системы сопряженных сдвигов связывается с отдаленным воздействием коллизии Индостана и Евразии, начавшейся в эоцене и продолжающейся до настоящего времени [63]. В этой модели, в частности, предполагается существование правосдвиговой меридиональной зоны разломов в пределах акватории западнее Камчатки (рис. 7). Необходимо отметить, что в последнее время данная концепция [63] подверглась достаточно обоснованной критике [60]. Тем не менее, и альтернативная модель (в несколько различных вариантах) асимметричного раскрытия Охотского моря в результате последовательного отступа (с вращением против часовой стрелки) зоны субдукции Тихоокеанской плиты (рис. 9) [44, 52, 60] наталкивается на ряд трудностей. Прежде всего — это установленное СЗ-ЮВ простижение палеоспрединговых центров в Южно-Охотском позднекайнозойском задуговом бассейне [1, 47–48], т.е. ортогональное Курило-Камчатской зоне субдукции (рис. 1а), а не субпараллельное, как следовало бы ожидать, исходя из модели раскрытия Охотского моря.

Тем не менее, в пользу последней модели непосредственно свидетельствует наличие в пределах Охотского моря крупных региональных структур

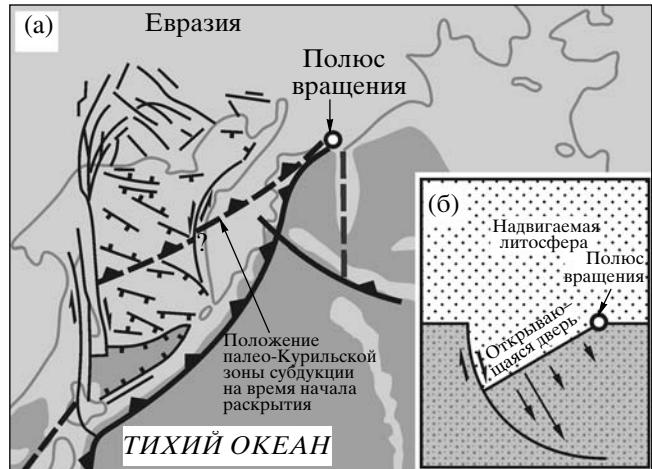


Рис. 9. Модель рифтогенного раскрытия Охотского моря в кайнозое (эоцене-миоцене) (а) вследствие отступания (вращения против часовой стрелки) Курило-Камчатской зоны субдукции (б) по [60], с учетом [44]. Амплитуда левосдвигового смещения вдоль Восточно-Охотоморской зоны разломов показана условно. Условные обозначения см. рис. 1.

растяжения — осадочных бассейнов, заполненных кайнозойскими отложениями. Данные прогибы (Магаданский, Восточно-Дерюгинский, Макарова, Южно-Охотский и др.) (рис. 1), разделенные областями поднятий акустического фундамента, характеризуются близширотными (варьирующими от ЗСЗ до ВСВ) простираниями. Добавим, что в пределах ориентированной близмеридионально впадины Дерюгина основными структуроконтролирующими разломами являются сдвиги СЗ и сбросы СВ-субширотного простирания [47, 59]. С другой стороны, в пределах Камчатки какие-либо крупные рифтогенные структуры близширотного простирания не отмечены. На существенно различный характер структурного плана Охотоморского и Камчатского блоков, разделенных крупной разломной зоной, ранее уже неоднократно указывалось [3, 5, 44]. В статье [44] также подчеркивается, что растяжение в тылу Курило-Камчатской зоны субдукции должно было локализоваться в Охотоморском блоке, тогда как отступление Камчатского блока не сопровождалось существенным изменением мощности коры.

Соответственно, следует предполагать, что выделяемая Восточно-Охотоморская зона разломов могла функционировать в качестве трансформной на протяжении периода предполагаемого раскрытия Охотского моря в кайнозое, разделяя области существенного растяжения (в пределах большей части акватории) от прилегающих структур Камчатки и ее акваториального продолжения. Таким образом, предполагаемое раскрытие Охотского моря могло контролироваться (а, точнее, ограничиваться) двумя крупными сдвиговыми зонами — правосторонней

Сахалин-Хоккайдо на западе и левосторонней Восточно-Охотоморской на востоке. Время проявления рассматриваемых процессов следует, очевидно, относить к времени развития рифтогенеза в пределах Охотоморского региона, начавшемся в палеоцене-эоцене, но наиболее интенсивно протекавшем в позднем олигоцене-среднем миоцене [41, 47 и др.].

На первый взгляд, восстановленные нами на Западной Камчатке кайнозойские поля тектонических напряжений субмеридионального – СЗ-ЮВ растяжения должны указывать на существенную роль правосдвиговых смещений в кайнозое по разрывам субмеридионального/ССВ простирации и сопряженных с ними левосдвиговых по субширотным/СЗ (рис. 6в, бг). Это может являться независимым подтверждением точки зрения о влиянии процессов коллизии Индо-Австралийской и Евразиатской плит на кайнозойскую структуру Охотоморского региона [63], включая его восточную часть (рис. 8). Добавим, что не исключен и позднечетвертичный современный возраст проявления правосдвиговых смещений вдоль разломов ССВ простирации, связанный с несколько косым характером конвергенции Тихоокеанской и Охотоморской плит [20, 53].

Очевидно, также, что поля напряжений субмеридионального-СЗ растяжения не противоречат и альтернативным моделям раскрытия Охотского моря в кайнозое [44, 52, 60], (рис. 9), поскольку ориентированы вкрест простирации основных рифтогенных структур, выделяемых в пределах акватории (рис. 1а, 7, 9). В такой трактовке восстановленные нами поля являются лишь отдаленным отражением интенсивных рифтовых процессов в Охотоморском блоке, отделенном от Западной Камчатки региональным трансформным разломом с преимущественно левосторонним характером смещений.

Возможная природа миоценовых компрессионных деформаций Западно-Камчатского прогиба. Четко выраженная линейная структура крупных пологих складок в кайнозойских отложениях Западно-Камчатского прогиба [19], вкупе с обсуждавшимися выше результатами непосредственных полевых наблюдений, заставляет предполагать ведущую роль субгоризонтального сжатия при формировании регионального структурного рисунка. Время проявления импульса этой компрессионной деформации соответствует времени формирования поверхности отчетливого углового несогласия, фиксируемого в основании ильинской свиты среднемиоценового возраста [10, 19 и др.]. Нам представляется, что причину интенсивной внутриплитной компрессионной деформации Западно-Камчатского прогиба логично связывать с процессами, происходившими в пределах ближайших границ плит (рис. 1а, 1б, 10). Последним наиболее существенным региональным коллизионным событием, проявившимся в регионе, является столкновение

Кроноцкой дуги с Восточной Камчаткой, приведшее к формированию надвига Гречишкина и деформации верхнеэоцен-миоценовых отложений расположенного к западу от него Тюшевского прогиба [2, 22, 25 и др.] (рис. 10). Необходимо отметить, что существует точка зрения об эоценовом возрасте аккреции этой дуги [16], основанная на западном положении реконструированного источника сноса для миоценовых отложений Тюшевского прогиба [45]. Тем не менее, большинство исследователей относят время коллизии к концу миоцена [2, 22, 25 и др.]. Например, в работе [25] указывается, что в Тюшевском прогибе в складко- и надвигообразование вовлечены отложения среднего и нижней части верхнего миоцена. Последние с резким угловым несогласием перекрываются горизонтально залегающими вулканитами с возрастом 6–10 млн. лет, что соответствует верхнему пределу возраста окончания коллизии в позднем миоцене. С другой стороны, этими же авторами [25] подчеркивается, что на восточном крыле Тюшевского прогиба заметное несогласие зафиксировано в основании среднемиоценовой или даже олигоценовой [39] ракитинской свиты. Палеомагнитные данные свидетельствуют о времени аккреции Кроноцкой дуги порядка 15–10 млн. лет [25], т.е. в среднем–позднем миоцене. В общем, можно констатировать, что, несмотря на достаточно заметный разброс датировок, время проявления рассматриваемых коллизионных процессов на Восточной Камчатке не входит в существенное противоречие со среднемиоценовым возрастом деформации отложений Западно-Камчатского прогиба.

Таким образом, схожесть простирания компрессионных структур надвига Гречишкина и Западно-Камчатского прогиба (ССВ-ЮЮЗ), вкупе с близостью времени проявления этих деформаций, заставляет предполагать, что последняя наиболее существенная стадия структурообразования на Западной Камчатке, происходившая в условиях ЗСЗ-ЮВ сжатия, может представлять собой отдаленную реакцию на завершение коллизии островной дуги Восточных полуостровов (Кроноцкой) с Камчаткой (рис. 1а, 10).

Фактически мы предполагаем схожий с [5, 44] сценарий становления структуры области сочленения структур Западной Камчатки и ее акваториального продолжения в результате коллизии Западно-Камчатского и Охотоморского блоков (в нашем варианте – внутриплитной конвергенции), но для миоценового времени, а не конца мелового периода. Согласно недавно полученным данным U-Pb датирования, протолит метаморфитов Срединного хребта (представляющего собой выход фундамента Западно-Камчатской микроплиты по [5]) имеет мел-палеоценовый возраст, а пик метаморфизма пришелся на ранний палеоцен (52 ± 2 млн. лет назад) [37, 52], что ставит под сомнение само существование этой микроплиты в конце мела-начале палеоце-

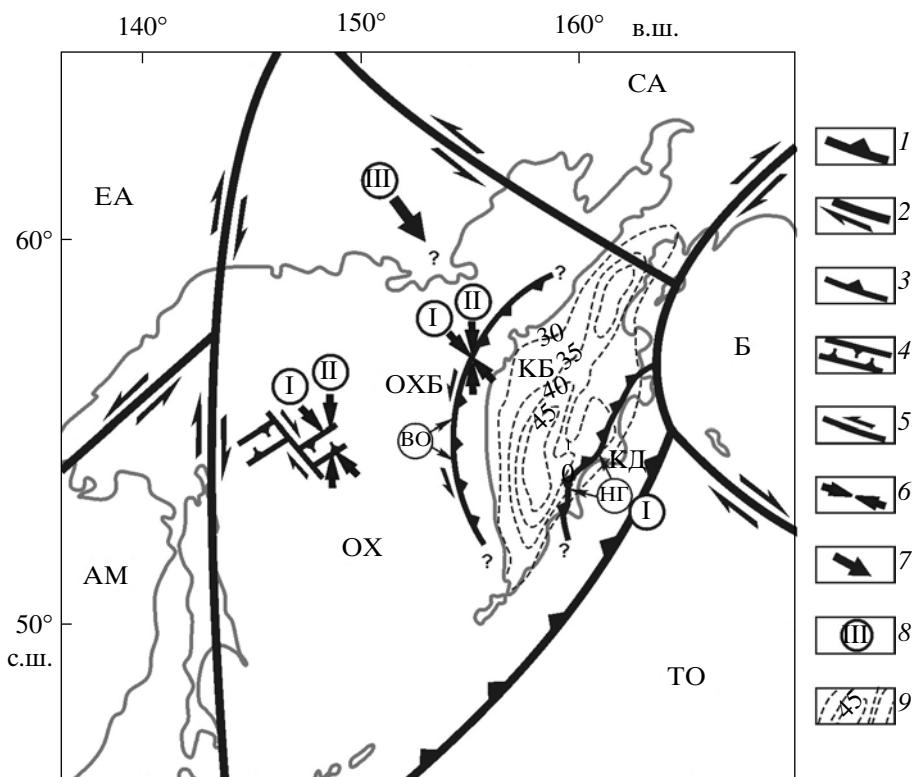


Рис. 10. Схема возможного формирования новейшей структуры Западной Камчатки и восточной части Охотоморского региона в результате взаимодействия коллизионных процессов Камчатка – Кроноцкая дуга и южнонаправленной экструзии Охотоморской плиты из области схождения Евразийской и Северо-Американской плит. Составлена на основе [60] с использованием [8, 18, 22, 24, 28, 33, 46–47, 49–51, 54–55, 57–59] и данных, приведенных в настоящей работе. 1, 2 – идеализированные узкие границы плит (а – субдукционные; б – трансформные); 3–5 – разломы: 3 – взбросы и надвиги, 4 – инверсированные сбросы, 5 – сдвиги, 6 – направления максимальных сжимающих напряжений, установленных по мезоструктурным данным; 7 – идеализированное направление латерального выжимания тектонических блоков северной части Охотоморской плиты из зоны схождения Евразиатской и Северо-Американской плит [51]; 8 – предполагаемые стадии миоцен-четвертичных деформаций сжатия и сдвига (пояснения в тексте); I – СЗ-ЮВ сжатие в результате столкновения Кроноцкой дуги с Камчаткой, становление надвига Гречишникова и Восточно-Охотоморской зоны левосторонней транспрессии, частичная инверсия рифтовых структур в Центральной части Охотского моря (средний-поздний миоцен), II – субмеридиональное сжатие дискуссионной природы (плиоцен?), III – ЮВ-ЮОВ сжатие, инициированное экструзией отдельных тектонических блоков в ЮВ-ЮЮВ из зоны схождения Евразиатской и Северо-Американской плит; 9 – изолинии мощности земной коры Камчатки, км [28, 54].

Литосферные плиты: ТО – Тихоокеанская, Б – Берингия, СА – Северо-Американская, ЕА – Евразиатская, АМ – Амурская, ОХ – Охотоморская; другие региональные структуры: НГ – надвиг Гречишникова, ВО – Восточно-Охотоморская зона разломов, ОХБ – Охотоморский блок, КБ – Камчатский блок.

на. В то же время активная роль жесткого блока в основании Камчатки на новейшем этапе подтверждена геофизическими данными и выражена в надвигании метаморфического комплекса Срединного хребта на осадки Западно-Камчатского прогиба с горизонтальной амплитудой более 10 км (рис. 2б) и погружением кайнозойских осадочных комплексов под метаморфиты на глубину более 3 км [21–22]. По-видимому, Камчатский блок при миоценовой коллизии сыграл роль жесткого штампа (внутреннего индентора) по отношению к осадочному заполнению Западно-Камчатского прогиба и прилегающих частей Охотоморского блока, на что указывает близкое совпадение геометрии Восточно-Охотоморской зоны разломов, кайнозойских структур сжатия в Западно-Камчатском прогибе и

поведения изолиний равной мощности коры Камчатки (западной части) (см. рисунки 1а, 1б, 2б', 3, 10). Схожесть поведения среднемиоценовых структур сжатия Западно-Камчатского прогиба и средненеоценового Ватыно-Лесновского надвига, по-видимому, омоложенного в миоцене, также указывает на решающую роль более древних неоднородностей в их локализации и геометрии (рис. 1а).

Здесь, однако, необходимо оговориться, что Западная и Восточная Камчатка разделены крупной новейшей структурой растяжения ССВ простирания – Центрально-Камчатской депрессией (рис. 1а), которая на севере смыкается с депрессией пролива Литке между Камчаткой и островом Карагинский, время формирования которой остается дискуссион-

ным (см., например, работу [28] и ссылки в ней). От решения этого вопроса во многом зависит и выяснение природы Западно-Камчатских миоценовых деформаций сжатия. Если Центрально-Камчатский грабен заложился позже средне-позднемиоценового времени, т.е. после завершения основных компрессионных фаз как на Западной, так и Восточной Камчатке, то это не противоречит высказанной выше гипотезе. С другой стороны, если низы вулканогенно-осадочного заполнения депрессии имеют более древний, чем среднемиоценовый, возраст, то, согласно высказанной нами точке зрения, здесь также должны были проявиться среднемиоценовые компрессионные события. В случае их отсутствия модель формирования компрессионной структуры Западной Камчатки в результате отдаленной реакции на коллизию островной дуги Восточных полуостровов и Камчатки, очевидно, следует признать ошибочной. Нельзя также исключать, что миоценовая компрессионная деформация Западно-Камчатского прогиба могла быть “компенсационной” реакцией как раз на растяжение в пределах Центрально-Камчатской депрессии. В общем, следует констатировать, что вопрос о природе миоценовой компрессионной деформации Западной Камчатки еще далек от своего окончательного решения, во многом из-за недостатка и/или противоречивости фактических данных. Предлагаемую нами модель следует рассматривать лишь как один из возможных вариантов, который, без сомнения, будет корректироваться в процессе получения новых структурных и геохронологических данных.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Можно предполагать, что миоценовое коллизионное событие на Восточной Камчатке не только сформировало современный генеральный структурный план Западно-Камчатского кайнозойского прогиба, но и могло оказывать существенное влияние на внутреннюю структуру центральной части Охотоморского региона. Поскольку Охотоморская плита стала независимой плитой в ее современных границах ~3–5 млн. лет назад [49, 57] (т.е. в первой половине – середине плиоцена), не исключено, что именно средне-позднемиоценовое коллизионное воздействие могло спровоцировать выжимание Охотоморской плиты в обратном – южном или юго-восточном [46, 51, 57] направлении из зоны диффузного сочленения (схождения) Северо-Американской и Евразиатской плит (рис. 1а). При этом, исходя из рассмотренной выше структурной неоднородности Охотоморской плиты, следует предполагать существенную роль левосдвиговых смещений вдоль Восточно-Охотоморской зоны разломов.

Природа восстановленного второстепенного поля напряжений субмеридионального сжатия не совсем ясна. Весьма гипотетично можно предположить, что оно может быть связано с внутриплитной

компрессионной компенсацией процесса южнонаправленной экструзии Охотоморского блока, по-видимому, последовавшим сразу за завершением средне-позднемиоценовой коллизии Кроноцкой дуги.

В современной геодинамической обстановке, по данным численного моделирования на основе GPS-наблюдений и решения фокальных механизмов землетрясений [51 и другие работы этих авторов], предполагается выжимание отдельных блоков в ЮВ-ЮЮВ направлении из северного “угла” плиты. Такое направление тектонической экструзии также может вызывать левосдвиговые (транспрессионные?) смещения вдоль Восточно-Охотоморской зоны разломов.

В заключение отметим, что в различные периоды времени на протяжении кайнозоя на характер тектонического развития Охотского моря могли оказывать влияние самые различные тектонические процессы: Индо-Евразийская коллизия, рифтогенное растяжение в тылу отступающей Курило-Камчатской зоны субдукции, среднеэоценовые и средне-позднемиоценовые коллизионные события на Камчатке, современные взаимодействия литосферных плит и блоков в регионе и др. Сменяя во времени и/или накладываясь друг на друга, тектонические процессы могли создать наблюдаемую сложную мозаику гетерогенных и разновозрастных структурных элементов Охотоморского региона. Ее дальнейшая расшифровка возможна только при получении и синтезе новых геолого-геофизических данных по акватории (включая сейсморазведочные работы и бурение) и прилегающим участкам суши.

ВЫВОДЫ

Анализ полевых мезоструктурных данных по Западной Камчатке с учетом опубликованных ранее результатов исследований позволяет сделать следующие выводы:

1. Восстановлены устойчивые поля кайнозойских тектонических напряжений субмеридионального – СЗ-ЮВ растяжения. Эти результаты могут являться как независимым подтверждением модели рифтогенного раскрытия Охотского моря вследствие асимметричного отступания Курило-Камчатской зоны субдукции, так и соответствовать альтернативной концепции влияния процессов коллизии Индо-Австралийской и Евразиатской плит на кайнозойскую структуру Охотоморского региона (включая его восточную часть).

2. Наиболее существенная стадия постсреднеэоценового структурообразования на Западной Камчатке, происходившая в условиях ЗСЗ-ВЮВ сжатия в среднем миоцене, может представлять собой отдаленную реакцию на завершение коллизии островной дуги Восточных полуостровов (Кроноцкой) с Восточной Камчаткой.

3. В новейшей (начиная приблизительно со среднего-позднего миоцена) и современной внутриплитной геодинамической обстановке граница между структурами Охотского моря и Камчаткой (Восточно-Охотоморская зона разломов) развивалась преимущественно в условиях левосторонней транспрессии и сдвига.

4. Сопоставление полученных структурных данных с результатами проведенных ранее морских сейсморазведочных работ в районе впадины Дерюгина показало принципиальную схожесть основных выводов о динамике и кинематике развития центральной части Охотоморского региона. Предположена стадийность проявления разнородленных полей напряжений сжатия и растяжения (С-Ю, СЗ-ЮВ направлений) в течение двух основных этапов развития – рифтового и последующего компрессионного.

Авторы благодарят члена-корреспондента РАН Н.А. Богданова, во многом инициировавшего данные работы, А.В. Ландера, Г.В. Ледневу, Т.Н. Палечек и А.Е. Голдырева за помощь в организации и проведении полевых исследований, М.Н. Шapiro, Б.В. Баранова, Н.В. Цуканова за ценные консультации по тектонике Камчатки и Охотского моря, а также С.Ю. Соколова и М.В. Лучицкую за помощь в подборке иллюстративного материала.

Настоящая работа выполнена при поддержке грантов МД-2721.2008.5, МК-971.2005.5, НШ-748.2006.5 и НШ-651.2008.5, РФФИ (проект № 05-05-64066), и Фонда содействия отечественной науке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Баранов Б.В., Дозорова К.А., Карп Б.Я., Карнаух В.А. Геометрия раскрытия Курильской котловины // Докл. РАН. 1999. Т. 367. № 3. С. 376–379.
- Бахтеев М.К., Морозов О.Л., Тихомирова С.Р. Строение безофиолитового коллизионного шва Восточной Камчатки – зоны надвига Гречишкина // Геотектоника. 1997. № 3. С. 74–85.
- Богданов Н.А., Добрецов Н.Л. Охотское океаническое вулканическое плато // Геология и геофизика. 2002. Т. 43. № 2. С. 97–110.
- Богданов Н.А., Соловьев А.В., Леднева Г.В. и др. Строение меловой аккреционной призмы хребта Омгон (Западная Камчатка) // Геотектоника. 2003. № 4. С. 64–76.
- Богданов Н.А., Чехович В.Д. О коллизии Западно-Камчатской и Охотоморской плит // Геотектоника. 2002. № 1. С. 72–85.
- Бондаренко Г.Е., Соколов В.А. Новые данные о возрасте, структуре и обстановке формирования вулканогенно-кремнисто-карбонатного комплекса мыса Омгон (Западная Камчатка) // Докл. РАН. 1990. Т. 315. № 6. С. 1434–1437.
- Бурлин Ю.К., Козынин К.В. Послойные деформации в разрезе Западно-Камчатского прогиба как объект поисков нефти и газа // Геология и геохимия горючих ископаемых / Ред. Соколов Б.А. М.: ВНИИ Зарубежгеология, 1995. С. 188–194.
- Вержбицкий В.Е., Шapiro М.Н., Соловьев А.В., Голдырев А.Е. Новые данные о структуре аккреционной призмы острова Карагинского (Берингово море) // Докл. РАН. 2005. Т. 404. № 6. С. 793–797.
- Геология СССР. Т. XXXI. Камчатка, Курильские и Командорские острова. Ч. I. М.: Недра, 1964. 734 с.
- Гладенков Ю.Б., Синельникова В.Н., Челебаева А.И., Шанцер А.Е. Биосфера – экосистема – биота в прошлом Земли. Экосистемы кайнозоя Северной Пацифики. Эоцен – олигоцен Западной Камчатки и сопредельных районов. М.: ГЕОС, 2005. 480 с.
- Гладенков Ю.Б., Синельникова В.Н., Шанцер А.Е. и др. Эоцен Западной Камчатки. М.: Наука, 1991. 181 с.
- Гладенков Ю.Б., Шанцер А.Е., Челебаева А.И. и др. Нижний палеоген Западной Камчатки (стратиграфия, палеогеография, геологические события). М.: ГЕОС, 1997. 367 с.
- Гончар В.В., Драчев С.С. Реконструкция разновозрастных полей тектонических деформаций и напряжений при помощи кинематического анализа структур разрушения // Физика Земли. 1993. № 12. С. 22–28.
- Гущенко О.И. Метод кинематического анализа структур разрушения при реконструкции полей тектонических напряжений // Поля напряжений и деформаций в литосфере. М.: Наука, 1979. С. 7–25.
- Демидов Н.Т., Сулима Г.С. Государственная геологическая карта СССР. Масштаб 1 : 200000. Западно-Камчатская серия. Лист О-57-Х, XI (Палана, Кинкиль). Л.: ВСЕГЕИ, 1982.
- Зинкевич В.П., Цуканов Н.В. Формирование аккреционной структуры Восточной Камчатки в позднем мезозое – раннем кайнозое // Геотектоника. 1992. № 4. С. 97–112.
- Злобин Т.К. Строение земной коры Охотского моря и нефтегазоносность в северо-восточной (прикамчатской) части (по сейсмическим данным). Южно-Сахалинск: Изд-во СахГУ, 2002. 98 с.
- Имаев В.С., Имаева Л.П., Козьмин Б.М. и др. Сейсмичность и современные границы плит и блоков северо-восточной Азии // Геотектоника. 2000. № 5. С. 44–51.
- Карта полезных ископаемых Камчатской области м-ба 1 : 500 000 / Гл. ред. Литвинов А.Ф. и др. Камчатприродресурс МПР РФ, 1999.
- Кожурин А.И. Позднечетвертичная тектоника Центральной Камчатки // Автореф. дисс. канд. геол.-мин. наук. М.: ГИН АН СССР, 1988, 20 с.
- Козынин В.К. Типизация и прогноз залежей углеводородов в Колпаковском прогибе Западной Камчатки // Тихоокеанская геология. 1990. № 5. С. 71–75.
- Константиновская Е.А. Тектоника восточных окраин Азии: структурное развитие и геодинамическое моделирование // Тр. ГИН РАН; Вып. 549. М.: Научный мир, 2003. 223 с.

23. Крылов Н.А., Бурлин Ю.К., Лебедев Л.И. Нефтегазоносные бассейны континентальных окраин. М.: Наука, 1988. 248 с.
24. Ландер А.В., Букчин Б.Г., Дроздин Д.В., Кирюшин А.В. Тектоническая позиция и очаговые параметры Хаилинского (Корякского) землетрясения 8 марта 1991 года: существует ли плита Берингия? // Геодинамика и прогноз землетрясений. Вычислительная сейсмология. М.: Наука, 1994. Вып. 26. С. 103–122.
25. Левашова Н.М., Шапиро М.Н., Беньяновский В.Н., Баженов М.Л. Кинематика Кроноцкой островной дуги // Геотектоника. 2002. № 2. С. 65–74.
26. Леднева Г.В., Носова А.А., Соловьев А.В. “Известково-щелочной” магматизм хребта Омгон: свидетельство растяжения Западно-Камчатского сегмента окраины Евразиатского континента в раннем палеоцене // Петрология. 2006. Т. 14. № 2. С. 168–202.
27. Морозов Ю.А. Структурообразующая роль транспрессии и транстенсии // Геотектоника. 2002. № 6. С. 3–24.
28. Объяснительная записка к тектонической карте Охотоморского региона масштаба 1 : 2500000 / Отв. ред. Богданов Н.А., Хайн В.Е. М.: ИЛОВМ РАН, 2000. 193 с.
29. Отчет ГНПП “Аэрогеология” / Ред. Левин Ф.Д. М.: Аэрогеология, 1991. С. 86–88.
30. Палечек Т.Н., Барабошкин Е.Ю., Соловьев А.В. и др. Новые данные о строении и возрасте мезозойских и кайнозойских отложений мыса Хайрюзова (Западная Камчатка) // Западная Камчатка: Геологическое развитие в мезозое. М.: Научный мир, 2005. С. 77–91.
31. Палечек Т.Н., Соловьев А.В., Шапиро М.Н. Строение и возраст осадочно-вулканогенных мезозойских отложений паланского разреза (западная Камчатка) // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2003. Т. 11. № 3. С. 57–74.
32. Прокопьев А.В., Фридловский В.Ю., Гайдук В.В. Разломы: морфология, геометрия и кинематика / Отв. ред. Парфенов Л.М. Якутск: ЯФ Изд-ва СО РАН, 2004. 148 с.
33. Савостин Л.А., Вержбицкая А.И., Баранов Б.В. Современная тектоника плит Охотоморского региона // Докл. АН СССР. 1982. Т. 266. № 4. С. 961–965.
34. Сингаевский Г.П. Геологическая карта СССР. Западно-Камчатская серия. Лист – О-57-XXV. Л.: ВСЕГЕИ, 1965.
35. Сингаевский Г.П., Бабушкин Д.А. Геологическая карта СССР. Западно-Камчатская серия. Лист – О-57-XX, XIX. Л.: ВСЕГЕИ, 1965.
36. Смирнов Л.М. Тектоника Западной Камчатки // Геотектоника. 1971. № 3. С. 104–117.
37. Соловьев А.В. Изучение тектонических процессов в областях конвергенции литосферных плит методами трекового датирования и структурного анализа // Автореф. дис. ... докт. геол.-мин. наук. М.: Геологический институт РАН, 2005. 49 с.
38. Соловьев А.В. Тектоника Западной Камчатки по данным трекового датирования и структурного анализа // Западная Камчатка: геологическое развитие в мезозое. М.: Научный мир, 2005. С. 163–194.
39. Ступин С.И., Серова М.Я., Щербина Е.А. и др. Зона Globigerina ampliapertura в палеогене Дальнего Востока (Восточная Камчатка, полуостров Кроноцкий) // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 1998. Т. 6. № 2. С. 54–68.
40. Сухов А.Н., Кузьмичев А.Б. Верхнемеловые отложения Западной Камчатки // Западная Камчатка: геологическое развитие в мезозое. М.: Научный мир, 2005. С. 195–220.
41. Харахинов В.В. Тектоника и история развития осадочных бассейнов // Структура и динамика литосферы и астеносферы Охотоморского региона / Ред. А.Г. Родников и др. М.: РАН Нац. Геоф. Ком., 1996. С. 91–111.
42. Чернов Е.Е., Коваленко Д.В. Палеомагнетизм геологических комплексов хребта Омгон (западное побережье Камчатки) // Физика Земли. 2001. № 5. С. 68–77.
43. Чернов Е.Е., Коваленко Д.В. Тектоническая эволюция Западной Камчатки (по палеомагнитным данным) // Изв. ВУЗов. Геология и разведка. 2003. № 2. С. 25–32.
44. Чехович В.Д., Сухов А.Н. О некоторых нерешенных вопросах геологии Западной Камчатки // Западная Камчатка: геологическое развитие в мезозое. М.: Научный мир, 2005. С. 195–220.
45. Alexeiev D.V., Tsukanov N.V., Guedicke Chr. Directions of sedimentary transport in the Upper Cretaceous and Miocene formations of the Eastern Kamchatka: implication for paleotectonic reconstructions // Proc. 6th Zonen-shain Conference. Moscow, Russia. Abstracts. M., 1998. P. 171.
46. Altis S. Tectonic stress state in NE Japan as part of Okhotsk plate // Tectonophysics. 2001. V. 339. P. 311–329.
47. Baranov B.V., Dozorova K.A., Karp B.Ya. Tectonics of the Sea of Okhotsk: extension vs compression // KOMEX cruise reports: KOMEX V and VI. GEOMAR. Kiel, 2000. P. 67–89.
48. Baranov B., Wong H.K., Dozorova K. et al. Opening geometry of the Kurile Basin (Okhotsk Sea) as inferred from structural data // Island Arc. 2002. V.11 (3). P. 206–219.
49. Gaina C., Roest W.R., Muller R.D. Late Cretaceous-Cenozoic deformation of Northeast Asia // Earth Planet. Sci. Lett. 2002. V. 197. P. 273–286.
50. Gordon R.G. The plate tectonic approximation: plate nonrigidity, diffuse plate boundaries, and global plate reconstructions // Ann. Rev. Earth Planet. Sci. 1998. V. 26. P. 615–642.
51. Hindle D., Fujita K., Mackey K. Current deformation rates and extrusion of the northwestern Okhotsk plate, northeast Russia // Geophys. Res. Lett. 2006. V. 33. L02306. doi:10.1029/2005GL024814.
52. Hourigan J.K. Mesozoic-Cenozoic tectonic and magmatic evolution of the Northeast Russian margin // Ph.D. Thesis. The Department of Geological and Environmental Sciences, Stanford University, Stanford, CA. 2003. 234 p.

53. Kozhurin A.I. Active faulting at the Eurasian, North American and Pacific plates junction // *Tectonophysics*. 2004. V. 380. P. 273–285.
54. Levin V.L., Park J.J., Brandon M.T. et al. Crust and upper mantle of Kamchatka from teleseismic receiver functions // *Tectonophysics*. 2002. V. 358. P. 233–256.
55. Mackey K.G., Fujita K., Gunbina L.V. et al. Seismicity of the Bering Strait region: Evidence for a Bering block // *Geology*. 1997. V. 64. № 6. P. 467–471.
56. Ramsay J.G., Huber M.I. The techniques of modern structural geology. V. 2: Folds and fractures. L.: Academic Press, 1987. 700 p.
57. Riegel S.A., Fujita K., Koz'min B.M. et al. Extrusion tectonics of the Okhotsk plate, Northeast Asia // *Geophys. Res. Lett.* 1993. V. 20. № 7. P. 607–610.
58. Sandwell D.T., Smith W.H.F. Marine gravity anomaly from Geosat and ERS-1 satellite altimetry // *J. Geophys. Res.* 1997. V. 102. P. 10.039–10.054.
59. Shipboard scientific party. Conclusions // KOMEX cruise reports: KOMEX V and VI. GEOMAR. Kiel, 2000. P. 93–97.
60. Schellart W.P., Jessell M.V., Lister G.S. Asymmetric deformation in the backarc region of the Kuril arc, northwest Pacific: New insights from analogue modeling // *Tectonics*. 2003. V. 22. № 5. P. 2–17.
61. Sylvester A.G. Strike-slip faults // *Geol. Soc. Amer. Bull.* 1988. V. 100. P. 1666 – 1703.
62. Watson B.F., Fujita K. Tectonic evolution of Kamchatka and the Sea of Okhotsk implications for the Pacific Basin // *Tectonostratigraphic terranes of the Circum-Pacific region* / Ed. D.G. Howell. Houston, TX: Circum-Pacific Council for Energy and Mineral Resources, 1985. P. 333–348.
63. Worrall D.M., Kruglyak V., Kunst F., Kuznetsov V. Tertiary tectonics of the Sea of Okhotsk, Russia: Far-field effects of the India-Eurasia collision // *Tectonics*. 1996. V. 15. P. 813–826.

New Data on the Cenozoic Deformations of Western Kamchatka and Their Significance for the Recent Tectonics of Eastern Sea of Okhotsk Region

V. E. Verzhbitsky, A. V. Soloviev

The newly obtained mesostructural data on Western Kamchatka together with previously published results allowed us to make a number of conclusions about the recent kinematics of the Eastern part of the Sea of Okhotsk Region. The submeridional – NW-SE Cenozoic extension stress-fields are inverted. These results may represent the independent evidence of the Sea of Okhotsk opening model as a result of the asymmetric retreat of the Kurile-Kamchatka subduction zone. From the other hand, the results may correspond to the alternative concept of the Indo-Australian and Eurasian plates collisional processes influence on the Cenozoic structure of Sea of Okhotsk Region, including its Eastern part. The main regional stages of deformation are shown. NW-SE compression is the last most essential stage of deformation and, it is likely to represent far-field effect of the completion of the collision of the Island arc of Eastern Peninsulas (Kronotskaya) with Kamchatka in Middle-Late Miocene. In the recent and present-day intra-plate geodynamic setting the boundary between proposed block of Sea of Okhotsk and Kamchatka (Eastern Sea of Okhotsk fault zone) was developed predominantly in left-lateral transpressional and strike-slip setting. The comparison of obtained data with the earlier seismic survey works in the Sea of Okhotsk (Deryugin Basin) has showed their general similarity.