



<http://dx.doi.org/10.5800/GT-2016-7-2-0206>

THE STRUCTURE AND HISTORY OF ABYSSAL HILLS OF THE NORTH-WESTERN PACIFIC PLATE FROM CONTINUOUS SEISMIC PROFILING AND STRATIGRAPHIC DATA

V. L. Lomtev

Institute of Marine Geology and Geophysics, Far East Branch of RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

Abstract: The abyssal hills of the North-Western Pacific plate are characterized on the basis of the continuous seismic profiling and stratigraphic data on the Meso–Cenozoic sedimentary trappean cover, and the relative ages of the hills are estimated. The study revealed the dominating occurrence of asymmetric tectonic and relatively symmetric injection hills of the Late Cenozoic age with no signs of volcanic activity. The tectonic hills are mainly associated with faults in the eastern allochthone, a result of gradual shearing of all layers of the oceanic crust. The injection hills are related to rootless granite protrusions from the lower layer of the crust (probably, granitized, primary sedimentary strata of the epicontinental ocean). Several hills are of combined tectonic and injective origin and have features inherited from the previous peneplanation era. The paper also describes the characteristics of several hills of other genesis.

Key words: North-Western Pacific plate; Meso-Cenozoic sedimentary trappean cover; abyssal hill; oceanic crust shearing; protrusion

Recommended by K.G. Levi

For citation: Lomtev V.L. 2016. The structure and history of abyssal hills of the North-Western Pacific plate from continuous seismic profiling and stratigraphic data. *Geodynamics & Tectonophysics* 7 (2), 273–288. doi:10.5800/GT-2016-7-2-0206.

Для цитирования: Ломтев В.Л. Структура и история абиссальных холмов Северо-Западной плиты Тихоокеанского океана по данным непрерывного сейсмического профилирования и сейсмостратиграфии // *Геодинамика и тектонофизика*. 2016. Т. 7. № 2. С. 273–288. doi:10.5800/GT-2016-7-2-0206.

СТРОЕНИЕ И ИСТОРИЯ АБИССАЛЬНЫХ ХОЛМОВ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ПЛИТЫ ПАЦИФИКИ ПО ДАННЫМ НЕПРЕРЫВНОГО СЕЙСМИЧЕСКОГО ПРОФИЛИРОВАНИЯ И СЕЙМОСТРАТИГРАФИИ

В. Л. Ломтев

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

Аннотация: По данным непрерывного сейсмического профилирования и сейсмостратиграфии мезокайнозойского осадочно-траппового чехла дана характеристика особенностей строения абиссальных холмов Северо-Западной плиты Тихоокеанского океана и сделана оценка их относительного возраста. Показано доминирование асимметричных тектонических и относительно симметричных инъективных холмов позднекайнозойского

возраста без признаков вулканической деятельности. Тектонические холмы связаны преимущественно с разломами восточного аллохтона – результатом последовательного срыва всех слоев океанической коры. Инъективные холмы связаны с бескорневыми гранитными протрузиями из нижнего слоя коры (вероятно, гранитизированные, первично-осадочные толщи эпиконтинентального океана). В строении ряда холмов обнаружено комбинирование тектонического и инъективного начала и признаки унаследованного развития от предшествовавшей эпохи пенепленизации. Также дана характеристика нескольких холмов иного генезиса.

Ключевые слова: Северо-Западная плита Пацифики; мезокайнозойский осадочно-трапповый чехол; абиссальный холм; срыв океанической коры; протрузия

1. ВВЕДЕНИЕ

Интерес к абиссальным холмам (термин Б. Хейзена [Heezen et al., 1962; Gershanovich, Leontiev, 1983]) на ложе Пацифики обусловлен их необычайно широким (80–85 %) распространением [Menard, 1966]. Г.У. Менард считает их самыми распространенными формами рельефа Земли. Высоту абиссальных холмов он определяет интервалом 50–1000 м, диаметр основания – 1–10 км. В работе [Gershanovich, Leontiev, 1983] высоту холмов ограничивают 20–500 м, а диаметр основания – от нескольких сотен метров – первых километров у изометричных холмов до 10–20 км – у линейно вытянутых; крутизну склонов абиссальных холмов оценивают в 2–3°. В сводке [Kenneth, 1987] допускается, что поперечник отдельных холмов может превышать 50 км при крутизне склонов 1–15°. Предложены и другие оценки [MacDonald et al., 1996; и др.].

По заключению Г.У. Менарда, «...большая часть холмов представляет собой вспучивание слоя неконсолидированных осадков, вызванное интрузиями снизу вулканических пород и образованием лакколлитов. Меньшая их часть – это просто небольшие вулканы щитового типа, образованные лавами, излившимися на поверхность дна» [Menard, 1966, с. 53]. Позднее, с учетом материалов непрерывного сейсмического профилирования методом отраженных волн (НСП МОВ) и глубоководного бурения, абиссальные холмы, конические горы и гайоты Пацифики стали связывать с мезозойским (юра–мел), спрединговым и/или внутриплитным («горячие точки») вулканизмом, реже – с трапповым магматизмом основного состава [Vasiliev, 2009; Makarenko, 1993; Le Pichon et al., 1977; и др.]. Результаты драгирования, пробоотбора, фотопрофилеирования на вершинах и склонах подводных гор, гайотов и отдельных абиссальных холмов, выполненные более 30 лет назад, также привели исследователей к выводу о преимущественно вулканической природе этих насыпных, лаво-шлаковых построек [Gershanovich, Leontiev, 1983; Kenneth, 1987].

Вместе с тем ряд авторов, начиная с Б. Хейзена [Heezen et al., 1962], считает, что какая-то часть абиссальных холмов может иметь тектонический, складчатый или комбинированный генезис, в том числе еще на склонах срединно-океанических хребтов (см. пять типов ритмичных абиссальных холмов Восточно-Тихоокеанского поднятия в [MacDonald et al., 1996]).

На северо-западе ложа Пацифики по материалам НСП изучалось строение и вероятный генезис абиссальных холмов плиты Картографов (магматические диапиры, частью асимметричные [The Cartographers Plate Tectonics..., 1988]), а также холмов и гор на поднятии Шатского (насыпные вулканические постройки и структуры протыкания с верхнемантийными серпентинитовыми ядрами [Khankishieva, 1989]). Представление о строении многочисленных (многие сотни) абиссальных холмов можно получить по временным и глубинным разрезам НСП (атлас Патрикеева [Patrikeev, 2009]), увязанным со скважинами 304, 305, 580 и 581 бурового судна «Гломар Челленджер» (рис. 1). Однако подробное изучение холмов до сих пор не проводилось, поэтому данная работа является постановочной. Ее цель – прояснить соотношение тектонического и магматического начала в строении абиссальных холмов Северо-Западной (далее СЗ) плиты Пацифики, а также их относительный возраст. Основой исследования послужили результаты регионального сейсмостратиграфического анализа данных высокочастотного (120–150 Гц) непрерывного сейсмического профилирования методом отраженных волн, выполненного сотрудниками Института морской геологии и геофизики ДВО РАН (ИМГиГ ДВО РАН), данных по профилю МОГТ1 (метод общей глубинной точки) и глубоководного бурения «Гломара Челленджера», проведенного автором [Lomtev et al., 1997; Patrikeev et al., 1997; Patrikeev, Lomtev, 1997], а также результаты изучения стратиграфии, тектоники, магматизма и газоносности СЗ плиты [Lomtev, 2010, 2013; Lomtev et al., 2004].



Рис. 1. Батиметрическая карта СЗ плиты Пацифики с фрагментами профилей НСП, профилем МОГТ1, скважинами «Гломара Челленджера» и точками повышенного теплового потока [Geology..., 1990; Tectonics..., 1983]. Изобаты в метрах.

Fig. 1. The bathymetric map of the NW Pacific plate with fragments of CSP profiles, CMP1 profile, Glomar Challenger wells, and high heat flow points [Geology..., 1990; Tectonics..., 1983]. Isobaths in meters.

2. ТЕКТОНИЧЕСКИЕ ХОЛМЫ

Судя по материалам НСП и профиля МОГТ1, основными признаками тектонических холмов являются асимметрия и взбросо-надвиговое строение их передовых склонов [Lomtev, 2010]. Тектонические холмы довольно многочисленны на СЗ плите в связи с развитием в неогене-квартере дивергентного гравитационного срыва всех четырех слоев движущейся по поверхности мантии коры (аллохтонная океаническая кора) [Patrikeev, 2009]. Ниже на ряде примеров анализируются особенности строения и относительный возраст абиссальных тектонических холмов СЗ плиты (рис. 2, а–в).

Профиль 1МГ (см. рис. 1) на вершине краевого вала между разломами Тускара и Хоккайдо пере-

сек гряде небольших, частью асимметричных, абиссальных холмов высотой до 120 м и протяженностью 48 км (рис. 2, а). Холмы венчают смещенные (до 1.8 км) к северо-западу своды асимметричных сквозных антиклиналей в кайнозойском чехле и докайнозойском фундаменте. Асимметрия складок проявляется более крутыми и короткими, по сравнению с северо-западными, юго-восточными крыльями (моноклинали). Их формирование связано с малоамплитудными пологими надвигами фундамента с вергентностью к северо-западу (складчато-надвиговой веер или структура типа «пальмового дерева», характерная для сдвигов со сжатием [Kirtasov, 2011]). Высота складок с глубиной заметно увеличивается, достигая ~500 м в кровле фундамента, что связано с конседиментационным режи-

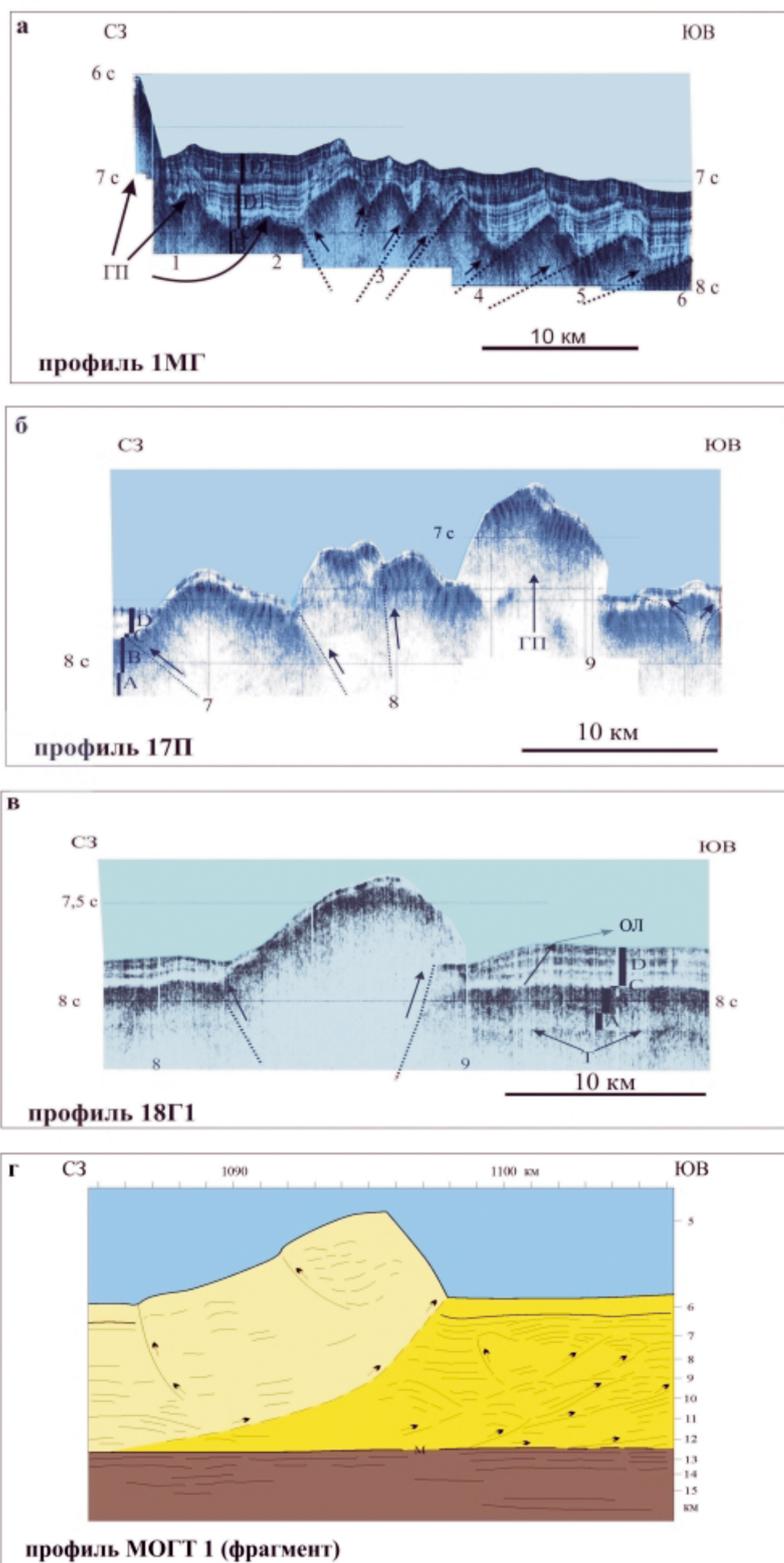


Рис. 2. Фрагменты профилей НСП (а-в) и МОГТ 1 (г) с асимметричными тектоническими холмами: а-в – вертикальный масштаб здесь и на рис. 3–6 в секундах двойного пробега; вертикальные линии – марки судового времени здесь и на рис. 3–6.

Стратиграфия мезокайнозойского, осадочно-траппового чехла здесь и на рис. 3–6: Т – финальные траппы поздней юры – раннего мела, А – карбонатная толща позднего эпиконтинентального Тетиса поздней юры – раннего мела, В – опаковый слой пестрых кремней и глин конца раннего – позднего мела, С – пестрые немые алевропелиты палеогена – раннего миоцена (лессы Пацифиды), D – туффито-кремнисто-глинистая толща (по И.О. Мурдмаа) среднего-позднего миоцена – квартера [Lomtev et al., 1997, 2004], ГП – гранитные протрузии, ОЛ – осадочная лопасть или намывная дамба здесь и на рис. 4, а, 5, б; точки со стрелками – предполагаемые разломы и смещения по ним здесь и на рис. 3–5. з – фрагмент глубинного разреза МОГТ1 [Patrikeev, Lomtev, 1997]: М – подошва аллохтонной океанической коры (деколлемент в кровле слоя 5). Пунктиры со стрелками – разломы и смещения по ним. Прочие линии – дно и отражающие границы в аллохтоне и автохтоне. Положение профилей см. на рис. 1.

Fig. 2. Fragments of CSP (a–v) and CMP1 (z) profiles with asymmetric tectonic hills: a–v – vertical scale in dual seismic travelttime seconds (also in Figures 3–6); vertical lines – ship time marks here and in Fig. 3–6.

Stratigraphy of the Meso-Cenozoic, sedimentary trap trapean cover (also in Figures 3–6): Т – final trappes of the Late Jurassic – Early Cretaceous, А – carbonate strata of the epicontinental Late Tethys of the Late Jurassic – Early Cretaceous, В – opaque layer of mottled silica and clays of the end of the Early – Late Cretaceous, С – silent mottled aleuropelites of the Paleogene – Early Miocene (Pacific loess), D – tuffite-siliceous-clay strata (according to I.O. Murdmaa) of the Middle–Late Miocene – Quaternary [Lomtev et al., 1997, 2004] ГП – granite protrusions, ОЛ – sedimentary fan or alluvial dam (also in Figures 4a and 5b); points with arrows – inferred faults and displacements along the faults (also in Figures 3–5). z – fragment of the deep CMP 1 profile [Patrikeev, Lomtev, 1997]: М – allochthonous oceanic crust bottom (decollement in the layer 5 top). Dashed lines with arrows show faults and displacement along the faults. Other lines show the bottom and reflectors in the allochthon and autochthon. See the profile positions in Fig. 1.

мом надвигания и повышенной мощностью гемипелагических (горизонт **D1**) и гемитерригенных (горизонт **D2**) осадков неоген-раннечетвертичного конуса выноса среднекурильских каньонов Бусоль, Дианы и Крузенштерна на внешнем аккумулятивном подножии Курильской подводной окраины [Lomtev et al., 1997, 2004]. Подобный режим развития дислокаций определяется по утонению осадков фана (особенно горизонта **D1**) к сводам тыловой и двух фронтальных складок, что также позволяет датировать складчато-надвиговый веер и гряду венчающих его низких абиссальных холмов средним миоценом – квартером.

Профиль 17П (см. рис. 1) пересекает сложнопостроенную разломную зону шириной 31 км в основании западного склона поднятия Шатского. В ее структуре (рис. 2, б) с запада на восток выделяются два асимметричных тектонических холма, связанных с разломами: центральный симметричный купол шириной 7.1 км, высотой 665 м и аномально крутыми ($\sim 20^\circ$) склонами, а также низкий холм справа, ограниченный встречными надвигами. Все холмы на рис. 2, б, являются выступами докайнозойского фундамента под маломощным (до 50–80 м) плащом кайнозойских осадков (гемипелагиты толщи **D** и, предположительно, лессы горизонта **C**). Передовой западный склон холма представляет собой надвиговую моноклинал, сложенную с поверхности кремнями и глинами позднемелового опакового слоя. Предпозднемиоценовый возраст передового склона холма надежно определяется горизонтальным налеганием гемипелагитов Камчатского мегафана в котловине Тускарора (на пикете 7 час краевая банка котловины).

Соседний двухвершинный холм близ отметки 8 час образован взбросами восточного падения и частично погребен под маломощными осадками толщи **D**. Последнее позволяет предполагать, что в позднемиоцене здесь находилась краевая структурная банка, контролировавшая седиментацию контуритов мегафана. В контуре банки находился и центральный купол, возникший позднее, поскольку на основание его юго-восточного склона у пикета 9 час налегают осадки толщи **D**. По-своему интересен низкий симметричный холм справа, поскольку представляет собой небольшой блок докайнозойского фундамента, выжатый по надвигам в квартере. В отличие от него симметричный центральный купол, видимо, создан молодой гранитной протрузией в плиоцене–квартере [Lomtev, 2010]. Таким образом, абиссальные холмы на профиле 17П имеют преимущественно тектонический генезис с признаками унаследованного развития.

На профиле 18Г1 (см. рис. 1) на юге котловины Тускарора можно видеть одиночный асимметричный абиссальный холм шириной 11 км и высотой

320 м (рис. 2, в). Он также является выступом фундамента, драпированным тонким (30–40 м) покровом позднекайнозойских гемипелагитов на вершине и на северо-западном пологом ($\sim 4^\circ$) склоне. Осадки прослеживаются на прилегающей равнине ложа, где слагают верхнюю, придонную, часть толщи **D**. И напротив, противоположный – короткий (2.4 км) и крутой ($\sim 8^\circ$) – склон этого холма обнажен (выход фундамента). Лишь его основание прикрыто русловыми фациями толщи **D** сокращенной мощности, слагающими небольшую абиссальную долину или моут (котловина вымывания). Столь разное строение позднемиоцен-четвертичной толщи **D** на склонах холма и в его окрестности позволяет предполагать, что еще недавно здесь существовала невысокая абразионная (столовая) банка (выжатый по разломам блок позднемелового – раннекайнозойского пенеплена, выделенного в кровле толщи **B** [Lomtev et al., 2004; Patrikeev et al., 1997]). Она контролировала положение русла (моута?) и отложение гемипелагитов, в том числе и на самой банке. В квартере последняя была приподнята по плоскости древнего взброса, видимо унаследованном от предшествовавшей эпохи пенепленизации, который и сформировал холм.

На рис. 2, г, представлен асимметричный абиссальный холм высотой 1 км у восточного края вала Зенкевича, пересеченный профилем МОГТ1 (см. рис. 1). Подошва его крутого передового склона ограничена чешуйчатым надвигом, прослеженным до поверхности мантии. Следовательно, холм данного генезиса является надвиговой моноклиналю, порожденной, вероятно, срывом океанической коры к юго-востоку от краевого вала и последующим ее давлением под влиянием гравитационных или тектонических сил на ту часть, которая оказалась высоковзброшенной над горизонтальной поверхностью.

Данный пример можно рекомендовать в качестве тектонотипа моноклиналных структур срыва (рис. 2, а–в [Lomtev, 2010]).

В этом контексте отметим фронтальную моноклинал корового срыва к востоку близ автодороги Оха – Ноглики. Двадцать лет назад на ней стоял г. Нефтегорск, разрушенный 27(28) мая 1995 г. сильным землетрясением [Lomtev et al., 2003]. С учетом рис. 2, а–г, понятно, что строить город нужно было в тылу этой моноклинали. Кстати, г. Оха также возведен на моноклиналных тектонических грядах, только более низких (на окончании регионального разлома [Lomtev, 2015a]).

Другим типом структур гравитационного срыва коры, хотя и не столь распространенным на СЗ плите [Patrikeev, 2009], являются полуграбены, или так называемые односторонние грабены (см. рис. 4 в [Lomtev, 2010]).

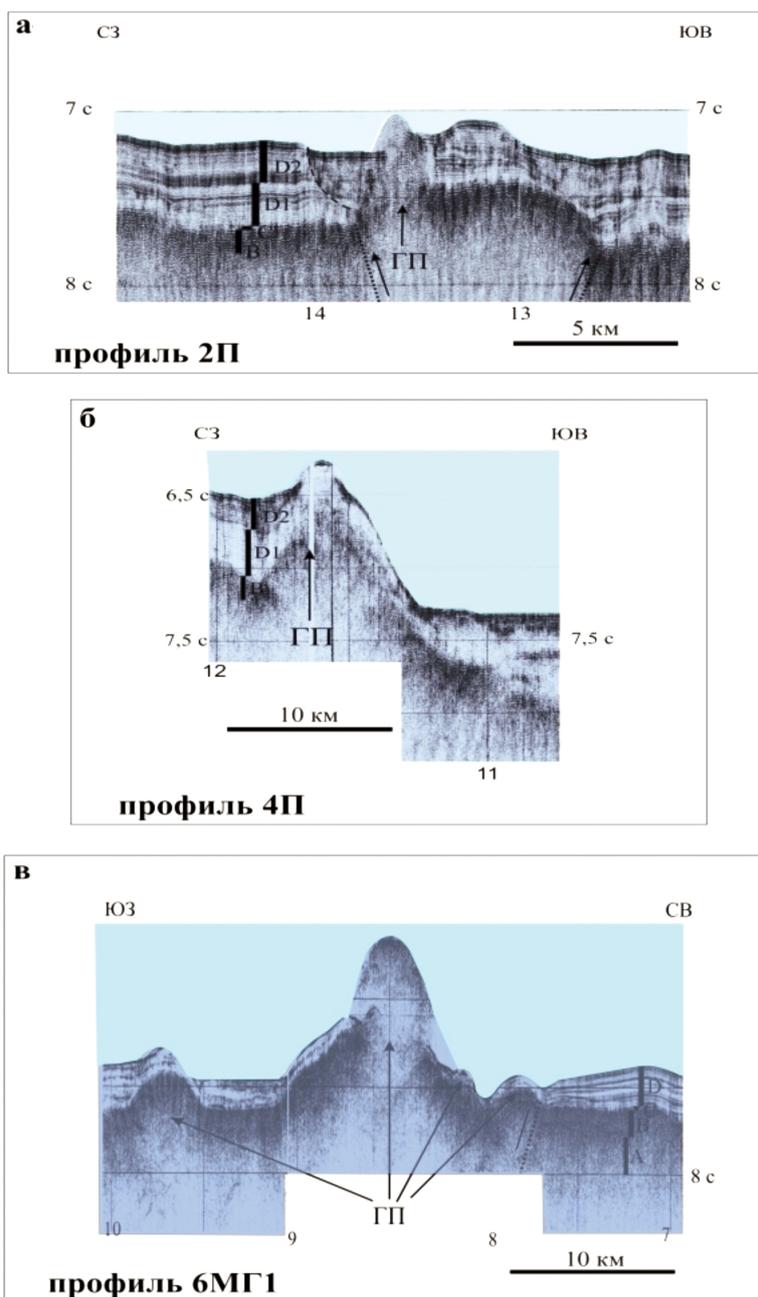


Рис. 3. Фрагменты профилей НСП с инъективными холмами (а-в). **D1, D2** – двухслойная туффито-кремнисто-глинистая толща на краевом валу (внешнее подножие Курильской окраины с фанами каньонов): преимущественно гемипелагическая (1) и гемитерригенная (2) толщи. Пунктир – мост, заполненный молодыми переотложенными осадками. Условные обозначения см. в подписи к рис. 2; положение профилей см. на рис. 1.

Fig. 3. Fragments of CSP profiles with injection hills (a–в). **D1, D2** – double-layered tuffite-siliceous-clay strata in the marginal swell (outer foot of the Kuril margin with canyon fans): mainly hemipelagic (1) and hemiterrigenic (2) strata. The moat filled with young redeposited sediments is shown by a dotted line. See the legend to Fig. 2, and the profile positions in Fig. 1.

Профиль 2П на западе котловины Тускарора (см. рис. 1) пересек выжатый по разломам слегка асимметричный и уплощенный блок фундамента шириной 6.7 км и высотой 400 м (рис. 3, а). Этот блок представляет собой столовую абразионную банку позднемелового – раннекайнозойского пенеппена в прибрежно-морских фациях позднего эпиконти-

нентального Тетиса [Lomtev et al., 2004]. Холм осложнен небольшим симметричным конусом с крутыми (~14°) склонами и диаметром основания 1.8 км. Конус прорывает толщу **D** и имеет разновысотные склоны (73 м – правый, 145 м – левый), поскольку они опираются на разновысотные блоки фундамента. Его инъективную природу и четвер-

тичный возраст подчеркивает подъем сверху неоген-четвертичных осадков вдоль юго-восточного и, возможно, северо-западного склона, а также обилие микрофракций внутри конуса (вероятно, брекчия и глыбы фундамента, выдавленные при внедрении гранитной протрузии). Судя по гипсометрии двух контрастных пачек близ границы раздела горизонтов **D1**, **D2**, их выдержанной мощности вдоль профиля, а также пологой флексуре на юго-восточном фесе, выжимание блока фундамента по разломам произошло недавно, вероятно в квартере. Отдельно отметим линзу молодых переотложенных осадков, выполняющую небольшой моут [Kenneth, 1987; *The Cartographers Plate Tectonics*, 1988]) или почти погребенную долину у северо-западного склона конуса. В ее строении нет упомянутых контрастных пачек в средней части толщи **D**, что указывает на ее недавнее (голоцен?) заполнение переотложенными осадками, возможно, по схеме абиссальных бурь [Hollister et al., 1984]. Итак, в этом примере предполагается унаследованное выжимание блока фундамента по разломам, сопровождавшееся внедрением небольшой гранитной протрузии.

3. ИНЪЕКТИВНЫЕ ХОЛМЫ

В отличие от асимметричных тектонических холмов инъективные абиссальные холмы почти симметричны и имеют преимущественно коническое строение [Lomtev, 2015a].

Так, профиль НСП 4П пересек одиночный холм шириной по основанию 12 км, расположенный на северо-западном борту осевого рифтограбена зоны разлома Хоккайдо (см. рис. 1, 3, б). Склоны холма выпуклые, довольно крутые (~8°) и разновысотные, поскольку опираются на северо-западное плечо (160 м) и опущенное днище рифтограбена (750 м) соответственно. Несколько меньше разновысотность склонов по кровле фундамента, в основном за счет повышенной (~600 м) мощности толщи **D** на северо-западном плече рифтограбена. Холм представляет собой купол фундамента, драпированный полупрозрачными гемипелагитами горизонта **D1** (средний-поздний миоцен – ранний плиоцен [Patrikeev, 2009]). Мощность горизонта на северо-западном плече и склоне рифтограбена выдержана, но на днище заметно возрастает (~500 м), частично за счет контрастных пачек турбидитов. Последние слагают придонный плиоцен-четвертичный разрез (горизонт **D2**) и залегают согласно с подстилающими гемипелагитами горизонта **D1** [Lomtev et al., 1997]. Однако на склонах холма профиль 4П фиксирует локальное угловое несогласие между этими горизонтами, связанное с почти гори-

зонтальным налеганием контрастных придонных осадков на его основание. Последнее позволяет предполагать плиоценовый возраст холма и его инъективную природу (гранитная протрузия вдоль краевого сброса или взброса по Л. Коберу [Yaroshevsky, 1981]).

В центральной части котловины Тускарора профиль 6МГ1 (см. рис. 1) в полосе шириной 25.5 км пересек одиночный абиссальный холм, образованный почти симметричным куполом фундамента (рис. 3, в). Однако, в отличие от купола на рис. 3, б, он осложнен наклонными цоколями (пьедесталами) и низкими холмами на небольшом удалении. Диаметр основания центрального холма с учетом цоколей достигает 12.5 км, а без них – 4.5 км. У него выпукло-вогнутые, слегка разнонаклонные и разновысотные склоны: 6° – юго-восточный склон высотой ~640 м и 8.5° – северо-восточный склон высотой 750 м. Верхняя, более симметричная, часть холма высотой 375 м имеет более крутые склоны (~13°). Вершина холма уплощенная и драпирована маломощным (<25 м) плащом позднекайнозойских гемипелагитов в сравнении с юго-западным цоколем и прилегающей равниной ложа. Столь же тонкий плащ гемипелагитов покрывает склоны и узкий северо-восточный цоколь холма, к которому примыкает абиссальная долина (моут?) у пикета 8 час, обвалованная намывной дамбой. С учетом почти симметричной формы центрального конуса можно предполагать его инъективный генезис (гранитная протрузия). Аналогичную природу имеет, вероятно, и низкий (131 м) симметричный холм слева с диаметром основания 4.8 км. Вместе с тем заметные различия в гипсометрии и ширине цоколей надежно фиксируют подвижность фундамента, проявленную и при формировании низкого асимметричного холма справа. Утонение плаща гемипелагитов на вершине, склонах и цоколях центрального холма в сравнении с прилегающим ложем позволяет предполагать палеовыступ позднемелового – раннекайнозойского пенеплена (абразионная структурная банка). Он контролировал положение абиссального русла и его намывной дамбы и отложение гемипелагитов в позднем миоцене – раннем плейстоцене, в том числе и на вершине выступа. Иначе говоря, здесь, как и на рис. 2, в, проявляются черты унаследованного развития с мелапалеогена. С учетом параллельности дна и кровли фундамента приходим к выводу о четвертичном возрасте центрального и соседних холмов на рис. 3, в, (постседиментационные совозрастные конусы, возможно оконтуривающие крупную гранитную протрузию и/или ее апофизы).

На юго-западе котловины Тускарора профиль 111Г (см. рис. 1) обнаружил цепь невысоких и почти симметричных абиссальных холмов близ одно-

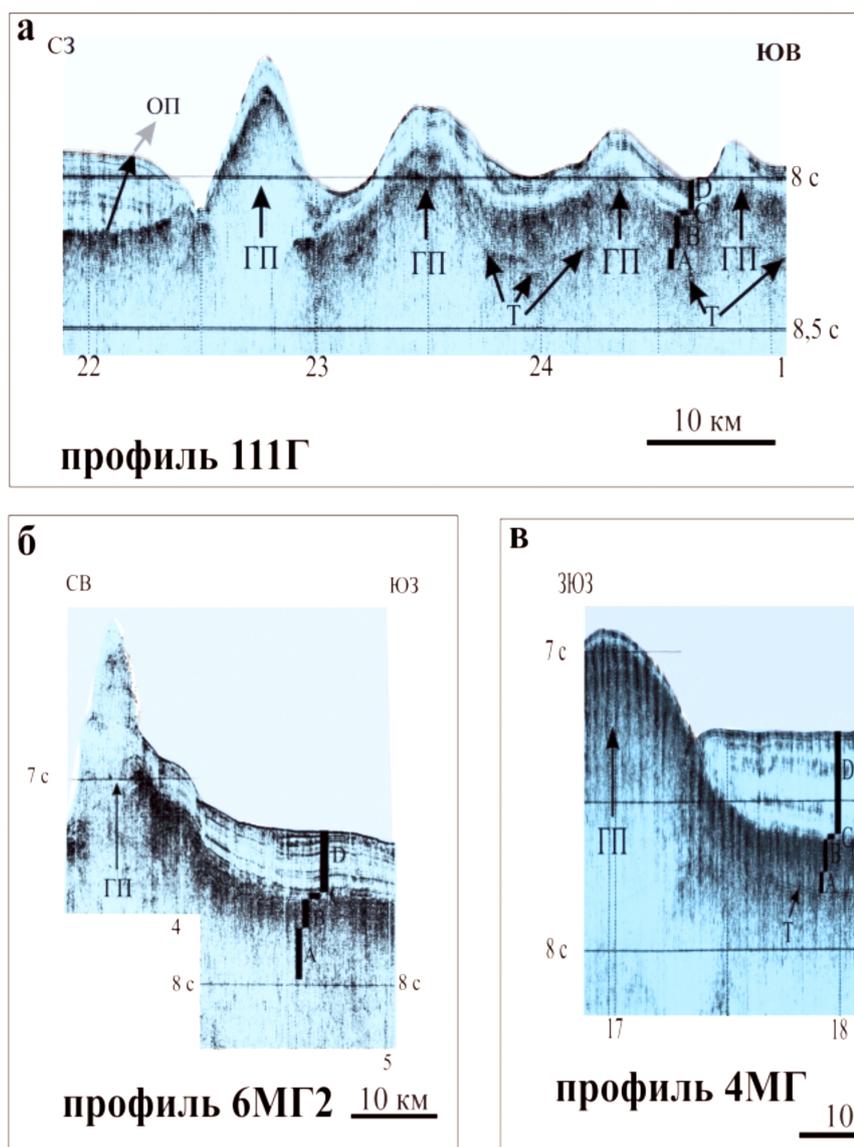


Рис. 4. Фрагменты профилей НСП с инъективными холмами (а-в). Условные обозначения см. в подписи к рис. 2; положение профилей см. на рис. 1.

Fig. 4. Fragments of CSP profiles with injection hills (а-в). See the legend to Fig. 2, and the profile positions in Fig. 1.

именного разлома и края Сангарского фана (рис. 4, а [Lomtev et al., 1997]). Последний определяется по угловому несогласию в подошве и выклиниванию фана (намывная дамба канала Накве [Mammerickx, 1980]). Высота холмов последовательно снижается в юго-восточном направлении от 375 до 270, 153 и 105 м соответственно. Диаметры их оснований в сравнении с высотой не столь выдержаны и варьируются от 6–7 до 12–13 км. Холмы образованы коническими выступами фундамента, пликативно деформирующими кайнозойский чехол, поэтому их можно считать четвертичными инъективными конусами, связанными, вероятно, с гранитными протрузиями. Отметим самый высокий (535 м с учетом мощности толщи D на юго-

восточном склоне) и крайний в цепи холм. Он имеет разнонаклонные склоны (левый ~4.5, правый ~15.5°) с разным строением и мощностью гемипелагитов. К основанию его пологого северо-западного склона прижаты абиссальное русло и край Сангарского фана, что позволяет предполагать здесь банку мезокайнозойского пенеплена (палерельеф), контролировавшую гемипелагическую седиментацию у края котловины Тускарора. В квартере банка была приподнята надвигом, определившим ее асимметрию, возможно аналогично рис. 2, в. Обратим внимание на шапку полупрозрачных гемипелагитов мощностью до 100 м, облекающую его вершину и с утонением – склоны холма. В строении шапки выделим придонную сла-

боконтрастную пачку, которая прослеживается к юго-востоку в толще гемипелагитов мощностью 100–150 м. Следовательно, осадки шапки недавно были периферией Камчатского мегафана, частично эродированной при образовании этого холма.

Профиль 6МГ2 (см. рис. 1) в северной части котловины Тускарора пересек необычный абиссальный холм шириной 23.5 км по основанию (рис. 4, б). Он имеет разновысотные склоны, высота левого склона достигает 660 м, а правого – 330 м. Отметим их разную крутизну (левый $\sim 10^\circ$, правый $\sim 5^\circ$), шероховатость и отсутствие кайнозойского чехла (горизонты **С** и **Д**). В основании юго-западного склона развит наклонный ступенчатый цоколь (флексура?), в пределах которого мощность контрастных осадков толщи **Д** сокращается вдвое. Субстрат холма полупрозрачен, с многочисленными микродифракциями и отчасти, видимо, газонасыщен. В полосе шириной ~ 5 км он как бы прорывает контрастный мезокайнозойский чехол. Такое строение позволяет предполагать, что тело холма слагают в основном брекчия и глыбы известняков толщи **А** поздней юры – раннего мела, выдавленные при внедрении гранитной протрузии в квартере. Вместе с тем приподнятый цоколь юго-западного склона и утонение придонных осадков на нем, в сравнении с прилегающим ложем, позволяют предполагать, что на месте холма еще недавно (в миоцене) существовал палеовыступ, активизированный в квартере (разновысотные и разнонаклонные склоны холма, особенно близ основания). Иначе говоря, холм имеет тектоно-инъективный генезис с элементами унаследованного развития, по крайней мере с миоцена. В частности, брекчированность известняков толщи **А** могла быть подготовлена подвижками по скрытому надвигу, которым обусловлена асимметрия основания холма и подъем фундамента под его цоколем (висячее крыло разлома).

На профиле 4МГ (см. рис. 1) видна часть абиссального холма близ подошвы западного склона поднятия Шатского (рис. 4, в). Полуширина холма достигает 17.6 км при высоте ~ 550 м, включая нижнюю часть, погребенную под контуридами толщи **Д** мощностью 315 м (поздний миоцен – квартал). Его восточный склон выпукло-вогнутый и довольно пологий ($\sim 2^\circ$). Упложенная вершина холма и восточный склон драпированы маломощными (~ 40 м) лессами горизонта **С**. Они прослеживаются на прилегающую равнину, где погребены под осадками толщи **Д**. Таким образом, в нижней, погребенной, части склона кровля горизонта **С** является поверхностью локального углового несогласия, связанного с налеганием контуридов. Несогласие позволяет предполагать предпозднемиоценовый возраст холма (палеорельеф) и спокойную обстановку

аккумуляции контуридов. Отсутствие вершинного бенча свидетельствует о подводных условиях образования холма, вероятно, в среднем миоцене, т.е. после затопления мел-раннекайнозойской палеосуши водами молодой Пацифики, но до начала отложения контуридов Камчатского мегафана [Lomtev et al., 1997]. В отличие от других примеров данный холм является практически идеальным куполом фундамента, сформированным при внедрении гранитной протрузии.

4. ХОЛМЫ ИНОГО ГЕНЕЗИСА

Фрагмент профиля 2 МГ (см. рис. 1) протяженностью ~ 93 км отражает строение присводовой части поднятия Шатского (рис. 5, а). Он интересен тремя полупогребенными конусами в кровле поздне-мезозойского чехла, венчающими уступы разновысотных ступеней, ограниченных, вероятно, скрытыми разломами или флексурами. Диаметр основания конусов увеличивается слева направо от 12 до 13 и 23.5 км. В том же направлении возрастает и их высота, определенная по левым склонам (уступы ступеней): от 190 до 240 и 910 м соответственно. Отметим пологие (до 4°) склоны конусов и их разновысотность, обусловленную гипсометрией ступеней. На вулканический генезис конусов указывают вершинные кратеры на левом и, предположительно, на двух других конусах, контрастность их вершин и, вероятно, пирокластического плаща близ пикета 1 час, а также налегание на склоны конусов, местами с постседиментационным подъемом слоев контрастного поздне-мезозойского чехла (полностью см. этот профиль в атласе [Patrikeev, 2009]). Если налегание контрастного чехла указывает на поздне-мезозойский возраст конусов, то постседиментационный подъем – на последующее внедрение экструзий вязкой магмы (экструзивные купола). На внедрение вязкой магмы могут также указывать дифракции под вершиной правого крупного конуса на уровне ~ 4.5 с, которые по аналогии с прикурильскими экструзивными куполами, вероятно, маркируют кровлю ядра протыкания [Lomtev, Patrikeev, 2015]. С таким дополнением в вулканический генезис конусов согласуется их газонасыщенность с полной потерей корреляции отражающих границ в контрастном поздне-мезозойском разрезе, что позволяет считать поднятие Шатского восточной частью первой абиссальной нефтегазоносной провинции [Lomtev, 2013]. С учетом тектонической подвижности поднятия [Patrikeev, 2009; Khankishieva, 1989] и трансгрессивной кривой уровня Пацифики в кайнозойе [Hoshino, 1986] особый интерес представляют два небольших бенча на нижней и средней ступенях. Нижний

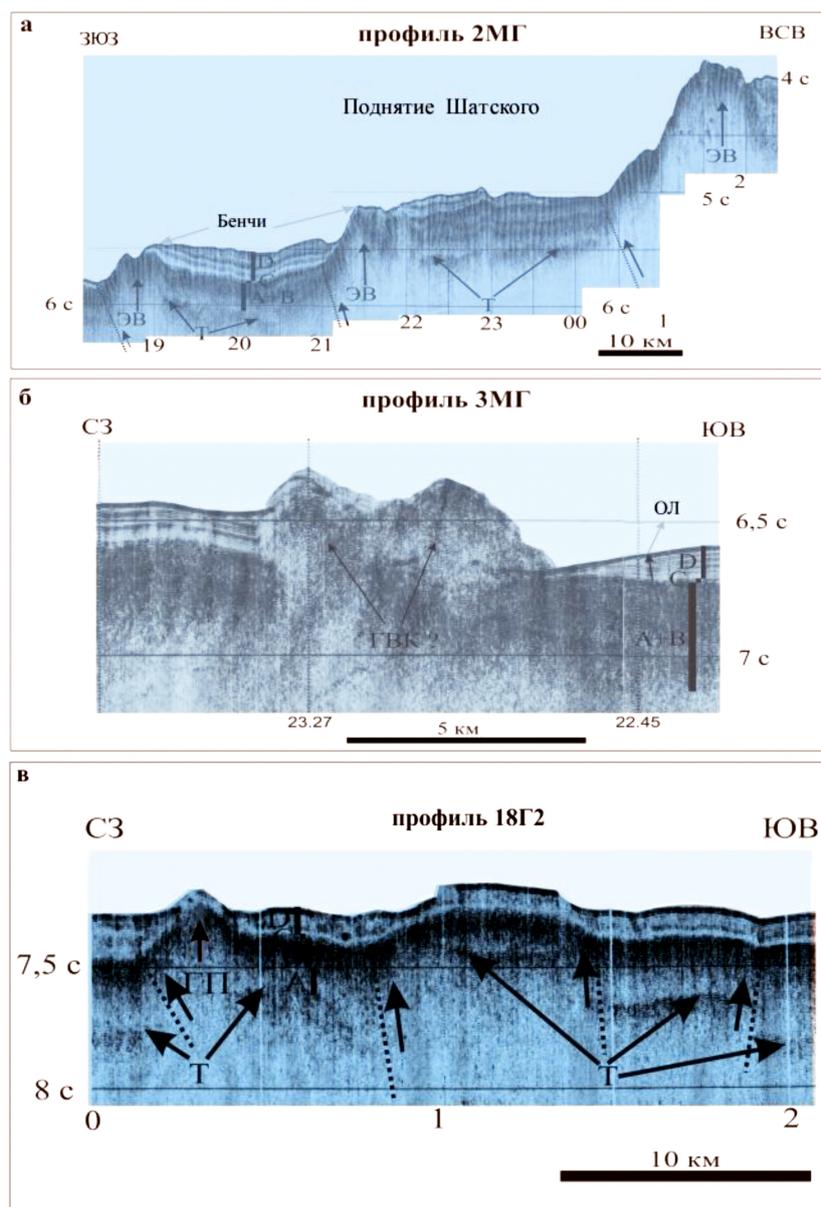


Рис. 5. Фрагменты профилей НСП с холмами иного генезиса (а-в). ЭВ – экструзивный вулкан, ГВК – газовулканический конус, А+В – окрепшие известняки позднего мезозоя на поднятии Шатского. Другие условные обозначения см. в подписи к рис. 2; положение профилей см. на рис. 1.

Fig. 5. Fragments of CSP profiles with hills of other genesis (a–v). ЭВ – extrusive volcano, ГВК – gas-volcanic cone, А+В – Late Mesozoic silicified limestones of the Shatsky uplift. See also the legend to Fig. 2, and the profile positions in Fig. 1.

бенч срезает anomalно контрастные гемипелагиты толщи **D** на глубине ~4100 м, которые, утоняясь, поднимаются на уступ средней ступени (центральный конус). Итак, полупогребенные разновысотные конусы близ вершины поднятия Шатского являются позднемезозойскими вулканами, частично абрадированными. Продукты их абразии аналогично окраинным морям Пацифики [Seliverstov, 1987] вполне могли усилить акустическую контрастность осадков толщи **D** в этом районе СЗ плиты.

Другой пример можно видеть на профиле 3МГ (см. рис. 1) также близ вершины поднятия Шатского (рис. 5, б). Он интересен небольшим холмом со 100-метровым вершинным кратером и диаметром основания 6.5 км [Lomtev, 2015b]. Холм возвышается над кровлей контрастного позднемезозойского чехла. Его склоны разновысотные (от 105 до 260 м) и отчасти разнонаклонные (от ~7.5 до ~6°). С учетом нижней части, погребенной под контрастными гемипелагитами толщи **D**, крутизна левого склона может возрасти до 24°. Субстрат холма контраст-

ный, местами полупрозрачный, с массой дифракций и непротяженных разнонаклонных отражающих площадок, в которых отсутствует нормальная осадочная слоистость. Сходное строение наблюдается и в основании холма в полосе шириной ~5 км, где в контрастном позднемезозойском чехле прерывается пологонаклонная к юго-востоку слоистость. Из изложенного можно сделать предварительный вывод о взрывной природе этой постройки (газовулканический конус), сложенной брекчией и глыбами подстилающего позднемезозойского чехла. Взрыв произошел под водой с небольшим разлетом обломков и мог быть вызван внедрением горячей интрузии в газовые пласты, залегающие среди известняков, частично окремнелых, и траппов. Время взрыва и формирования холма можно примерно оценить по особенностям строения толщи **D**, которая к северо-западу от него состоит из трех пачек. Мощность двух нижних пачек практически постоянна, в том числе вблизи холма, где они полого наклонены к юго-востоку. И напротив, верхняя, придонная, пачка имеет переменную мощность с небольшим раздувом близ холма. При этом ее кровля полого поднимается к юго-востоку, а подошва в ту же сторону погружается, следуя наклону нижних пачек. Таким образом, образование газовулканического конуса, видимо, можно датировать кварталом.

В другом примере профиль 18Г2 (см. рис. 1) пересек юго-западную окраину южного блока поднятия Шатского с разломной зоной шириной 25 км (рис. 5, в). Финальные траппы и мезокайнозойский чехол формируют здесь лестницу разновысотных блоков, ограниченных разломами и поднятых на 200–400 м над прилегающим ложем. В структуре зоны выделим приподнятый центральный блок с уплощенной вершиной (столовый абиссальный холм) и погребенной, вероятно рифовой, шапкой (линза прозрачных надбазальтовых карбонатов поздней юры – раннего мела) шириной 9 км. С обеих сторон блок ограничен скрытыми разломами, которые не выделяются в прозрачных карбонатах толщи **A**. Северо-западный край этой зоны осложнен четвертичной гранитной протрузией, сформировавшей симметричный конус высотой ~60 м. Примечательно то, что в рельефе опакового слоя высота этого конуса возрастает до ~200 м, его склоны становятся разновысотными и разнонаклонными, вероятно благодаря подвижкам по краевому разлому до внедрения протрузии. Судя по разновысотности уступов в рельефе дна и мезокайнозойском чехле, заложение разломной зоны произошло в конце поздней юры – раннем мелу после излияния финальных траппов на карбонатном шельфе. В позднем мелу – палеогене исследуемый район, видимо, был немного (~50–100 м) припод-

нят над прилегающей равниной, на что указывает небольшое утонение толщи **B** к осевому блоку. В неогене – квартере произошла активизация и подновление разломной зоны с унаследованным выжиманием осевого блока и внедрением гранитной протрузии вдоль ее северо-западного края. Таким образом, здесь проявилась унаследованность в развитии структурного плана СЗ плиты в мезокайнозое.

Необычный асимметричный холм, обтекаемый абиссальным руслом с намывной дамбой, можно видеть на профиле 19Г (см. рис. 1) на юго-западной окраине южного блока поднятия Шатского (рис. 6, а). Склоны холма разновысотные (от 70 до 210 м) и разнонаклонные (от 2 до 4°). Его ширина увеличивается с глубиной от 8 км в рельефе дна до 15 км на уровне опакового слоя и кровельных траппов. С глубиной увеличивается и высота холма, достигающая ~300 м в кровле толщи **B** и 550 м на уровне траппов. Асимметрия в строении структуры позволяет описать ее как конседиментационную моноклиаль со слегка вогнутыми крыльями, связанную со скрытым надвигом. История моноклинали восходит к поздней юре – раннему мелу, что видно по утонению прозрачных карбонатов толщи **A** к ее своду. В позднем мелу – палеогене во время формирования толщи **B** и, видимо, горизонта **C** подвижки по разлому прекратились, поскольку их мощность на крыльях моноклинали выдержана. В позднем миоцене – квартере разлом снова активизировался, что видно по утонению полупрозрачных гемипелагитов толщи **D** к своду моноклинали, наблюдаемому на ее левом крыле. И напротив, на правом крыле придонные осадки накапливались с угловым несогласием в подошве (намывная дамба) и были связаны с течениями по абиссальному руслу (моут?), прижатому к моноклинали (структурная банка позднемелового – раннекайнозойского пенеплена?). Таким образом, налицо унаследованное, хотя и со значительным перерывом, развитие скрытого надвига в фундаменте, с которым связано формирование конседиментационной моноклинали в мезокайнозое. После заложения Японского и Курило-Камчатского желобов в среднем плейстоцене и перехвата русловых турбидитов отдельной проблемой становится свежий облик этой и ряда других долин и их намывных дамб (придонные течения, связанные с топовихрями и/или абиссальными бурями [Kozlov, 1983; Lomtev et al., 1997; Hollister et al., 1984]).

В последнем примере профили 28 и 29Г (см. рис. 1) на юго-западе котловины Тускарора пересекали зону одноименного разлома, следующего к краевому валу и Курильскому желобу (рис. 6, б) [Patrikeev, 2009; Tectonics..., 1983]. Здесь в небольшой депрессии шириной 24 км и относительной

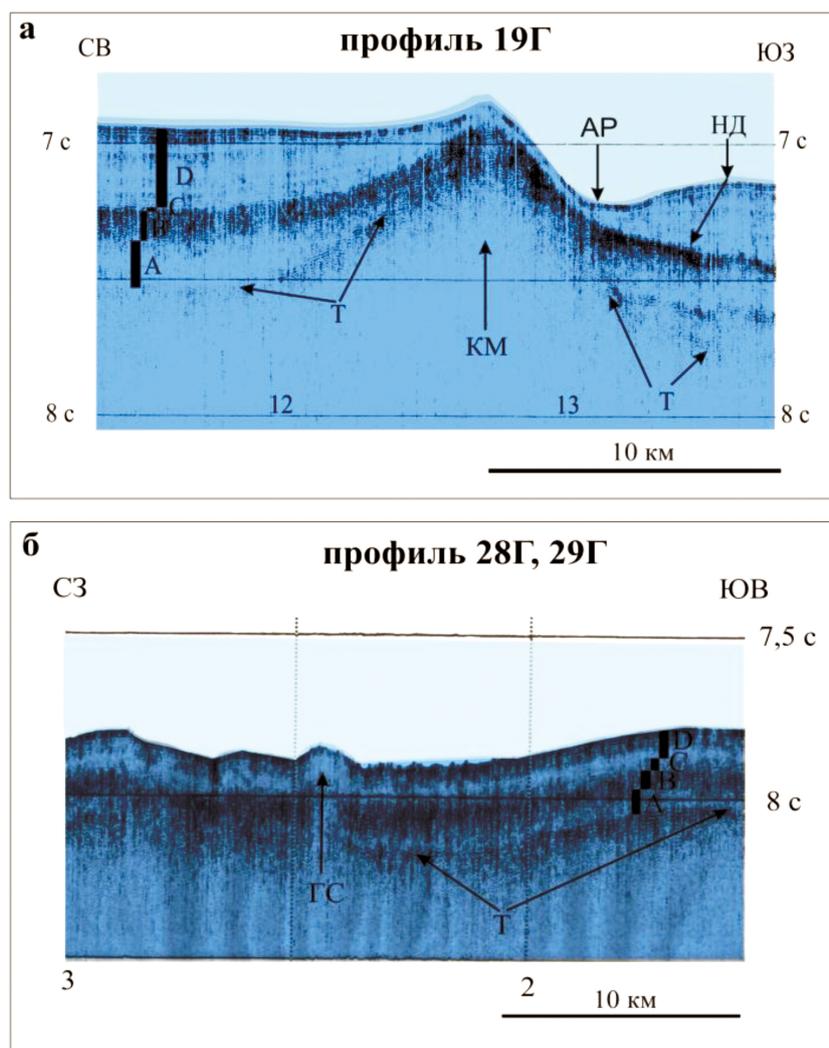


Рис. 6. Фрагменты профилей НСП с холмами иного генезиса (а, б). **КМ** – конседиментационная моноклиналь, **АР** – абиссальное русло, **НД** – намывная дамба, **ГС** – газовый столб. Другие условные обозначения см. в подписи к рис. 2; положение профилей см. на рис. 1.

Fig. 6. Fragments of CSP profiles with hills of other genesis (а, б). **КМ** – consedimentational monocline, **АР** – abyssal bed, **НД** – alluvial dam, **ГС** – gas column. See also the legend to Fig. 2, and the profile positions in Fig. 1.

глубиной 100 м обнаружены более десятка миниконусов высотой ~5–15 м и диаметром основания ~10–30 м. Последний за счет сейсмического сноса, вероятно, несколько завышен. На профилях НСП ИМГиГ по ложу СЗ Пацифики подобные миниконусы до сих пор не описывались [Patrikeev, 2009]. Строение дна здесь традиционное для котловины Тускарора, включая вертикальные газовые столбы в мезокайнозойском осадочно-трапповом чехле [Lomtev, 2013]. Обсуждение возможной природы миниконусов с д.г.-м.н. Н.С. Остапенко (ИГиП ДВО РАН, 16.09.2014 г.) позволяет предварительно отнести их к черным курильщикам и связать с неглубокой (до ~1 км под дном) молодой интрузией по результатам моделирования Покровского силла [Ostapenko et al., 2014]. Возможную интрузивно-

гидротермальную природу миниконусов отчасти поддерживают данные по кондуктивному теплотокоту через дно на рис. 1 в [Tectonics..., 1983], на котором отмечены несколько точек с его повышенными значениями, а также позднекайнозойский вулканизм на Магеллановых гайотах, Гавайских о-вах и в ряде других регионов ложа Пацифики [Lygina, 2010; Melnikov, 2005; Menard, 1966; и др.].

5. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Итак, материалы высокочастотного НСП ИМГиГ, представленные в статье, и результаты их геологической интерпретации свидетельствуют о своеобразии морфологии, строения и возраста абис-

сальных холмов СЗ плиты Пацифики. С учетом сейсмостратиграфической привязки профилей НСП к скважинам «Гломара Челленджера» (рис. 1 в [Geology..., 1990]), тектоностратиграфической интерпретации профиля МОГТ1 [Lomtev, 2010; Patrikeev, Lomtev, 1997] и атласа [Patrikeev, 2009] приходим к выводу, что среди них доминируют асимметричные тектонические и симметричные инъективные формы позднекайнозойского, а не позднемезозойского возраста, как обычно считают [Vasiliev, 2009; Gershanovich, Leontiev, 1983; Oceanography Encyclopedia..., 1974; Kenneth, 1987; и др.]. Важно, что в плане, структуре и истории геологического развития тектонические и инъективные холмы нередко сопряжены.

Тектонические холмы имеют преимущественно моноклиналиное строение и в основном связаны со взбросами, вызванными неоген-четвертичными срывами океанической коры, и последующими их дислокациями гравитационного характера к юго-востоку от осевых рифтограбенов краевого вала и поднятий зоны разлома Хоккайдо. Инъективные холмы имеют в основном коническое строение и сформированы бескорневыми, предположительно гранитными, протрузиями из нижнего слоя коры. Согласно [Lomtev, 2010], основными доводами в пользу гранитизации первично-осадочных, подтрапповых толщ в этом слое являются низкий кондуктивный теплоток через дно и тот факт, что многочисленные холмы, горы и уступы восточного площадного аллохтона не нарушают гладкий и пологонаклонный (0.1°) к юго-востоку деколlement (поверхность срыва) в кровле мантии (автохтон), почти непрерывно прослеженный на расстоянии 650 км на профиле МОГТ1 [Lomtev, 2010; Patrikeev, Lomtev, 1997]). Таким образом, гранитные протрузии и морфоструктура восточного аллохтона с блоковым, моноклиналильным поднятием Шатского во фронте являются бескорневыми. В зоне срыва маловероятна реализация идеи о верхнемантийных серпентинитовых ядрах протыкания [Khankishieva, 1989] и, на первый взгляд, предпочтительнее вариант с серпентинизацией перидотитов в нижнем слое аллохтонной океанической коры [Karakin et al., 1982; Patrikeev, 2009; и др.]. Однако и он встречается несколько затруднений. Так, глубоководным бурением сотен скважин не доказано просачивание масс морской воды через покровные лессы горизонта С и плотный опаковый слой кремней и глин [Rudich, 1984]; на трансгрессивной кривой уровня Пацифики в кайнозое в [Hoshino, 1986] нет спадов, которые бы фиксировали изъятие значительных масс воды на серпентинизацию перидотитов в низах коры кроме квартера (ледниковые эпохи); серпентиниты в ряде регионов (Корякия, п-ов Шмидта на Северном Сахалине и др.) тектонизированы, по-

скольку слагают аллохтонные тектонические пластины и чешуи, ограниченные разломами [Aleksandrov, 1978; Richter, 1986; и др.], и, следовательно, не являются куполоформирующими в отличие от гранитов или вязких магм кислого и среднего состава [Maleev, 1975; Sergeev, Krasny, 1987].

Ряд выводов работы требует специального изучения, например унаследованное развитие структурного плана СЗ плиты в мезокайнозое с двумя активными и одной пассивной (между ними) тектоническими фазами (рис. 6, а). Унаследованность проявляется в том, что абиссальные холмы нередко возникают на месте приподнятых структурных банок позднемелового – раннекайнозойского пенеплена. Важно также отметить локальные проявления донеогеновых смещений по разломам как предпосылку к срыву океанической коры в неогене-квартере. С дислокациями восточного площадного аллохтона, по всей видимости, связаны дробление и последующее выдавливание при внедрении гранитных протрузий, брекчий и глыб известняков толщи А или их взрывной выброс (газовулканический конус на рис. 5, б).

Уместно отметить признаки вероятно ограниченной тектонической и магматической активности подстилающей литосферной мантии, с которой связаны позднемезозойские вулканические (возможно экструзивные) конусы на поднятии Шатского (см. рис. 5, а), интрузии жидкой магмы (молодые черные курильщички в котловине Тускарора, рис. 6, б) и отдельные точки повышенного кондуктивного теплоток (см. рис. 1). Они согласуются с выводом авторов [Tarakanov, Veselov, 2014] об инверсии скорости в литосферной мантии под краевым валом.

Сопоставляя исследованные абиссальные холмы СЗ плиты с пятью типами ритмических холмов Восточно-Тихоокеанского поднятия, для которых в работе [MacDonald et al., 1996] предполагают тектонический, вулканический и смешанный генезис, можно заключить, что в покровах СЗ плиты практически нет признаков ритмичности кроме редко встречающихся цепей инъективных холмов (см. рис. 4, а). Здесь отсутствуют признаки и подводной вулканической деятельности, за исключением трех позднемезозойских вулканических конусов (см. рис. 5, а), а большинство конических холмов связаны с позднекайнозойскими гранитными протрузиями (см. рис. 3, 4, а–в [Lomtev, 2010]). Таким образом, граниты и углеводороды в геологии ложа северо-запада Тихого океана – принципиально новый объект будущих геолого-геофизических исследований, интересный как в аспекте эволюции древней континентальной коры региона (оценка масштабов опускания дна в результате многочисленных гранитных протрузий) [Choi, 1987], так и в плане расширения ресурсной базы цивилизации.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам интерпретации материалов высокочастотного (120–150 Гц) непрерывного сейсмического профилирования методом отраженных волн, проведенного сотрудниками Института морской геологии и геофизики ДВО РАН, а также согласно данным глубоководного бурения (сеймо-стратиграфия мезокайнозойского чехла) Северо-Западной плиты Пацифики (с учетом профилей НСП в атласе В.Н. Патрикеева) исследовано строение и относительный возраст ряда абиссальных холмов. Показано, что среди них преобладают асимметричные тектонические и относительно симметричные инъективные формы неоген-четвертичного возраста. Тектонические холмы имеют моноклиальное строение и обусловлены срывом всех слоев коры (восточный аллохтон) с мантийного основания. Коническое строение инъективных холмов обусловлено бескорневыми гранитными протрузиями из нижнего корового слоя. Особое место в классификации могут занять несколько холмов иного генезиса (молодой газовулканический конус и три поздне-мезокайнозойских вулканических постройки на поднятии Шатского; разломная зона, конседиментационная моноклиаль и предполагаемые черные курильщички в котловине Тускарора). При анализе профилей НСП обнаружены также признаки унаследованного развития Северо-Западной плиты в мезокайнозой с

активными и пассивными фазами, включая переход от обстановок карбонатного шельфа позднего Тетиса к лессам Пацифики и конусам выноса молодой Пацифики, а также газоносность поднятия Шатского. Намечены новые объекты и направления в геологии, тектонике и геоморфологии абиссальных холмов и Северо-Западной плиты в целом для будущих геолого-геофизических исследований.

7. БЛАГОДАРНОСТИ

Настоящую работу автор посвящает памяти превосходного российского геофизика, выпускника геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, ведущего научного сотрудника ИМГиГ ДВО РАН, к.г.-м.н. Вячеслава Николаевича Патрикеева. Автор признателен К.О. Дашковскому и М.В. Сеначину (оба ИМГиГ) за помощь в компьютерной подготовке графики статьи, а также сотрудникам сейсмических отрядов и экипажам НИС “Пегас”, “Морской геофизик” (ИМГиГ), “Профессор Гагаринский” (ДВО РАН) и ГС “Академик Гамбургцев” (ОАО “Дальморнефтегеофизика”) за качественные материалы НСП и МОГТ, полученные в рейсах в этом регионе ложа Пацифики. Отдельная благодарность рецензентам за полезные предложения, замечания и выявленные ошибки, позволившие улучшить качество и стиль статьи.

8. ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Aleksandrov A.A., 1978. Cover and Imbricate Structures in the Koryak Upland. Nauka, Moscow, 122 p. (in Russian) [Александров А.А. Покровные и чешуйчатые структуры в Корьякском нагорье. М.: Наука, 1978. 122 с.].
- Choi D.R. 1987. Continental crust under the NW Pacific Basin. *Journal of Petroleum Geology* 10 (4), 425–440. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1747-5457.1987.tb00583.x>.
- Geology and Mineral Resources of the Okhotsk Sea: Research Report (Conclusion)*, 1990. IMGG FEB RAS; Team Leader: G.S. Gribidenko; No. GR01860133531, Vol. 2. Yuzhno-Sakhalinsk, p. 104–231 (in Russian) [Геология и полезные ископаемые Охотского моря: Отчет о НИР (закл.) / ИМГиГ ДВО РАН; Рук. Г.С. Грибиденко, № GR01860133531. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 1990. Т. 2. С. 104–231].
- Gershanovich D.E., Leontiev O.K., 1983. Abyssal hills as a genetic type of the Global Ocean relief. *Geomorfologiya (Geomorphology)* (4), 14–22 (in Russian) [Гершанович Д.Е., Леонтьев О.К. Абиссальные холмы как генетический тип рельефа Мирового океана // *Геоморфология*. 1983. № 4. С. 14–22].
- Heezen B., Tharp M., Ewing M., 1962. The Atlantic Ocean Floor. Foreign Literature Publishing House, Moscow, 166 p. (in Russian) [Хейзен Б., Тарп М., Юинг М. Дно Атлантического океана. М.: Изд-во «Иностранная литература», 1962. 166 с.].
- Hollister C.D., Nowell A.R.M., Jumars P.A., 1984. Turbulent depths. *V Mire Nauki (In the World of Science)* (5), 4–16 (in Russian) [Холлистер Ч.Д., Науэлл А.Р.М., Джумарс П.А. Непokoйные глубины // *В мире науки*. 1984. № 5. С. 4–16].
- Hoshino M., 1986. Marine Geology. Nedra, Moscow, 432 p. (in Russian) [Хосино М. Морская геология. М.: Недра, 1986. 432 с.].
- Karakin A.V., Lobkovsky L.I., Nikolaevsky V.N., 1982. Formation of the serpentinite layer of the oceanic crust and geological and geophysical studies. *Doklady AN SSSR* 265 (3), 572–576 (in Russian) [Каракин А.В., Лобковский Л.И., Николаевский В.Н. Образование серпентинитового слоя океанической коры и некоторые геолого-геофизические исследования // *Доклады АН СССР*. 1982. Т. 265. № 3. С. 572–576].
- Kenneth J.P., 1987. Marine Geology. In two volumes. Mir, Moscow, vol. 1, 397 p.; vol. 2, 384 p. (in Russian) [Кеннет Дж.П. Морская геология. В 2-х томах. М.: Мир, 1987. Т. 1. 397 с.; Т. 2. 384 с.].

- Khankishieva L.M., 1989. The structure of the Shatsky uplift sedimentary cover: PhD Thesis (Geology and Mineralogy). IO RAS, Moscow, 24 p. (in Russian) [Ханкишиева Л.М. Структура осадочного чехла возвышенности Шатского: Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. М.: ИО РАН, 1989. 24 с.].
- Kirmasov A.B., 2011. Foundations of Structural Analysis. Nauchny Mir, Moscow, 368 p. (in Russian) [Кирмасов А.Б. Основы структурного анализа. М.: Научный мир, 2011. 368 с.].
- Kozlov V.F., 1983. Models of Topographic Eddies in the Ocean. Nauka, Moscow, 200 p. (in Russian) [Козлов В.Ф. Модели топографических вихрей в океане. М.: Наука, 1983. 200 с.].
- Le Pichon K, Franshto Sh., Bonnin J., 1977. Plate Tectonics. Mir, Moscow, 288 p. (in Russian) [Ле Пишон К., Франшто Ш., Боннин Ж. Тектоника плит. М.: Мир, 1977. 288 с.].
- Lomtev V.L., 2010. On the structure of the North-West Pacific bed. *Ural'skii Geofizicheskii Vestnik (Ural Geophysical Bulletin)* (1 (16)), 21–32 (in Russian) [Ломтев В.Л. К строению ложа Северо-Западной Пацифики // *Уральский геофизический вестник*. 2010. № 1 (16). С. 21–32].
- Lomtev V.L., 2013. Indicators of the gas-bearing capacity of the Meso-Cenozoic cover of the North-West Pacific bed. *Bulletin of SESC FEB RAS* (3), 11–17 (in Russian) [Ломтев В.Л. Признаки газоносности мезокайнозойского чехла ложа Северо-Западной Пацифики // *Вестник СВНЦ ДВО РАН*. 2013. № 3. С. 11–17].
- Lomtev V.L., 2015a. Abyssal hills of the NW Pacific plate: structural features and the relative age. In: Geodynamic Processes and Natural Disasters. Experience of Neftegorsk: All-Russia scientific conference with international participation, Yuzhno-Sakhalinsk, May 26–30, 2015. Proceedings. Dal'nauka, Vladivostok, Vol. 2, p. 98–102 (in Russian) [Ломтев В.Л. Абиссальные холмы СЗ плиты Пацифики: особенности строения и относительный возраст // Геодинамические процессы и природные катастрофы. Опыт Нефтегорска: Всероссийская научная конференция с международным участием, Южно-Сахалинск, 26–30 мая 2015 г.: Сборник материалов. Владивосток: Дальнаука, 2015. Т. 2. С. 98–102].
- Lomtev V.L., 2015b. New data on tectonics of the North-West Pacific Plate. In: Geodynamic Processes and Natural Disasters. Experience of Neftegorsk: All-Russia scientific conference with international participation, Yuzhno-Sakhalinsk, May 26–30, 2015. Proceedings. Dal'nauka, Vladivostok, Vol. 2, p. 103–107 (in Russian) [Ломтев В.Л. Новое в тектонике Северо-Западной плиты Пацифики // Геодинамические процессы и природные катастрофы. Опыт Нефтегорска: Всероссийская научная конференция с международным участием, Южно-Сахалинск, 26–30 мая 2015 г.: Сборник материалов. Владивосток: Дальнаука, 2015. Т. 2. С. 103–107].
- Lomtev V.L., Patrikeev V.N., 2015. New evidence for the structure of conical seamounts and hills at the foot of the Sea of Okhotsk margin of the Kuril island arc: Continuous seismic-profiling data. *Journal of Volcanology and Seismology* 9 (2), 104–115. <http://dx.doi.org/10.1134/S0742046315020050>.
- Lomtev V.L., Patrikeev V.N., Nemchenko G.S., 1997. Seismostratigraphy of the Cenozoic sedimentary cover of the North-Western Pacific plate. In: Structure and composition of the sedimentary cover of the North-West Pacific Ocean. IMGG FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk. P. 21–41 (in Russian) [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].
- Lomtev V.L., Patrikeev V.N., Sergeev K.F. et al., 2004. Pacific, Tethys and Pacific. In: Geodynamics, Geology and Petroleum Potential of Sedimentary Basins of the Far East of Russia. Reports of the International Scientific Symposium. IMGG FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, Vol. 1, p. 131–144 (in Russian) [Ломтев В.Л., Патрикеев В.Н., Сергеев К.Ф. и др. Пацифида, Тетис и Пацифика // Геодинамика, геология и нефтегазоносность осадочных бассейнов Дальнего Востока России: Доклады международного научного симпозиума. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2004. Т. 1. С. 131–144].
- Lomtev V.L., Zhigulev V.V., Patrikeev V.N., Ageev V.N., 2003. Geology problems of the North Sakhalin oil-and-gas basin. In: Geodynamics, Magmatism and Minerageny of Continental Margins of the North Pacific. Materials of the All-Russia meeting. NEISRI FEB RAS, Magadan, Vol. 2, p. 38–40 (in Russian) [Ломтев В.Л., Жигулев В.В., Патрикеев В.Н., Агеев В.Н. Проблемы геологии Северо-Сахалинского нефтегазоносного бассейна // Геодинамика, магматизм и минерогения континентальных окраин севера Пацифики: Материалы всероссийского совещания. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2003. Т. 2. С. 38–40].
- Lygina T.I., 2010. Intraplate volcanic and hydrothermal activity in the ocean – new facts. *Priroda (Nature)* (5), 36–45 (in Russian) [Лыгина Т.И. Внутриплитная вулканическая и гидротермальная активность в океане – новые факты // *Природа*. 2010. № 5. С. 36–45].
- MacDonald K.C., Fox P.J., Alexander R.T., Pockalny R., Gente P., 1996. Volcanic growth faults and the origin of Pacific abyssal hills. *Nature* 380 (6570), 125–129. <http://dx.doi.org/10.1038/380125a0>.
- Makarenko G.F., 1993. Planetary Mountain Arc and Myths of Mobilism. Kosmosinform, Moscow, 280 p. (in Russian) [Макаренко Г.Ф. Планетарные горные дуги и мифы мобилизма. М.: Космосинформ, 1993. 280 с.].
- Maleev E.F., 1975. Criteria for Diagnostics of Facies and Genetic Types of Volcanic Rocks. Nauka, Moscow, 256 p. (in Russian) [Малеев Е.Ф. Критерии диагностики фаций и генетических типов вулканитов. М.: Наука, 1975. 256 с.].
- Mammerickx J., 1980. A deep-sea channel in the Northwest Pacific Basin. *Marine Geology* 34 (3–4), 207–218. [http://dx.doi.org/10.1016/0025-3227\(80\)90072-9](http://dx.doi.org/10.1016/0025-3227(80)90072-9).
- Melnikov M.E., 2005. Deposits of Cobalt-Bearing Manganese Crust. *Yuzhmorgeologia, Gelendzhik*, 230 p. (in Russian) [Мельников М.Е. Месторождения кобальтоносных марганцевых корок. Геленджик: ФГУП ГНЦ «Южморгеология», 2005. 230 с.].

- Menard H.W., 1966. Geology of the Pacific Ocean Floor. Mir, Moscow, 274 p. (in Russian) [Менард Г.У. Геология дна Тихого океана. М.: Мир, 1966. 274 с.].
- Oceanography Encyclopedia, 1974. Gidrometeoizdat, Leningrad, 631 p. (in Russian) [Океанографическая энциклопедия. Л.: Гидрометеоздат, 1974. 631 с.].
- Ostapenko N.S., Neroda O.N., Borodavkin S.I., 2014. Experimental modeling of the ore-forming fluid convection over the igneous sill intruded into the hydrothermal system (case of the NE flank of the Pokrovsky deposit). In: Problems of Geology and Complex Exploration of Natural Resources in East Asia: The 3rd All-Russia scientific conference. IGRM FEB RAS, Blagoveshchensk, Vol. 1, p. 150–153 (in Russian) [Остапенко Н.С., Нерода О.Н., Бородавкин С.И. Экспериментальное моделирование конвекции рудообразующего флюида над внедрившимся в гидротермальную систему магматическим sillом (ситуация С-В фланга Покровского месторождения) // Вопросы геологии и комплексного освоения природных ресурсов Восточной Азии: Третья всероссийская научная конференция. Благовещенск: ИГиП ДВО РАН, 2014. Т. 1. С. 150–153].
- Patrikeev V.N., 2009. The Atlas of Seismic Sections of the North-West Pacific Plate. GEOS, Moscow, 208 p. (in Russian) [Патрикеев В.Н. Атлас сейсмических разрезов Северо-Западной плиты Тихого океана. М.: ГЕОС, 2009. 208 с.].
- Patrikeev V.N., Lomtev V.L., 1997. Seismic stratigraphy of the North-West Pacific plate in the CMP profile. In: Structure and composition of the sedimentary cover of the North-Western Pacific. IMGGE FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, p. 42–64 (in Russian) [Патрикеев В.Н., Ломтев В.Л. Сейсмостратиграфия Северо-Западной плиты Тихого океана на профиле МОГТ // Структура и вещественный состав осадочного чехла северо-запада Тихого океана. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 1997. С. 42–64].
- Patrikeev V.N., Lomtev V.L., Nemchenko G.S., 1997. Stratigraphy of the Mesozoic sedimentary cover of the North-West Pacific Plate. In: Structure and composition of the sedimentary cover of the North-Western Pacific. IMGGE FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, p. 5–20 (in Russian) [Патрикеев В.Н., Ломтев В.Л., Немченко Г.С. Сейсмостратиграфия мезозойского осадочного чехла Северо-Западной плиты Тихого океана // Структура и вещественный состав осадочного чехла северо-запада Тихого океана. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 1997. С. 5–20].
- Richter A.V., 1986. Structure and Tectonic Development of Sakhalin in the Mesozoic. Nauka, Moscow, 92 p. (in Russian) [Рихтер А.В. Структура и тектоническое развитие Сахалина в мезозое. М.: Наука, 1986. 92 с.].
- Rudich E.M., 1984. Expanding Oceans: Facts and Hypotheses. Nedra, Moscow, 251 p. (in Russian) [Рудич Е.М. Расширяющиеся океаны: факты и гипотезы. М.: Недра, 1984. 251 с.].
- Seliverstov N.I., 1987. Seismoacoustic Studies of Transition Zones. Nauka, Moscow, 112 p. (in Russian) [Селиверстов Н.И. Сейсмоакустические исследования переходных зон. М.: Наука, 1987. 112 с.].
- Sergeev K.S., Krasny M.L. (Eds.), 1987. Geological and Geophysical Atlas of the Kuril-Kamchatka Island System. VSEGEI, Leningrad, 36 sheets (in Russian) [Геолого-геофизический атлас Курило-Камчатской островной системы / Ред. К.С. Сергеев, М.Л. Красный. Л.: ВСЕГЕИ, 1987. 36 л.].
- Tarakanov R.Z., Veselov O.V., 2014. Seismological studies by bottom stations in the North-Western Pacific Ocean. *Geoinformatika (Geoinformatics)* (4), 17–31 (in Russian) [Тараканов Р.З., Веселов О.В. Сейсмологические исследования с донными станциями в северо-западной части Тихого океана // *Геоинформатика*. 2014. № 4. С. 17–31].
- Tectonics of the North-Western Pacific*, 1983. Nauka, Moscow, 118 p. (in Russian) [Тектоника северо-западной части Тихого океана. М.: Наука, 1983. 118 с.].
- The Cartographers Plate Tectonics (Pacific Ocean)*, 1988. Nauka, Moscow, 88 p. (in Russian) [Тектоника плиты Картографов (Тихий океан). М.: Наука, 1988. 88 с.].
- Vasiliev B.I., 2009. The geological structure and origin of the Pacific Ocean. Dal'nauka, Vladivostok, 560 p. (in Russian) [Васильев Б.И. Геологическое строение и происхождение Тихого океана. Владивосток: Дальнаука, 2009. 560 с.].
- Yaroshevsky V.M., 1981. Tectonics Faults and Folds. Nedra, Moscow, 245 p. (in Russian) [Ярошевский В.М. Тектоника разрывов и складок. М.: Недра, 1981. 245 с.].



Ломтев Владимир Леонидович, канд. геол.-мин. наук, зав. лабораторией геодинамики и морской геологии
Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН
693022, Южно-Сахалинск, ул. Науки, 1Б, Россия
Тел.: (4242)791690, доб. 238; ✉ e-mail: lomtev@imgg.ru

Lomtev, Vladimir L., Candidate of Geology and Mineralogy, Head of Laboratory of Geodynamics and Marine Geology
Institute of Marine Geology and Geophysics, Far East Branch of RAS
1B Nauka street, Yuzhno-Sakhalinsk 693022, Russia
Tel.: (4242)791690, ext. 238; ✉ e-mail: lomtev@imgg.ru