GEODYNAMICS & TECTONOPHYSICS

PUBLISHED BY THE INSTITUTE OF THE EARTH'S CRUST
SIBERIAN BRANCH OF RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

2018 VOLUME 9 ISSUE 1 PAGES 177–197 ISSN 2078-502X

https://doi.org/10.5800/GT-2018-9-1-0344

Features of the structure and formation of the Kamchatka Canyon (the Pacific margin of Kamchatka)

V. L. Lomtev

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

Abstract: The measurement data on the Kamchatka Canyon, including the block diagram, a set of echograms, the longitudinal profile of the canyon, and the bathymetric map, and the continuous seismoacoustic profiling data (CSP) has been reinterpreted. The study covers the shelf and the upper and middle parts of the continental slope. Regional gas-saturated strata have been discovered in the Cenozoic cover of the shelf and the continental slope, as well as in the block landslides of the sedimentary cover on the left (~55 km long, the western slope of the Kamchatka Cape) and right (more than 25 km long, the Kamchatka river delta front) sides of the canyon. Hanging landslides on the left side are associated with a 100–150 m increase in the depth of the canyon. On the middle slope, there is a large (28 km long) block landslide and its almost compensated paleochannel. The sub-latitudinal turn and the displacement of the canyon mouth to the north by 70 km is related to uplifting of the ridge-barrier in the Middle Pleistocene – Holocene. Based on the measurement and CSP data, it becomes possible to contour landslides on the sides of the Kamchatka Canyon, select the most hazardous locations (hanging landslides on the upper slope) for numerical modeling of potential landslide-related tsunami, and develop recommendations pertaining to construction of a new international sea port in the town of Ust-Kamchatsk.

Key words: Eastern Kamchatka; Gulf of Kamchatka; Pacific active margin; canyon; Cenozoic sedimentary cover; landslide; paleochannel; sediment waves; gas

RESEARCH ARTICLE

Handling Editor: K.G. Levi

Received: July 21, 2017
Revised: October 10, 2017
Accepted: October 18, 2017

For citation: *Lomtev V.L.*, 2018. Features of the structure and formation of the Kamchatka Canyon (the Pacific margin of Kamchatka). *Geodynamics & Tectonophysics* 9 (1), 177–197. doi:10.5800/GT-2018-9-1-0344.

Для цитирования: *Ломтев В.Л.* Особенности строения и формирования Камчатского подводного каньона (тихоокеанская окраина Камчатки) // *Геодинамика и тектонофизика*. 2018. Т. 9. № 1. С. 177–197. doi:10.5800/GT-2018-9-1-0344.

Особенности строения и формирования Камчатского подводного каньона (тихоокеанская окраина Камчатки)

В. Л. Ломтев

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

Аннотация: Проведена переинтерпретация данных промера (блок-диаграмма, блок эхограмм, продольный профиль каньона, батиметрическая карта) и непрерывного сейсмоакустического профилирования (НСП) (фрагменты сейсмопрофилей) по Камчатскому каньону (шельф, верхняя и средняя часть континентального склона). Обнаружена региональная газонасыщенность кайнозойского чехла на шельфе и континентальном склоне, а также блоковые оползни осадочного чехла на левом (протяженность ~55 км, западный склон п-ова Камчатского мыса) и правом (протяженность более 25 км, склон авандельты р. Камчатки) борту каньона. Висячие оползни на левом борту связаны с переуглублением каньона на 100–150 м. На среднем склоне обнаружен крупный (28 км) блоковый оползень, сошедший по Камчатскому каньону, и его почти компенсированное палеорусло. Субширотный поворот и смещение устья каньона к северу на 70 км связаны с воздыманием хребта-барьера в среднем плейстоцене – голоцене. Материалы промера и НСП позволяют оконтурить оползневые массивы на бортах Камчатского каньона, выбрать для численного моделирования оползневых цунами наиболее опасные места (висячие оползни в полосе верхнего склона) и подготовить связанные с этим рекомендации для строителей нового международного морского порта Усть-Камчатск.

Ключевые слова: Восточная Камчатка; Камчатский залив; тихоокеанская активная окраина; каньон; кайнозойский осадочный чехол; оползень; палеорусло; осадочные волны; газ

1. Введение

Камчатский подводный каньон протяженностью 162 км является одним из крупнейших в Курило-Камчатском регионе (рис. 1, *а*, *б*); [*Lomtev et al., 1980; Sychev, 1980*]. Он был открыт в результате промеров в рейсах НИС «Витязь» в 1950–1955 гг. [*Ilyin, 1961*]. Каньон дренирует приглубый (до ~200 м) шельф вершины Камчатского залива и, огибая подошву западного склона п-ова Камчатский, выходит на глубоководную (5500–5700 м) аккумулятивную равнину на стыке тальвегов Курило-Камчатского и Алеутского желобов [*Lomtev, 2012, 2017; Seliverstov, 1998, 2013*]. Интерес к нему связан с планами строительства нового международного порта Усть-Камчатск, которому могут угрожать обвально-оползневые (висячие оползни на левом борту каньона) и сейсмотектонические цунами в камчатском сегменте фокальной зоны Беньофа [*Go et al., 1990; Pinegina, 2014*]. Об активной литодинамике Камчатского каньона свидетельствует постоянный микросейсмический шум на частотах 0.15–0.40 Гц, фиксируемый сейсмостанциями в поселках Крутоберегово и Ключи (Н.И. Селиверстов, личное сообщение, 1980) (рис. 1, *а*), а также цунами после сильного землетрясения с магнитудой 7.2 в районе Камчатского каньона 14.04.1923 г. Оно подошло к устью р. Камчатки через 15–20 минут и имело высоту заплеска от 1 до 11 м (рис. 3 в [*Go et al., 1990*]). Вместе с тем на странице 40 в работе [*Soloviev, Ferchev, 1961*] сообщается, что один из катеров рыбозавода «Ничиро» на побережье Камчатского залива «…был переброшен через низкую прибрежную террасу шириной около 1 км и закинут на склон на высоту около 20 м».

Рельеф дна региона известен по материалам прецизионного промера с узколучевым эхолотом ГЭЛ-3 и спутниковой привязкой в рейсе экспедиционно-океанографического судна «Абхазия» (КТОФ СССР) (1975 г.) [*Lomtev, 2012; Sychev, 1980*], а также высокочастотного (200–250 Гц) непрерывного сейсмоакустического профилирования (НСП) в ряде рейсов НИС «Вулканолог» Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН [*Seliverstov, 1998, 2009, 2013*]. Верхняя часть Камчатского каньона по системе дуговых галсов (рис. 2) детально изучалась сотрудниками СахКНИИ в рейсе судна «Тымь» ПО «Сахалинрыбпром» (1978 г.) (эхолоты НЭЛ-5, «Палтус» и «Кальмар», радионавигация 23-й экспедиции 2-го предприятия ГУГК СССР с точностью привязки ±5 м [*Lomtev et al., 1980*]). По результатам установлено довольно сложное строение каньона, имеющего многочисленные притоки, несколько пережимов, коленчатые изломы русла, оползни, разную ширину, глубину и форму поперечного сечения (рис. 3, 4). Верховья каньона образуют

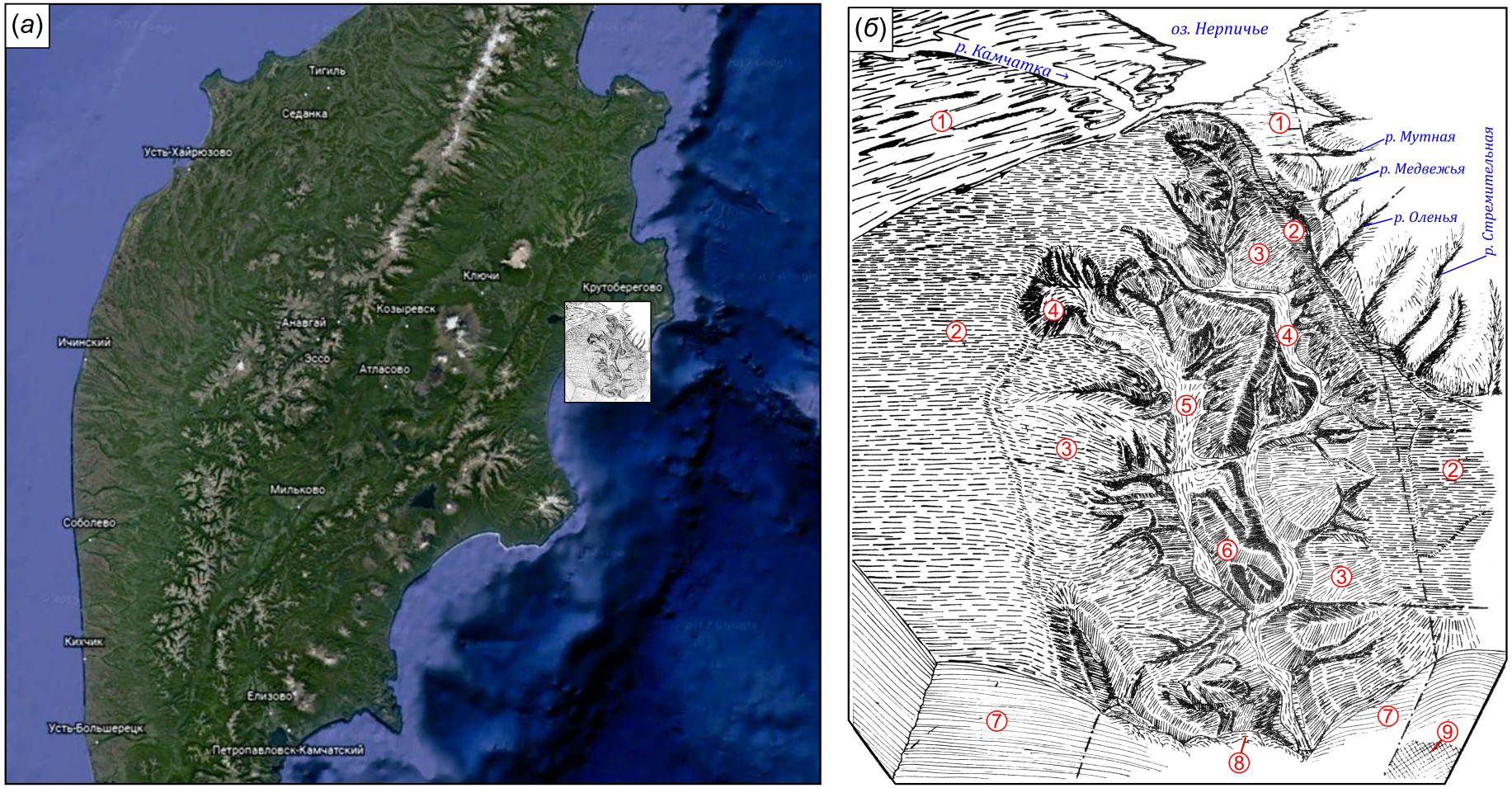


Рис. 1. Обзорная карта п-ова Камчатка и прилегающих акваторий СЗ Пацифики. (*а*) – спутниковое изображение п-ова Камчатка (Google Earth); (*б*) – блок-диаграмма Камчатского каньона О.С. Корнева [*Kornev et al., 1981; Lomtev et al., 1980*]. 1 – низкая приморская равнина; 2 – шельф Камчатского залива; 3 – склоны каньона; 4 – эрозионно-оползневой (?) цирк в вершине Западной долины; 5 – дно каньона; 6 – блоковый оползень; 7 – стратифицированные кайнозойские отложения; 8 – породы предположительно доверхнемелового возраста; 9 – кайнозойские отложения с нарушенной слоистой текстурой; 10 – предполагаемый разлом на южной окраине горного массива Камчатского мыса.

Fig. 1. General map of the Kamchatka Peninsula and the adjacent sea areas of the Northwestern Pacific. (*a*) – satellite image of Kamchatka (Google Earth); (*б*) – block diagram of the Kamchatka Canyon (author O. Kornev [*Kornev et al., 1981; Lomtev et al., 1980*]). 1 – low coastal plain; 2 – shelf (Gulf of Kamchatka); 3 – canyon slopes; 4 – erosion-landslide (?) circus on the top of the Western valley; 5 – canyon bottom; 6 – block landslide; 7 – stratified Cenozoic deposits; 8 – rocks of supposedly pre–Upper Cretaceous age; 9 – Cenozoic deposits with disturbed layered texture; 10 – assumed fault at the southern margin of the Kamchatka Cape mountains.

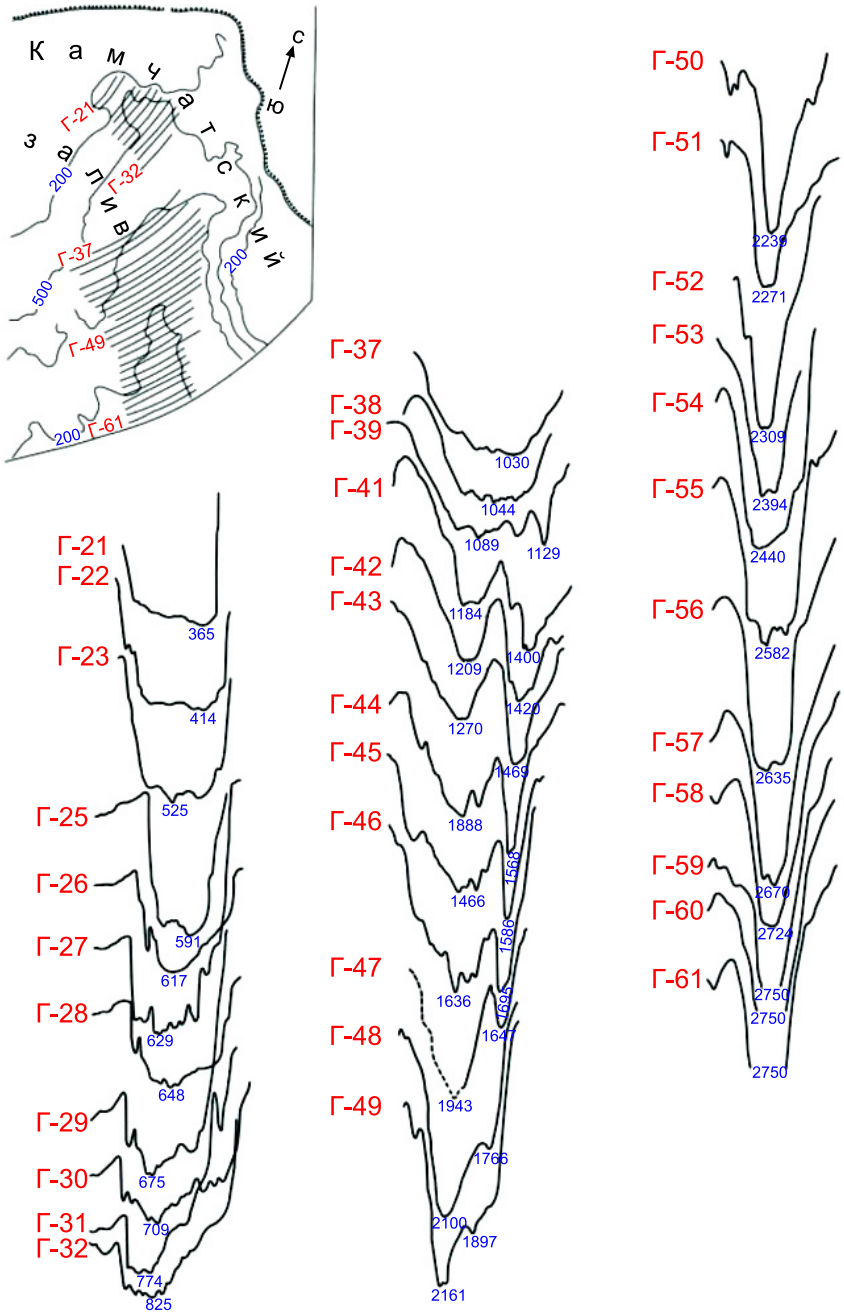


Рис. 2. Блок батиметрических профилей Камчатского каньона (составитель Л.В. Сваричевская) [*Lomtev et al., 1980*]. Отношение вертикального масштаба к горизонтальному 1:30. На врезке – положение профилей судна «Тымь» (1978 г.).

Fig. 2. Bathymetric profiles of the Kamchatka Canyon (author L. Svarichevskaya) [*Lomtev et al., 1980*]. Vertical/horizontal scale ratio: 1:30. Insets: the positions of the profiles (vessel Tym, 1978).

Западная и Восточная долины, которые на расстоянии 10 и 3.5 км, соответственно, подходят к устью прорыва р. Камчатки (см. рис. 1, *б*; 2), крупнейшей на Камчатке (площадь водосбора 56.4 тыс. км^2, протяженность 750 км). Среднемноголетний расход воды в ее устье составляет около 950 м^3/с. По наблюдениям на гидропосту «Урочище Большие щеки», что в 65 км от устья, замыкающего 91.5 % площади водосбора реки, за период 1959–1975 гг. среднегодовой расход взвешенных наносов составил 95.9 кг/с, или 28.4 млн т за 17 лет. С учетом ошибки метода расчета ±20 % он может составить 2 млн т/год. Из соотношения стока влекомых и взвешенных наносов горных рек 1:5 (по Г.Ф. Мандычу), объем влекомых наносов р. Камчатки за упомянутый период превысит 6.8 млн т, или 0.4 млн т/год в среднем. Река прорывает низкую прибрежно-морскую равнину шириной 10–15 км,

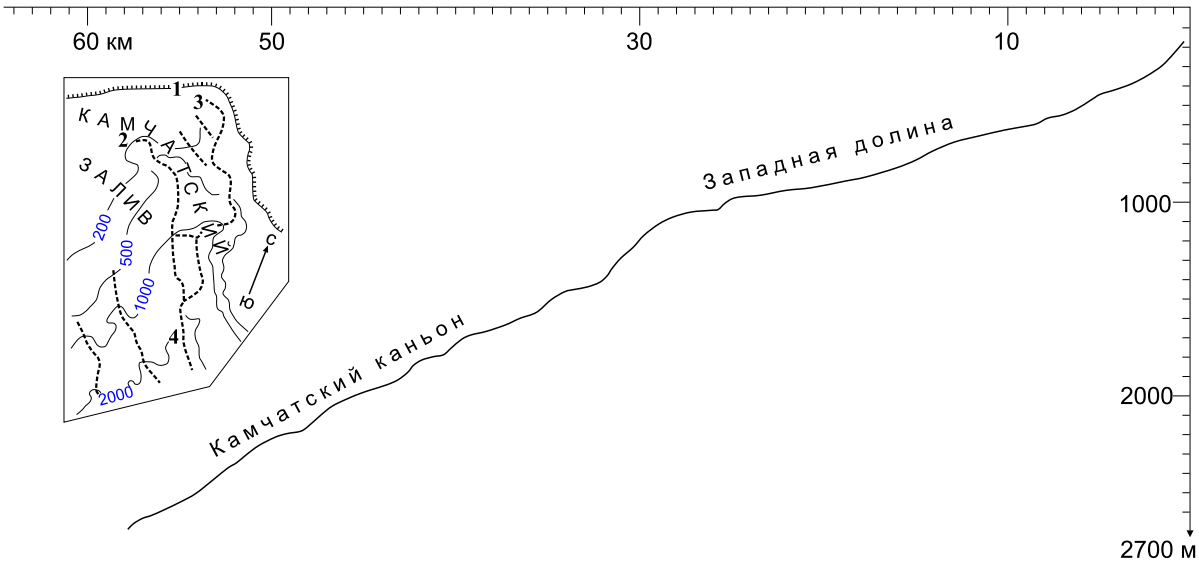


Рис. 3. Продольный профиль верхней части Камчатского каньона (составитель Л.В. Сваричевская) [*Lomtev et al., 1980*]. Отношение вертикального масштаба к горизонтальному 1:10. На врезке – положение тальвега каньона, его Западной и Восточной долины и правых притоков (черный пунктир).

Fig. 3. Longitudinal profile of the upper part of the Kamchatka Canyon (author L. Svarichevskaya) [*Lomtev et al., 1980*]. Vertical/horizontal scale ratio: 1:30. Inset: positions of the canyon thalweg, its Western and Eastern valleys, and right-side tributaries (black dashed line).

образованную береговыми валами и лагунными понижениями. Самой большой лагуной является озеро Нерпичье площадью 516 км^2 и глубиной 13 м, которое с р. Камчаткой соединяет протока Озерная. Протоку и озеро от океана защищает невысокая Дембиевская песчаная коса [*Go et al., 1990; Pinegina et al., 2014*].

В геологии и геоморфологии Камчатского и других крупных каньонов тихоокеанской окраины Курило-Камчатской дуги выделим проблемы, связанные с ее надвиганием на ложе СЗ Пацифики и аккрецией кайнозойского чехла на внутреннем склоне Курило-Камчатского желоба в среднем плейстоцене – голоцене (тектонопара «региональный шарьяж – аккреционная призма» [*Lomtev et al., 2013*]), досреднечетвертичным возрастом каньонов, конусы выноса которых картированы на прилегающем ложе СЗ Пацифики [*Varnavsky, 2016; Patrikeev, 2009*], механизмом формирования висячих оползней в каньонах и их возможной цунамигенностью [*Kornev et al., 1981; Lomtev, 1981*], газонасыщенностью кайнозойского чехла [*Egorov, Osipenko, 1999; Seliverstov, 2009; Lomtev, Patrikeev, 2012*].

2. Структурная позиция

Тихоокеанская окраина Камчатки. В тектоническом плане тихоокеанская окраина Камчатки принадлежит восточному крылу Хоккайдо-Камчатского горста-мегантиклинория [*Sychev, 1980*] или Курило-Камчатской островной дуги [*Seliverstov, 1998, 2009, 2013*]. Она представляет собой активную континентальную окраину, образованную системой сопряженных впадин (грабен-синклинории) и выступов (горст-антиклинории) акустического фундамента. Выступы фундамента образуют подводные продолжения п-овов Восточной Камчатки, верхний склон и хребты-барьеры среднего склона, ограниченные разломами. На тихоокеанской окраине Камчатки известны по меньшей мере два типа акустического фундамента. Один из них принадлежит кровле второго слоя СЗ плиты Пацифики и прослеживается на 10–18 км к западу от подошвы континентального склона [*Lomtev, 2017*]. Другой тип фундамента распространен на верхнем и среднем склоне, шельфе и аваншельфе. Контакт между двумя типами фундамента представляет собой региональный надвиг с падением к западу, который выходит на дно у бровки внутреннего борта Курило-Камчатского желоба, т.е. в зоне выхода зоны Беньофа [*Fedotov et al., 1985; Seliverstov, 2009*]. В кровле фундамента обнажается вулканогенно-осадочный комплекс метаморфизованных пород нижнемиоценового–мелового(?) возраста видимой мощностью ~5 тыс. м [*Sidorenko, 1964; Sychev, 1980; Shapiro, 1976*; *Gnibidenko, Svarichevskaya, 1984*]. Состав верхней части второго слоя СЗ плиты изучен глубоководным бурением на прилегающем ложе Пацифики [*Rudich, 1984*].

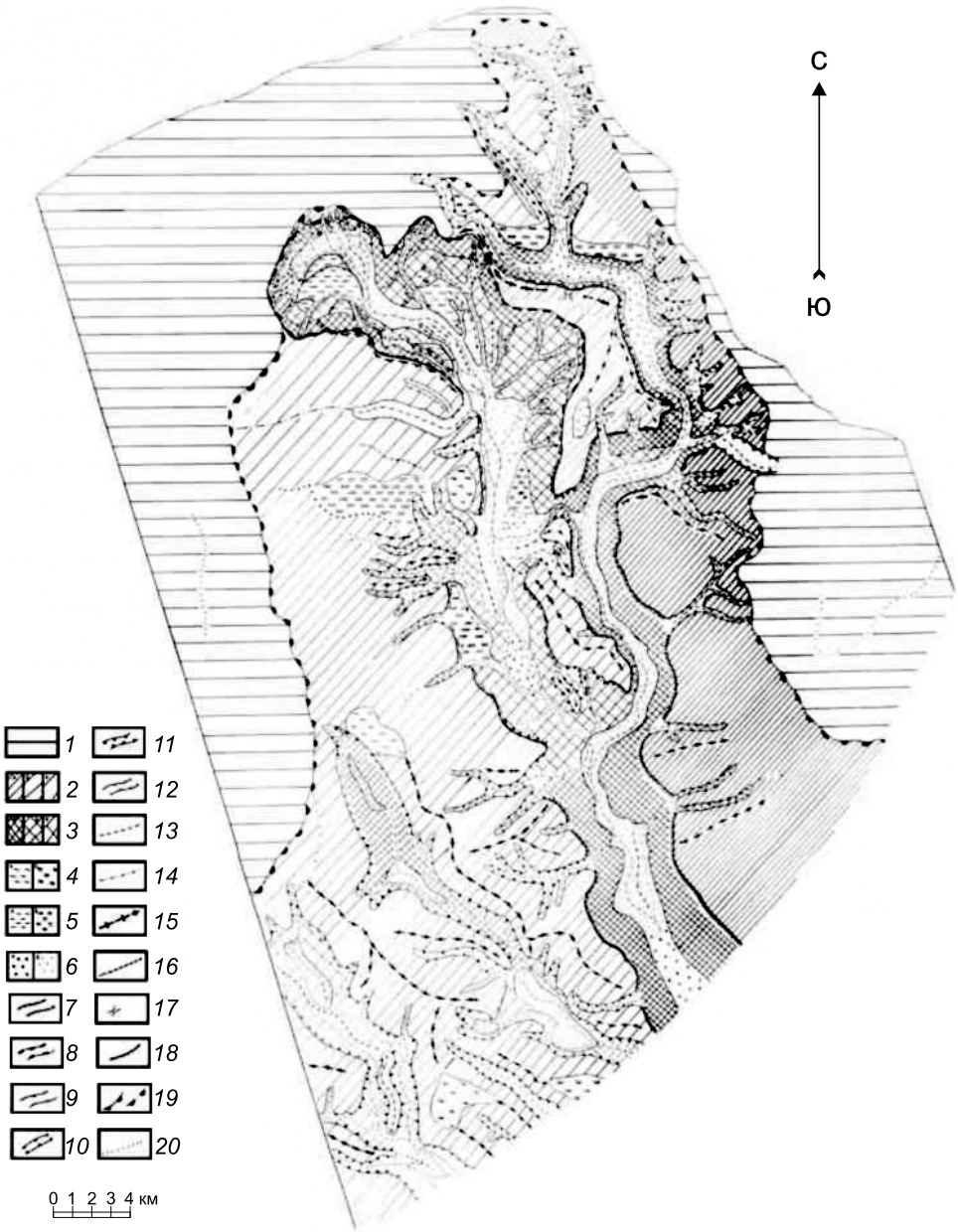


Рис. 4. Геоморфологическая схема верхней части Камчатского каньона (составитель Л.В. Сваричевская) [*Lomtev et al., 1980*]. Шельф и аваншельф: *1* – равнины абразионно-аккумулятивные и абразионные. Тихоокеанский склон: *2* – склоны гравитационно-оползневые: а – крутые (9–18°), б – средней крутизны (3–9°), в – пологие (1–3°). Камчатский каньон: *3* – склоны долин эрозионные и обвально-оползневые: а – крутые (≥9–20°), б – средней крутизны, в – пологие (1–3°). Выровненные поверхности: *4* – вершины хребтов, а – ровные, б – волнистые; *5* – оползневые ступени: а – ровные, б – бугристые; *6* – дно долин: а – ровное, б – бугристо-грядовое. Формы долин в поперечном сечении: *7* – каньонообразные (основной каньон), *8* – трогообразные, *9* – трапециевидные, *10* – U-образные, *11* – V-образные; *12* – ложбины и борозды (овраги). Прочие обозначения: *13* – тальвеги долин, *14* – оси депрессий, *15* – гребни хребтов, *16* – вершины эрозионно-оползневых гряд, *17* – седловины, *18* – бровки оползневых ступеней, *19* – внешний край или бровка шельфа и аваншельфа: а – достоверная, б – предполагаемая; *20* – резкие перегибы поверхностей.

Fig. 4. Geomorphology of the upper part of the Kamchatka Canyon (author L. Svarichevskaya) [*Lomtev et al., 1980*]. Shelf and shelf front: *1* – abrasion-accumulation and abrasion-related plains. Pacific slope: *2* – slopes of gravitational landslides: a – steep (9–18°), б – medium (3–9°), в – gentle (1–3°). Kamchatka Canyon: *3* – slopes of erosional and landslide-collapse valleys: a – steep (≥9–20°), б – medium, в – gentle (1–3°). Leveled surfaces: *4* – peaks of ridges, a – flat, б – wavy; *5* – landslide steps: a – leveled, б – bumpy; *6* – bottoms of valleys: a – flat, б – hillocky-ridge. Profiles of the valleys: *7* – canyon-shaped (main canyon), *8* – trough-shaped, *9* – trapezoidal, *10* – U-shaped, *11* – V-shaped; *12* – hollows and furrows (ravines). *13* – thalwegs of the valleys; *14* – axes of depressions; *15* – crests of ridges; *16* – tops of erosion-landslide-related ridges; *17* – saddles; *18* – edges of landslide steps; *19* – outer edge of the shelf and shelf front: a – confident, б – assumed; *20* – sharp bends of the surfaces.

Камчатский каньон. Каньон и одноименный залив на севере Восточной Камчатки располагаются во входящем структурном углу, образованном Курило-Камчатской и Алеутской системами дуга–желоб. Судя по рис. 5, Камчатский каньон располагается в синклинальном прогибе вдоль западного борта Камчатского горст-антиклинального поднятия с Восточно-Камчатской и Пикежской зонами региональных разломов. На верхнем склоне русло каньона, вероятно, трассирует расширяющаяся к югу оросинклиналь р. Мутной [*Khotin, 1976*]. На шельфе разрывные нарушения субширотного простирания контролируют положение Западной долины и, вероятно, в меньшей степени Восточной долины. В средней и нижней части тихоокеанского склона ориентировку, положение и морфологию каньона также определяет тектоническая структура [*Sychev, 1980; Seliverstov, 1998, 2009; Lomtev, 2017*].

Структурная позиция Камчатского каньона недавно уточнена по материалам сейсмологии о строении северного фланга курило-камчатского сегмента зоны Беньофа (рис. 6, *а–в*) [*Seliverstov, 2009*]. Речь идет о распределении слабых (магнитуда <4, K_s= =8–10) землетрясений, зарегистрированных на Камчатке в 1962–2004 гг. с точностью ±5–10 км. Всего построено 17 поперечных и 6 продольных (А–Е) разрезов. На поперечных разрезах № 1–17 (рис. 6, *а*, *б*) зона Беньофа – это наклонный (40–50°) клин (дерево разлома) до глубин ~200 км, в котором местами намечается расслоение на два фокальных слоя почти аналогично северо-востоку дуги Хонсю [*Varnavsky, 2016*]. Однако ключевой интерес представляют продольные разрезы А–В между вулканическим фронтом (линия четвертичных вулканов) и тихоокеанской окраиной Камчатки (рис. 6, *в*). Они демонстрируют пологий выход фокальной зоны к поверхности на севере Камчатки. Наклон зоны Беньофа на разрезах А и Б достигает 39°, что близко ее падению на разрезах 16, 17. На разрезе В он достигает 29°, но фокальная зона сливается с зоной коровой сейсмичности (коровый срыв [*Varnavsky, 2016*]), поэтому ее падение определяется по подошве. В тектоническом плане пологий подъем зоны Беньофа на севере Камчатки к поверхности надежно фиксирует северный край короверхнемантийного надвига Евразии на ложе Пацифики с системами дуга–желоб во фронте. Собственно фокальная зона на разрезах А–В напоминает слой трения в подошве горно-долинного ледника, преодолевающего барьер в рельефе ложа. Этот вывод независимо подтверждается крутым поворотом сейсмоизобат зоны Беньофа в интервале 50–200 км [*Fedotov et al., 1985*] с северо-восточного простирания на север-северо-западное, который наблюдается под Камчатским заливом и к западу от него (северный край фронтального надвига Евразии). Таким образом, Камчатка и ее тихоокеанская окраина являются аллохтонными (бескорневыми) структурами на выходе глубинного надвига зоны Беньофа [*Varnavsky, 2016; Lomtev et al., 2013*]. В этой связи идея А. Вегенера о мобильности материков в сравнении с океанами вновь приобретает актуальность. Однако в свете современных представлений о подвижности океанических плит важно провести тектонофизическое моделирование зоны Беньофа на Камчатке.

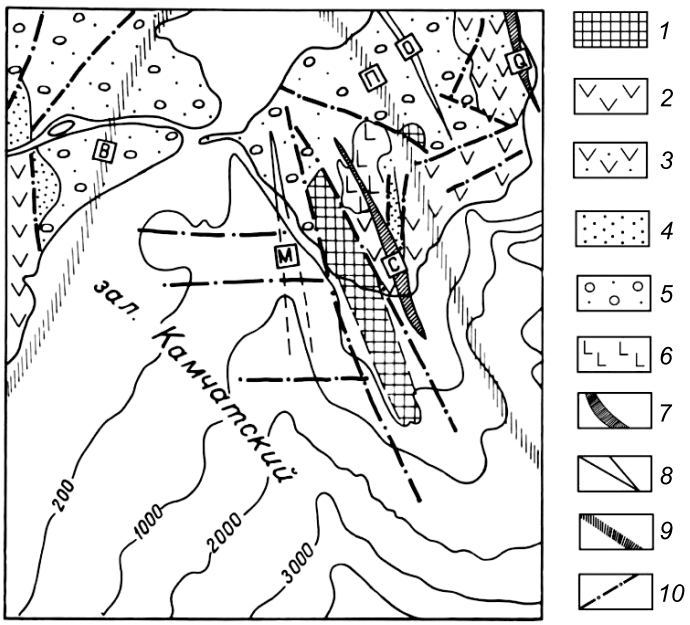


Рис. 5. Тектоническая схема п-ова Камчатский (составитель О.С. Корнев [*Lomtev et al., 1980*], тектоника суши по [*Khotin, 1976*]). *1* – породы домелового фундамента; *2* – верхний мел; *3* – палеоген; *4* – неоген; *5* – плиоцен-четвертичные отложения; *6* – допалеогеновые интрузии; *7* – оси Солдатской (С) и Офицерской (О) ороантиклиналей; *8* – оси Ольховой (О) и р. Мутной (М) оросинклиналей; *9* – Восточно-Камчатская (В) и Пикежская (П) региональные зоны разломов; *10* – отдельные разломы. Изобаты в метрах.

Fig. 5. Tectonics of the Kamchatka Peninsula (author O. Kornev [*Lomtev et al., 1980*], and tectonics of the land area (after [*Khotin, 1976*]). *1* – rocks of the pre-Cretaceous foundation; *2* – Upper Cretaceous; *3* – Paleogene; *4* – Neogene; *5* – Pliocene–Quaternary deposits; *6* – pre-Paleogene intrusions; *7* – axes of the Soldier (C) and Officer (O) oroanticlines; *8* – axes of the Olkhovaya (O) and Mutnaya river (M) orosynclines; *9* – East Kamchatka (B) and Pikezhskaya (П) regional fault zones; *10* – individual faults. Isobaths in meters.

3. Рельеф

Тихоокеанская окраина Камчатки. По данным промера ее образуют шельф, фрагментарно аван-

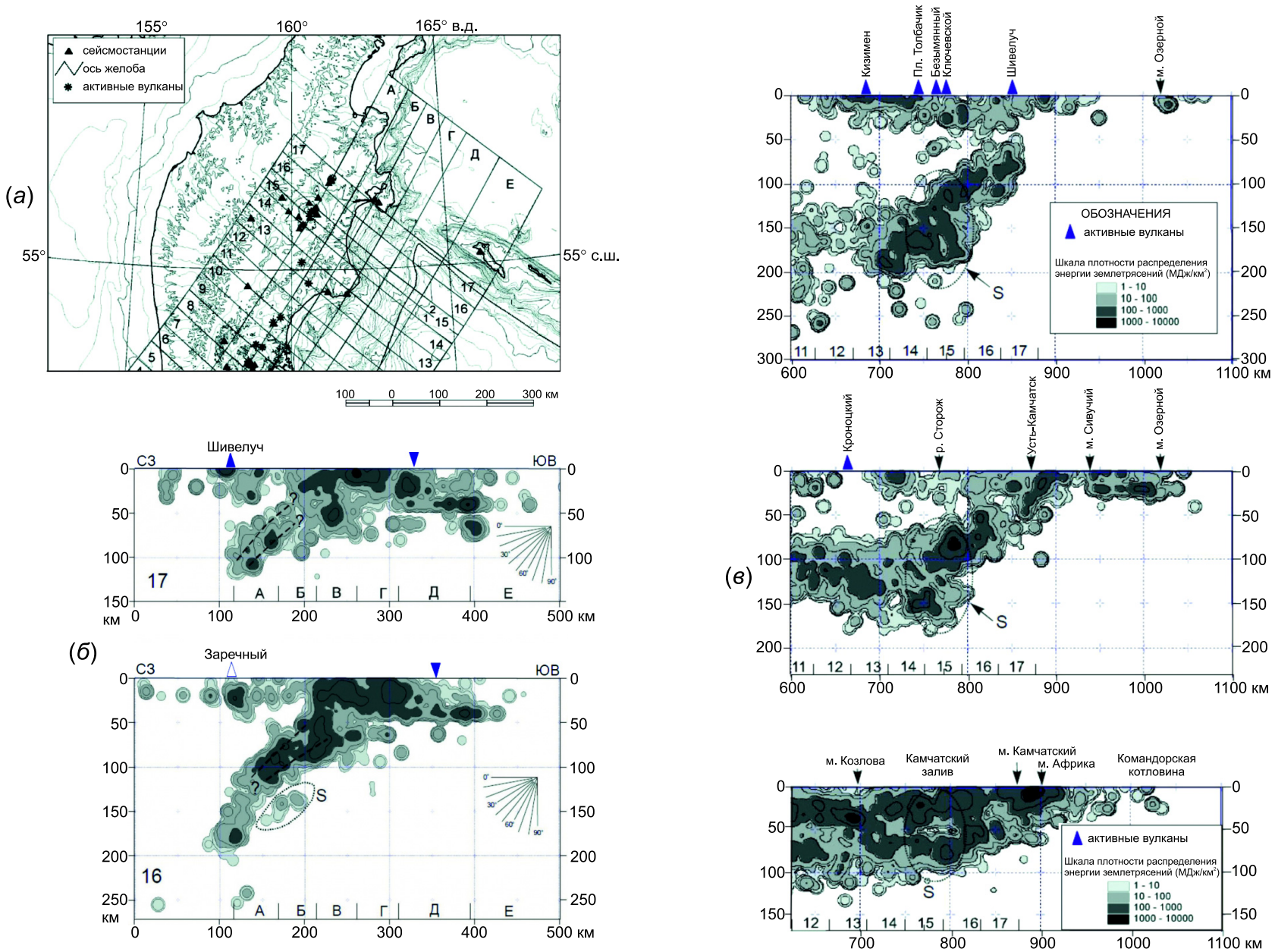


Рис. 6. Фрагмент схемы расположения (*а*) и разрезы 16, 17 (*б*), А–В (*в*) плотности распределения энергии слабых ($8 \le K_s \le 10$) землетрясений Камчатки [*Seliverstov, 2009*]. S – область повышенной сейсмичности на глубинах 120–180 км.

Fig. 6. Fragment of the location map (*a*), and sections (*б*), A–B (*в*) showing the energy distribution patterns of weak ($8 \le K_s \le 10$) earthquakes in Kamchatka [*Seliverstov, 2009*]. S – area of increased seismicity at depths of 120–180 km.

шельф и тихоокеанский континентальный склон [*Sychev, 1980; Seliverstov, 1998, 2009; Lomtev, 2017*]. Шельф шириной от 0.5–1.5 до 30–60 км представлен пологоволнистыми, местами ступенчатыми абразионно-аккумулятивными равнинами. Бровка шельфа располагается на глубине 110–160 м. Глубины менее 140–160 м характерны для уплощенных, абрадированных вершин Камчатского, Кроноцкого и Шипунского хребтов, что указывает тем самым на их поднятие [*Ilyin, 1961*]. Тихоокеанский склон Камчатки крутизной 2–4° и шириной 60–150 км в среднем разделяет абразионно-аккумулятивные равнины шельфа и аваншельфа и глубоководную аккумулятивную равнину дна Курило-Камчатского желоба. По морфологии его подразделяют на верхнюю, среднюю и нижнюю части [*Udintsev, 1955*]. Последняя одновременно является внутренним склоном Курило-Камчатского желоба [*Lomtev et al., 2013*]. Верхний склон шириной 5–35 км и крутизной 5–10° образован подводными продолжениями горных, авулканичных п-овов Восточной Камчатки. В депрессиях Авачинского, Кроноцкого и Камчатского заливов он опирается на дно батиальных впадин среднего склона, располагающихся на глубинах соответственно 2500–3000, 3000–3700 и 4000–4500 м. В рельефе верхнего склона обнаружены линейные и дугообразные узкие ступени, ограниченные нередко крутыми уступами, а также каньоны и мелкие врезы (морские овраги [*Shepard, 1973*]). В основании склона почти повсеместно обнаруживаются обширные аккумулятивные шлейфы, которые, вероятно, образуются при слиянии многочисленных конусов выноса каньонов и, возможно, морских оврагов. Ступенчатость верхнего склона по данным НСП в основном связана с оползнями [*Lomtev et al., 1980*]. Средний склон включает в себя батиальные впадины и обрамляющий их со стороны океана Прикамчатский хребет-барьер [*Sychev, 1980; Seliverstov, 1998, 2009*], а также восточную часть Кроноцкого подводного хребта. Ширина впадин не превышает 40–90 км, а высота хребтов-барьеров – 500–2000 м. Их ориентировка несколько отличается от генерального простирания желоба, а сочленение с подводными продолжениями п-овов Восточной Камчатки, видимо, происходит под тупыми углами и контролируется разломами. Дно впадин представляет собой аккумулятивную поверхность, местами с ложбинно-грядово-холмистым микрорельефом, которая за счет осадочных шлейфов полого поднимается по направлению к краям [*Sychev, 1980; Seliverstov, 1998, 2009; Lomtev, 2017*]. Через Авачинский, Жупановский и Камчатский каньоны, пересекающие континентальный склон, батиальные впадины открыты в Курило-Камчатский желоб. Выделим асимметрию впадин и хребтов-барьеров, восточные склоны которых круче и короче западных. Склоны хребтов местами обрывистые, возможно с нависающими карнизами. Нижний склон начинается на глубинах 4000–5000 м и опирается на дно желоба на глубинах 5500–7700 м. Его ширина достигает 20–50 км, крутизна – 4–11°. Здесь распространены линейные депрессии на площадках ступеней, с востока ограниченных крутыми, до 20–30°, уступами.

Тихоокеанская окраина Камчатки дренируется многочисленными каньонами, крупнейшими из которых являются Авачинский (Авачинский залив), Жупановский, Кроноцкий и Ольга (Кроноцкий залив), Кубовой (Кроноцкий п-ов), Чажма, Сторож и Камчатский (Камчатский залив [*Gnibidenko, Svarichevskaya, 1984*]). Они начинаются на глубинах порядка 40–60 м и менее. Их верховья имеют в плане древовидный рисунок, образованный многочисленными притоками. Глубина вреза изменяется от 300–500 м на шельфе и аваншельфе до 1000–2000 м на континентальном склоне. Заметно изменяется форма каньонов в поперечном сечении: от трапециевидной на шельфе до V-образной на склоне. Крутизна бортов каньонов может достигать 15–30°. Эти изменения обусловлены разными уклонами их продольных профилей и обвально-оползневыми явлениями, распространенными на их бортах.

Камчатский каньон. Вершину каньона образуют Восточная и Западная долины, которые, начинаясь вблизи устья р. Камчатки, сливаются по широте Камчатского мыса на глубине 1400 м (см. рис. 1, 5). Отсюда основное русло Камчатского каньона следует в субмеридиональном направлении вдоль западного подножия одноименного подводного хребта. Протяженность Восточной долины достигает ~39 км. Она подходит с юго-востока к устью р. Камчатка на расстояние 3.5 км. Верхняя часть долины с глубинами 63–400 м имеет слегка асимметричную V-образную форму шириной ~1 км. Начинаясь на глубине 63 м слабовыраженной ложбиной, долина к изобате 400 м увеличивает свой врез до 60 м (см. рис. 2). Уклон русла долины составляет 1°48′. На этом отрезке ее осложняют короткие, неглубокие притоки субширотных направлений, особенно многочисленные на склоне Камчатского п-ова. Своими вершинами они подходят к бровке узкого шельфа и, возможно, пересекают его. Средняя часть Восточной долины с глубинами 400–500 м имеет трапециевидный профиль в поперечном сечении, широкое днище и невысокие крутые склоны. Такую форму она принимает на глубине 400 м после подхода двух правых V-образных ответвлений, соизмеримых по длине и глубине вреза с верхней частью долины. Вершины ответвлений направлены к устью р. Камчатки и отстоят от него на 5 и 8 км. Русло трапециевидной долины, сохраняя основное юго-восточное направление, имеет два коленооб-

разных изгиба. На субширотном отрезке ширина долины составляет 2 км. Высота левого склона здесь составляет 60 м, правого – 45–50 м, их средняя крутизна варьируется от 12 до 18°. Продольный профиль имеет уклон 0°48′. Днище ровное, со следами аккумуляции в выпуклой центральной части шириной около 1 км. Субмеридиональный отрезок трапециевидной долины длиной 4 км сохраняет асимметрию склонов: высота правого склона составляет 110 м, левого – 140 м. Последний интенсивно расчленен притоками с V-образным поперечным профилем. Их вершины тяготеют к устьям крупных рек и ручьев Камчатского п-ова (реки Медвежья и Оленья, ручьи Памятный и Мелкий). В нижней части Восточной долины с глубинами 700–1400 м глубина вреза возрастает от 160 до 450 м. Здесь она принимает V-образную форму, а крутизна склонов колеблется от 5 до 18°, местами достигая 40°. Резкое сужение днища долины происходит на глубине тальвега 675 м (см. рис. 2). Здесь она делает крутой, почти под прямым углом, изгиб сначала на восток, затем на юг и юго-запад до слияния с Западной долиной. Южное направление долины представляет собой пережим с резким уклоном дна 3°37′. Со стороны Камчатского п-ова, примерно от устья р. Каменной, к нему подходит крупная разветвленная V-образная долина глубиной 300 м. Юго-западный отрезок долины резко асимметричен за счет правого крутого (38°) и высокого (450 м) борта. Восточная долина отделяется от Западной долины узким хребтом высотой 150–175 м.

Западная долина своими верховьями врезается в шельфовую равнину в 10 км к юго-западу от устья р. Камчатки. Ее общая длина до соединения с Восточной долиной составляет 32 км. Верхняя часть с глубинами 40–700 м представляет крупную трогообразную долину (по классификации [*Shepard, Dill, 1966*]) шириной 5–8 км с крутыми (до 17–30°) прямыми склонами высотой 300–400 м. Вершина долины на глубине 40–160 м напоминает циркообразную водосборную воронку наземных оврагов (см. 4 на рис. 1, *б*). Ее образование происходит за счет активного оползания и эрозионного расчленения склона морскими оврагами, радиально сходящимися к основному руслу. Часть цирка, обращенная к устью р. Камчатки, подвержена более интенсивному расчленению. Ширина днища цирка составляет 2–4 км. Вдоль правого склона наблюдается несколько оползневых ступеней, отделенных друг от друга пологими уступами высотой 10–25 м. Русло основной долины врезано в днище на 10–20 м. Боковые овраги и ложбины придают дну мелкогрядовый бугристый рельеф. Особенностью этой части долины являются линейные, вытянутые вдоль подножия крутых склонов, узкие гряды оползневого характера. У правого склона гряда высотой 20–50 м прослеживается на 4 км (см. рис. 2, Г-26-30). На глубине около 700 м по тальвегу усиливается асимметрия склонов Западной долины. Левый склон в верхней части сохраняет уступ высотой 300 м, а правый оползневой склон снижается до 160 м. После поворота долины на юг она приобретает трапециевидную форму. Ее ширина остается значительной (4–5 км), высота склонов снижается от 150 до 60 м. Уклон продольного профиля около 1° (см. рис. 3). На широте Камчатского мыса долина приобретает вид обширной, выположенной депрессии с резко выраженным эрозионным расчленением дна (см. рис. 2; Г-37-38). Врезанное русло долины раздваивается. Один ее рукав резко изгибается в широтном направлении и на глубине 1400 м узкой V-образной перемычкой соединяется с Восточной долиной (см. рис. 2, Г-39). Второй рукав Западной долины имеет нечетко выраженное трапециевидное сечение и проходит параллельно основному руслу Камчатского каньона, отделяясь от него крупным оползневым массивом на рис. 1. Протяженность последнего достигает 10 км при ширине 3–5 км и высоте над дном каньона 200–400 м. Часть Западной долины, образовавшаяся при смещении этого крупного блока, имеет высоту склонов 110–160 м при ширине «заплывшего» днища 1 км (см. рис. 2, Г-41-43). Для правого склона этой долины характерно оползневое строение. Так, на глубине 914–1050 м в нижней части склона прослеживается бугристая оползневая ступень высотой 25–50 м. Ее длина составляет 4 км при ширине 1–2 км. И только с приближением к основному руслу Камчатского каньона, Западная долина резко увеличивает свой уклон (до 16°) и приобретает отчетливый V-образный профиль. С востока к оползневому массиву прижимается основное русло Камчатского каньона, представляющее собой глубоко врезанную с крутыми склонами долину, близкую к V-образной форме (см. рис. 2; Г-42-61). На всем протяжении (диапазон глубин тальвега 1400–2700 м) каньон, при наличии одного юго-западного изгиба, сохраняет юго-восточную ориентировку. На глубине 1400–1700 м ширина каньона составляет 2.5–3.0 км, длина – 0.6–1.0 км, высота склонов – 200–460 м. Минимальные значения высот характерны для правого склона вблизи оползневого массива, к которому прижимается русло каньона. Левый борт (склон Камчатского хребта) сохраняет высоту ~400 м. Крутизна склонов каньона составляет 12–30°. Однако в нижних частях склонов можно ожидать и более крутые уступы. Тальвег каньона прижимается к правому борту. Крутизна ступенчатого продольного профиля составляет 2°40′ (см. рис. 3).

Расширение каньона до 5.5–6.0 км и увеличение вреза от 500 до 850 м происходят с глубины 2100 м после слияния с оползневым рукавом Западной до-

лины (см. рис. 2, Г-50-61). Ниже каньон приобретает и U-образный профиль. Вогнутое днище каньона благодаря частичной аккумуляции осадков расширяется от 1.0 до 2.5 км. Русло каньона врезано в поверхность дна до 20–80 м. Продольный профиль каньона крутизной 2°50′ остается ступенчатым (см. рис. 3). Прямые склоны каньона имеют крутизну 18–35°. Левый склон сохраняет большую высоту и крутизну. Сохраняя слабую асимметрию склонов при выходе на аккумулятивный шлейф и дно батиальной впадины средней части тихоокеанского склона Камчатки на глубине 4000–4500 м, каньон резко расширяется и выполаживается. Глубина вреза уменьшается до 50–160 м. Он приобретает облик долин глубоководных конусов выноса [*Patrikeev, 2009; Hoshino, 1986*]. До 55°20′ с.ш. врез сохраняет субмеридиональное направление, а затем резко изменяет его на субширотное, прорезая северный отрог хребта-барьера. Здесь он имеет узкую V-образную долину глубиной до 460 м. В нижней части тихоокеанского склона Камчатский каньон расширяется, приобретая трапециевидную форму с широким выровненным дном и глубиной вреза до 200 м. Пересекая далее хребет-барьер, его форма снова становится V-образной, а глубина вреза достигает 800 м (пережим).

Таким образом, Камчатский каньон представляет собой сложную систему долин и притоков (см. рис. 1, *б*; рис. 4, 5). Сам каньон и его ответвления несут морфологические признаки преимущественно эрозионных форм. Вместе с тем резкие коленчатые изгибы, спрямление отдельных частей каньона, структурные пережимы свидетельствуют о заложении его по зонам субмеридиональных и субширотных разломов. Следовательно, Камчатский каньон представляет собой сложную тектоно-эрозионно-аккумулятивную систему дочетвертичного заложения, в которой можно выделить несколько частей: эрозионную (верховья Восточной и Западной долин), аккумулятивно-транзитную (средние части Восточной и Западной долин), эрозионно-транзитную (основной каньон в верхней части континентального склона), аккумулятивную (дно батиальной впадины среднего склона); транзитно-аккумулятивную (нижний склон и глубоководная равнина на стыке тальвегов Курило-Камчатского и Алеутского желобов). С учетом изложенного Камчатский каньон по своей морфологии можно отнести к каньонам калифорнийского типа в классификации [*Leontiev, 1982*].

4. Кайнозойский чехол

Тихоокеанская окраина Камчатки. Кайнозойский чехол на тихоокеанской окраине Камчатки распространен весьма неравномерно. Максимальной мощности (до 4–8 км) он достигает в Восточно-Камчатском прогибе и нижнем склоне (аккреционная призма) и 2–3 км в батиальных впадинах среднего склона [*Sychev, 1980*]. Осадки впадин и прогиба хорошо стратифицированы и слабо деформированы. Они подразделяются на верхнюю и нижнюю толщу условно плиоценового и миоценового возраста, а также перекрывающий их четвертичный аккумулятивный шлейф. Мощность чехла заметно сокращается до 0.1–1.0 км на выступах фундамента на верхнем и среднем склоне. Однако по сравнению с нижним склоном стиль деформаций чехла здесь иной. Так, поднятие фундамента в средней части привело к моноклинальному изгибу слоев чехла на хребтах-барьерах, а в батиальных впадинах – к их спокойному прогибанию, поэтому верхний склон, опирающийся на эти впадины, также втягивается в опускание. Разный стиль деформаций на тихоокеанской окраине Камчатки находится в тесной связи с тектоникой зоны Беньофа – крупнейшего глубинного разлома Земли [*Seliverstov, 2009; Varnavsky, 2016*].

Камчатский каньон. Строение и вещественный состав кайнозойского, точнее позднекайнозойского (неоген – квартер), чехла в районе Камчатского каньона изучались по данным НСП и пробоотбора (рис. 7–9) [*Sychev, 1980; Lomtev et al., 1980; Egorov, Osipenko, 1999; Seliverstov, 1998, 2009*]. На шельфе его мощность достигает 2 км, в батиальной (Камчатской) впадине среднего склона – 1.5 км. С учетом соседства с таким мощным источником взвешенных и влекомых наносов, как р. Камчатка, можно предполагать, что на шельфе и прилегающем континентальном склоне в составе чехла преобладают ее выносы (авандельта). Ниже рассматриваются особенности строения позднекайнозойского чехла на профилях НСП в районе Камчатского каньона (шельф, верхняя и средняя часть тихоокеанского склона Камчатки).

В строении Западной и Восточной долин на профилях НСП 13, 14 и 10, 11 соответственно обращает на себя внимание малая (0.2–0.3 с, или 160–240 м при скорости распространения продольных волн 1600 м/с) мощность контрастных придонных осадков позднекайнозойского возраста (поздний плейстоцен – голоцен [*Egorov, Osipenko, 1999; Seliverstov, 2009*]), а также их довольно неровная, шероховатая подошва с газовыми столбами и окнами и переход к подстилающему прозрачному разрезу (рис. 7, 8, *а*). Чехол по аналогии со Срединно-Курильским прогибом [*Lomtev, Patrikeev, 2012*], газонасыщен, что подтверждают десять газопроявлений в верховьях Камчатского каньона (газовые плюмы на рисунке 34 в работе [*Seliverstov, 2009*]). В статье [*Egorov, Osipenko, 1999*] их связывают в

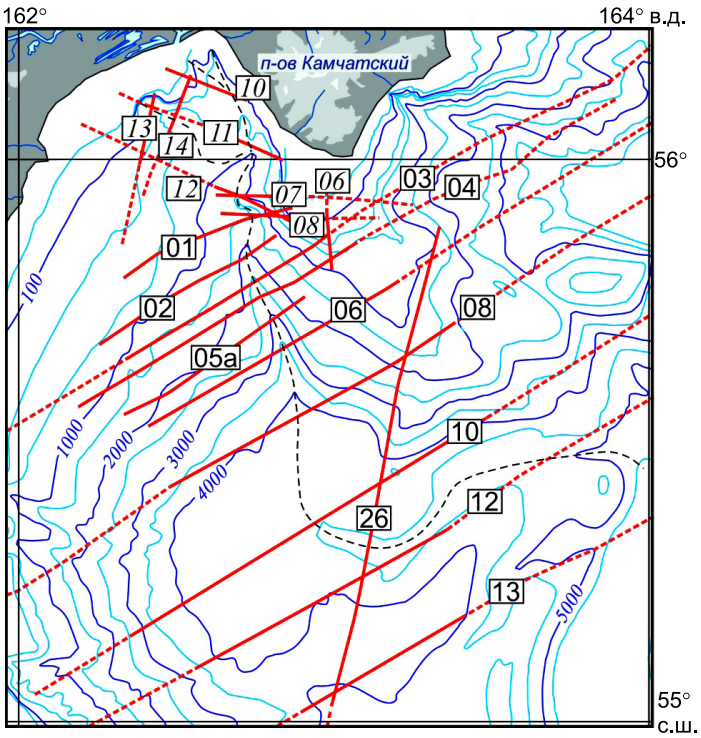


Рис. 7. Батиметрическая карта района с положением интерпретированных фрагментов профилей НСП (пронумерованные сплошные линии [*Seliverstov, 2013*]). Тонкий пунктир – тальвег Камчатского каньона с небольшим уточнением. Изобаты в метрах.

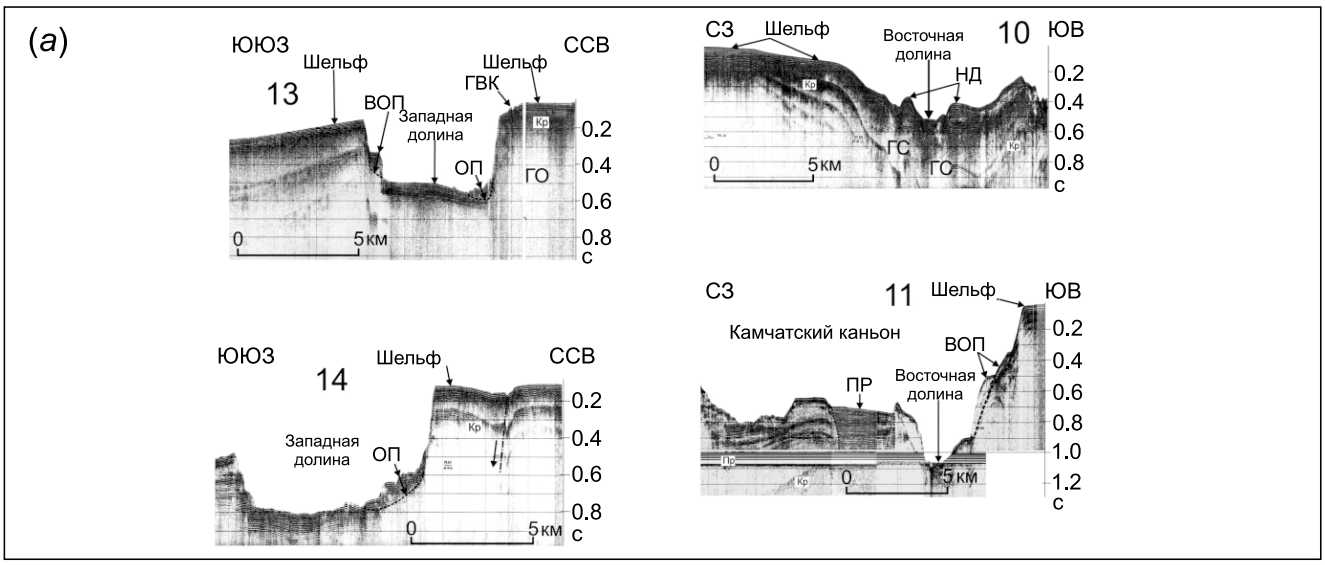
Fig. 7. Bathymetric map of the region. Positions of the interpreted fragments of the CSP profiles are shown by numbered solid lines [*Seliverstov, 2013*]). The thin dotted line shows the thalweg of the Kamchatka Canyon (slightly modified). Isobaths in meters.

основном с погребенными позднечетвертичными торфяниками, сформированными при низком стоянии уровня океана и осушении шельфа [*Hoshino, 1986*]. Вместе с тем, если две небольшие конические постройки на рис. 8, *а*, и 9 (первая с вершинным кратером, вторая с газовым факелом в воде) рассматривать как грязевулканы, то источники газа и, возможно, сопочной брекчии могут находиться в более глубоких горизонтах осадочного кайнозоя и мезопалеозойском складчато-надвиговом фундаменте. Поскольку малая мощность придонных контрастных осадков, их аномально шероховатая подошва и переход к прозрачному разрезу наблюдаются на многих профилях НСП на шельфе Камчатского залива и прилегающем склоне (рис. 8, *а–д*, 9; [*Sychev, 1980; Seliverstov, 2009, 2013*]), приходим к выводу о региональной газонасыщенности кайнозойского чехла в исследуемом районе, включая отчасти и зону выклинивания на западном склоне хребта Камчатского мыса (краевое поднятие осадочного бассейна).

Другая особенность в строении Западной и Восточной долин заключается в их существенно различной заполненности наносами. Так, первая практически лишена наносов (см. рис. 8, *а*, эрозионная долина на профилях 13, 14), тогда как вторая имеет намывные дамбы (прирусловые валы), почти погребенное палеорусло и выполнена наносами почти наполовину (см. рис. 8, *а*, профили 10, 11). На первый взгляд, столь резкое различие в их строении объясняется близостью Восточной долины к устью р. Камчатки и перехватом хотя бы части ее твердого стока, а также твердого стока нескольких рек и ручьев Камчатского п-ова (см. рис. 1, *б*, 4). Однако на карте середины XIX века на рис. 1 в статье [*Go et al., 1990*] устье р. Камчатки и окончание блокирующей ее Дембиевской косы находились примерно в 10 км южнее современного положения; следовательно, основной поток наносов тогда и, вероятно, в настоящее время направлен к югу и не перехватывался верховьями Камчатского каньона. С учетом материалов гидрофизического атласа ТОИ [*Rostov et al., 2005*], поток наносов р. Камчатки на ее взморье, видимо, отклоняется к юго-западу прибрежным Камчатским холодным течением, которое следует вдоль Восточной Камчатки и стрежень которого заходит в Камчатский залив, поэтому Западная и отчасти Восточная долина формировались в основном как каналы придонного сброса масс воды, нагоняемой в вершину Камчатского залива. Однако это предположение, как и литодинамика взморья р. Камчатки, требуют специального изучения.

В строении крутых склонов Западной долины обратим внимание на небольшие блоковые, нередко составные оползни слабоконсолидированных отложений авандельты р. Камчатки (см. рис. 8, *а*, 9). В статье [*Egorov, Osipenko, 1999*] их формирование связывается с выходом газа из подстилающих торфяников и родниковым подмывом. Триггером оползней, вероятно, является коровая сейсмичность и сильные землетрясения на выходе зоны Беньофа [*Fedotov et al., 1985; Gordeev et al., 2006; Seliverstov, 2009*].

Строение позднекайнозойского чехла на верхнем склоне в районе Камчатского каньона освещают профили НСП (см. рис. 8, *б–г*). Здесь каньон врезан в приосевую часть меридиональной асимметричной депрессии шириной 15–20 км на шельфе и до 40–50 км на верхнем склоне (оросинклиналь р. Мутной [*Khotin, 1976*] с падением слоев позднекайнозойского чехла к тальвегу каньона) (см. рис. 8, *а–г*). На левом, более крутом (~10°), борту каньона их падение к западу определяется региональным наклоном кровли фундамента, слагающего п-ов Камчатский. Последний в настоящее время поднимается со скоростью 15 мм/год [*Pinegina, 2014*]. На про-



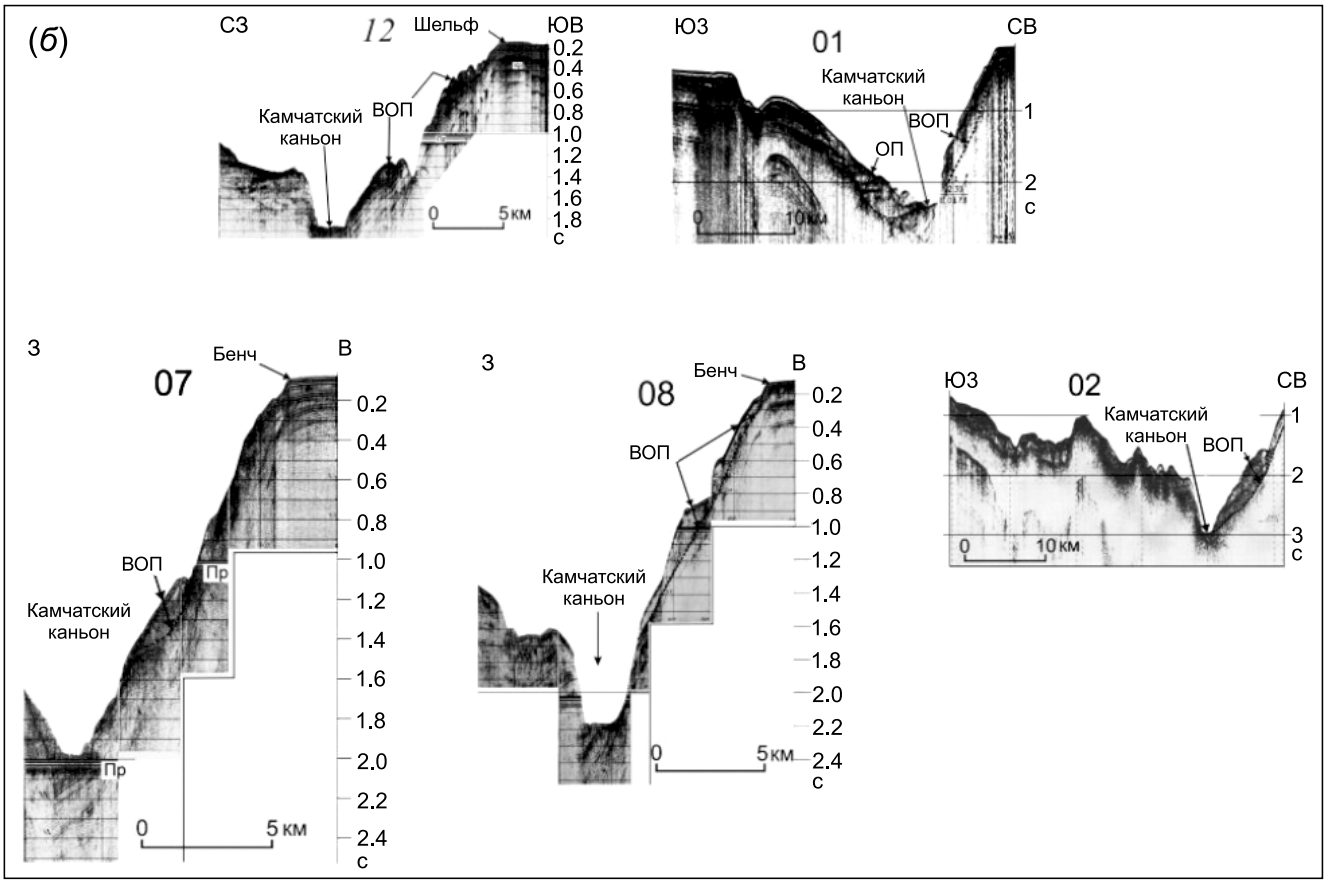


Рис. 8. Подборка фрагментов профилей НСП по Камчатскому каньону [*Seliverstov, 2013*] в интерпретации автора: (*а*) – профили 10, 11, 13, 14; (*б*) – профили 01, 02, 07, 08, *12*; (*в*) – профили 03, 05а, 04, *06*; (*г*) – профили 06, 08, 10, 26; (*д*) – профили 12, 13. Вертикальный масштаб в секундах двойного пробега. ОП – оползень, ВОП – висячий оползень, ГВК – грязевулкан, ГО – газовое окно, ГС – газовый столб, ПР – палеорусло, КТ – клин турбидитов, Кр – кратное отражение, Пр – пропуск. Пунктир – подошва предполагаемых висячих оползней или клина турбидитов в палеоканьоне.

Fig. 8. Fragments of the CSP profiles along the Kamchatka Canyon [*Seliverstov, 2013*] in the author's interpretation: (*a*) – profiles 10, 11, 13, and 14; (*б*) – profiles 01, 02, 07, 08, and *12*; (*в*) – profiles 03, 05a, 04, and *06*; (*г*) – profiles 06, 08, 10, and 26; (*д*) – profiles 12, and 13. The vertical scale in double-run seconds. ОП –landslide, ВОП – hanging landslide, ГВК – mud volcano, ГО – gas window, ГС – gas column, ПР – paleochannel, КТ – wedge of turbidites, Кр – multiple reflection, Пр – gap. The dashed line shows the bottom of the assumed hanging landslides or the wedge of turbidites in the paleocanyon.

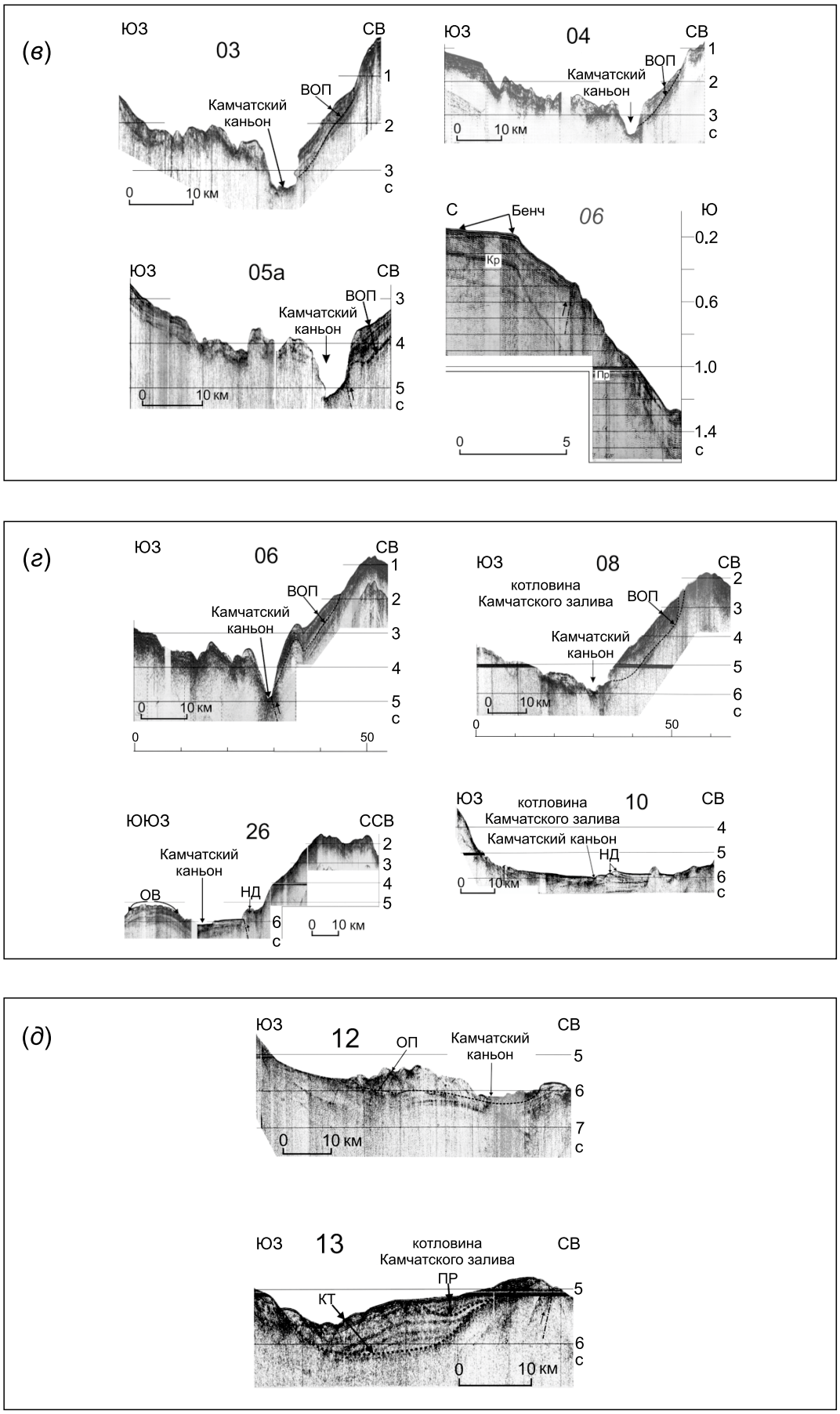


Рис. 8 (окончание).

Fig. 8 (end).

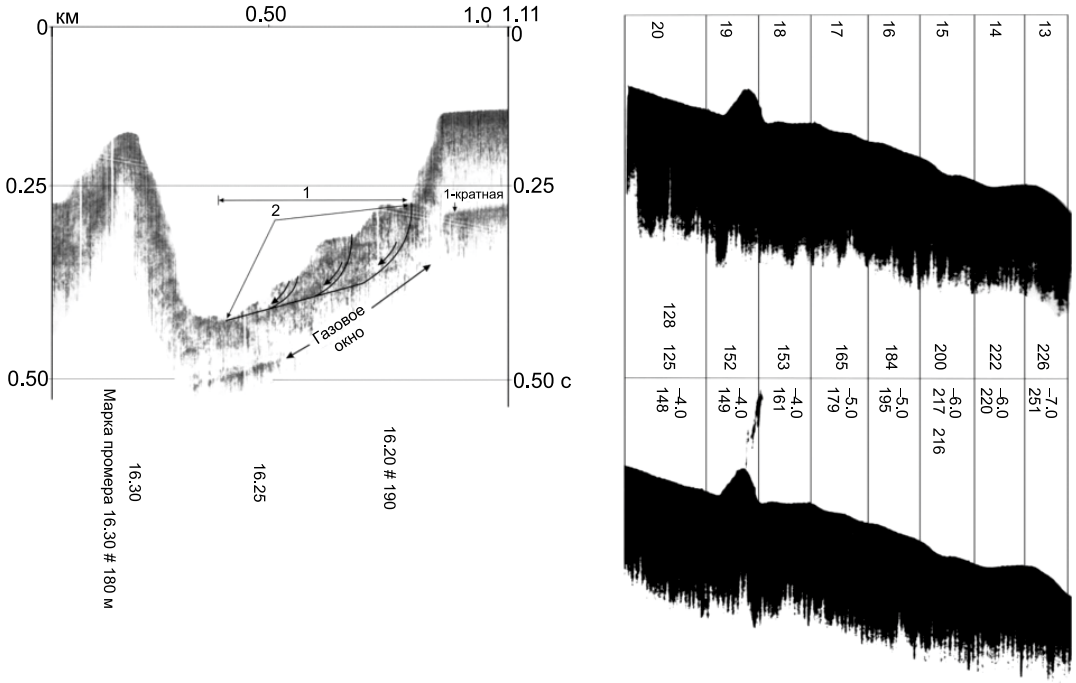


Рис. 9. Геофизические материалы СахКНИИ: слева – временной разрез НСП Г-72 (НИС «Морской геофизик», 1979 г.) через составной блоковый оползень в Западной долине Камчатского каньона в интерпретации автора: начало профиля – отметка 16.09 с координатами 56°06.2′ с.ш. и 162°22.5′ в.д.; конец профиля – отметка 16.37 с координатами 56°03.2′с.ш. и 162°25.4′в.д. (*Научно-технический отчет..., 1979 – фонды ИМГиГ*); справа – фрагмент сонограммы гидролокатора бокового обзора конструкции ЦНИИГАИК (судно «Тымь», 1978 г.) с невысокой конической постройкой (предположительно грязевулкан) с газовым факелом в воде (Камчатский залив, верховья Камчатского каньона с глубинами ~150 м).

Fig. 9. Geophysical data of the Sakhalin Complex Research Institute (SakhKNII). Left – CSP time profile G-72 (Marine Geophysics, 1979) across the composite block landslide in the western valley of the Kamchatka Canyon (interpreted by the author). Point 16.09 (56°06.2′ N, 162°22.5′ E) – profile start; point 16.37 (56°03.2′N, 162°25.4′E) – profile end (*Scientific and Technical Report..., 1979 – Funds of the Institute of Marine Geology and Geophysics*). Right – fragment of the sonogram (vessel Tym, 1978), a low conical structure (presumably a mud volcano) with a gas flare in water (Kamchatka Bay, the upper part of the Kamchatka Canyon, depths of ~150 m).

филе *06* (см. рис. 8, *в*) его внешний шельф срезает наклонные слои осадочных отложений кайнозоя, т.е. является абразионным (бенч). Почти на всех профилях НСП Камчатский каньон врезан в отложения позднего кайнозоя (см. рис. 8, *а–д*). Его дно местами (см. рис. 8, *б*, *в*, профили 01, 05а) наклонено к западу по падению слоев чехла на левом борту каньона. Однако чаще оно выровнено за счет аккумуляции маломощных (десятки метров) русловых осадков (см. рис. 8, *б*, *в*, профили *12*, 03, 07). Пунктиром на профилях НСП выделена придонная, в основном контрастная, осадочная пачка, подошва которой выходит на левом борту каньона на высоте 100–150 м над его дном (см. рис. 8, *в*, *г*, профили 03, 04, 05а, 06, 08). Местами она опирается на дно каньона (см. рис. 8, *б*, профили 01, 02) или «зависает» существенно выше (см. рис. 8, *б*, профили *12*, 08, 07). В работе [*Lomtev, 1981*] эта пачка на профиле 03 интерпретировалась как висячий оползень в интервале глубин 880–2370 м. Его длина по фронту достигает 10–12 км при средней мощности 280 м и объеме 17–20 км^3. Крутизна западного склона п-ова Камчатский в полосе профиля 03 составляет 9°, а левого борта каньона – 35°. С учетом слоистой текстуры чехла предполагается, что данный оползень находится в стадии ползучести или медленного сползания (крип). По данным НСП позднекайнозойский чехол на левом борту Камчатского каньона между профилями 11, 07 и 06, 08 (см. рис. 7) имеет разную мощность (~100–500 м) и протяженность. Он находится в состоянии гравитационной неустойчивости и крипа и способен к быстрому послойному сползанию и/или обрушению. Следовательно, его можно рассматривать как составной висячий оползень или оползневой массив протяженностью вдоль каньона ~55 км. Наибольшую угрозу в плане генерации оползневых цунами он представляет в полосе между профилями 03 и 08, где максимально (на 100–150 м) переуглублен каньон (см. рис. 7). В эту зону включены и профили

06, 05а (см. рис. 8, *в*, *г*) с молодой постседиментационной приразломной антиклиналью (упор), структурным пережимом и V-образным сечением каньона, которые надежно фиксируют выдавливание продольного блока фундамента в основании западного склона п-ова Камчатский при его надвиге к юго-востоку. С последним, очевидно, связано и его современное воздымание [*Ilyin, 1961; Pinegina, 2014*]. Заметим, что приразломная антиклиналь в основании южного подводного склона п-ова Камчатский, возможно, протягивается восточнее в район профилей 08, 26 и, видимо, 10 (см. рис. 8, *г*), намечая зону выхода фокальной зоны Беньофа [*Fedotov et al., 1985; Seliverstov, 2009*].

Правый борт Камчатского каньона и его Западной долины в сравнении с левым бортом более протяженный, пологий (~3°) и расчлененный (см. рис. 1, *б*, 2, 4). В статье [*Kornev et al., 1981*] по геоморфологическим признакам на правом борту Западной долины оконтурен крупный и относительно древний оползень площадью примерно 10×5 км и высотой ~300 м (см. рис. 1, *б*, 2, 3). Оползень сошел с ее правого борта, несколько сузив русло Восточной долины. По морфологическим данным путь, пройденный оползнем, не превышает 2–3 км. Его окончание пересечено профилем 01 (см. рис. 8, *б*). Контрастные осадки, слагающие тело оползня, залегают горизонтально, что, очевидно, связано с его вращением при сползании на пологом (~3°) склоне авандельты р. Камчатки (блоковый ротационный оползень). Судя по расчлененному рельефу, тело оползня эродировано, однако объем его невелик. Его современная форма имеет вид пологой четырехугольной пирамиды с объемом ~5 км^3. Таким образом, этот оползень обусловил новое положение места слияния Западной и Восточной долин, образование ступени в продольном профиле Камчатского каньона и, возможно, его резкое углубление на 100–150 м ниже по течению с формированием крупного висячего оползня позднекайнозойского чехла на его левом борту (см. рис. 3, 8, *в*, *г*). Увеличение вреза за счет появления водопадного эффекта у подножия уступа в продольном профиле каньона требует значительного промежутка времени. Углубление за счет придонных течений маловероятно, с учетом их пульсирующего, реверсивного характера [*Shepard, Dill, 1966*]. Более обоснованно считать, что углубление Камчатского каньона произошло аналогично углублению каньона Сагами (Япония) до 600 м при катастрофическом землетрясении 1923 г. в одноименном заливе [*Shepard, 1933*]. Его суть, вероятно, определяется динамическим воздействием землетрясений на склоновый чехол, разжижением неконсолидированных русловых отложений и глубинной эрозией дна каньона движущимися массами осадков (склоновые оползни и обвалы, обломочные и, отчасти мутьевые потоки).

Заметная расчлененность правого борта Камчатского каньона в полосе протяженностью ~25 км между профилями *12* и 08 (см. рис. 1, *б*, 7) с учетом интерпретации [*Kornev et al., 1981*] и блокового оползня на профиле 01 (см. рис. 8, *б*), вероятно, связана с крупным составным оползнем или оползневым массивом, сложенным выносами р. Камчатки (край авандельты). В его строении выделяются верхняя контрастная толща мощностью до 0.3–0.5 с (240–500 м при скорости распространения продольных волн 1600 м/с) и нижняя прозрачная толща неустановленной мощности. Обе толщи залегают, видимо, согласно, но граница между ними прослеживается фрагментарно (см. профили 03–05а на рис. 8, *в*) в основном из-за газонасыщенности нижней толщи и местами смятия при сползании в Камчатский каньон и его Западную долину (см. рис. 1, *б*, 4). Формирование оползневого массива на пологом склоне авандельты р. Камчатки, вероятно, связано с углублением каньона примерно до 1 км, т.е. удалением упора, газонасыщенностью осадков и сейсмичностью района. Однако подошву оползня в прозрачном разрезе авандельты на профилях НСП выделить не удается, кроме профиля 01 (см. рис. 8, *б*). На этом и других профилях она, возможно, выходит в основании правого борта Камчатского каньона и отчасти Западной долины.

Особенности строения позднекайнозойского чехла и Камчатского каньона на среднем склоне можно видеть на профилях НСП 08, 10, 12, 13 и 26 (см. рис. 7, 8, *г*, *д*). Здесь каньон выходит на аккумулятивное ложе Камчатской батиальной впадины с глубинами 4000–4500 м, которая с востока ограничена Прикамчатским хребтом-барьером. Во впадине резко (почти на порядок) снижается глубина каньона (десятки – первые сотни метров) и возрастает ширина (свыше 15–30 км). Наблюдаются и вариации его формы в поперечном сечении (трапециевидное и/или V-образное, иногда террасированное русло), местами формируются намывные дамбы (см. профили 10, 26 на рис. 8, *г*). Эти изменения в морфологии каньона, вероятно, вызваны разгрузкой придонных обломочных и мутьевых потоков в батиальной впадине из-за резкого выполаживания продольного профиля каньона [*Gnibidenko, Svarichevskaya, 1984*]. Мощность потоков можно оценить по высоте намывных дамб. Так, на профиле 10 она достигает ~200 м, тогда как на профиле 26 – 500 м (здесь намывная дамба венчает молодую приразломную антиклиналь в основании южного склона Камчатского хребта).

Особый интерес в строении Камчатской впадины представляют профили 13 и 12 (см. рис. 8, *д*). На первом обнаружена широкая (~30 км) осадочная

ванна с уплощенным ложем. Она в основном компенсирована турбидитами переменной контрастности мощностью до 700 м (скорость распространения продольных волн принята 1600 м/с), залегающими с угловым несогласием в подошве. В придонной, северо-восточной части ванны опознается неглубокое палеорусло шириной ~10 км, также выполненное турбидитами с угловым несогласием в подошве. С учетом батиметрии района, положения и морфологии Камчатского каньона на шельфе, верхнем и среднем склонах (см. рис. 1, *б*, 7) осадочную ванну можно рассматривать как часть Камчатского палеоканьона. С поднятием Прикамчатского хребта-барьера и заложения Камчатской батиальной впадины и Курило-Камчатского желоба в среднем плейстоцене – голоцене [*Lomtev, 2012*] продольный профиль палеоканьона во впадине стал выполаживаться за счет аккумуляции турбидитов. Таким образом, в досреднечетвертичное время Камчатский каньон имел меридиональную ориентировку аналогично Авачинскому каньону [*Sychev, 1980*]. С поднятием хребта-барьера его ориентировка изменилась на субширотную, что привело к смещению устья в район сочленения тальвегов Курило-Камчатского и Алеутского желобов примерно на 70 км к северу от осадочной ванны на профиле 13 (см. рис. 7).

Другим интересным объектом в рельефе юго-востока Камчатской батиальной впадины является аккумулятивная гряда протяженностью 28 км и высотой 375 м над тальвегом Камчатского каньона (см. рис. 8, *д*). Если ее северо-восточное окончание было эродировано каньоном, то общая протяженность гряды могла составить 44 км. С юго-востока гряду ограничивает Прикамчатский хребет-барьер с вершиной на глубинах 4000–4500 м (см. рис. 7, 8, *д*). В осадочном разрезе гряды на профиле 12 необычно обилие дифракций с небольшими линзами слоистых осадков в юго-западной части, что позволяет интерпретировать ее как крупный блоковый оползень с линзами позднекайнозойского чехла. Подстилающий разрез слагают почти недеформированные верхняя, контрастная, толща турбидитов мощностью 0.3 с (240 м при скорости распространения продольных волн 1600 м/с) и нижняя, прозрачная, толща неустановленной мощности. Газовые столбы в контрастной толще аналогично [*Lomtev, Patrikeev, 2012*] надежно фиксируют газонасыщенность осадков. Место схода оползня с учетом его протяженности вряд ли можно связывать с небольшими каньонами Сторож и Чажма на юге Камчатского залива (оконтурены изобатой 1000 м) (см. рис. 7) или северо-восточным склоном Кроноцкого п-ова, где по данным НСП [*Seliverstov, 2009, 2013*] и промера нет больших уступов (стенки срыва оползней), поэтому более вероятен его сход в Камчатском каньоне, например на верхнем склоне (см. рис. 2, 7, 8, *б–г*). Поскольку оползень выражен в рельефе дна, его возраст довольно молодой (голоцен); возможно, триггером послужило сильное землетрясение 14.04.1923 г. [*Go et al., 1990; Pinegina, 2014*]. Учитывая дифракции и небольшую (~250 м) высоту хребта-барьера на профиле 12, можно заключить, что этот оползень двигался по каньону с трением в подошве и относительно небольшой скоростью (первые м/с).

На профиле 26 отметим асимметричные осадочные волны высотой до 50–100 м на выпуклом своде Прикамчатского хребта-барьера (см. рис. 8, *д*). На подводных окраинах, в том числе Камчатки, их связывают с деятельностью контурных течений, а на склонах намывных дамб абиссальных каналов СВ Пацифики – с переливом мутьевых потоков [*Lomtev, 1981; Putans, 2012*]. Интерес к осадочным волнам на вершине хребта-барьера связан с тем, что здесь их могли формировать мутьевые потоки по Камчатскому каньону, контурное течение вдоль тихоокеанского склона или абиссальные бури с придонными течениями более 1 м/с, возникавшие при прохождении циклонов [*Hollister et al., 1984*].

5. Обсуждение результатов

Итак, переинтерпретация материалов промера и НСП по Камчатскому каньону показала, что он представляет собой сложную, тектоно-эрозионно-аккумулятивную систему дочетвертичного заложения, дренирующую тихоокеанскую активную окраину Камчатки в районе Камчатского залива. Ключевую роль в формировании каньона играют выносы р. Камчатки, в основном слагающие кайнозойский чехол и ее авандельту, а также газонасыщенность осадочного разреза и сложившаяся в позднем кайнозое тектоническая структура камчатской окраины, связанная с коровой сейсмичностью и фокальной зоной Беньофа – крупнейшим глубинным разломом Земли [*Fedotov et al., 1985; Gordeev et al., 2006; Seliverstov, 2009; Lomtev et al., 2013*]. Эти факторы определяют широкое развитие оползней на левом, крутом, и правом, пологом, борту Камчатского каньона и в его верховьях (преимущественно в Западной долине и в меньшей степени – в Восточной). Блоковые оползни мощностью 100–500 м на левом борту каньона формируются в позднекайнозойском чехле зоны регионального выклинивания морского осадочного бассейна, в котором хребет Камчатского мыса представлял собой краевое поднятие. Развитию оползней также способствует увеличение крутизны его западного склона при воздымании хребта [*Ilyin,*

1961; Pinegina, 2014], связанное с надвиганием к юго-востоку, и глубинная эрозия в Камчатском каньоне (удаление упора и формирование висячих оползней [*Lomtev, 1981; Lomtev et al., 1980*]). В зоне максимального (~1 км) вреза на верхнем склоне на левом борту каньона сформировался крупный висячий оползень или оползневой массив протяженностью ~55 км, подошва которого опирается на дно каньона или «зависает» над ним на высоте 100–150 м и более. Понятно, что в случае обрушения или быстрого сползания сколько-нибудь значительной части этого массива в каньон неизбежно возбуждение сильного цунами в Камчатском заливе. Вместе с тем с учетом слоистой структуры позднекайнозойского чехла на профилях НСП по западному склону хребта Камчатского мыса (рис. 7, 8, *б*, *г*) можно предполагать, что его сползание в каньон развивается медленно в режиме крипа с обрушением отдельных блоков у бровки левого борта каньона, где существенно увеличивается крутизна подводного склона. С учетом реальной (в основном до ~30°) крутизны бортов каньона на шельфе и верхнем склоне именно обрушение небольших блоков и их последующий транзит, вероятно, создают характерный микросейсмический шум, регистрируемый сейсмостанциями в поселках Крутоберегово и Ключи (см. рис. 1, *а*).

Оползневой массив на правом борту Камчатского каньона формируется на внешнем склоне авандельты р. Камчатки, имеющем более пологий уклон (~3°). С учетом слоистой структуры верхней контрастной толщи можно предполагать, что здесь позднекайнозойский чехол сползает медленно (крип), сминаясь с вращением в пологие складки (блоковые, ротационные оползни). Основными триггерами оползней являются подрезание склона и удаление упора за счет глубинной эрозии в каньоне, сильная местная сейсмичность и газонасыщенность чехла, фиксируемая на профилях НСП (см. рис. 7, 8, *а–д*). Замечу, что последняя не только снижает сцепление осадков, особенно на глубине, но и существенно ограничивает глубинность НСП и возможности геолого-геоморфологического картирования на шельфе и верхнем склоне (см. рис. 7–9).

«Древний» оползень, выделенный в статье [*Kornev et al., 1981*] на правом борту Западной долины (см. рис. 1), является частью более крупного оползневого массива. Однако его геоморфологическая выраженность на продольном профиле каньона и эхограммах СРТР «Тымь» (см. рис. 2, 3) допускает его сход при сильном местном землетрясении 14.04.1923 г. [*Go et al., 1990; Pinegina, 2014*] и резком углублении Камчатского каньона по сценарию, сходному с углублением каньона Сагами после сильного землетрясения в том же году [*Shepard, 1933*]. Не исключено, что важной частью этого сценария был крупный блоковый оползень на профиле 12 у Прикамчатского хребта-барьера (см. рис. 7, 8, *д*). По своим размерам он мог сойти только в Камчатском каньоне и состоять из склоновых блоков или линз позднекайнозойского чехла с фрагментами слоистой структуры и разжиженной массы русловых осадков. Если бы его скорость превышала 22–23 м/с, что предполагается для мутьевых потоков [*Leontiev, 1982*], то оползень мог бы перемахнуть невысокий хребет-барьер и оказаться в Курило-Камчатском желобе, поэтому блокировка оползня хребтом-барьером указывает на его небольшую (первые м/с) скорость движения по каньону. Следовательно, обломочные и мутьевые потоки, возникшие при его флюидизации [*Lomtev et al., 1980*], также имели небольшую скорость.

Таким образом, оползни, газонасыщенность кайнозойского чехла и другие особенности строения Камчатского каньона (авандельта р. Камчатки, незаполненность наносами Западной долины, осадочные волны на среднем склоне, резкие вариации глубины вреза при выходе каньона в Камчатскую впадину, структурные пережимы каньона и вариации формы его поперечного сечения и др.) требуют дополнительного изучения, включая промер, НСП, пробоотбор, численное моделирование оползневых цунами. Последнее особенно важно при подготовке рекомендаций для строителей нового морского международного порта Усть-Камчатск.

6. Заключение

Итак, переинтерпретация материалов промера и НСП позволила получить ряд новых данных о строении Камчатского каньона как сложной тектоно-эрозионно-аккумулятивной системы дочетвертичного заложения. Среди них выделим признаки региональной газонасыщенности позднекайнозойского чехла на шельфе Камчатского залива и прилегающем тихоокеанском склоне, гравитационной неустойчивости и медленного сползания осадочного чехла (оползневые массивы) на левом, крутом (западный склон хребта Камчатского мыса), и правом, пологом (авандельта р. Камчатки), борту каньона и его Западной долины. Формирование склоновых оползней в основном связано с глубинной эрозией, местной сейсмичностью в коре и на выходе фокальной зоны Беньофа и избыточной газонасыщенностью позднекайнозойского чехла. В плане генерации оползневых цунами наиболее опасен верхний склон, где каньон переуглублен (до 1 км) и на его левом борту (западный склон п-ова Камчатского мыса) протяженностью ~55 км формируются висячие оползни мощностью 100–500 м.

На правом, пологом, борту каньона и его Западной долины в режиме крипа развиваются блоковые, вероятно ротационные, оползни (внешний склон авандельты р. Камчатки). Незаполненность наносами Западной долины каньона, видимо, вызвана отклонением потока наносов р. Камчатки на ее взморье к юго-западу холодным прибрежным Камчатским течением, следующим к югу вдоль Восточной Камчатки. На среднем склоне описаны крупный блоковый оползень, сошедший, вероятно, в Камчатском каньоне, и его почти заполненное турбидитами палеорусло, фиксирующее меридиональное простирание каньона до формирования Прикамчатского хребта-барьера в среднем плейстоцене – голоцене. Воздымание последнего определило субширотный поворот каньона и смещение его устья на 70 км к северу в район сочленения тальвегов Курило-Камчатского и Алеутского глубоководных желобов.

7. Благодарности

Автор благодарен д.г.-м.н. Н.И. Селиверстову за предоставленную электронную версию временных разрезов высокочастотного НСП по Камчатскому каньону, О.С. Корневу, Л.В. Сваричевской, сотрудникам 23-й экспедиции 2-го предприятия ГУГК СССР, капитану и экипажу судна «Тымь» – за совместную работу; отдельная благодарность рецензентам статьи за полезные замечания и предложения, а также К.О. Дашковскому и М.В. Сеначину за помощь в компьютерной подготовке графики статьи.

8. Литература / References

Egorov O.Y., Osipenko A.B., 1999. Submarine landslide processes in the canyons of the northern part of Kamchatka Bay, East Kamchatka. *Oceanology* 39 (4), 550–557.

Fedotov S.A., Gusev A.A., Chernysheva G.V., Shumilina L.S., 1985. Seismofocal zone of Kamchatka (geometry, location of earthquake foci, and relation to volcanism). *Vulkanologiya i Seismologiya* (*Journal of Volcanology and Seismology*) (4), 91–107 (in Russian) [*Федотов С.А., Гусев А.А., Чернышева Г.В., Шумилина Л.С.* Сейсмофокальная зона Камчатки (геометрия, размещение очагов землетрясений и связь с вулканизмом) // *Вулканология и сейсмология*. 1985. № 4. С. 91–107].

Gnibidenko H.S., Svarichevskaya L.V., 1984. The submarine canyons of Kamchatka. *Marine Geology* 54 (3–4), 277–307. https://doi.org/10.1016/0025-3227(84)90043-4.

Go Ch.N., Ivanov V.V., Kaistrenko V.M., Sedaeva V.M., Simonov K.V., 1990. Tsunami in the Ust-Kamchatsk region and the forecast of tsunami hazard. In: Natural catastrophes and hazards in the Far East Region. Vol. 1. Far East Branch of the USSR Acad. Sci., Vladivostok, p. 142–178 (in Russian) [*Го Ч.Н., Иванов В.В., Кайстренко В.М., Седаева В.М., Симонов К.В.* Проявления цунами в районе Усть-Камчатска и прогноз цунамиопасности // Природные катастрофы и стихийные бедствия в Дальневосточном регионе. Владивосток: ДВО АН СССР, 1990. Т. 1. С. 142–178].

Gordeev E.I., Gusev A.A., Levina V.I., Leonov V.L., Chebrov V.N., 2006. Small-focus earthquakes in the Kamchatka Peninsula. *Vulkanologiya i Seismologiya* (*Journal of Volcanology and Seismology*) (3), 28–38 (in Russian) [*Гордеев Е.И., Гусев А.А., Левина В.И., Леонов В.Л., Чебров В.Н.* Мелкофокусные землетрясения п-ова Камчатка // *Вулканология и сейсмология*. 2006. № 3. С. 28–38].

Hollister Ch.D., Nawell A.R.M., Gumars P.A., 1984. The uneasy depths. *V Mire Nauki* (5), 4–16 (in Russian) [*Холлистер Ч.Д., Науэлл А.Р.М., Джумарс П.А.* Неспокойные 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.].

Ilyin A.V., 1961. The relief of the Kamchatka Gulf bottom. In: V.N. Nikitin (Ed.), Marine geological studies. Publishing House of the USSR Acad. Sci., Moscow, p. 21–28 (in Russian) [*Ильин А.В.* Рельеф дна Камчатского залива // Морские геологические исследования / Ред. В.Н. Никитин. М.: Изд-во АН СССР, 1961. С. 21–28].

Khotin M.Yu., 1976. Effusive-Tufogenic-Siliceous Formations of the Kamchatka Cape. Nauka, Moscow, 196 p. (in Russian) [*Хотин М.Ю.* Эффузивно-туфогенно-кремнистые формации Камчатского мыса. М.: Наука, 1976. 196 с.].

Kornev O.S., Svarichevskaya L.V., Khachapuridze Ya.F., 1981. The structure of the Kamchatka Canyon and its comparison with similar systems of other regions. In: Relief and structure of the sedimentary cover in the aquatorial part of the Far East. Far East Research Center, the USSR Acad. Sci., Vladivostok, p. 53–63 (in Russian) [*Корнев О.С., Сваричевская Л.В., Хачапуридзе Я.Ф.* Строение Камчатского подводного каньона и его сравнение с подобными системами других регионов // Рельеф и структура осадочного чехла акваториальной части Дальнего Востока. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1981. С. 53–63].

Leontiev O.K., 1982. Marine Geology (Fundamentals of Geology and Geomorphology of the Bottom of the World Ocean). Vysshaya Shkola, Moscow, 344 p. (in Russian) [*Леонтьев О.К.* Морская геология (основы геологии и геоморфологии дна Мирового океана). М.: Высшая школа, 1982. 344 с.].

Lomtev V.L., 1981. On some forms of the relief of the Pacific continental margin of Kamchatka. In: Relief and structure of the sedimentary cover in the aquatorial part of the Far East. Far East Research Center, the USSR Acad. Sci.,

Vladivostok, p. 64–69 (in Russian) [*Ломтев В.Л.* О некоторых формах рельефа тихоокеанской континентальной окраины Камчатки // Рельеф и структура осадочного чехла акваториальной части Дальнего Востока. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1981. С. 64–69].

Lomtev V.L., 2012. On the structure and history of the Kurile-Kamchatka deep-sea trench (NW Pacific). G*eology and Minerals of the World Ocean* (3), 36–47 (in Russian) [*Ломтев В.Л.* К строению и истории Курило-Камчатского глубоководного желоба (СЗ Пацифика) // *Геология и полезные ископаемые Мирового океана*. 2012. № 3. С. 36–47].

Lomtev V.L., 2017. Structure Features of the Northern Kuril-Kamchatka Trench and Adjacent Areas. *Bulletin of the North-East Scientific Center of FEB RAS* (2), 30–40 (in Russian) [*Ломтев В.Л.* Особенности строения северной части Курило-Камчатского желоба и прилегающих территорий // *Вестник СВНЦ ДВО РАН*. 2017. № 2. С. 30–40].

Lomtev V.L., Kornev O.S., Svarichevskaya L.V., 1980. Geological and Geomorphological Prerequisites of Landslides in Seismically Active Regions of the Continental Margins of the Pacific Mobile Belt (in Connection with a Possible Hazard of Tsunami). VNTIC, Moscow, B932521, 153 p. (in Russian) [*Ломтев В.Л., Корнев О.С., Сваричевская Л.В.* Геолого-геоморфологические предпосылки оползней в сейсмоактивных районах континентальных окраин Тихоокеанского подвижного пояса (в связи с возможной опасностью образования цунами). М.: ВНТИЦ, 1980. Б932521. 153 с.].

Lomtev V.L., Nagornykh T.V., Safonov D.A., 2013. On the structure and seismotectonics of the Kuril arc-trench system. *Seismic Instruments* 49 (4), 328–343. https://doi.org/10.3103/S074792391304004X.

Lomtev V.L., Patrikeev V.N., 2012. New peculiarities in the structure of Northern Mid-Kuril Trough (based on seimic continuous data). *Bulletin of Kamchatka Regional Association Educational–Scientific Center*. *Earth Sciences* (2), 59–70 (in Russian) [*Ломтев В.Л., Патрикеев В.Н.* Новое в строении северного фланга Срединно-Курильского прогиба (по данным НСП) // *Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле*. 2012. № 2. С. 59–70].

Patrikeev V.N., 2009. Atlas of Seismic Profiles of the North-Western Plate, Pacific Ocean. GEOS, Moscow, 208 p. (in Russian) [*Патрикеев В.Н.* Атлас сейсмических разрезов Северо-Западной плиты Тихого океана. М.: ГЕОС, 2009. 208 с.].

Pinegina T.K., 2014. Spatio-Temporal Pattern of Tsunamigenic Earthquake Foci of the Pacific and Bering Sea Coastal Areas in Kamchatka According to the Paleo-Tsunami Sediments. Brief PhD Thesis (Doctor of Geology and Mineralogy). Petropavlovsk-Kamchatsky, 43 p. (in Russian) [*Пинегина Т.К.* Пространственно-временное распределение очагов цунамигенных землетрясений тихоокеанского и беринговоморского побережий Камчатки по отложениям палеоцунами: Автореф. дис. ... докт. геол.-мин. наук. Петропавловск-Камчатский, 2014. 43 с.].

Pinegina T.K., Kozhurin A.I., Ponomareva V.V., 2014. Active tectonics and geomorphology of the Kamchatsky Bay coast in Kamchatka. *Russian Journal of Pacific Geology* 8 (1), 65–76. https://doi.org/10.1134/S1819714014010047.

Putans V.A., 2012. Sedimentary waves – the current state of the problem. *Bulletin of Moscow Society of Naturalists, Geological Section* 87 (1), 25–37 (in Russian) [*Путанс В.А.* Осадочные волны – современное состояние проблемы // *Бюллетень Московского общества испытателей природы, отдел геологический.* 2012. Т. 87. Вып. 1. С. 25–37].

Rostov I.D., Rudykh N.I., Dmitriev E.V. et al., 2005. Atlas of Hydrophysical Characteristics of the Southeastern region of the Kamchatka Peninsula. V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, FEB RAS, Vladivostok (in Russian) [*Ростов И.Д., Рудых Н.И., Дмитриев Е.В. и др.* Атлас гидрофизических характеристик района юго-восточной части полуострова Камчатки. Владивосток: ТОИ им. В.И. Ильичева ДВО РАН, 2005]. Available from: http://pacificinfo.ru/data/cdrom/6/htm/3_2_0.htm.

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., 1998. The Bottom Structure of the Kamchatka Aquatorial Areas and the Geodynamics of the Conjugation zone of the Kurile-Kamchatka and Aleutian Island Arcs. Nauchny Mir, Moscow, 164 p. (in Russian) [*Селиверстов Н.И.* Строение дна прикамчатских акваторий и геодинамика зоны сочленения Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг. М.: Научный мир, 1998. 164 с.].

Seliverstov N.I., 2009. Geodynamics of the Conjugation Zone of the Kurile-Kamchatka and Aleutian Island Arcs. Publishing House of Vitus Bering Kamchatka State University, Petropavlovsk-Kamchatsky, 191 p. (in Russian) [*Селиверстов Н.И.* Геодинамика зоны сочленения Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг. Петропавловск-Камчатский: Изд-во КамГУ им. Витуса Беринга, 2009. 191 с.].

Seliverstov N.I., 2013. Underwater Morphostructures of the Kurile-Kamchatka and Aleutian Island Arcs. Institute of Volcanology and Seismology, FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, 162 p. (in Russian) [*Селиверстов Н.И.* Подводные морфоструктуры Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2013. 162 с.].

Shapiro M.N., 1976. Tectonic Development of the Eastern Frame of Kamchatka. Nauka, Moscow, 123 p. (in Russian) [Шапиро *М.Н.* Тектоническое развитие восточного обрамления Камчатки. М.: Наука, 1976. 123 с.].

Shepard F.P., 1933. Depth changes in Sagami Bay during the great Japanese earthquake. *The Journal of Geology* 41 (5), 527–536. https://doi.org/10.1086/624065.

Shepard F.P., 1973. Submarine Geology. Harper & Row, New York, 551 p. [Русский перевод: *Шепард Ф.П.* Морская геология. Л.: Недра, 1976. 488 с.].

Shepard F.P., Dill R.F., 1966. Submarine Canyons and Other Sea Valleys. Rand McNally & Co., Chicago, 381 p. [Русский перевод: *Шепард Ф.П., Дилл Р.* Подводные морские каньоны. Л.: Гидрометеоиздат, 1972. 343 с.].

Sidorenko A.V. (Ed.), 1964. Geology of the USSR. Volume 31. Kamchatka, the Kurile Islands and the Commander Islands. Nedra, Moscow, 734 p. (in Russian) [Геология СССР. Т. 31. Камчатка, Курильские и Командорские острова / Ред. А.В. Сидоренко. М.: Недра, 1964. 734 с.].

Soloviev S.L., Ferchev M.D., 1961. The USSR Tsunami Data Set. In: Bulletin of the Seismology Council, No. 9. Publishing House of the USSR Acad. Sci., Moscow, p. 23–55 (in Russian) [*Соловьев С.Л., Ферчев М.Д.* Сводка данных о цунами в СССР // Бюллетень Совета по сейсмологии. № 9. М.: Изд-во АН СССР, 1961. С. 23–55].

Sychev P.M. (Ed.), 1980. Tectonics of the Kurile-Kamchatka Deep-Sea Trench. Nauka, Moscow, 179 p. (in Russian) [Тектоника Курило-Камчатского глубоководного желоба / Ред. П.М. Сычев. М.: Наука, 1980. 179 с.].

Udintsev G.B., 1955. Relief of the Kurile-Kamchatka trench. *Proceedings of the Institute of Oceanology of the USSR Academy of Sciences* 12, 16–61 (in Russian) [*Удинцев Г.Б.* Рельеф Курило-Камчатской впадины // *Труды Института океанологии АН СССР*. 1955. Т. 12. С. 16–61].

Varnavsky V.G. (Ed.), 2016. Features of the Structure and Geodynamics of the Tectonosphere in the Northwestern Pacific and Seas in the Far East. Dal'nauka, Vladivostok, 148 p. (in Russian) [Особенности строения и геодинамики тектоносферы северо-западной части Тихого океана и дальневосточных морей / Ред. В.Г. Варнавский. Владивосток: Дальнаука, 2016. 148 с.].

Владимир Леонидович Ломтев, канд. геол.-мин. наук, зав. лабораторией
Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН
693022, Южно-Сахалинск, ул. Науки, 1Б, Россия
✉ e-mail: lomtev@imgg.ru

Vladimir L. Lomtev, Candidate of Geology and Mineralogy, Head of Laboratory
Institute of Marine Geology and Geophysics, Far East Branch of RAS
1B Nauki street, Yuzhno-Sakhalinsk 693022, Russia
✉ e-mail: lomtev@imgg.ru