

УДК 551.4,551.435.62

## ПОДВОДНЫЙ ОПОЛЗЕНЬ В ГРАБЕНЕ БУССОЛЬ: ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ И ФОРМИРОВАНИЯ

© 2017 г. Б. В. Баранов, Л. И. Лобковский, К. А. Дозорова, Д. Д. Рукавишника

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия*

*e-mail: bbaranov@ocean.ru*

Поступила в редакцию 21.11.2016 г.

Анализ геофизических данных, полученных при исследовании островного склона центральной части Курило-Камчатского желоба в рамках проектов Президиума РАН “Курилы-2005” и “Курилы-2006”, дал основание выделить в этом районе крупный подводный оползень. Оползень располагается на дне поперечной долины, приуроченной к грабену Буссоль, и образовался за счет обрушения северо-восточной стенки грабена, сложенной осадочным материалом. Объем оползня превышает 35 км<sup>3</sup>, и он является одним из крупных подводных оползней, обнаруженных к настоящему времени на склоне Курило-Камчатского желоба в обстановках подводных каньонов/конусов выноса.

DOI: 10.7868/S0030157417020022

### ВВЕДЕНИЕ

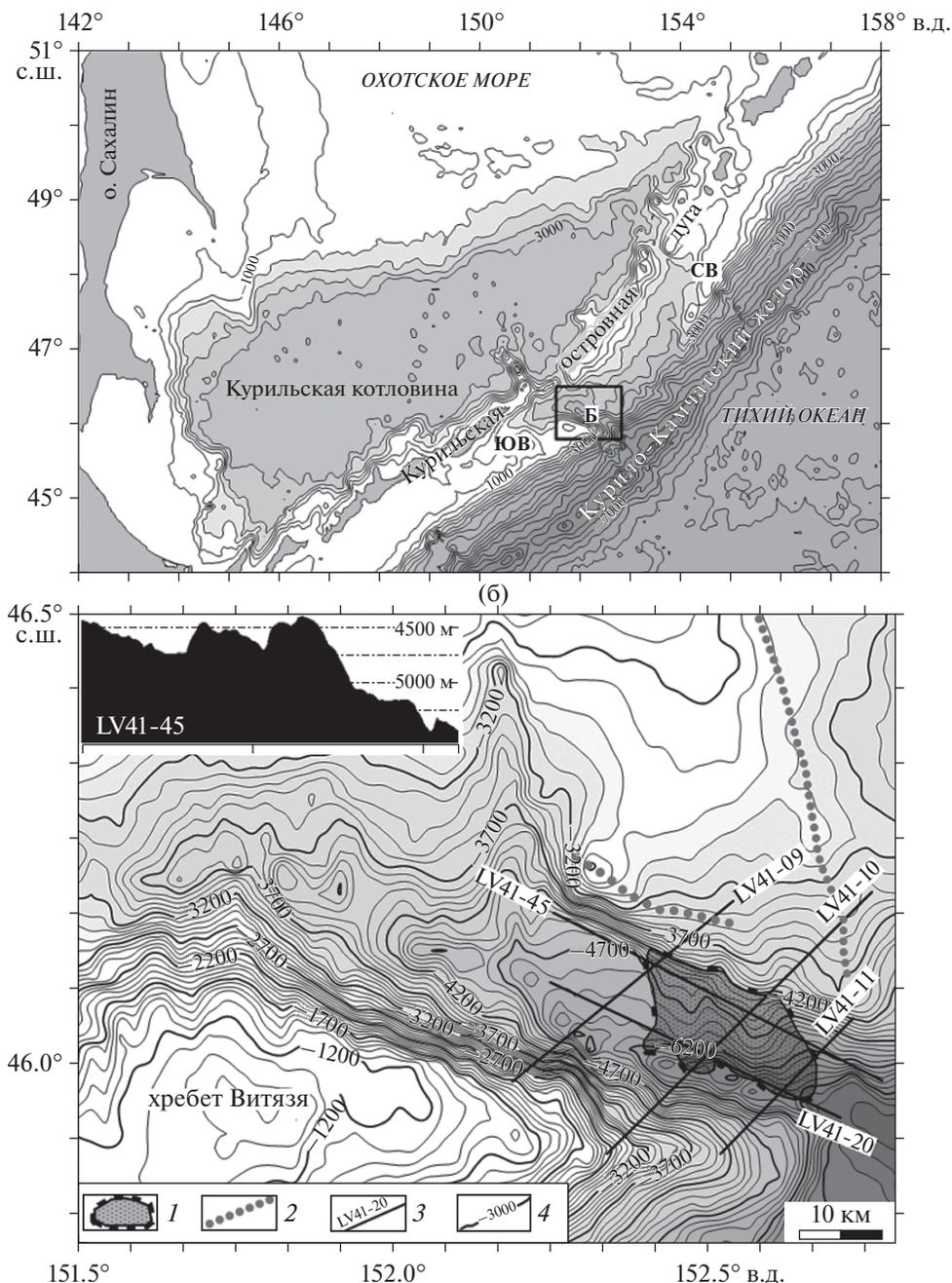
На островном склоне Курило-Камчатского желоба подводные оползни были известны только в каньонах вблизи восточного побережья п-ова Камчатка [3, 4, 7, 8]. Информация о наличии этих структур в пределах тихоокеанского склона Курильской островной дуги отсутствовала и появилась после выполненного нами анализа батиметрических и сейсмических данных, полученных в 37-м (2005 г.) и 41-м (2006 г.) рейсах НИС “Академик М.А. Лаврентьев”. Рейсы были выполнены по проектам Президиума РАН “Курилы-2005” и “Курилы-2006”, направленным на изучение сейсмического потенциала центральной части Курило-Камчатской дуги [5, 6].

Настоящая работа посвящена рассмотрению особенностей строения и формирования подводного оползня, который был обнаружен в грабене Буссоль на островном склоне Курило-Камчатского желоба. Оползни, как известно, относятся к георискам, и в этой связи изучение их строения, механизма и обстановки формирования, а также возможности генерации оползневых цунами является весьма актуальной задачей. Рассматриваемая оползневая структура была выявлена при анализе батиметрической карты и временных сейсмических разрезов. Карта была подготовлена по результатам батиметрической съемки однолучевым эхолотом с частотой 12 кГц. Используемые для анализа сейсмические разрезы были получены методом непрерывного сейсмопрофилирования (НСП) с применением комплекта оборудования, состоящего из одноканальной сейсмической

косы с длиной активной секции 42 м, устройства регистрации сейсмических сигналов и пневматических источников с объемами рабочих камер 3.3 и 2.5 л.

**Генеральный рельеф района исследований и морфология грабена Буссоль.** Характерной структурой склона в районе исследований является подводный хребет Витязя, состоящий из южного и северного сегментов. Хребет отделен от островной дуги Срединно-Курильским междууговым прогибом, который хорошо выражен в рельефе, если не заполнен осадками. Южный сегмент хребта ограничен подводной долиной Буссоль, соответствующей тектоническому грабену [1], который ориентирован под углом к простираению островного склона (рис. 1а).

Грабен Буссоль на северо-западе сливается с междууговым прогибом, а на юго-востоке заканчивается на террасе, расположенной на глубине около 6000 м (рис. 1б). Грабен имеет асимметричный U-образный профиль: высота его юго-западного борта составляет более 3000 м, а северо-восточного — 1500 м. Углы наклона юго-западного борта колеблются от 11° до 20°. На северо-восточном борту грабена крутые углы наклона склона (20° и выше) наблюдаются только на его северо-западном окончании. При движении на юго-восток склон, в особенности его верхняя часть, начиная с глубины 3700 м, становится более пологим с углами наклона до 5°, так что сечение грабена приобретает V-образный профиль. Вдоль юго-западного борта грабена проходит узкий (около 4 км



**Рис. 1.** (а) – Генеральное положение района исследований (прямоугольник). Сокращения: ЮВ – южный сегмент хребта Витязя, СВ – северный сегмент хребта Витязя, Б – грабен Буссоль. Карта составлена с использованием данных проекта SRTM (Satellite Radar Topographic Mission) [2]; (б) – батиметрическая карта района исследований и положение сейсмических и батиметрических профилей, данные батиметрической съемки в 37-м и 41-м рейсах НИС “Академик М.А. Лаврентьев”. Изобаты проведены через 500 м и 100 м для (а) и (б), соответственно. 1 – Подводный оползень, 2 – оси поднятий акустического фундамента, 3 – батиметрический и сейсмические профили и их номера, 4 – изобаты. Батиметрический профиль см. на врезке, сейсмические профили – на рис. 2.

шириной) и глубокий (до 500 м) V-образный канал.

Долина грабена имеет ширину до 16 км, протяженность 77 км и погружается под углом около  $2^\circ$  с северо-запада на юго-восток от 3500 до 6000 м. По особенностям рельефа долину можно разде-

лить на северо-западную и юго-восточную части, граница между которыми проходит по  $152.4^\circ$  в.д. (рис. 16). Дно ее северо-западной части является относительно выровненным и наклонено в южном направлении с увеличением глубины от 4500 до 5000 м.

Дно юго-восточной части долины перегораживается двумя поднятиями (рис. 16, врезка). Поднятия примыкают к северо-восточному борту грабена на том участке, где склон является наиболее пологим. Они ориентированы в субмеридиональном – северо-западном направлениях и протягиваются на расстояние 11–16 км почти до юго-западного борта, отделяясь от него каналом. Высота поднятий над дном долины вблизи ее северо-восточного борта равна 250–500 м и уменьшается в южном направлении.

Подобного рода структуры, перегораживающие дно подводных каньонов, были известны на континентальном склоне Восточной Камчатки и интерпретировались как разномасштабные оползневые тела [4, 7, 8]. Особенности строения осадочного чехла поднятий на дне грабена Буссоль дают основание сделать вывод, что они также являются оползнями и сложены перемещенными отложениями (ПО).

**Строение осадочного чехла в грабене Буссоль.** В областях со сложным строением осадочного чехла и расчлененным рельефом, таких как склон желоба, использованный метод НСП дает возможность получить представление только о строении верхней части осадочного чехла. На крутых бортах грабена осадочный чехол практически неразличим и, вероятно, имеет малые мощности или отсутствует. Небольшие линзовидные осадочные тела на юго-западном склоне (рис. 2, проф. LV41-10), по всей видимости, являются ПО, но выделить их на батиметрической карте в качестве оползневых тел не представляется возможным из-за ее низкой детальности. Исключением является пологий участок северо-восточного борта, где на сейсмическом разрезе видимая мощность осадочного чехла достигает 1 с или примерно 1 км при вертикальном градиенте, равном  $a = 0.51 \text{ с}^{-1}$  и начальной скорости 1.75 км/с, принимаемой для осадочных комплексов подножья континентального склона и седиментационных впадин [8]. Волновая картина разреза является неоднородной, отражающие горизонты на отдельных участках отсутствуют, являются параллельными или изогнутыми, что дает основание предполагать участие в строении осадочного чехла блоков, состоящих из ПО (рис. 2, проф. LV41-10).

Долина грабена заполнена осадками, видимая мощность которых превышает 1000 м. На временных сейсмических разрезах северо-восточной части долины выделяется две сейсмофации. В нижней сейсмофации отражающие горизонты отсутствуют, и она является акустически прозрачной. Верхняя сейсмофация мощностью до 470 м состоит из параллельных отражающих горизонтов (рис. 2, проф. LV41-09). В верхней части разреза юго-западной части долины появляется еще од-

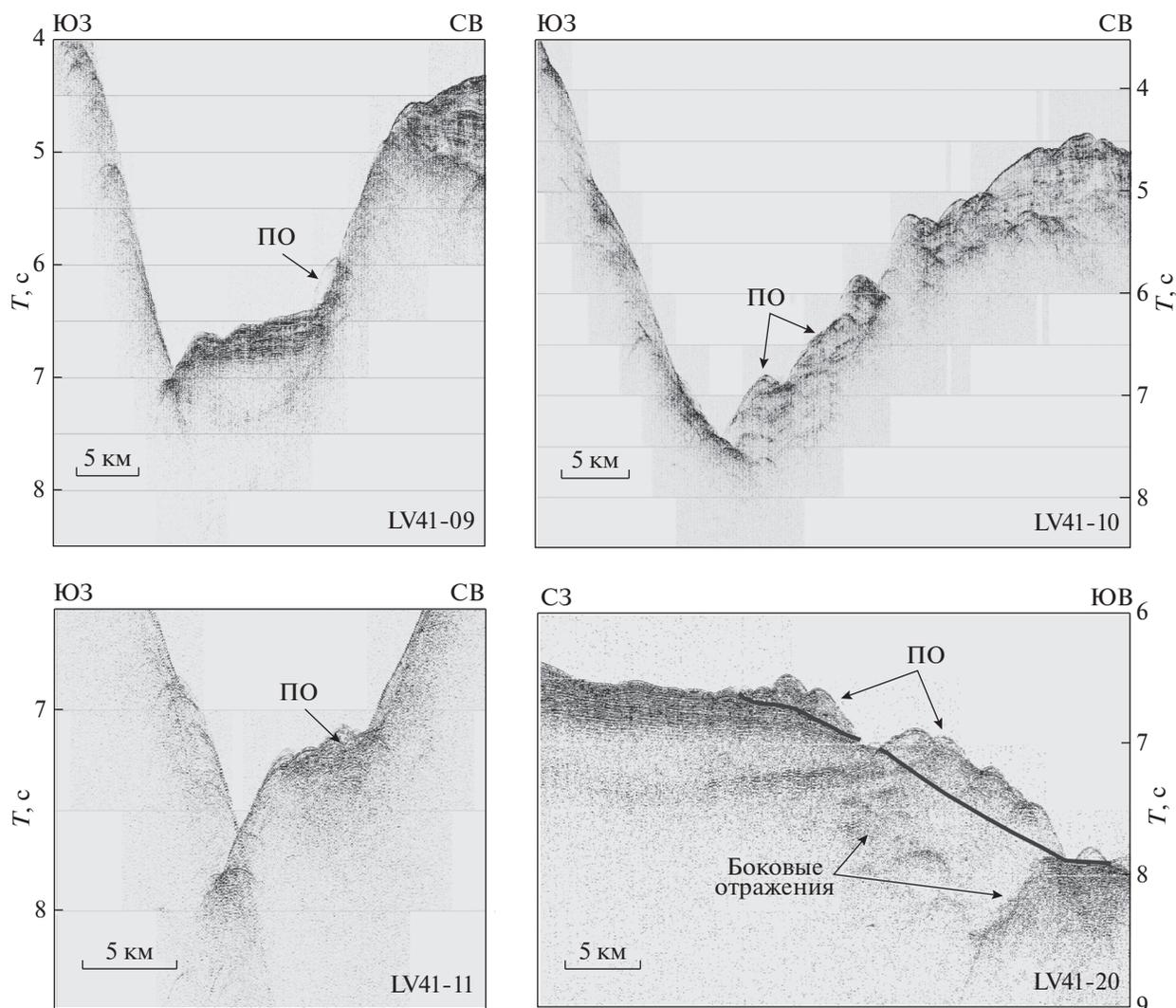
на сейсмофация, которая сложена ПО (рис. 2, проф. LV41-11 и LV41-20). Она имеет холмистый рельеф кровли, хаотические/мутные поддонные отражения и наблюдается только в пределах поднятий. Контакт между верхней и средней сейсмофациями соответствует угловому несогласию и является плоскостью скольжения оползня. Верхняя сейсмофация может полностью экранировать нижележащие отложения, в которых отражающие горизонты отсутствуют (рис. 2, проф. LV41-11 и LV41-20).

**Выделение оползневого тела и его объем.** Оползни на детальных картах морского дна хорошо выделяются в рельефе по особенностям своей морфологии [13]. К ним относятся стенки отрыва оползня высотой в десятки и более метров и протяженностью до первых сотен километров и его боковые стенки, которые в целом определяют размеры области генерации оползня. В ряде случаев на окончании оползня можно выделить скопления ПО, образующие в рельефе поднятия.

Отчетливо выраженные в рельефе стенка отрыва и боковые стенки оползня на северо-восточном борту грабена Буссоль не выделяются, но хорошо видны ПО, формирующие поднятия, перегораживающие долину. Их границы также отчетливо фиксируются по изменению характера отражений на сейсмических профилях. Оползень на дне долины перекрыл ранее образовавшиеся отложения, представленные сейсмофацией с параллельными отражающими горизонтами (рис. 2, проф. LV41-09 и северо-западная часть проф. LV41-20). Поэтому за плоскость скольжения мы принимаем поверхность этой сейсмофации (дно долины), и, соответственно, мощность оползня будет равна высоте поднятий, а его размеры – площади поднятий (рис. 16). Исходя из этого, рассчитанная минимальная площадь оползня будет равна 220 км<sup>2</sup>, а объем составлять 35 км<sup>3</sup>.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Оползни вследствие определенной комбинации характера осадконакопления и физиографии широко распространены в ряде геологических обстановок, которые включают в себя открытые континентальные склоны, системы подводных каньонов и конусов выноса, фьорды, активные речные дельты и вулканические острова [11]. Курильская зона субдукции является конвергентной окраиной, которые также относят к обстановкам с наличием многочисленных оползневых тел [12, 14, 15]. В ее пределах по характерной морфологии рельефа можно выделить две оползневые обстановки: системы подводных каньонов/конусов выноса и открытые континенталь-



**Рис. 2.** Временные сейсмические разрезы НСП, пересекающие оползневое тело в грабене Буссоль. Сплошной черной линией показана плоскость скольжения. ПО – перемещенные (оползневые) отложения. См. положение разрезов на рис. 16.

ные склоны. Оползневые тела были выделены только в первой из них.

Подводные каньоны, являющиеся путями транспортировки терригенного материала, особенно широко развиты на склоне Восточной Камчатки. В этой обстановке были выявлены оползневые тела объемом от нескольких до десятков куб. км и протяженностью до 10-20 км [3, 4, 7, 9]. Так, например, южная часть Камчатского каньона отделена от основного русла крупным оползшим массивом осадков объемом более 5 км<sup>3</sup>, образовавшим своеобразную дамбу [4].

Оползень, обнаруженный в грабене Буссоль, также образовался в обстановке подводных каньонов, и его размеры сопоставимы или превышают размеры оползней на склонах Восточной

Камчатки. Для Восточной Камчатки характерна высокая скорость осадконакопления и своеобразный тип осадков, что обусловлено выносом материала самой крупной рекой полуострова Камчатка и рядом климатических и вулканических факторов [3]. В грабен Буссоль поступает меньшее количество обломочного материала, который вначале осаждается в междугловом прогибе и частично по системе эрозионных врезов переносится в грабен Буссоль. Областью источника ПО является здесь седиментационный прогиб на крыле северо-восточного борта грабена.

Этот седиментационный прогиб, заполненный осадками мощностью более 1.65 км, располагается между двумя поднятиями акустического фундамента. Первое поднятие ориентировано в

субмеридиональном направлении, второе имеет северо-западное простирание, параллельное борту грабена (рис. 1б). Акустический фундамент второго поднятия на северо-западе выходит на поверхность дна, но к юго-востоку его высота постепенно уменьшается, как это видно при сравнении сейсмических разрезов LV41-09 и LV41-10 (рис. 2). Осадки начинают перекрывать поднятия, которое больше не служит барьером, предохраняющим их от сползания вниз по крутому склону. Это дает основание предполагать, что обрушение склона произошло на участке, который был сложен осадочной толщей, т.е. между двумя поднятиями акустического фундамента.

Обрушение склона с образованием оползней провоцируется взаимодействием ряда факторов, например, таких как наличие крутых склонов с углами наклона, близкими к критическим, и колебаниями грунта вследствие землетрясений. При этом отмечается, что даже сейсмического события умеренной магнитуды оказывается вполне достаточно, чтобы вызвать образование оползня на склоне, предрасположенном к обрушению в силу ряда других причин [10]. Островной склон Курило-Камчатского желоба характеризуется высокой сейсмичностью и очевидно, что землетрясения будут являться здесь наиболее вероятным механизмом, провоцирующим обрушение склона с образованием оползней.

## ВЫВОДЫ

Батиметрические и сейсмические данные, полученные в рамках проектов “Курилы-2005” и “Курилы-2006”, были использованы для изучения оползневых процессов на островном склоне Курило-Камчатского желоба в районе Центральных Курил. В результате был выделено оползневое тело, приуроченное к поперечной структуре — грабену Буссоль. Объем оползня превышает 35 км<sup>3</sup> и в настоящее время он, вероятно, является одним из наиболее крупных подводных оползней, обнаруженных на островном склоне Курило-Камчатского желоба. Образование оползня произошло в обстановке подводного каньона за счет обрушения северо-восточного борта грабена Буссоль, сложенного осадочным материалом и, по всей видимости, было спровоцировано одним из землетрясений, часто возникающих в этой зоне субдукции.

Экспедиционные исследования финансировались Президиумом РАН и Правительством РФ. Настоящая работа подготовлена в рамках государственного задания ИОРАН №0149-2015-0030 и при финансовой поддержке РФФИ (грант №14-50-00095).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Васильев Б.И., Суворов А.А.* Геологическое строение района подводной долины Буссоль (Курильская островная дуга) // Новые данные по геологии Дальневосточных морей. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1979. С. 58–68.
2. Вебсайт Геологической службы США (USGS), проект SRTM: <https://lta.cr.usgs.gov/SRTM>.
3. *Егоров Ю.О.* Некоторые особенности формирования подводных каньонов на континентальном склоне Восточной Камчатки // Геодинамика и вулканизм Курило-Камчатской островодужной системы. Петропавловск-Камчатский: ИВГиГ ДВО РАН, 2001. 428 с.
4. *Корнев О.С., Сваричевская Л.В., Хачануридзе Я.Ф.* Строение Камчатского подводного каньона и его сравнение с подобными системами других районов // Рельеф и структура осадочного чехла акваториальной части Дальнего Востока. Владивосток: ТОИ ДВО АН СССР, 1981. С. 53–63.
5. *Кулинич Р.Г., Карп Б.Я., Баранов Б.В. и др.* О структурно-геологической характеристике “сейсмической брешы” в центральной части Курильской островной дуги // Тихоокеанская геология. 2007. Т. 26. № 1. С. 5–19.
6. *Лаверов Н.П., Лаппо С.С., Лобковский Л.И. и др.* Центральная-Курильская “брешь”: строение и сейсмический потенциал // Докл. РАН. 2006. Т. 408. № 6. С. 818–821.
7. *Ломтев В.Л., Корнев О.С., Сваричевская Л.В.* Геолого-геоморфологическая предпосылка оползней в сейсмоактивных районах континентальных окраин Тихоокеанского подвижного пояса (в связи с возможной опасностью образования волн цунами) // Отчет Б 932521. М.: ВНИИЦ, 1980. 153 с.
8. *Селиверстов Н.И.* Подводные морфоструктуры Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2013. 162 с.
9. *Селиверстов Н.И., Надежный А.М., Бондаренко В.И.* Особенности строения дна заливов Восточной Камчатки по результатам геофизических исследований // Вулканология и сейсмология. 1980. № 1. С. 38–50.
10. *Cannals M., Lastras G., Urgeles R. et al.* Slope failure dynamics and impacts from seafloor and shallow sub-seafloor geophysical data: case studies from the COSTA project // Marine Geology. 2004. V. 213. P. 9–72.
11. *Hampton M.A., Lee H.J., Locat J.* Submarine Landslides // Reviews of Geophysics. 1996. V. 34. № 1. P. 33–59.
12. *Lee H.J.* Undersea landslides: extent and significance in the Pacific Ocean, an update // Natural Hazards and Earth System Sciences. 2005. V. 5. P. 877–892.
13. *McAdoo B.G.* Mapping Submarine Landslides // Research Monographs in Geographic Information Systems series / Ed. Fisher P. UK: Taylor and Francis Publishers, 1999. P. 189–205.
14. *McAdoo B.G., Capone M.K., Minder J.* Seafloor geomorphology of convergent margins: implications for

- Cascadia seismic hazard // *Tectonics*. 2004. V. 23. doi 10.1029/2003TC001570
15. *Tappin D.R.* Mass transport events and their tsunami hazard // *Submarine Mass Movements and Their Consequences*. Advances in Natural and Technological Hazards Research / Eds. Mosher D.C. et al. Amsterdam: Springer Science + Business Media B.V., 2010. V. 28. P. 667–684.

## **Submarine Landslide in the Bussol Graben: Structure and Formation Features**

**B. V. Baranov, L. I. Lobkovsky, K. A. Dozorova, D. D. Rukavishnikova**

A submarine landslide was distinguished on base of bathymetric and seismic data obtained on the insular slope of the Central Kurile-Kamchatka Trench in frame of Presidium RAS projects “Kurile-2005” and “Kurile-2006”. The landslide is located on the bottom of transverse valley confined to the Bussol Graben and was formed due to the failure of graben northeastern wall. Volume of the landslide is over 35 km<sup>3</sup>; it is the largest submarine landslide found by now on the slope of the Kurile-Kamchatka Trench in submarine canyons/fans environment.