УДК 551.435.62

ПОДВОДНЫЕ ОПОЛЗНИ ОХОТСКОГО МОРЯ

© 2022 г. Б. В. Баранов^{1,*}, академик РАН Л. И. Лобковский¹, К. А. Дозорова¹, Д. Д. Рукавишникова¹

> Поступило 02.06.2022 г. После доработки 27.06.2022 г. Принято к публикации 06.07.2022 г.

Впервые представлена схема распределения подводных оползней Охотского моря, основанная на обобщении имеющихся данных, которая позволяет судить о том, какие обстановки среды и триггерные механизмы обуславливают их возникновение. Во всех изученных случаях оползни возникали в обстановках открытого континентального склона и подводных каньонов. Наиболее очевидными триггерными механизмами, провоцирующими генерацию оползней на восточном склоне о. Сахалин, являются сейсмичность и газовые сипы, а на северном склоне Курильской котловины и в тылу Курильской дуги основным триггерным механизмом является сейсмичность.

Ключевые слова: подводные оползни, сейсмичность, газовые сипы, Охотское море **DOI:** 10.31857/S2686739722601314

ВВЕДЕНИЕ

Настоящая работа представляет собой обобщение и анализ результатов исследований оползневых процессов на склонах Охотского моря, в том числе выполненных с участием авторов в последнее время [1–4, 11, 12, 15]. Данное исследование представляет интерес не только с научной, но и прикладной точки зрения, поскольку наличие подводных оползней в Охотском море следует учитывать при оценке экономического и экологического риска при добыче нефти и газа.

Изучению причин возникновения подводных оползней на морском дне, выяснению их связи с другими геологическими процессами и оценке возможности генерации оползнями волн цунами в настоящее время уделяется пристальное внимание. В Мировом океане оползни были обнаружены повсеместно, в том числе и в окраинных морях западной части Тихого океана. Охотское море расположено в северо-западной части Тихого океана, является внутренним морем Российской Федерации и наличие здесь подводных оползней отмечалось ранее [8], но планомерного их изучения до недавнего времени не проводилось.

В статье использованы материалы, полученные в морских экспедициях в рамках российскогерманского проекта *КОМЭКС* (*Курило-Охот*ский *М*орской *ЭКС*перимент, 1998–2004 гг.) и корейско-российско-японского проекта *ГГСС* (ГазоГидраты Сахалинского Склона, 2007–2015 гг.). В экспедициях проводилась батиметрическая съемка однолучевым и многолучевым эхолотами, сейсмические исследования в одноканальной и многоканальной модификациях, съемка гидролокатором бокового обзора и придонным профилографом [9, 13–15].

РЕЗУЛЬТАТЫ

В Охотском море подводные оползни были обнаружены на восточном склоне о. Сахалин, на северном склоне Курильской котловины и в тыловой части Курильской островной дуги (рис. 1).

На восточном склоне о. Сахалин подводные оползни распространены неравномерно. Наибольшее их количество было выявлено в южной части склона, там, где он опускается в Курильскую котловину и является наиболее крутым (в среднем до 8°) и высоким (до 3000 м). Здесь были обнаружены как крупные оползни площадью более 100 км², так и отдельные оползневые тела с поперечными размерами до 2 км. Возраст оползней оценивается как среднеплейстоцен-голоценовый [4].

В северной и центральной частях склона о. Сахалин было обнаружено два подводных оползня. Первый расположен в северной части и является самой крупной из оползневых структур Охотского моря; его объем равен 660 км³ [15], площадь перемещенных осадков во впадине Дерюгина составляет 20000 км² (рис. 1, 2 а). Обрушение склона

¹ Институт океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук, Москва, Россия

^{*}E-mail: bbaranov@ocean.ru



Рис. 1. Батиметрическая карта Охотского моря (грид GEBCO), на которой показано местоположение подводных оползней. *1* – оползни частично или полностью закартированные [1, 4, 12, 15]; *2* – перемещенные осадки в котловине Дерюгина и область подводных оползней на северном склоне Курильской котловины; *3* – оползневые блоки или оползневые отложения, выделенные по единичным профилям [4]; *4* – оползневые отложения в тылу Курильской дуги [5]; *5* – положение сейсмоакустических разрезов; *6* – полигон съемки. Цифрами обозначены оползневые обстановки: 1 – открытого континентального склона, 2 – подводных каньонов. На верхней врезке слева приведено распределение газовых сипов на восточном склоне о. Сахалин по [7], на нижней – эпицентров мелкофокусных землетрясений [6]; на правой врезке показаны эпицентры землетрясений Курильской дуги для всех глубин с магнитудой больше 5 [6].

с образованием оползней, вероятно, происходило здесь неоднократно. Оценки возраста по скоростям осадконакопления в перекрывающей оползень толще дают значения 20 тыс. лет для верхней части склона [12], и верхи плейстоцена (менее 350 тыс. лет) для впадины Дерюгина [15].

Второй оползень площадью 42 км² и объемом около 4 км³ расположен в центральной части склона на дне замкнутой депрессии, возникшей за счет проседания осадков по системе активных разломов северо-восточного и субмеридионального простирания. Оползень образовался за счет обрушения стенки депрессии (рис. 2 б), которое, по всей видимости, произошло относительно недавно (предположительно несколько сот лет назад) [3].

Вдоль западного отрезка северного склона Курильской котловины при батиметрической съемке многолучевым эхолотом на расстоянии около 150 км были закартированы многочисленные оползневые структуры (рис. 2 в). Разрушение склона начинается здесь с глубины 1500 м и наиболее ярко проявляется ниже изобаты 2500 м на более крутом участке склона. Высота стенок отрыва и боковых стенок достигает 70–90 м, общая площадь склона, подвергшаяся разрушению, составляет не менее 1500 км².

Изучение процесса седиментации в восточной части северного склона Курильской котловины по сейсмическим данным показало, что в осадочном разрезе позднего олигоцена—среднего миоцена присутствуют перемещенные отложения. В нижней части склона гравитационные процессы превалируют и на более позднем этапе эволюции склона в плейстоцене—голоцене, приводя к формированию оползневых отложений у его подножья [11].

В тыловой части Курильской островной дуги (южный склон Курильской котловины) при геофизических исследованиях был выявлен ряд



Рис. 2. (а) Фрагмент профиля многоканальной сейсмической съемки с наличием в разрезе впадины Дерюгина перемещенных/оползневых отложений (ПО); (б) сейсмический разрез с заполнением замкнутой депрессии оползневыми отложениями, центральный сегмент восточного склона о. Сахалин. Вертикальная шкала – удвоенное время пробега волны в секундах; (в) теневая батиметрическая карта участка северного склона Курильской котловины, на которой видны многочисленные стенки отрыва подводных оползней. На врезке показаны батиметрический профиль (прямая линия на карте), пересекающий два оползня и 3-мерная модель одного из оползней. Положение профилей и карты см. на рис. 1.

оползневых тел (рис. 1). Большинство из них приурочено к каньонам, рассекающим склон Курильской островной дуги в ее тыловой части [5].

выводы

В работе впервые представлена схема распределения подводных оползней Охотского моря, основанная на обобщении имеющихся данных, в том числе полученных с участием авторов в последнее время. Было установлено, что подводные оползни достаточно широко распространены на склонах Охотского моря и приурочены к обстановкам среды, которые являются благоприятными для образования этих структур [10]. Эти обстановки включают в себя открытый континентальный склон и подводные каньоны (рис. 1), т.е. структуры, где происходит активная аккумуляция осадков, а высота и крутизна склона, как во впадине Дерюгина и Курильской котловине, имеют наибольшие значения.

Расположение подводных оползней указывает на значительную роль в их возникновении как минимум двух триггерных механизмов — сейсмичности и высачивания газа из осадочной толщи. На восточном склоне о. Сахалин оползни возникали в зоне сейсмической активности и приурочены к областям газовых сипов (рис. 1, левые врезки), т.е. здесь обрушение склона происходит в обстановках открытого континентального склона и подводных каньонов при участии двух триггерных механизмов.

На северном склоне Курильской котловины и в тылу Курильской дуги газовых сипов обнаружено не было, но сейсмичность здесь является высокой и обусловлена как мелкофокусными землетрясениями, возникающими в тылу дуги, так и более глубокими событиями в зоне субдукции (рис. 1, правая врезка). Таким образом, в этих районах присутствуют обстановка открытого континентального склона для северного склона котловины и обстановка подводных каньонов для тыловой части дуги и сейсмичность является наиболее вероятным триггерным механизмом.

Подводные оползни могут приводить к разрушению сооружений на морском дне и, как показало моделирование [1], генерировать локальные волны цунами с высотой наката до 10–12 м. В связи с этим дальнейшее изучение оползневых процессов, включая выделение участков, на которых могут возникать подводные оползни, а также моделирование процесса их формирования, имеет большое значение для обеспечения безопасности инфраструктуры добычи нефти и газа в этом районе.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН № FMWE-2021-0004.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Баранов Б.В., Лобковский Л.И., Куликов Е.А. и др. Оползни на восточном склоне о. Сахалин как источник возможных цунами // ДАН. 2013. Т. 449. № 3. С. 334–337. https://doi.org/10.7868/S0869565213090181
- Баранов Б.В., Дозорова К.А., Рукавишникова Д.Д. Опасные геологические процессы на восточном склоне острова Сахалин // Океанология. 2015. Т. 55. № 6. С. 1001–1004. https://doi.org/10.7868/S0030157415060027
- 3. Баранов Б.В., Дозорова К.А., Рукавишникова Д.Д. Активная тектоника и образование оползневых тел на восточном склоне о. Сахалин // Вестник МГТУ. 2016. Т. 19. № 1/1. С. 61–69.
- 4. Баранов Б.В., Прокудин В.Г., Джин Я.-К., Дозорова К.А., Рукавишникова Д.Д. Подводные оползни на западном склоне Курильской котловины Охотского моря // Океанология. 2018. Т. 58. № 3. С. 452–462.
- 5. Бондаренко В.И., Рашидов В.А. О возможности цунами оползневого происхождения в районе Курильской островной дуги // Активные разломы и их значение для оценки сейсмической опасности: современное состояние проблемы. Материалы XIX научно-практической конференции с международным участием, посвященной памяти ученого геолога-геофизика Ю.К. Шукина (7–10 октября 2014 года). Воронеж: Издательско-полиграфический центр "Научная книга", 2014. С. 62–65.

- Каталог Геологической службы США (United States Geological Survey), https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/
- 7. Саломатин А.С., Юсупов В.И. Акустические исследования газовых "факелов" Охотского моря // Океанология. 2011. Т. 51. № 5. С. 911–919.
- Сваричевский А.С., Белоус О.В. Экзогенный рельеф дна Охотского моря / В сб.: Проблемы морфотектоники Западно-Тихоокеанской переходной зоны. Владивосток: ТОИ ДВО РАН. Дальнаука, 2001. С. 69–81.
- Cruise Report SO178–KOMEX. Mass exchange processes and balances in the Okhotsk Sea. GEOMAR Report // Edited by Dullo W.–Chr. et al. Kiel: GEOMAR, 2004. 125 p.
- Hampton M.A., Lee H.J., Locat J. Submarine Landslides // Reviews of Geophysics. 1996. V. 34. № 1. P. 33–59.
- Karp B.Ya., Karnaukh V.N., Baranov B.V., Dozorova K.A. Seismic stratigraphy and sedimentary processes on the Kurile Basin northern slope (Okhotsk Sea) // Marine Geology. 2006. V. 228. P. 1–14. https://doi.org/10.1016/j.margeo.2006.02.001
- Kim Y.-G., Lee S.-M., Jin Y.K., et al. Near-seafloor gas hydrate occurrence in shallow water at the northeastern continental slope of Sakhalin Island, Sea of Okhotsk: implications for slope failure by gas hydrate dissociation due to ocean warming // Marine and Petroleum Geology. 2013. V. 45. P. 198–207.
- Operation Report of Sakhalin Slope Gas Hydrate Project 2007, R/V Akademik M. A. Lavrentyev Cruise 43 // Edited by H. Shoji, Y. K. Jin and Obzhirov A. Kitami: Kitami Institute of Technology, 2008. 39 p.
- Operation Report of Sakhalin Slope Gas Hydrate Project II, 2015, R/V Akademik M. A. Lavrentyev Cruise 70 // Edited by Minami H. et al. Kitami: Kitami Institute of Technology, 2016. 119 p.
- Wong H.K., Lüdmann T., Baranov B.V., et al. Bottom current-controlled sedimentation and mass wasting in the north-western Sea of Okhotsk // Marine Geology. 2003. V. 201. P. 287–305. https://doi.org/10.1016/S0025-3227(03)00221-4

SUBMARINE LANDSLIDES IN THE OKHOTSK SEA

B. V. Baranov^{a,#}, Academician of the RAS L. I. Lobkovsky^a, K. A. Dozorova^a, and D. D. Rukavishnikova^a

^a P.P. Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

#E-mail: bbaranov@ocean.ru

First map of submarine landslides distribution in the Okhotsk Sea based on compilation of available data is presented in this work. The map helps to define environments and trigger mechanisms that govern landsliding. All gravitational processes studied in this work occurred in the environment of open continental slope and submarine canyons. The most obvious trigger mechanisms on the Eastern Sakhalin slope are seismic activity and gas seeping. Main trigger mechanism for landsliding on the Kurile Basin northern slope and in the rear part of the Kurile Arc is the seismic activity.

Keywords: submarine landslides, seismic activity, gas seeps, Okhotsk Sea