

ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ ОСАДОЧНОГО ЧЕХЛА И ОПОЛЗНЕВЫЕ СТРУКТУРЫ В СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ТИХОГО ОКЕАНА И БЕРИНГОВА МОРЯ ПО ДАННЫМ СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКОГО ПРОФИЛИРОВАНИЯ

© 2019 Н.В. Цуканов¹, К.А. Дозорова¹, К. Гедике²

¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва 117997;
e-mail: kambear2011@yandex.ru

²Федеральный институт геологии и природных ресурсов, Германия,
Ганновер D-30655; e-mail: gaedicke@bgr.de

Проведен анализ данных, полученных при геолого-геофизических исследованиях на германском научно-исследовательском судне «Зонне» в рамках российско-германского проекта КАЛЬМАР («Курило-Камчатская и Алеутская системы окраинное море — островная дуга: взаимодействие между геодинамикой и климатом в пространстве и времени») в северо-западной части Тихого океана и Беринговом море. Профилирование проводилось с помощью системы PARASOUND P70, включавшей в себя высокочастотный эхолот и комплекс для изучения придонных осадков. Исследования показали, что наряду со спокойным (пелагическим и гемипелагическим) осадконакоплением в открытых частях океана и Берингова моря широко проявлены оползневые процессы, а также присутствуют осадки, сформированные мощными подводными течениями. Выявленные оползневые тела имеют различный масштаб и наблюдаются на склонах подводных гор, хребтов и на континентальном склоне вблизи восточного побережья Камчатки.

Ключевые слова: северо-запад Тихого океана, осадочный чехол, сейсмоакустическое профилирование, оползни.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящей работе рассмотрены данные по строению верхней части осадочного чехла (до 100 м), полученные в рамках российско-германского проекта КАЛЬМАР («Курило-Камчатская и Алеутская системы окраинное море — островная дуга: взаимодействие между геодинамикой и климатом в пространстве и времени») в ходе геолого-геофизических исследований, проводившихся в 2009 г. на германском научно-исследовательском судне (НИС) «Зонне» (RV «Sonne») в северо-западной части Тихого океана и Беринговом море при участии авторов статьи. В работе использовались данные акустического профилирования, а для интерпретации отдельных геологических тел привлекались данные многоканального сейсмического профилирования в этих рейсах (Kurile-Kamchatka ..., Leg 1a. 2009¹,

Kurile-Kamchatka..., Leg 2. 2009²), а также материалы, опубликованные в открытой печати. Мощность на профилях многоканального сейсмического профилирования определялась в секундах.

Профилирование проводилось с помощью системы PARASOUND P70 (Atlas Hydrographic, Бремен), включавшей в себя высокочастотный эхолот для изучения рельефа дна (NBS, narrow-beam system (узкополосный эхолот), 20 кГц) и комплекс для изучения придонных осадков (SBP, sub-bottom profiler (профилометр твердого дна), 4 кГц). Глубина проникновения в осадки достигала 200 м (266 мс).

На основании этих данных были изучены особенности строения осадочного чехла в районах континентального склона п-ва Камчатка, дна Командорской котловины Берингова моря,

¹ Kurile-Kamchatka and Aleutian Marginal Sea — Island Arc Systems: Geodynamic and Climate Interaction. Cruise Report Nr 32, Sonne Cruise SO-201, Leg 1a. 2009. 105 p.

² Kurile-Kamchatka and Aleutian Marginal Sea — Island Arc Systems: Geodynamic and Climate Interaction. FS Sonne Cruise Report SO 201-KALMAR Leg 2. 2009. 125 p.

хребта Ширшова, поднятия Обручева, Императорских гор и Императорского трога (рис. 1). При исследованиях с помощью системы PARASOUND P70 в экспедициях НИС «Зонне» в 2009 г. на многих участках дна были зафиксированы акустические комплексы, которые имеют хаотическую структуру. На ряде профилей были выявлены оползневые комплексы, свидетельствующие о наличии оползневых процессов в изученных областях.

В работе (Cannals et al., 2004) было показано, что ведущую роль в образовании оползней играют такие факторы, как высокие скорости

осадконакопления, расчлененный рельеф дна, активная тектоника, сейсмичность, присутствие газов и диагенетических фронтов и вулканические процессы. Оползни могут вызывать волны цунами различной интенсивности, угрожающие населению и инфраструктурам на побережье (Баранов и др., 2013). Районы, обсуждаемые в данной работе подвержены воздействию этих факторов. Поэтому изучение строения верхней части осадочного чехла в северо-западной части Тихого океана и Беринговом море, представляет не только научным интерес, но и имеет большое практическое значение.

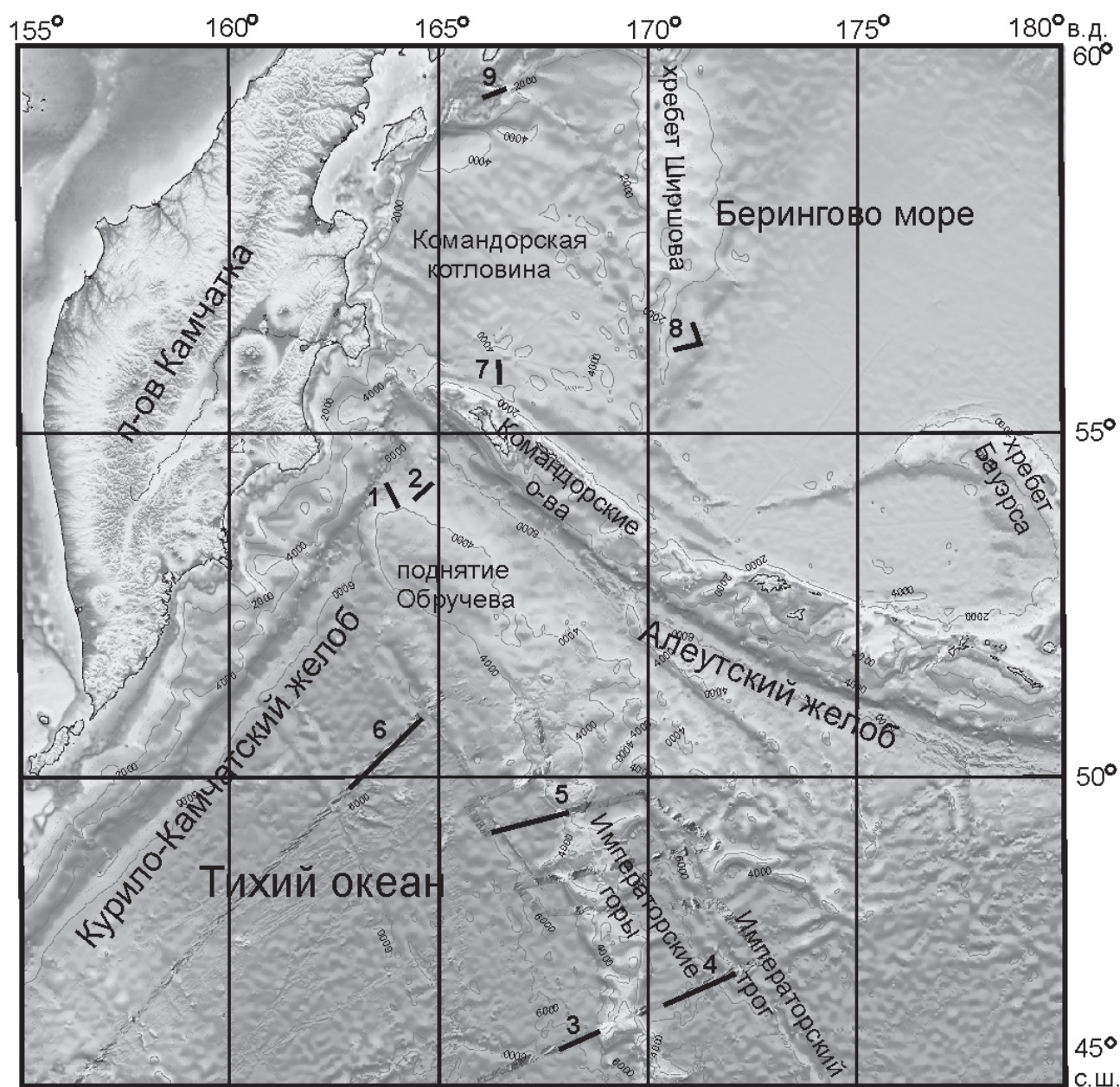


Рис. 1. Карта северо-западной части Тихого океана и западной части Берингова моря, данные проекта SRTM30PLUS, проекция Меркатора, изобаты проведены через 1000 м (Kurile-Kamchatka ..., Leg 1a. 2009¹). Линиями с номерами показаны фрагменты изученных профилей (даны вне масштаба).

Fig. 1. Map of the North-Western Pacific and Western Bering Sea, SRTM30PLUS data, Mercator projection, contour interval 1000 m (Kurile-Kamchatka ..., Leg 1a. 2009¹).

ОПИСАНИЕ
СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКИХ
РАЗРЕЗОВ

В результате съемки был получен большой объем данных по строению верхней части осадочного чехла в различных структурах северо-западной части Тихоокеанской плиты и Командорской котловины Берингова моря. Первичные записи были обработаны Райнхартом Лутсом (Reinhardt Lutz) из Федерального института геологии и природных ресурсов (BGR, Ганновер) с помощью программы REFLEX W (Kurile-Kamchatka ..., Leg 1a. 2009¹, Leg 2. 2009²).

Поднятие Обручева, Императорские горы и Императорский трог. Верхняя часть осадочного чехла поднятия Обручева охарактеризована по нескольким профилям (рис. 1): в верхней части северо-западного склона поднятия, в центральной части и на северо-восточном склоне к Алеутскому желобу (рис. 2). На первом профиле поверхность дна поднимается от глубины 4850 м до глубины 4450 м (рис. 2а). Видимая мощность

осадков на профиле составляет 30–35 м. Рельеф дна имеет слабоволнистый характер. Видимая часть осадочного чехла характеризуется четкими, параллельными рефлекторами, выдержанными по простирацию. Чаще всего они конформны поверхности дна и прослеживаются на всем протяжении профиля. Слоистый характер толщи обусловлен чередованием тонких акустически неоднородных слоев, мощностью 1–2 м. Осадочный чехол на более крутых участках склона, нарушен сбросами с амплитудой смещения до 1–3 м (рис. 2а).

На фрагменте профиля, который характеризует северо-восточный склон поднятия к Алеутскому желобу (рис. 2б), видимая мощность осадков составляет 35–45 м. Глубина на этом отрезке меняется от 5000 м до 5400 м. Видимая часть осадочного чехла характеризуется четкими, параллельными рефлекторами только в интервале глубин 5050–5080 м, где угол наклона склона минимален. На других участках склона, где угол наклона склона составляет около 4–6°, в строении осадочного чехла четко выраженная стра-

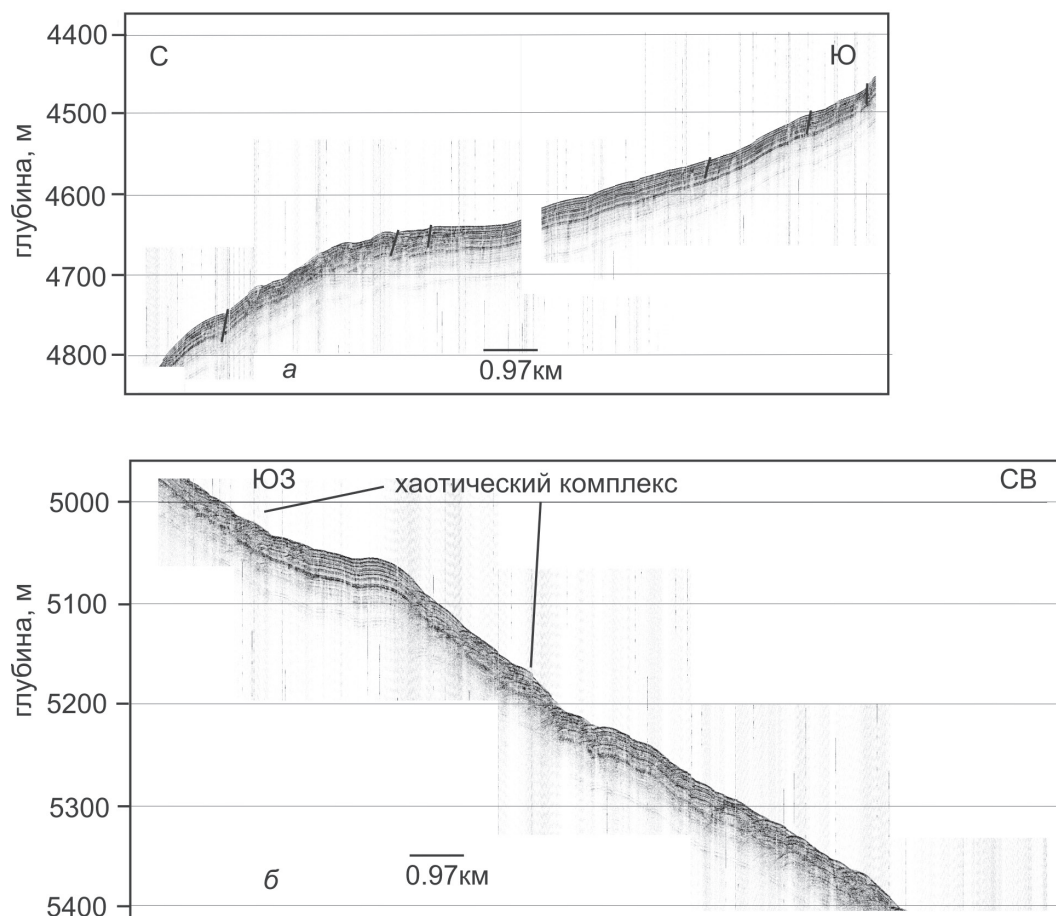


Рис. 2. Фрагменты акустических профилей по возвышенности Обручева: *а* — западный склон, *б* — северо-восточный склон (на рис. 1 обозначены, соответственно, цифрами 1 и 2). Предполагаемые разломы на профиле (*а*) показаны черными линиями.

Fig. 2. Fragments of acoustic profiles on the Obruchev Rise: *a* — western slope, *b* — north-eastern slope (indicated on Fig. 1 by characters 1 and 2, correspondingly). Black lines denote supposed faults on the profile (*a*).

тификация отсутствует; она снова появляется в отложениях в интервале глубин 5220–5300 м. Осадочные комплексы, составляющие верхнюю часть осадочного чехла на поднятии Обручева накапливались в пелагических условиях. Отсутствие стратификации на некоторых участках профилей в осадочной пачке связано, вероятно, с деформированностью осадков на склонах поднятия, обусловленной гравитационными процессами.

Акустический профиль BGR09-101 (Kurile-Kamchatka ..., Leg 1a. 2009¹) (рис. 1, профили 3, 4) и характеризует строение верхней части осадочного чехла океанической плиты перед Императорскими горами (рис. 3а) и к северо-востоку от них до Императорского трога (рис. 3б). На профиле (рис. 3а) в направлении с юго-запада к Императорским горам глубина до дна увеличивается с 8130 с до 8260 с. Осадочный чехол представлен тонкослоистой пачкой пород, видимой мощностью около 120 м. В строении осадочной пачки участвуют отложения, которые

характеризуются тонким (3–5 м) переслаиванием акустически разнородных слоев, которые протягиваются на большие расстояния параллельно поверхности дна (рис. 3а).

К северо-востоку от Императорских гор по направлению к Императорскому трогу (рис. 3б) поверхность дна имеет расчлененный рельеф. Наибольшая глубина до поверхности дна наблюдается к северо-востоку от Императорских гор и составляет 8300 с, а в Императорском троге — 8200 с. На бортах Императорского трога поверхность дна поднимается до 7450 с. Максимальная видимая мощность осадков отмечается во впадине в северо-восточной части профиля и превышает 120 м. Осадочный чехол по данным многоканального сейсмического профилирования достигает 1 с и сокращается до 0.5 с на поднятиях (Kurile-Kamchatka ..., Leg 1a. 2009¹). По акустическим характеристикам отложений осадочного чехла можно выделить три комплекса, которые имеют различную внутреннюю структуру и чередуются в разрезе, либо замещают друг друга

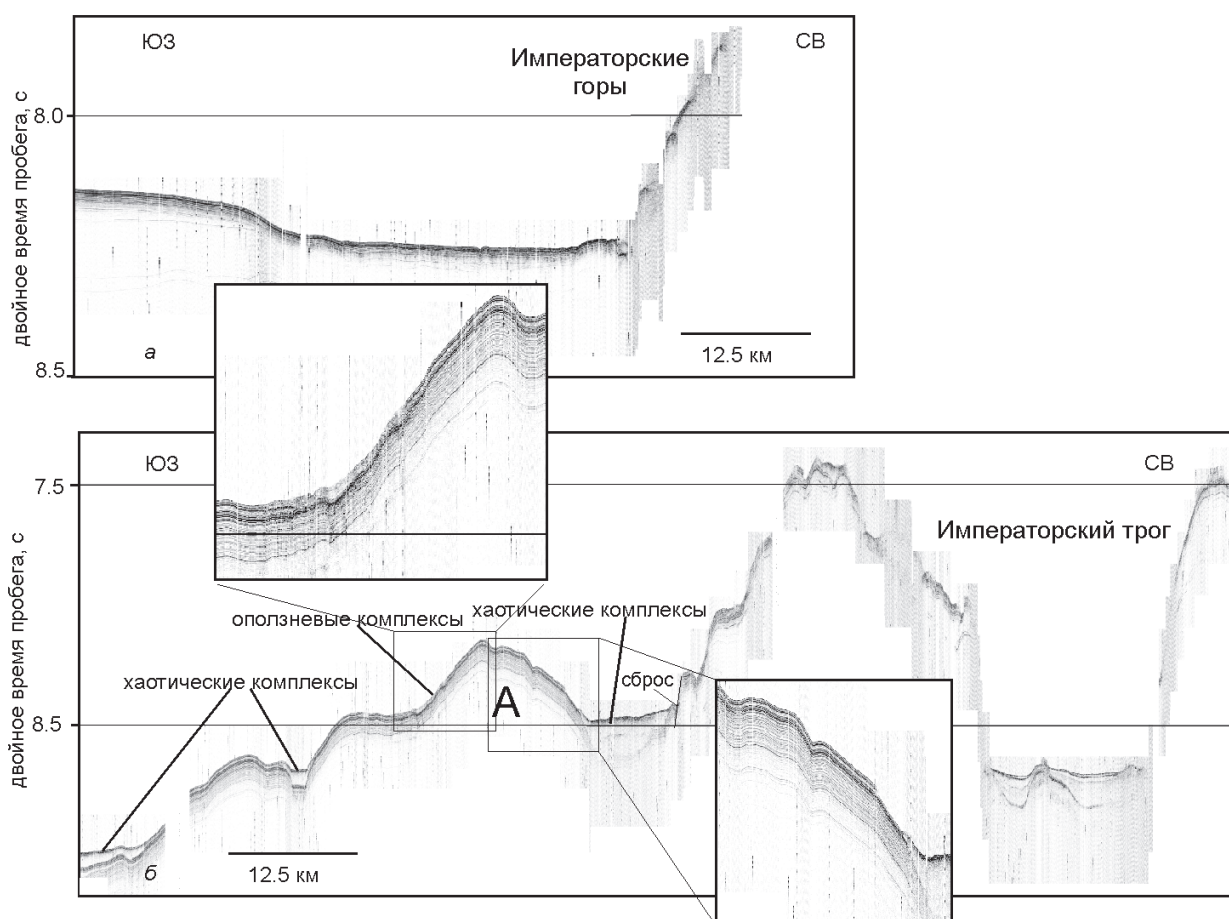


Рис. 3. Фрагменты профиля BGR09_101: а — юго-западнее Императорских гор; б — через Императорский трог (на рис. 1 обозначены, соответственно, цифрами 3 и 4). На врезках показаны увеличенные участки профиля (б).

Fig. 3. Fragments of the profile BGR09_101: а — to the south-west from the Emperor Seamount Chain; б — across the Emperor Trough (indicated on Fig. 1 with characters 3 and 4, correspondingly). Insets show extended parts of the profile (б).

по простираанию. Первый комплекс формируют осадочные тела протяженностью от нескольких километров до нескольких десятков километров и видимой мощностью от 10 до 40 м. Они образованы акустически прозрачными, неслоистыми комплексами. Обычно эти осадочные тела развиты в понижениях в рельефе дна (рис. 3б). Такая структура обусловлена дезинтеграцией и перемешиванием осадочного материала. Второй комплекс формируют отложения, видимая мощность которых меняется от 10 до 60 м и которые на записях эхограмм имеют хорошо выраженную стратификацию. У отложений третьего комплекса отсутствует или слабо выражена слоистая структура. Они развиты на склонах поднятий в рельефе дна. Мощность их составляет около 10 м. Формирование первого комплекса, вероятно, связано с подводными течениями, потоками и оползневыми процессами. Это хорошо видно на профиле с юго-западного склона поднятия (рис. 3б, поднятие «А») между Императорскими горами и бортом Императорского трога. Здесь верхняя 10-метровая пачка пород, имеющих на эхограмме хорошо выраженную стратификацию, обрывается и на протяжении 2 км прослеживаются образования первого комплекса, а ниже по склону формируется осадочная линза, сложенная акустически прозрачными неслоистыми отложениями. Нижняя граница этого осадочного тела проходит по 3–5-метровому прослою, ниже которого отложения имеют хорошо выраженную стратификацию (рис. 3б). На северо-восточном склоне этого поднятия на этой же глубине (7,9 с) наблюдается «эрозионное окно», где верхний 10 м слой со стратификацией обрывается и у подножья склона формируется осадочная линза, сложенная акустически прозрачными, неслоистыми комплексами. Можно предполагать, что такие особенности строения самой верхней части осадочного чехла связаны с оползанием нелитифицированных осадков. В нижней части юго-западного склона юго-западного борта Императорского трога наблюдается сброс (рис. 3б). Здесь осадочная пачка с тонкослоистой стратификацией, мощностью около 60 м смещена примерно на 80–85 м.

На сейсмическом профиле BGR09-107 (Kurile-Kamchatka ..., Leg 1a. 2009¹), на юго-западном склоне Императорских гор наблюдается осадочный комплекс, имеющий слоистую структуру, мощностью около 270 м, налегающий на склон Императорских гор. Северо-восточное ограничение этого комплекса отчетливо выражено в рельефе и имеет V-образную форму (рис. 4а). Можно предположить, что эта отрицательная форма рельефа имеет эрозионное происхождение, обусловленное придонным течением. С юго-запада комплекс ограничен уступом с

амплитудой около 180 м. Ниже уступа характер сейсмической записи меняется, отражающие горизонты становятся более деформированными. Это можно отчетливо видеть на профиле профилографа (рис. 4б). Ниже по склону осадочная толща продолжается до более пологого уступа, обращенного на северо-восток. Юго-восточнее этого уступа она вновь становится менее деформированной.

Осадочное тело имеет деформированную структуру и хорошо выражено в рельефе дна (рис. 4а, 4б). Северо-восточным ограничением тела служит уступ (стенка отрыва оползня), имеющий извилистую форму (рис. 4б). Осадочные тела, имеющие аналогичные сейсмоакустические характеристики и выраженность в рельефе, как правило, интерпретируются в качестве подводных оползней (Ormen ..., 2005; Submarine ..., 2012; Cannals et al., 2004).

Рельеф дна на фрагменте профиля (BGR09_m03), проходящего по Тихоокеанской плите южнее поднятия Обручева (Kurile-Kamchatka ..., Leg 2. 2009²) представляет собой относительно ровную поверхность с отдельными поднятиями до 1 с (рис. 5). Видимая мощность осадочного чехла превышает 100 м и характеризуется развитием акустических комплексов, типичных для пелагического и гемипелагического осадконакопления (хорошо выраженная стратификация, большая протяженность прослоев, отсутствие деформаций).

Берингово море. Акустические записи хорошего качества были получены в Командорской котловине Берингова моря. Фрагмент профиля характеризует строение осадочной толщи в южной части Командорской котловины (рис. 6). Видимая мощность осадочного чехла на профиле превышает 60 м. Глубина до дна колеблется в интервале 5050–5150 м. Осадочный чехол характеризуется наличием четких параллельных тонких отражающих горизонтов, которые прослеживаются на большие расстояния. В тоже время вдоль профиля наблюдаются изменения в строении осадочной толщи. На северном отрезке профиля в верхней части разреза протягивается акустически прозрачный горизонт, мощностью около 5–7 м, который в южном направлении уменьшается в мощности и выклинивается. Ниже него прослеживается хорошо стратифицированная толща, мощностью около 25 м, ниже которой находится акустически прозрачный слой (7–10 м), который также выклинивается в южном направлении к перегибу склона и понижению рельефа дна. Здесь же, в стратифицированной пачке, появляется линзовидный прослой акустически прозрачных осадков, мощностью около 5–7 м. В котловине, после понижения склона на 50 м, характер строения осадочного

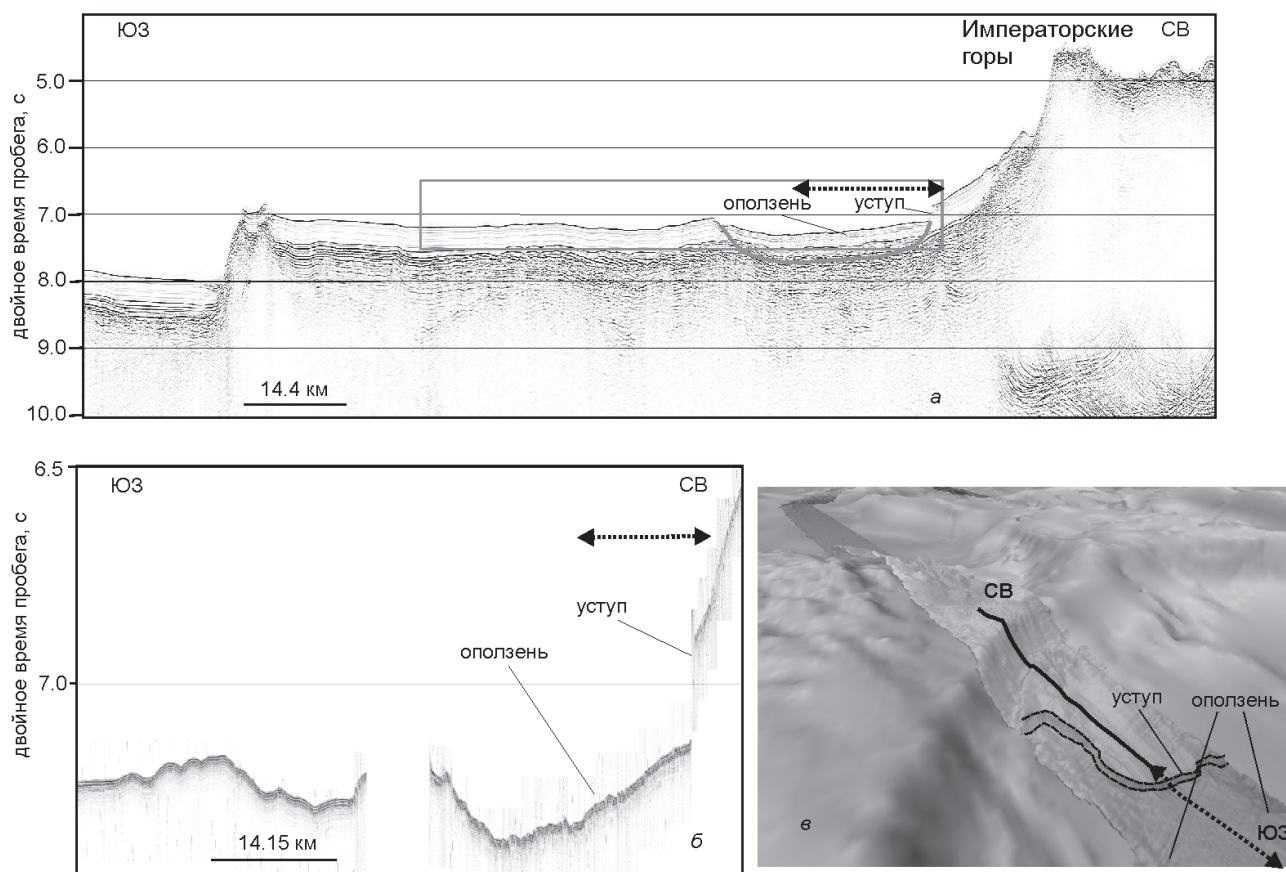


Рис. 4. Фрагменты профиля BGR09_107 (на рис. 1 обозначен цифрой 5): *а* — сейсмический; *б* — акустический (западный склон Императорских гор), *в* — 3D изображение западного склона и предполагаемого оползня (Kurile-Kamchatka ..., Leg 1a. 2009⁹). Прямоугольником на сейсмическом профиле (*а*) отмечено положение акустического профиля (*б*). Серой линией показана подошва предполагаемого оползневого тела. Линия на 3D изображении (*в*) — положение фрагментов профилей *а* и *б*; точечным пунктиром со стрелками на ней выделен участок, соответственно отмеченный на профилях *а* и *б*. Пунктирными линиями на 3D изображении показаны вершина и подошва уступа.

Fig. 4. Fragments of the profile BGR09_107 (indicated on Fig. 1 with character 5): *a* — seismic, *б* — acoustic (western slope of the Emperor Seamount Chain), *в* — 3D-view of the western slope of the seamount and the supposed landslide (Kurile-Kamchatka and Aleutian ..., Leg 1a. 2009⁹). A rectangular on the seismic profile (*a*) denotes location of the acoustic profile (*б*). Grey line denotes the bottom of the supposed landslide body. A line on 3D image (*в*) denotes location of fragments of profiles *a* and *б*; dotted line with arrows denote a portion, correspondingly marked on the profiles *a* and *б*. Dotted lines on 3D image denote the top and the base of the scarp.

чехла меняется. В верхней части разреза наблюдается линзовидный слой (мощностью 21 м), прогнутый в центральной части и образованный акустически прозрачными отложениями. Ниже этой линзы осадочная пачка имеет четко выраженную тонкую стратификацию. По характеру акустической записи можно предположить, что осадочный разрез образован пелагическими и гемипелагическими осадками, а в южной части появляются линзовидные тела, сформированные отложениями подводных течений.

Фрагмент профиля в юго-восточной части хребта Ширшова характеризует восточный склон хребта, где глубина дна меняется с 2750 до 3132 м (рис. 1, 7*а*, 7*б*). Профиль протягивается на 12.5 км. Видимая мощность верхней части осадочного

чехла составляет около 80 м. Он представлен двумя осадочными комплексами. Верхняя часть, мощностью около 50 м, характеризуется отсутствием стратификации и образована бесструктурной (хаотической), акустически прозрачной толщей. В нижней части профиля эта пачка сменяется неясно-слоистой пачкой, где видны отдельные отражающие слои. Второй комплекс залегает ниже верхней пачки и имеет следы стратификации. Вероятно, верхний комплекс можно рассматривать как оползневое тело. На рис. 7*б* наблюдается смена хорошо стратифицированной мощной пачки на бесструктурный комплекс. Здесь четко прослеживается уступ, вероятно соответствующий сбросу. Видимая мощность осадочного чехла здесь составляет

ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ

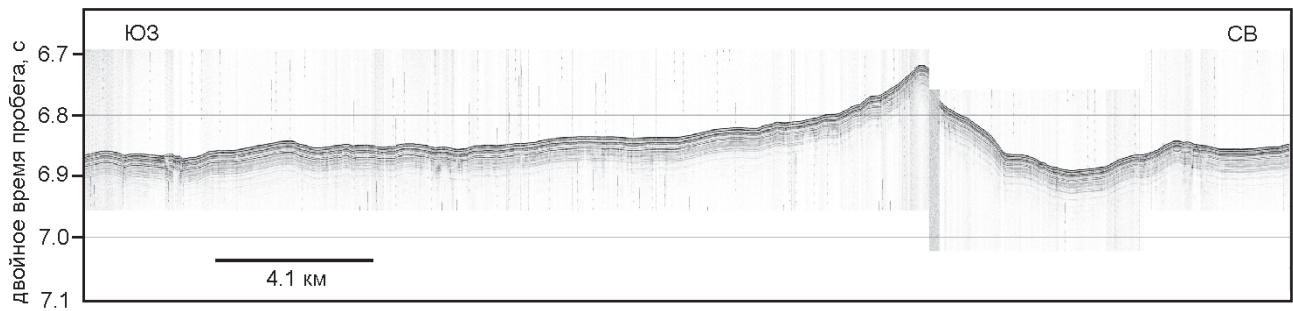


Рис. 5. Фрагмент акустического профиля BGR09_m03 по Тихоокеанской плите (на рис. 1 обозначен цифрой 6).

Fig. 5. A fragment of the acoustic profile BGR09_m03 on the Pacific Plate (indicated on Fig. 1 with character 6).

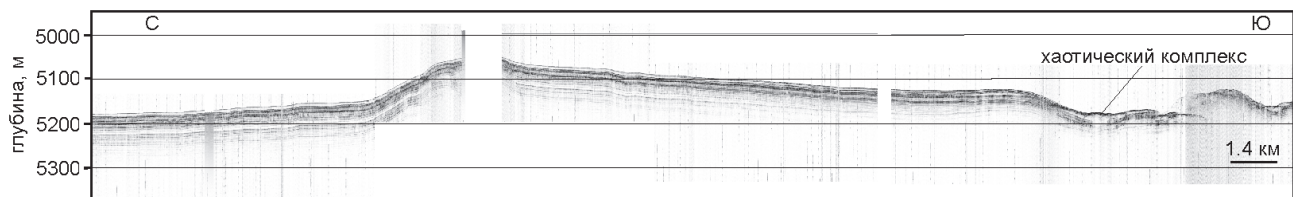


Рис. 6. Фрагмент акустического профиля по Командорской котловине Берингова моря (на рис. 1 обозначен цифрой 7).

Fig. 6. A fragment of the acoustic profile in Komandorskaya Basin in the Bering Sea (indicated on Fig. 1 with character 7).

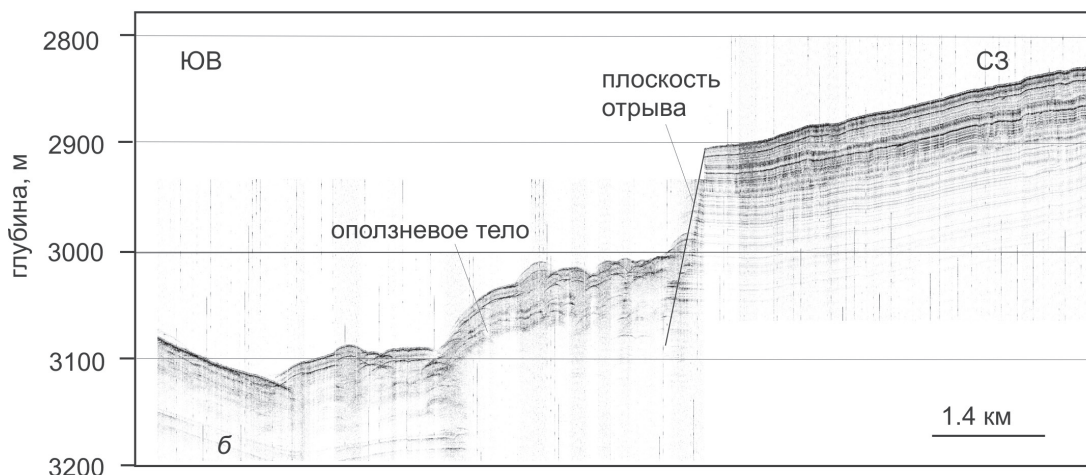
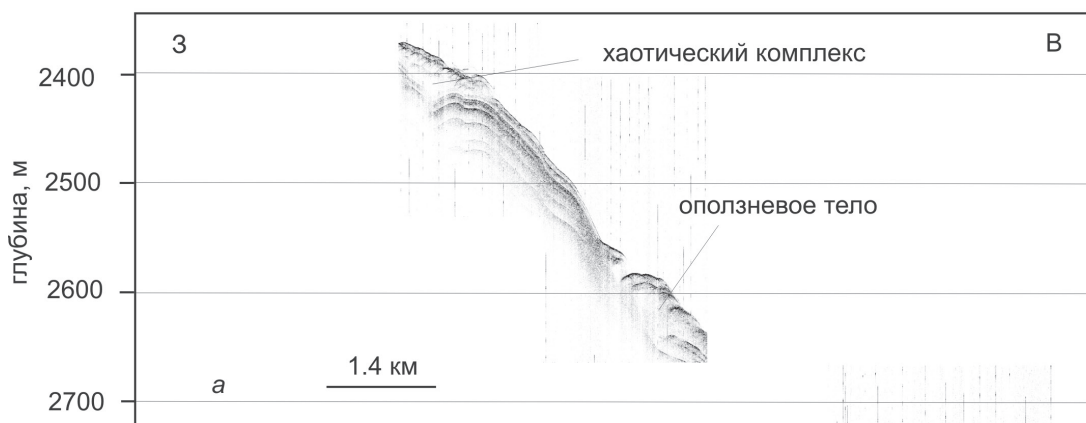


Рис. 7. Фрагменты акустических профилей на восточном склоне хребта Ширшова: *а* — широтный; *б* — суб-меридиональный (на рис. 1 обозначены цифрой 8).

Fig. 7. Fragments of the acoustic profiles on the Shirshov Ridge eastern slope: *a* — latitudinal, *б* — submeridional (indicated on Fig. 1 with character 8).

около 140 м и представлена хорошо стратифицированной пачкой отложений. Этот профиль ориентирован в северо-западном направлении. Стратифицированная пачка протягивается на 6 км, а хаотически построенная пачка — на 3.7 км.

Изучение осадочного чехла на северо-западном склоне Командорской котловины Берингова моря показало, что верхняя часть его (мощностью 60–80 м) на эхограммах представлена неясно слоистой пачкой, мощность прослоев которой по простиранию меняется. Прослои от 3–5 м до 10–15 м разделяются отдельными четкими рефлекторами (рис. 8). Внутренняя структура прослоев характеризуется линзовидным строением и отсутствием стратификации. Фрагменты профилей, на которых видно строение осадочного чехла, характерны для участков континентального склона, где угол наклона минимален; на других отрезках акустических профилей строение верхней части осадочного чехла расшифровать невозможно.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Наши исследования были посвящены изучению верхней части осадочного чехла (до 100 м) (Kurile-Kamchatka ..., Leg 1a. 2009¹). Из приведенного описания профилей, характеризующих различные сегменты континентального склона, поднятия Обручева и Тихоокеанской плиты следует, что строение и мощности осадочного чехла в изученных областях сильно различаются.

На континентальном склоне преимущественным распространением пользуются акусти-

ческие комплексы, акустические характеристики которых, вероятно, указывают на присутствие здесь прослоев относительно грубых псаммитовых и псефитовых осадков, турбидитов и отложений склоновых потоков, что подтверждается данными по составу осадочных пород из грунтовых трубок (Kurile-Kamchatka ..., Leg 2. 2009²).

Осадочный чехол Тихоокеанской плиты южнее поднятия Обручева, поднятия Обручева и Командорской впадины Берингова моря, формировавшийся в пелагических и гемипелагических условиях, образован отложениями, которые характеризуются хорошей стратификацией. В них наблюдается чередование тонких (3–5 м) прослоев, имеющих различные акустические характеристики.

В строении осадочного чехла на склонах Императорских гор, на равнине между Императорскими горами и Императорским трогом и в Императорском трогом участвуют линзовидные осадочные тела протяженностью от нескольких км до нескольких десятков км. Они образованы акустически прозрачными, неслоистыми породами. Обычно отложения с такими акустическими характеристиками развиты в понижениях в рельефе дна. Видимая мощность тел меняется от 10 до 40 м. Геометрия и внутренняя структура этих осадочных тел, а также относительно ровный характер рельефа дна позволяют предполагать, что они были сформированы подводными течениями и потоками, а их внутренняя структура обусловлена дезинтеграцией и перемешиванием осадочного материала при его транспортировке.

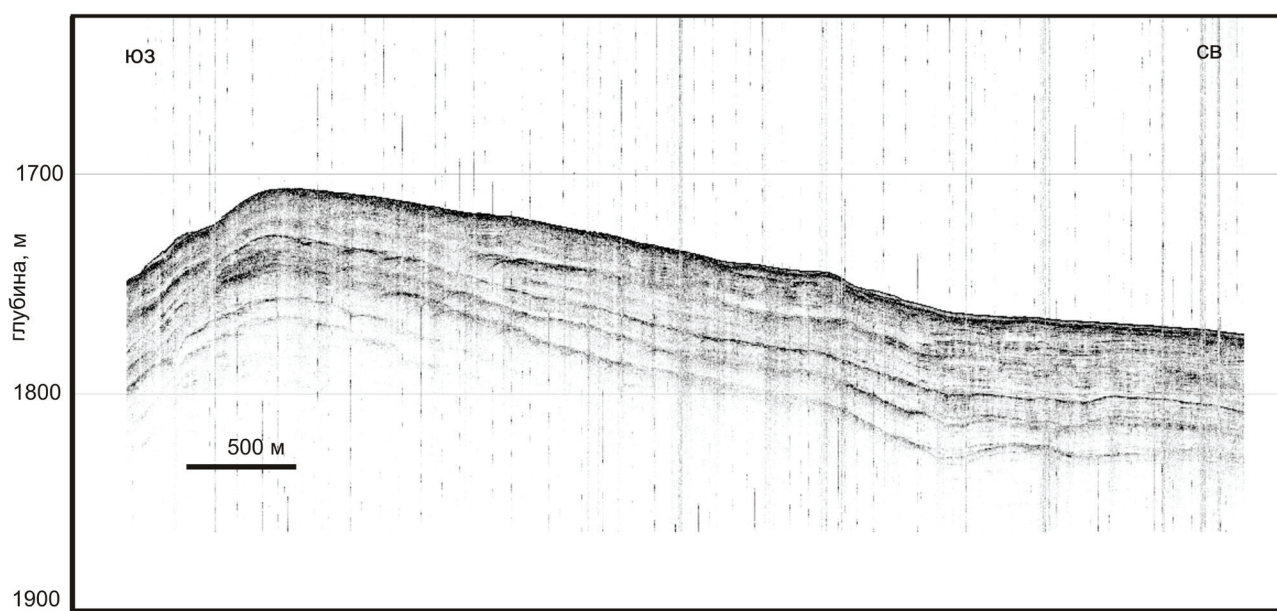


Рис. 8. Фрагмент акустического профиля на северо-западном склоне Командорской котловины Берингова моря (на рис. 1 обозначен цифрой 9).

Fig. 8. A fragment of the acoustic profile on north-western slope of the Komandorskaya Basin in the Bering Sea (indicated on Fig. 1 with character 9).

На склоне и на вершинных поверхностях Императорских гор на профилях наблюдаются интенсивные отражения, которые указывают на отсутствие осадочного чехла или на развитие здесь грубых вулканических пород. В Императорском трое развиты как пелагические и гемипелагические осадки (Kurile-Kamchatka ..., Leg 1a. 2009¹), так и отложения подводных потоков, которые переслаиваются с пелагическими осадками или перекрывают их.

На некоторых профилях в верхней части осадочного чехла проявлены складчатость и мало-амплитудные сбросы, взбросы и надвиги. Реже выявляются относительно крупные нарушения, но вероятно, они связаны с гравитационными процессами и сопровождают образование оползневых тел или отражают современные движения по древним разломам (Freitag et al., 2011). На отдельных записях акустического профилирования были выявлены осадочные тела, которые могут быть интерпретированы как оползневые структуры.

Изучению причин возникновения оползней на морском дне, выяснению их основных характеристик, связи с другими геологическими процессами и возможности генерации волн цунами в настоящее время уделяется пристальное внимание (Ormen ..., 2005; Submarine ..., 2012; Tappin, 2010). Однако о подводных оползнях в северо-западной части Тихого океана и Беринговом море накоплено сравнительно мало информации.

Обстановки, в которых наиболее вероятно образование оползней включают в себя открытые континентальные склоны, системы подводных каньонов и конусов выноса, фьорды, активные речные дельты, вулканические острова и подводные горы, конвергентные и трансформные окраины (Cannals et al., 2004). Обрушения флангов вулканических островов и обвалы коренных пород в узких фьордах являются наиболее опасными из-за их потенциальной возможности генерировать цунами (Лобковский и др., 2013). Подробный обзор подводных оползней Тихого океана и обстановок, в которых они происходили, содержится, например, в работе (Lee, 2005).

В пределах рассматриваемого в данной работе района северо-западной части Тихого океана ранее были обнаружены подводные оползни в каньонах вблизи восточного побережья п-ова Камчатка. Подводные каньоны, являются путями транспортировки терригенного материала и особенно широко развиты на склоне Восточной Камчатки. В этой обстановке были выявлены оползневые тела объемом до десятков кубических метров и протяженностью до 10–20 км (Егоров, 2001; Корнев и др., 1981; Ломтев и др., 1980; Селиверстов и др., 1980; Селиверстов, 2013). Так, например, южная часть Камчатского

каньона отделена от основного русла крупным оползшим массивом осадков объемом более 5 км³, образовавшим своеобразную дамбу (Корнев и др., 1981).

Подробное описание подводных оползней, обнаруженных на подводной окраине Камчатки, особенно в верхней части континентального склона, Камчатском и Авачинском каньонах приведено в работе (Ломтев, 2017). Среди описанных оползней преобладают блоковые (структурные) и оползни-потоки или деструктурные оползни. В работе дано описание висячего подводного оползня, выявлены признаки его гравитационной неустойчивости и предполагается, что обрушение его фронтальных блоков может вызвать волну цунами (Ломтев, 2017).

В Беринговом море также были зафиксированы подводные оползни, образовавшиеся в обстановке подводных каньонов (Carlson, Karl, 1988). В работе (Белоус, Сваричевский, 2007), посвященной геоморфологии дна Берингова моря, приводится обзор отечественных исследований в этом регионе, выделены области развития оползневых процессов и локализованы оползневые тела, преимущественно на северо-восточном склоне Алеутской котловины. Оползневые комплексы наблюдаются и на некоторых профилях непрерывного сейсмического профилирования, проведенных на хребте Ширшова (Селиверстов, 2013). Подводные оползни, образовавшиеся в обстановке конвергентных окраин в районе Алеутской островной дуги описаны в (McAdoo et al., 2000). Крупные обломочные лавины обнаружены на Гавайских островах в обстановке вулканических островов, где гигантский подводный оползень Нуану охватил площадь 5000 км² (Лобковский и др., 2013; Баранов и др., 2018). В пределах Гавайского хребта и Императорских гор насчитывается около 70 крупных оползней, некоторые из них достигали длины 200 км и имели объемы до 5000 км³ (McMurty et al., 2004; Moore et al., 1989).

Сейсмоакустические исследования, проведенные в северо-западной части Тихого океана в рамках российско-германского проекта КАЛЬМАР на германском НИС «Зонне» в 2009 г. позволили обнаружить ряд оползневых тел на склонах Императорских гор и хребта Ширшова в Беринговом море (Kurile-Kamchatka ..., Leg 1a. 2009¹). Наши исследования на юго-западном склоне Императорских гор позволили показать строение верхней части оползневого тела (рис. 4). Данные многоканального сейсмического профилирования позволяют предположить, что объем перемещенного материала здесь может составлять десятки кубических метров. Оползневые тела в пределах хребта Ширшова имеют более мелкий масштаб, но можно предположить, что они

повторяются в разрезе. Мощность таких тел не превышает 35–40 м и они перекрывают ненарушенные части разрезов осадочного чехла. Характерной особенностью этих комплексов, наряду с внутренней хаотической структурой, являются малоамплитудные (до нескольких метров) взбросы и надвиги и складчатые деформации. Также рельеф дна, где развиты такие комплексы, чаще всего имеет нерегулярно холмистую поверхность. Сходные тела выявлены и на склоне поднятия Обручева обращенного к Алеутскому желобу.

Известно, что наиболее крупные оползни образуются в подводных условиях, причем оползание под водой может происходить даже при очень незначительных углах наклона. Подводные горы и системы подводных каньонов относятся к числу обстановок, в которых наиболее вероятно образование оползней (Лобковский и др., 2013; Баранов и др., 2018).

Оползневые тела, обнаруженные в результате представленных в данной работе сейсмоакустических исследований в районах Императорских гор, поднятия Обручева и хребта Ширшова расположены на склонах подводных возвышенностей. К числу факторов, которые привели к их возникновению, видимо, следует отнести крутые склоны (более 6°), а также высокую сейсмическую и вулканическую активность региона.

Продолжение изучения строения верхней части осадочного чехла в этих районах, очевидно, позволит выявить и закартировать другие оползневые тела и зоны обрушения склонов. Поскольку подводные оползни и связанные с ними оползневые цунами относятся к числу наиболее опасных геологических процессов, исследования в этом направлении весьма актуальны и имеют большое научно-практическое значение.

ВЫВОДЫ

Проведенные исследования показали, что наряду со спокойным (пелагическим и гемипелагическим) осадконакоплением в открытых частях Тихого океана и Берингова моря присутствуют осадки, сформированные мощными подводными течениями, а также широко проявлены оползневые процессы. Последние однозначно развиваются на склонах Императорских гор, хребта Ширшова и поднятия Обручева в Беринговом море, в каньонах вблизи восточного побережья Камчатки и, по-видимому, во многих других районах, находящихся в соответствующих обстановках. Учитывая потенциальную опасность оползней и оползневых цунами, изучению этих процессов в этих районах следует уделять самое пристальное внимание.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН № 0149-2019-0005.

Список литературы [References]

- Баранов Б.В., Лобковский Л.И., Куликов Е.А. и др. Оползни на восточном склоне о. Сахалин как источники возможных цунами // ДАН. 2013. Т. 449. № 3. С. 334–337. <https://doi.org/10.7868/S0869565213090181> [Baranov B.V., Lobkovskii L.I., Kulikov E.A., et al. Landslides on the eastern slope of Sakhalin Island as possible tsunami sources // Doklady Earth Sciences. 2013. T. 449. № 3. P. 334–337. <https://doi.org/10.1134/S1028334X13030173>].
- Баранов Б.В., Дозорова К.А., Рашидов В.А., Рукавишникова Д.Д. Подводные оползни Арктического региона // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2018. № 4. Вып. 40. С. 51–68. <https://doi.org/10.31431/1816-5524-2018-4-40-51-68> [Baranov B.V., Dozorova K.A., Rashidov V.A., Rukavishnikova D.D. Submarine landslides of the Arctic Region // Vestnik KRAUNTs. Nauki o Zemle. 2018. № 4(40). P. 51–68 (in Russian)].
- Белоус О.В., Сваричевский А.С. Особенности геоморфологического строения дна Берингова моря // Дальневосточные моря России / Гл. ред. В.А. Акуличев. Кн. 3. Геологические и геофизические исследования / Отв. ред. Р.Г. Кулинич. М.: Наука, 2007. С. 323–343 [Belous O.V., Svarichevsky A.S. Peculiarities of the geomorphologic structure of the Bering Sea bottom // Far Eastern seas of Russia / Principal ed. V.A. Akulich. Book 3. Geological and Geophysical research / Resp. ed. R.G. Kulinich. M.: Nauka, 2007. P. 323–343 (in Russian)].
- Егоров Ю.О. Некоторые особенности формирования подводных каньонов на континентальном склоне Восточной Камчатки // Геодинамика и вулканизм Курило-Камчатской островодужной системы / Отв. ред. Б.В. Иванов. Петропавловск-Камчатский: ИВГиГ ДВО РАН, 2001. С. 316–329 [Yegorov Yu.O. Some peculiarities of submarine canyons' origination on the Eastern Kamchatka continental slope // Geodynamisc and volcanism of the Kurile-Kamchatka Island System / Resp. ed. B.V. Ivanov. Petropavlovsk-Kamchatsky: IVGiG DVO RAN, 2001. P. 316–329 (in Russian)].
- Корнев О.С., Сваричевская Л.В., Хачапуридзе 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 [Kornev O.S., Svarichevskaya L.V., Khachapuridze Ya.F. Structure of the Kamchatka submarine canyon and its comparison with similar systems of the other regions // Relief and structure of the sedimentary cover in the Far East aquatic area. Vladivostok: TOI DVO AN SSSR, 1981. P. 53–63 (in Russian)].
- Лобковский Л.И., Баранов Б.В., Иващенко А.И., Дозорова К.А. Землетрясения, подводные оползни и цунами // Мировой океан. Т. 1. Геология и тектоника океана. Катастрофические явления в океане / Ред. Лобковский Л.И. М.: Научный Мир, 2013. С. 363–402. [Lobkovsky L.I., Baranov B.V., Ivashchenko A.I., Dozorova K.A. Earthquakes, submarine landslides and tsunamis // World Ocean. Volume 1. Geology and tectonics of the ocean.

- Catastrophic phenomena in the ocean / Ed. Lobkovsky L.I. M.: Nauchnyi Mir, 2013. P. 363–402 (in Russian)].
- Ломтев В.Л.* О строении некоторых форм рельефа Тихоокеанской окраины Камчатки // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. 2017. № 2 (48). С. 60–67 [*Lomtev V.L.* On the structure of some relief forms on the Kamchatka Pacific margin // Geology and mineral resources of the World Ocean. 2017. № 2(48). P. 60–67 (in Russian)].
- Селиверстов Н.И.* Подводные морфоструктуры Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2013. 162 с. [*Seliverstov N.I.* Submarine morphological structures of the Kurile-Kamchatka and Aleutian Island arcs. Petropavlovsk-Kamchatsky: IViS DVO RAN, 2013. 162 p. (in Russian)].
- 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 [*Seliverstov N.I., Nadyozhnyi A.M., Bondarenko V.I.* Structure peculiarities of the Eastern Kamchatka bays' bottom according to the results of geophysical researches // Vulkanologiya i seismologiya. 1980. № 1. P. 38–50 (in Russian)].
- Сколотнев С.Г., Колодяжный С.Ю., Цуканов Н.В. и др.* Неотектонические структуры в зоне сочленения Зеленомысского поднятия и абиссальной котловины Зеленого Мыса (Центральная Атлантика) // Геотектоника. 2009. № 1. С. 59–77 [*Skolotnev S.G., Kolodyazhny S.Yu., Tsukanov N.V. et al.* Neotectonic structures in the junction area of Cape Verde Rise and Abyssal Basin (Central Atlantic) // Geotectonics. 2009. № 1. P. 59–77. <https://doi.org/10.1134/S001685210901004X>].
- Цуканов Н.В., Гедике К., Толле Х.* Процессы осадконакопления и структура верхней части осадочного чехла северного отрезка Императорских подводных гор и Императорского трога по данным парасаунда (рейс «Зонне» SO-201 1a по проекту КАЛЬМАР) // Геология морей и океанов. Т. V. Тезисы докладов международной школы по морской геологии. М.: ГЕОС, 2009. С. 171–174 [*Tsukanov N.V., Gaedicke Ch., Thole H.* Deposition processes and structure of the uppermost sedimentary layers of the northern Emperor Seamounts and Emperor Trough - new insights from high resolution echosound data (SO-201 Leg 1a KALMAR) // Geology of Seas and Oceans. Vol. V. Abstracts of International School on Marine Geology. M.: GEOS, 2009. P. 171–174 (in Russian)].
- 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
- Carlson P.R., Karl H.A.* Development of large submarine canons in the Bering Sea, indicated by morphologic, seismic and sedimentologic characteristics // Geological Society of America Bulletin. 1988. V. 100. P. 1594–1615.
- Freitag R., Gaedicke Chr., Tsukanov N. et al.* The Krusenstern Fault, NW Pacific: A Reactivated Cretaceous Transform Fault? // Abstracts, JKASP-2011. Petropavlovsk-Kamchatsky. 2011. P. 180.
- Lee H.J.* Undersea landslides: extent and significance in the Pacific Ocean, an update // Natural Hazards and Earth System Sciences. 2005. V. 5. № 6. P. 877–892. <https://doi.org/10.5194/nhess-5-877-2005>.
- McAdoo B.G., Pratson L.F., Orange D.L.* Submarine landslide geomorphology, US continental slope // Marine Geology. 2000. V. 169. № 1–2. P. 103–136. [https://doi.org/10.1016/S0025-3227\(00\)00050-5](https://doi.org/10.1016/S0025-3227(00)00050-5).
- McMurty G.M., Watts P., Fryer G.J. et al.* Giant landslides, megatsunamis and paleo-sealevel in the Hawaiian islands // Marine Geology. 2004. V. 203. № 3–4. P. 219–234. [https://doi.org/10.1016/S0025-3227\(03\)00306-2](https://doi.org/10.1016/S0025-3227(03)00306-2).
- Moore J.G., Clague D.A., Holcomb R.T. et al.* Prodigious submarine landslides on the Hawaiian Ridge // Journal of Geophysical Research. 1989. V. 94. № B12. P. 17465–17484.
- Ormen Lange – an integrated study for the safe development of a deep-water gas field within the Storegga Slide Complex, NE Atlantic continental margin / Solheim A. et al. (Eds.) // Marine and Petroleum Geology. 2005. V. 22. № 1–2. P. 1–318.
- Submarine Mass Movements and Their Consequences / Yamada Y. et al. (Eds.) // Advances in Natural and Technological Hazards Research. 2012. V. 31. № 1. P. 1–12.
- Tappin D.R.* Mass transport events and their tsunami hazard // Submarine Mass Movements and Their Consequences / Mosher D.C. et al. (Eds.) // Advances in Natural and Technological Hazards Research. Amsterdam: Springer, 2010. V. 28. P. 667–684. https://doi.org/10.1007/978-90-481-3071-9_54.
- Tsukanov N.V., Gaedicke Ch., Baranov B.V. et al.* Structure of the uppermost sedimentary layers in Kamchatka - Aleutian island arc junction area from high resolution echosound data (SO-201 Leg 1a, Leg 2 KALMAR) // Abstracts, JKASP-2011. Petropavlovsk-Kamchatsky, 2011. P. 178–179.

**SPECIFIC FEATURES OF THE UPPER SEDIMENTARY COVER
AND SLUMP STRUCTURES IN THE NW PACIFIC AND THE BERING SEA
BASED ON SEISMOSACOUSTIC PROFILING DATA**

N.V. Tsukanov¹, K.A. Dozorova¹, C. Gaedicke²

*¹Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Russia, Moscow 117997;
e-mail: kambear2011@yandex.ru*

*²Federal Institute for Geosciences and Natural Resources, Germany, Hannover D-30655;
e-mail: gaedicke@bgr.de*

The authors studied geology-geophysical data that had been obtained during German RV «Sonne» Cruise in NW Pacific organized in frames of the Russian-German Project KALMAR («Kurile-Kamchatka and Aleutian Marginal sea-island arc systems: geodynamic and climate interaction in space and time»). The profiling was carried out using PARASOUND P70 system, including narrow-beam system and sub-bottom profiler. The study showed that besides undisturbed sedimentation, landside processes are widely spread in open areas of the ocean and the Bering Sea as well as deposits caused by strong submarine currents. Landslides were revealed on the slopes of the Emperor Ridge in the NW Pacific and the Shirshov Ridge submarine mountains, in canyons near Eastern Kamchatka coasts and apparently in many other areas.

Keywords: North-Western Pacific, sedimentary cover, seismoacoustic profiling, landslides.