

## ЭКЗАРАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В ВОСТОЧНОМ СЕКТОРЕ АРКТИЧЕСКОГО РОССИЙСКОГО ШЕЛЬФА

Н.В.Либина, канд.техн.наук, С.Л.Никифоров, д-р геогр.наук  
Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

## EXCERSION EVIDENCES IN THE EASTERN SECTOR OF THE ARCTIC RUSSIAN SHELF

N.V.Libina, Ph.D., S.L.Nikiforov, Dr.Sc.

P.P. Shirshov Institute of Oceanology, RAS, Moscow, Russia

*Результаты комплексных сейсмоакустических исследований в пределах восточного арктического шельфа России зафиксировали многочисленные экзарационные борозды ледового выпахивания как в мелководной, так и в глубоководных его частях. Современное высокоразрешающее сейсмоакустическое оборудование позволило получить детальные морфометрические характеристики борозд выпахивания и разделить эти формы рельефа на современные прибрежные и древние (или реликтовые), которые расположены на глубоководных участках. Встречаемость борозд ледового выпахивания оказалась выше рассчитываемой по данным ледовой обстановки.*

*Results of our seismoacoustic studies within Russia eastern Arctic shelf recorded numerous ice gouging evidences both in shallow and deep parts. Modern high-resolution equipment allowed to obtain and fulfilled detailed morphological analyses of such kind of seabed relief and subdivide them on modern and relictic ones. The occurrence of bottom plowing by ice formations turned out to be higher than calculated from the ice situation.*

На арктическом шельфе и в прибрежной зоне ряд природных процессов, таких как ледовая экзарация, оползни, таяние многолетнемерзлых пород, термоабразия берегов и сейсмическая активность представляют опасность для большинства видов деятельности. При проведении комплексных сейсмоакустических исследований в пределах восточного арктического шельфа России были зафиксированы многочисленные борозды ледового выпахивания как в мелководной, так и в глубоководных его частях. Первичные натурные данные были получены во время экспедиционных исследований 57-го рейса НИС «Академик М.А. Лаврентьев» на восточном арктическом шельфе России. Используемый аппаратный комплекс состоял из параметрического эхолот-профилографа SES-2000 и двухчастотного гидролокатора бокового обзора (ГБО) "Гидра" 250/500 (с возможным изменением частоты излучения - 250 либо 500 кГц) [1].

Высокоразрешающее сейсмоакустическое оборудование позволило получить детальные морфометрические характеристики зафиксированных борозд выпахивания, и разделить данные формы рельефа на современные прибрежные (рис. 1) и древние (реликтовые) глубоководные (рис. 2). По происхождению они все являются бороздами выпахивания.

Экзарационные явления могут стать причиной аварийной ситуации при строительстве и эксплуатации различных инженерных сооружений и коммуникаций на морском дне. Опасность представляют динамические и статически нагрузки ледовых образований на инженерные объекты.

На мелководье были зафиксированы как одиночные борозды, так и серии (или группы) борозд различной ширины и протяженности. Наблюдалось многочисленное следы последовательного наложения группы борозд друг на друга, в различных направлениях. Причинами изменений движения могут являться волнение, ветровой дрейф, приливные, сгонно-нагонные явления, а также их сочетание.

Например, угол подхода волн к береговой линии может определять простирание этих форм рельефа. На рис. 1 приведены фрагменты акустических изображений дна с разнонаправленными следами (бороздами) ледового выпахивания, где видно пересечение борозд более свежими следами перемещения других ледовых образований. На рис. 1в зафиксирован вероятный отрыв стамухи от дна.

Результаты гидролокационной съемки свидетельствуют о современном активном динамическом воздействии морских льдов на поверхность дна (борозды, царапины, углубления, валы). Во многих случаях эти образования имеют сложную форму, что связано с воздействием на дно «многокилевых» ледовых образований. Имеющиеся разнообразие борозд говорит о многократном воздействии на одни и те же участки дна разных по размерам ледовых образований, которые перемещались под разными углами к береговой линии.

Результаты наших инструментальных наблюдений даже на отдельных небольших участках шельфа показали высокую интенсивность следов ледового выпахивания дна на глубинах, на которых по вероятностным оценкам встречаемости стамух в зависимости от глубины, их количество должно быть единичным. Так, в работах [2, 3], на основе анализа многолетних материалов ледовой авиационной разведки и спутниковой информации были выполнены

оценки геометрических параметров стамух и торосистых образований, пространственные и временные изменения их количества, частота встречаемости. По результатам статистической обработки приводятся следующие данные по распространенности стамух в море Лаптевых (в зависимости от глубины моря): средняя осадка - 11.59 м, минимальная осадка - 0.5 м, максимальная осадка - 37.2 м. Основная часть стамух (60 % от общего их числа) наблюдалась на участках с глубиной моря (Н) от 8 до 16 м. Далее с увеличением Н количество стамух быстро уменьшается и при  $H \geq 24$  м не превышает 1%. При этом отмечается, что оценка вероятности встречаемости стамух в зависимости от глубины моря и расчеты возможных осадок стамух выполнены по нерегулярным данным ледовых разведок, как по времени, так и в пространстве. Из интенсивности выпахивания дна ледовыми образованиями на глубинах около 25 м, следует, что количество ледовых образований с осадкой достигающей дна, превышает рассчитанную вероятность встречаемости по данным ледовой обстановки.

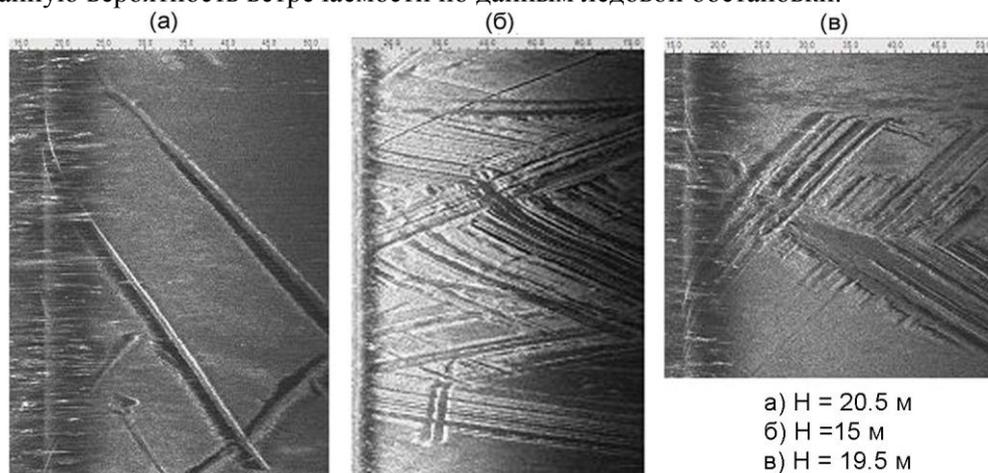


Рис. 1. Акустическое изображение экзарационных борозд на участках дна моря Лаптевых.  
Н – глубина моря.

На глубинах более 15-20 м влияние гидродинамических процессов, приводящих к размыванию следов ледового воздействия, слабее, чем на меньших глубинах. Следовательно, наблюдаемые борозды выпахивания могут сохраняться в течение большего времени и, предположительно, могут являться многолетними. Как правило, отношение глубины киля к высоте паруса тороса составляет по различным данным от 2.75 до 4.4 м, что связано со свойствами льда, вида торосообразования, линейных размеров отдельных торосов и гряд, формы киля и протяженности. Встречаемость и плотность распределения, а также глубина возможной осадки торосистых образований, может рассчитываться по различным алгоритмам, однако натурные данные и применение высокоразрешающих акустических методов (профилирование и ГБО) показывает более точный результат. В море Лаптевых борозды выпахивания наблюдались не только в пределах мелководья, но и на больших глубинах - от 50 до 90 м (рис. 2). Их образование никак не может быть связано с современным ледовым выпахиванием. При отношении размеров киля к парусу тороса 3 – 4, принципиально возможно появление следов на глубинах до 50-60 м. При этом размер паруса тороса должен быть не менее 15 м, а такие торосы практически не встречаются, еще реже встречаются торосы с величиной паруса 20 м.

Образование глубоководных борозд выпахивания вероятно, связано с палеогеографическими причинами - регрессией моря в позднем плейстоцене, которая была почти до бровки шельфа. В результате периодического осушения и затопления шельфа сформировалась слоистая структура верхней осадочной толщи, причем в регрессивные циклы (эпохи похолоданий) происходило интенсивное вымораживание исходной поверхности и формирование плотных обезвоженных горизонтов (как, например, в период последней позднечетвертичной регрессии моря). В трансгрессивные циклы (эпохи потепления) накапливались относительно рыхлые морские отложения, при этом устойчивая отрицательная температура придонной воды способствовала консервации этой слоистой структуры. Отсутствие покровного оледенения не исключало наличия мощных дрейфующих льдов, которые производили экзарацию дна в современной глубоководной части моря, а в дальнейшем следовали за трансгрессивным поднятием уровня моря. При этом, вероятно, происходило разрушение плотного обезвоженного глинистого слоя

осадков, образованного в период регрессии. Далее, во время неоднократных трансгрессивно-регрессивных колебаний уровня моря, сформированные траншеи с отвалами грунта, были заморожены и, таким образом, сохранились до наших дней.

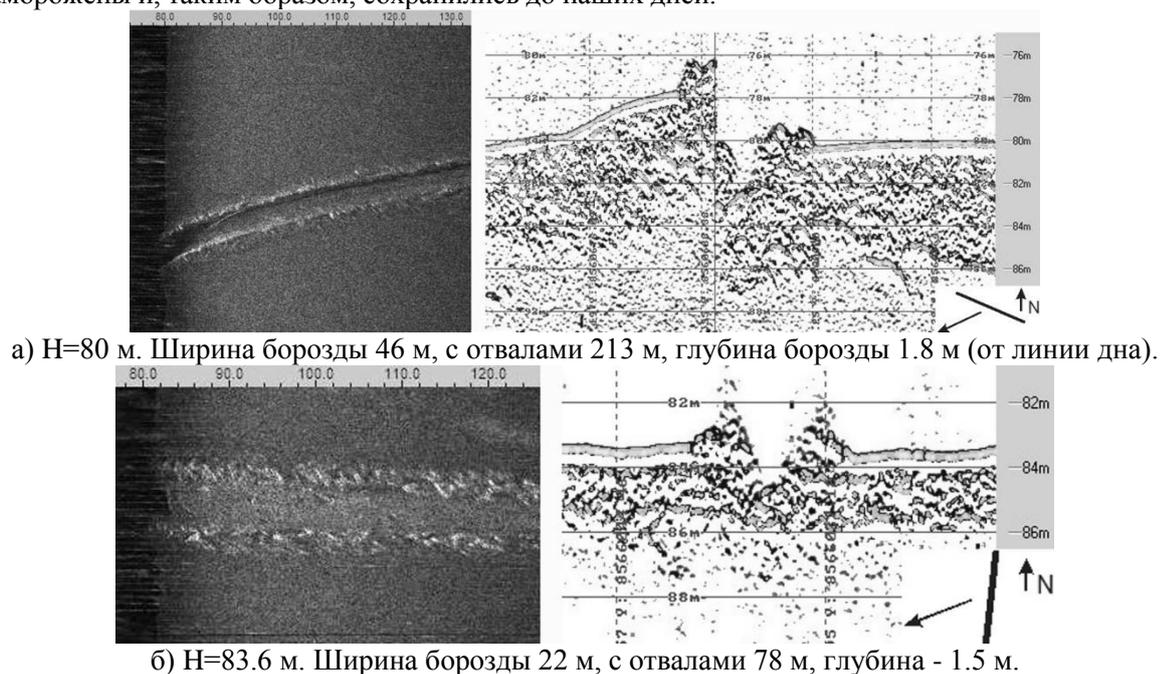


Рис. 2. Фрагменты записи глубоководных борозд на дне моря Лаптевых (слева - акустическое изображение, справа – сейсмоакустический разрез).

В западном секторе Арктики различными экспедициями также наблюдались многочисленные глубоководные борозды и их пересечения. Так в Баренцевом море борозды фиксировались на глубинах 300 м и глубже [4, 5].

**Выводы.** Экзарационные борозды представляют природные риски.

Согласно результатам натурных исследований встречаемость борозд оказалась выше прогнозируемой по данным ледовой разведки и ледовой обстановки.

Зафиксированные борозды можно разделить на две категории: современные мелководные прибрежные и древние (реликтовые) глубоководные.

Во время регрессии моря в позднечетвертичный период отсутствие покровного оледенения не исключало наличия мощных дрейфующих льдов, которые производили выпаживание дна в современной глубоководной части моря, а в дальнейшем следовали за трансгрессивным поднятием уровня моря. Позднее, во время повторяющихся трансгрессивно-регрессивных циклов изменения уровня моря, сформированные борозды выпаживания были заморожены и сохранились до настоящего времени.

Прибрежные мелководные борозды являются результатом современного взаимодействия ледовых образований с морским дном.

*Работа выполнена в рамках государственного задания ФАНО России (тема № 0149-2018-0005).*

#### Литература

1. Дмитриевский Н.Н., Ананьев Р.А., Либина Н.В., Росляков А.Г. Сейсмоакустические исследования верхней осадочной толщи и рельефа морского дна в морях восточной арктики в 57-м рейсе научно-исследовательского судна «Академик М.А. Лаврентьев» // Океанология, 2012, том 52, № 4, С. 617-620.
2. Горбунов Ю.А. Стамухи в юго-восточной части моря Лаптевых // ПОЛЭКС–Север-76. Ч. 2. Л.: Гидрометеоздат. 1979. С.107–110.
3. Горбунов Ю.А., Лосев С.М., Дымент Л.Н. Стамухи моря Лаптевых // Проблемы Арктики и Антарктики. 2008, № 2 (79). С.111-116.
4. Зайончек А.В., Брекке Х., Соколов С.Ю., Мазарович А.О., Добролюбова К.О., Ефимов В.Н., Абрамова А.С., Зарайская Ю.А., Кохан А.В., Мороз Е.А., А.А. Пейве А.А., Н.П. Чамов Н.П., Ямпольский К.П. Строение зоны перехода континент-океан северо-западного обрамления Баренцева моря (по данным 24-26 рейсов НИС «Академик Николай Страхов», 2006-2009 гг.) // Строение и история развития литосферы. М: Paulsen.- 2010. С.111-157.
5. Rebesco M., Liu Y., Camerlenghi A., Winsborrow M., Laberg J. S., Caburlotto A., Diviacco P., Accettella D., Sauli C., Wardell N., Tomini I. Deglaciation of the western margin of the Barents Sea Ice Sheet — A swath bathymetric and sub-bottom seismic study from the Kveithola Trough. Marine Geology 279 (2011) 141–147.