

ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ ТОРОСОВ БАЙДАРАЦКОЙ ГУБЫ, ИССЛЕДОВАННЫХ ВЕСНОЙ 2010 г.

канд. физ.-мат. наук В.В.ХАРИТОНОВ

ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, sogra.kharitonov@mail.ru

В 2010 г. в Байдарацкой губе исследовались морфометрические характеристики торосов с помощью установки для водяного термобурения с записью скорости бурения на компьютер. Толщина льда в торосах в среднем составляла 9 м, максимальная – 20 м. Особенности строения исследованных торосов состояли в наличии в их киях пустот с вертикальными размерами 4–6 м, а также в наличии блоков плотного льда в нижней части кия. Даны примеры записей, зафиксировавших такое строение. Рассмотрена схема формирования вторичного тороса.

Ключевые слова: торос, термобурение, киль, пористость.

Изучению торосистых образований в последнее время придается большое значение. Информация об их строении требуется проектным организациям, разрабатывающим различные морские сооружения для освоения морского шельфа. За последние 10–15 лет регулярные исследования торосов проводились в Баренцевом, Карском, Охотском и Каспийском морях [Гудошников и др., 2003; Ледяные образования морей..., 2006; Миронов и др., 2010; Mironov, Porubaev, 2005; Миронов, Порубаев, 2011]. Торосы некоторых регионов изучены более подробно, других – менее. Бесспорно, публикаций о результатах исследования строения торосов совершенно недостаточно.

Весной 2010 г. в Байдарацкой губе проводились исследования морфометрических характеристик торосов, находящихся в районе расположения газопровода, проложенного по дну губы с Ямала на уральский берег. Ледовые и метеорологические показатели зимнего сезона 2009/10 в районе проведения исследований были близкими к среднесезонным. Прикромочная восторженная часть припая у ямальского берега, где проводились работы, в зимний период была дрейфующим льдом, прижатым затем западными ветрами к припаю и вмержшим в него [Миронов и др., 2011].

В этих работах применялась установка для водяного термобурения с записью скорости бурения на компьютер. Обработка записей позволяет получить информацию о распределении льда и пустот в торосах. В настоящей работе рассматриваются особенности внутреннего строения исследованных торосов.

Процедура обработки записей термобурения достаточно известна и описана во многих предыдущих статьях, например [Morev, Kharitonov, 2001; Kharitonov, 2005] и др. Технология защищена Патентом России № 2153070, 2000 г. [Morev и др., 2000]. Дополнительно к бурению измеряется расстояние от поверхности снежного покрова (льда) до уровня моря. При обработке данных бурения определяются величина надводной и подводной частей ледяного покрова, по скорости погружения бура определяются границы консолидированного слоя (КС), границы пустот, участки льда различной пористости.

В период полевых работ было исследовано 19 гряд торосов. В целом было пробурено 574 скважины вдоль 57 секущих профилей. Средняя общая толщина

Таблица 1

Морфометрические характеристики исследованных торосов	
Характеристика	Значение
Средняя высота паруса, м	3–4
Средняя глубина киля, м	12–13
Максимальная толщина тороса, м	20
Соотношение максимальный киль / максимальный парус	2,5–4,7
Средний вертикальный размер пустот, м	0,5

торосов, определенная как средняя длина всех скважин в торосах, составила 9 м, максимальная – 20 м.

Основные морфометрические характеристики торосов приведены в табл. 1.

Важной особенностью исследованных торосов являлось наличие больших пустот в килях. Примеры записей с такими пустотами приведены на рис. 1. Линейные размеры пустот в киле некоторых торосов достигали 4–6 и более метров.

Похожую картину наблюдали в 2002 г. норвежские ученые при исследовании тороса вблизи острова Надежды в Баренцевом море [Vonnemaire et al., 2003]. Во время бурения тороса ими были зафиксированы четыре провала бура на глубину от 2 до 3 м и один провал глубиной 4,3 м. К сожалению, авторы никак не объясняют наличие таких пустот в киле тороса.

На рис. 2 приведено распределение пустот в килях исследованных торосов. Заметно различие в распределении пустот в парусе и киле торосов. Вертикальный

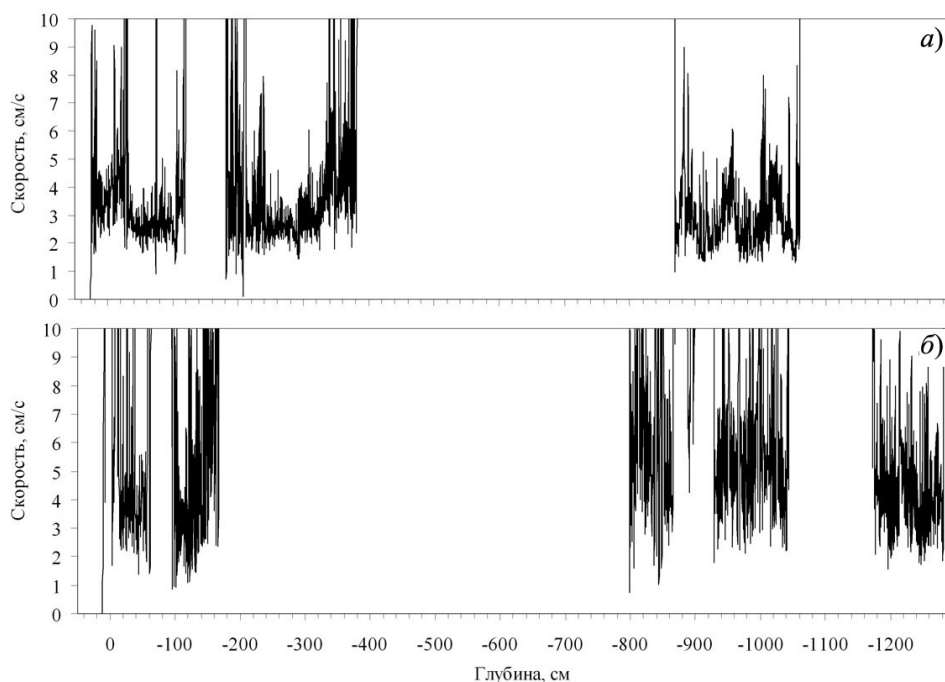


Рис. 1. Примеры записей бурения торосов, в киле которых присутствуют большие пустоты: а – торос 5, линия 3, точка 7; б – торос 9, линия 1, точка 9; вертикальный размер пустоты в киле тороса № 5 составил 4,9 м, в киле тороса № 9 – 6,3 м

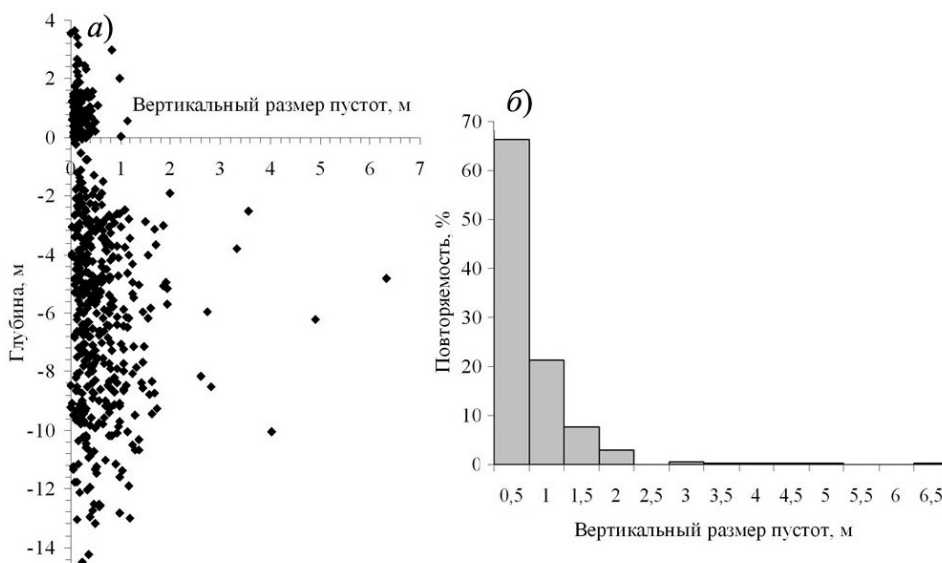


Рис. 2. Распределение пустот в киях торосов Байдацаккой губы по глубине (а) и гистограмма повторяемости вертикальных размеров пустот (б)

размер пустот в парусе торосов обычно не превышал 0,5 м и в среднем составлял 0,2 м. В киле же диапазон вертикальных размеров пустот более широк, и, несмотря на наличие больших пустот, в основном присутствовали пустоты с вертикальным размером до 2 м. Средний размер пустот в киях составлял 0,6 м. Плотность точек на распределении вертикальных размеров пустот резко уменьшается в диапазоне глубин, соответствующих расположению КС.

Вполне вероятно, что пустоты больших вертикальных размеров в киле могут появиться в результате вторичного торошения. Рис. 3 иллюстрирует одну из возможных схем вторичного торошения, когда первичный торос (рис. 3, слева) подвергается сжатию и на его краю начинается нагромождение блоков торосящегося льда, которое притапливает первичный торос и поворачивает его вокруг центра (рис. 3, справа). При достаточно большом угле поворота первичного тороса блоки льда, составляющие нижнюю часть его кия, во вторичном торосе могут образовывать нишу на краю его кия. При бурении этой части тороса бур после провала может упереться в выступающие блоки кия первичного тороса, и тем самым будет зафиксировано наличие пустоты большого вертикального размера. В пользу такой схемы образования вторичного тороса говорит тот факт, что пусто-

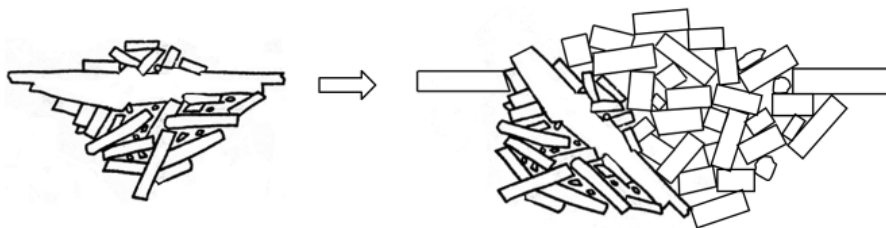


Рис. 3. Схема образования вторичного тороса

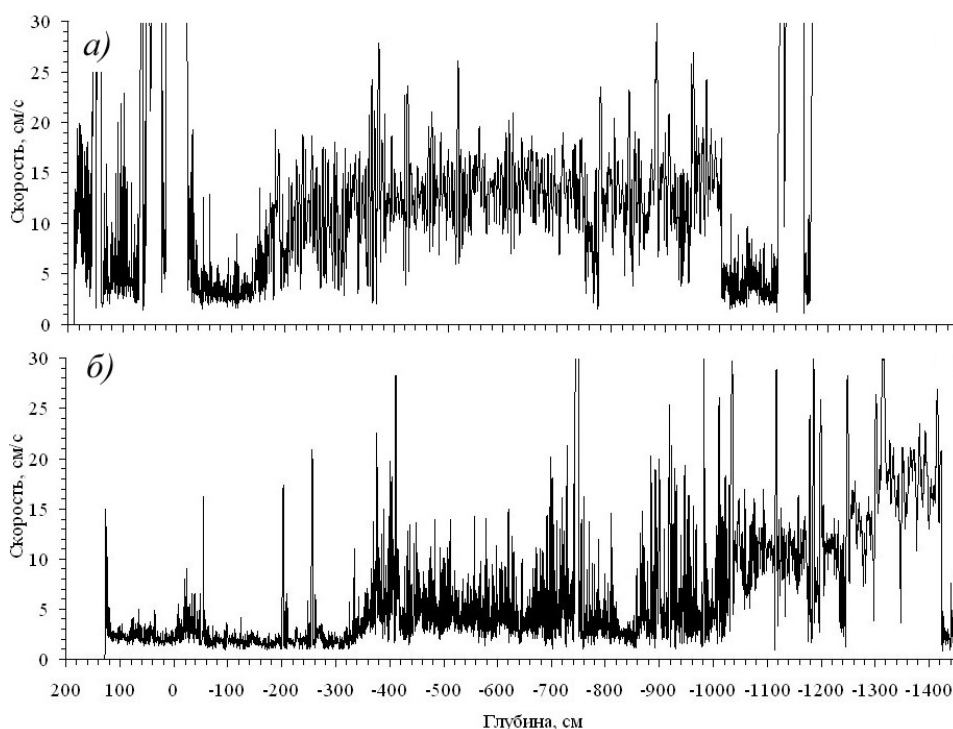


Рис. 4. Примеры записей, на которых зафиксировано наличие плотного льда в нижней части кия:

а – торос 18, линия 3, точка 7, блок плотного льда располагается на горизонте –1000...–1100 см; *б* – торос 10, линия 2, точка 11, блок плотного льда располагается на горизонте –1420...–1450 см

ты с вертикальным размером 6,3 и 4,3 м зафиксированы на двух соседних линиях тороса № 9 примерно на одинаковом расстоянии от гребня тороса. Расстояние между линиями составляло 30 м.

Однако, несмотря на наличие больших пустот в киях исследованных торосов, общая пористость торосов имела пониженное значение и в целом составляла 6 % [Миронов и др., 2011].

Второй интересной особенностью торосов Байдарацкой губы было наличие блоков плотного льда в нижней части кия. Обычно в этих частях тороса располагаются зоны смерзшегося в местах касаний блоков мелкобитого льда. Скорость погружения бура в этих зонах выше, чем в районе консолидированного слоя или в блоках льда паруса. Однако при бурении торосов Байдарацкой губы зафиксировано неоднократное замедление скорости бурения на выходе из кия, как если бы там находились блоки плотного льда. Причем такие случаи имели место как при водяном бурении, так и при электротермобурении, которое применялось в совместных экспериментах по определению локальной прочности льда, проводившихся одновременно с морфометрическими измерениями торосов. Всего было отмечено восемь таких случаев на пяти различных торосах, т.е. примерно в каждом четвертом исследованном торосе. Примеры таких записей приведены на рис. 4. Как следует из скорости погружения бура, значительную часть кия обоих торосов занимает рыхлый лед. В первом случае он располагается на глубине от 2 до 10 м, во втором

случае – от 10,2 до 14,2 м, т.е. занимает значительный объем кия. Тем не менее ниже такой массы рыхлого льда присутствуют блоки плотного льда.

Проведенные исследования позволили получить новые данные о морфометрии ледяного покрова Байдарацкой губы. В заключение можно сделать следующие выводы.

1. Особенности строения исследованных торосов состоят в наличии пустот с вертикальными размерами 4–6 м в киях торосов, а также в наличии блоков плотного льда, расположенных в нижней части кия некоторых торосов под областью, заполненной рыхлым льдом. Были отмечены восемь пустот с вертикальным размером свыше трех метров. Однако, несмотря на это, общая пористость торосов имела пониженное значение и в целом составляла 6 %. Наличие плотного льда в нижней части кия отмечено примерно в одной четверти всех исследованных торосов.

2. Вероятно, что пустоты больших вертикальных размеров в киле могут появиться в результате вторичного торования. Под действием веса нагромождения торосающегося льда на его краю первичный торос притапливается и поворачивается вокруг центра масс. При достаточно большом угле поворота тороса блоки, составляющие нижнюю часть его кия, во вторичном торосе могут образовывать нишу на краю кия тороса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гудошников Ю.П., Зубакин Г.К., Наумов А.К.* Морфометрические характеристики ледяных образований Печорского моря по многолетним экспедиционным данным // Труды РАО. Санкт-Петербург, Россия, 16–19 сентября 2003 г. СПб., 2003. С. 295–299.
2. Ледяные образования морей западной Арктики / Под ред. Г.К.Зубакина. СПб.: ААНИИ, 2006. 272 с.
3. *Миронов Е.У., Порубаев В.С.* Морфометрические параметры торосов и стамух по даны экспедиционных исследований в северо-западной части Каспийского моря // Метеорология и гидрология. 2011. № 5. С. 68–76.
4. *Миронов Е.У., Порубаев В.С., Харитонов В.В.* Исследование торосов и стамух в Карском море и Арктическом бассейне в период Международного полярного года // Тезисы докладов международной научной конференции «Морские исследования полярных областей Земли в Международном полярном году 2007/08», 21–23 апреля 2010 г., Санкт-Петербург. СПб., ААНИИ. 2010. С. 154–155.
5. *Миронов Е.У., Смирнов В.Н., Тюряков А.Б., Вербицкая О.А.* Исследование ледяных образований и параметров экзарации морского дна в Байдарацкой губе для обеспечения строительства подводного трубопровода // Труды РАО'11, 13–16 сентября 2011 г. Санкт-Петербург. СПб.: 2011. С. 185–190.
6. *Морев В.А., Морев А.В., Харитонов В.В.* Способ определения структуры торосов и стамух, свойств льда и границы льда и грунта. Патент на изобретение № 2153070 от 20.07.2000. Бюллетень № 20.
7. *Bonnemaire B., Hyland K.V., Liferov P., Moslet P.O.* An ice ridge in the Barents Sea, part I: morphology and physical parameters in-situ / Proc. of the 17th Int. Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions. June 16–19, 2003. Trondheim. Norway. Trondheim, 2003. P. 559–568.
8. *Kharitonov V.V.* Peculiarities of Fractional Composition of the Pechora Sea First-Year Ridges // Proc. of the 18th Int. Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions (POAC). Potsdam, New York, 26–30 June 2005. Potsdam, 2005. Vol. 2. P. 907–916.
9. *Morev V.A., Kharitonov V.V.* Definition of the Internal Structure of Large Ice Features by Thermal Drilling Methods. / Proc. of the 16th Int. Conf. on Port and Ocean Engineering under Arctic Condition. POAC'01. Aug. 12–17, 2001 Ottawa, Ontario, Canada. Ottawa, 2001. Vol. 3. P. 1465–1472.
10. *Mironov Ye.U., Porubaev V.S.* Structural peculiarities of ice features of the offshore of the Caspian Sea, the Sea of Okhotsk and the Pechora Sea. / Proc. of the 18th Int. Conf. on Port and Ocean Eng. under Arctic Conditions. (POAC). Potsdam, New York, 26–30 June 2005. Potsdam, 2005. Vol. 2. P. 483–492.

V.V.KHARITONOV

**PECULIARITIES OF INTERNAL STRUCTURE OF THE BAYDARATSKAYA BEY
FIRST-YEAR ICE RIDGES IN SPRING 2010**

In 2010 the AARI carried out the expedition studies in the Baydaratskaya bey aimed at determining the morphometric characteristics of ice ridges by hot water drilling methods with recording the penetration rate on computer. Average ice thickness was 9 m and maximum ice thickness was 20 m. The peculiarities of ice ridges investigated are the presence of large voids with Y-dimension of 4–6 m within the keel and of hard ice blocks at lower part of keel. The examples of penetration rate record with such a structure of this kind are presented. A scheme of secondary ice ridge formation is observed.

Keywords: ice ridge, thermal drilling, keel, porosity.