

## ОСОБЕННОСТИ ВНУТРЕННЕЙ СТРУКТУРЫ ТОРОСОВ И СТАМУХ В АРКТИЧЕСКИХ МОРЯХ

Р.Б. Гузенко<sup>1</sup>, В.В. Харитонов<sup>1</sup>, Е.У. Миронов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

## PECULIARITIES OF THE INTERNAL STRUCTURE OF ICE RIDGES AND STAMUKHAS IN THE ARCTIC SEAS

R.B. Guzenko<sup>1</sup>, V.V. Kharitonov<sup>1</sup>, Ye.U. Mironov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg, Russia

*Приводятся результаты анализа экспедиционных исследований торосов и стамух, проводившихся ААНИИ в арктических морях с помощью водяного термобурения с записью скорости бурения. Рассматриваются вопросы распределения консолидированного слоя и пористости внутри ледяного образования, взаимосвязей с другими морфометрическими параметрами.*

*The results of the analysis of expedition studies of ice ridges and stamukhas conducted by AARI in the Arctic seas using hot water thermal drilling with the penetration rate recording are presented. The issues of distribution of the consolidated layer thickness and porosity within an ice feature and their interrelations with other morphometric parameters are considered.*

Изучение особенностей внутреннего строения крупных ледяных образований (торосов и стамух), определение закономерностей и взаимных связей между их морфометрическими характеристиками прежде всего важно в плане выявления или уточнения природных механизмов, ответственных за эволюцию тех или иных элементов ледяного покрова. Кроме того, исследование данных вопросов напрямую связано с хозяйственной деятельностью в Арктике. Торосы, как крупные ледяные образования (ЛО), обладают внушительной массой, и их постоянное движение включает в себе угрозу повреждения морской инженерной инфраструктуры. Стамухи, обладающие еще большей массой, при снятии с грунта и переходе в дрейфующее состояние представляют не меньшую опасность. Для определения возможной нагрузки на морские объекты и проектирования соответствующих защитных сооружений необходимо знать основные морфометрические параметры ЛО для конкретного района: длину гребня, высоту и ширину паруса, глубину и ширину киля, общую толщину, пористость (относительное содержание пустот в торосе), толщину консолидированного слоя (КС) и другие. Последние параметры относятся к характеристикам внутренней структуры ЛО, определение которых возможно только с использованием специального оборудования. Такое оборудование разработано в ААНИИ под руководством В.А. Морева и успешно используется в экспедиционной деятельности. Технология водяного термобурения ЛО с записью скорости бурения на электронный носитель позволяет с высокой точностью и достоверностью определять пористость, границы КС и другие характеристики внутренней структуры.

КС является ключевой характеристикой внутренней структуры ЛО. Образующийся в результате смерзания обломков льда, он связывает отдельные элементы ЛО в единый монолит и представляет наиболее серьезную потенциальную опасность для морских сооружений. Важнейшей характеристикой КС является его толщина. Соответственно, повышенный интерес вызывают и факторы, ее обуславливающие и влияющие на ее изменение. Малоизученным, но интересным с научной и прикладной точек зрения является вопрос распределения пористости и толщины КС внутри ЛО

В работе [1] были представлены некоторые результаты анализа параметров внутренней структуры 83 торосов (выборка статистической обработки включала 2969 скважин бурения с КС), исследованных в 2014-15 гг. в морях Карском и Лаптевых методом водяного термобурения. В частности был затронут вопрос распределения КС и пористости внутри тороса. Отмечалось, что наиболее мощным участкам киля соответствует наиболее мощный КС. Это связывалось с особенностями распределения в киле пористости, когда область наименьшей пористости располагается у поверхности воды (в зоне формирования КС), и по мере удаления от точки максимального киля эта область, как и толщина КС, утончается по глубине. Такая особенность распределения пористости, в свою очередь, является следствием влияния сил тяжести и

всплывтия, под воздействием которых во время формирования тороса происходит концентрация и последующее уплотнение мелких обломков льда в районе уровня моря. Ранее с действием аналогичных механизмов связывал подобную картину вертикального распределения коэффициента заполнения (величины, обратной пористости) в свежих арктических торосах В.Д. Грищенко [2].

В настоящей работе для статистического анализа параметров внутренней структуры к упомянутым 83 торосам добавлено 25 торосов и 7 стамух, исследованных методом термобурения в Байдарацкой губе Карского моря в 2007 и 2010 годах. Таким образом, данная выборка по торосам составила 3582 скважины бурения с КС в 108 ЛО, по стамухам 398 скважины с КС в 7 ЛО. На рис. 1 показано изменение пористости по глубине в результате осреднения данных по торосам и стамухам. На графике представлены 95 % всех значений; малообеспеченные данными участки кривой, соответствующие экстремальным значениям паруса и киля, отфильтрованы. Из рисунка видно, что минимум пористости и у торосов, и у стамух ожидаемо располагается вблизи уровня моря. На наиболее обеспеченных данными участках кривой заметна общая тенденция увеличения пористости с высотой в парусе и с глубиной в киле ЛО. Можно заметить, что для торосов эта закономерность проявляется от +0,9 м в парусе и до -10,9 м в киле, для стамух – от +1,5 м в парусе до -5,7 м в киле относительно уровня моря. При этом видно, что «упаковка» льда в киле стамух в целом существенно плотнее, нежели в торосах: в стамухах пористость не превышает 0,15, а в торосах ниже глубины 3 м значения пористости большей частью располагаются в диапазоне 0,20-0,25.

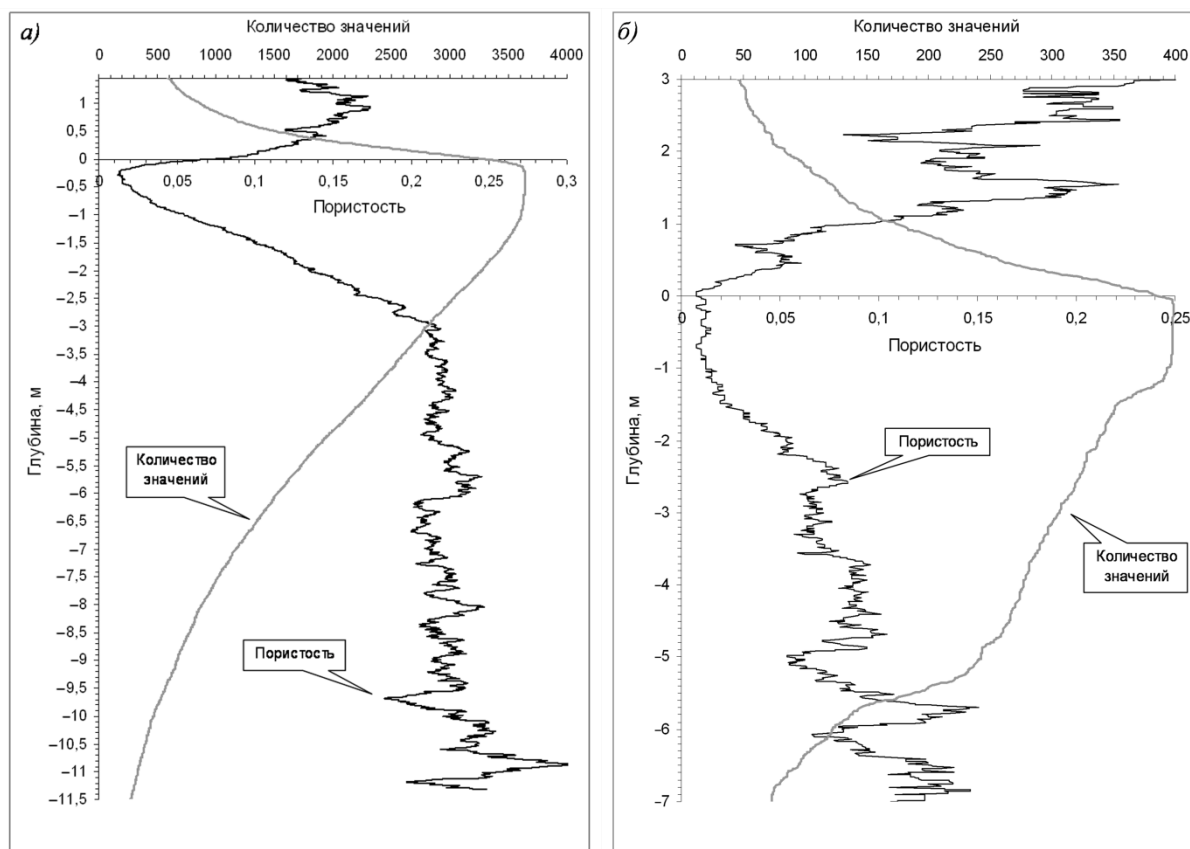


Рис. 1. Изменение пористости в торосах (а) и стамухах (б) по глубине киля и высоте паруса.

Интересным вопросом является влияние паруса ЛО на толщину КС под ним. В отдельных работах делается предположение, что парус, заключающий в себе заполненные снегом и воздухом пустоты, препятствует промерзанию и увеличению толщины КС. Так в одной из работ [3] делается вывод, что к концу периода консолидации в районе гребня тороса КС принимает W-образную форму, т.е. под парусом толщина КС наименьшая, и связывают это именно с теплоизолирующими свойствами паруса.

В таблице 1 показаны результаты сделанных по нашим выборкам расчетов основных морфометрических параметров относительно принадлежности к парусу ЛЮ.

Таблица 1. Основные морфометрические параметры (средние значения) торосов и стамух, исследованных методом термобурения в 2007-2015 гг.

Параметр	Торосы (108)			Стамухи (7)		
	Парус/ под парусом	Внепаруса	Все	Парус/ под парусом	Внепаруса	Все
Количество точек	1038 (29 %)	2544 (71 %)	3582	253 (64 %)	145 (36 %)	398
Толщина КС, м	2,36	1,99	2,10	2,10	2,01	2,07
Превышение, м	1,78	0,28	0,72	1,88	0,27	1,29
Глубина кия, м	7,96	5,11	5,93	5,36	4,33	4,98
Общая толщина, м	9,74	5,39	6,65	7,24	4,60	6,27

Как видно из таблицы, толщина КС под парусом в среднем оказалась больше как у торосов (на 19 %), так и у стамух (на 4 %), нежели вне паруса. В упомянутой работе [1] этот факт нами был объяснен тем, что в области паруса в среднем находятся более мощные, нежели вне паруса, участки кия. Таблица 1 демонстрирует: в торосах это проявляется особенно сильно, что связано с характерными особенностями строения ЛЮ. А как нами было отмечено, более мощным участкам кия соответствует в среднем более мощный КС.

Безусловно, вышеописанные закономерности не являются универсальными для абсолютно всех ЛЮ. Представленные здесь расчеты охватывают 12 регионально-годовых локальных выборок (10 выборок по торосам и 2 – по стамухам), и в одной из выборок, состоящей из семи торосов, средняя толщина КС под парусом оказалась меньше, чем вне паруса (на 8 %). Всего же для изучения данного вопроса нами было рассмотрено 14 локальных выборок, объединяющих 145 ЛЮ. И в двух из них (по одной – в торосах и стамухах) была отмечена отрицательная разница в средних толщинах КС под парусом и вне паруса. Возможно, это происходит, когда теплоизолирующий эффект паруса доминирует над влиянием более мощных участков кия под ним в формировании КС. Какие морфометрические характеристики паруса могут сказываться на его теплоизолирующих свойствах? По-видимому, средняя толщина льда в парусе (средняя высота паруса), пористость паруса, средний размер пустот в парусе. Очевидно, чем значения этих характеристик больше, тем процессы промерзания паруса и консолидации под ним более затруднительны, т.е. теплоизолирующий эффект должен быть заметнее. После предварительного анализа данных характеристик можем отметить следующее: в обоих случаях, когда средняя толщина КС под парусом была меньше, нежели вне его, средняя высота паруса превышала 2 м (вообще, средняя высота паруса более 2 м соответствовала трем выборкам из 14, т.е. в одном случае эта закономерность не сработала). В целом, можно констатировать, что вопросы закономерностей распределения пористости и толщины КС в ЛЮ, а также оценка факторов, эти закономерности обуславливающих, требуют более глубокого изучения.

## Литература

1. Павлов В.А., Корнишин К.А., Ефимов Я.О., Миронов Е.У., Гузенко Р.Б., Харитонов В.В. Особенности развития консолидированного слоя гряд торосов в морях Карском и Лаптевых // Нефтяное хозяйство. 2016. №11, С. 49-54.
2. Грищенко В.Д. Морфометрические характеристики гряд торосов на льдах Арктического бассейна// Труды ААНИИ. 1988.Т. 401, С. 46-55.
3. Nøyland K.V., Løset S. Measurements of temperature distribution, consolidation and morphology of a first-year sea ice ridge // Cold Regions Science and Technology. 1999. № 29, P. 59–74.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-05-60109.*

*The study was carried out with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research in the framework of the research project No. 18-05-60109.*