

В.В.ХАРИТОНОВ, В.А.МОРЕВ, В.Л.КУЗНЕЦОВ

ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт

**О РЕЗУЛЬТАТАХ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭВОЛЮЦИИ
КОНСОЛИДИРОВАННОГО СЛОЯ МОЛОДОГО ТОРОСА
В ВЫСОКОШИРОТНОЙ АРКТИЧЕСКОЙ ЭКСПЕДИЦИИ
НА ДРЕЙФУЮЩЕЙ СТАНЦИИ «СЕВЕРНЫЙ ПОЛЮС-33»**

Основным фактором, оказывающим влияние на формирование консолидированного слоя тороса, является количество градусо-дней мороза. Приведено описание эксперимента, целью которого было изучение эволюции консолидированного слоя молодого тороса, образовавшегося на многолетнем льду. Отмечено, что консолидированный слой тороса растет скачкообразно. Толщина КС растет по степенному закону, пока вода, заполняющая пространство между блоками кия тороса, не замерзнет, а затем резко увеличивается на величину, равную толщине нижележащего блока льда.

Для совершенствования расчетов ледовых нагрузок на различные морские сооружения необходимо иметь сведения о прочностных характеристиках торосистых образований. Наибольший интерес представляет консолидированный слой (КС) тороса, представляющий собой самую монолитную его часть. Ошибка в принятых для расчета значениях толщины КС может изменить расчетную нагрузку в несколько раз. Поэтому задача углубления знаний о КС, скорости нарастания его толщины в настоящее время остается актуальной.

Основным фактором, оказывающим влияние на формирование КС, помимо коэффициента заполнения, размеров и формы блоков льда и т.д., является количество градусо-дней мороза, прошедших с момента образования тороса. Понять и оценить степень влияния этих факторов — значит, получить четкое представление о физике процесса консолидации тороса, возможность более обоснованно моделировать его строение и в дальнейшем учитывать толщину КС при расчете ледовых нагрузок и взаимодействия океана и атмосферы.

Эксперимент, о котором говорится в данной статье, был проведен, чтобы добиться большей ясности в вопросе о формировании КС тороса, длительное время подвергающегося воздействию низких температур. По этому вопросу есть ряд работ, описывающих как натурные измерения скорости нарастания КС, например [2, 6], эксперименты на модельных торосах, например [5, 7], так и математическое моделирование процессов нарастания КС, например [1, 4]. На первый взгляд, исследуются одни и те же природные объекты, но опыт показывает, что существуют значительные разногласия в оценках эволюции КС. В апреле 2005 г. в районе дрейфующей станции «Северный полюс-33» в результате сжатия ровного многолетнего льда образовался торос. В течение 138 суток с 13 апреля по 26 августа 2005 г. проводились исследования эволюции КС этого отдельно выбранного молодого тороса. Его особенность заключалась в том, что из-за большой толщины

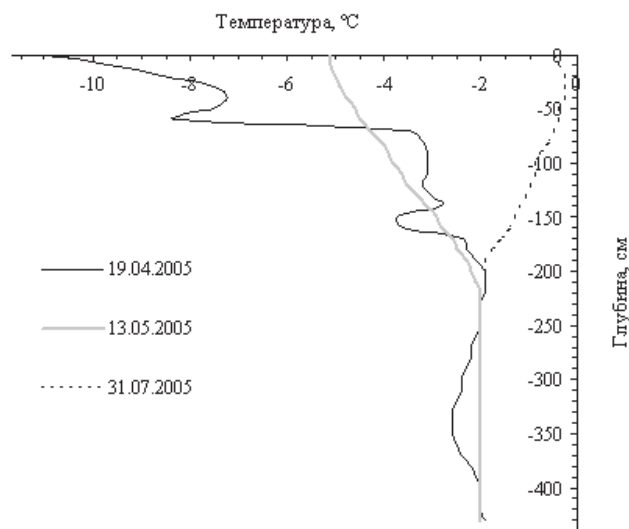


Рис. 1. Распределение температуры кила тороса вдоль скважины

торосающегося льда торос оказался сложным из крупных блоков льда преимущественно в форме параллелепипедов. По визуальной оценке максимальная высота паруса тороса составляла около 2 м.

Через три дня после образования тороса на нем было выполнено электротермобурение двух скважин, и в них установлены полиэтиленовые трубы длиной пять метров с заглушенными нижними концами. В полиэтиленовые трубы был залит антифриз. Выполнен абрис тороса, и проведено измерение геометрических размеров блоков, слагающих надводную часть тороса. Еще через два дня, когда трубы вмерзли в торос, были начаты периодические (сначала через двое суток, а в дальнейшем в среднем через пять суток) измерения температуры антифриза в трубах на разных горизонтах с дискретностью 10 см с помощью измерительного прибора и погружного зонда на размеченном кабеле. На каждом горизонте зонд выдерживался несколько минут, до тех пор, пока не установится температура. При подвижках льда 6 июля из одной скважины трубу с антифризом выдавило на поверхность льда. Во второй скважине измерения успешно выполнялись до окончания работ.

Распределение температуры кила тороса вдоль одной из скважин приведено на рис.1. Скважина была пробурена в месте, где между блоками образовался молодой лед, таким образом, верхняя граница КС находилась на уровне моря. Ход температуры изменялся в зависимости от времени существования тороса и времени года. Сплошная черная линия показывает распределение температуры льда спустя пять суток с момента образования тороса. Как видно, в киле в этот период еще присутствуют блоки льда с температурой заметно ниже температуры замерзания воды. Сплошная серая линия показывает температуру льда спустя месяц с момента образования тороса. Температура выровнялась в пределах КС и изменяется линейно с глубиной. Ниже КС наблюдается гомотермия. Пунктирная линия показывает температуру во время летнего прогрева льда.

При бурении второй скважины был отмечен первый сплошной блок льда, выступающий над уровнем моря на высоту около 30 см, которую можно принять за верхнюю границу КС. Для каждого измерения по распределению температуры

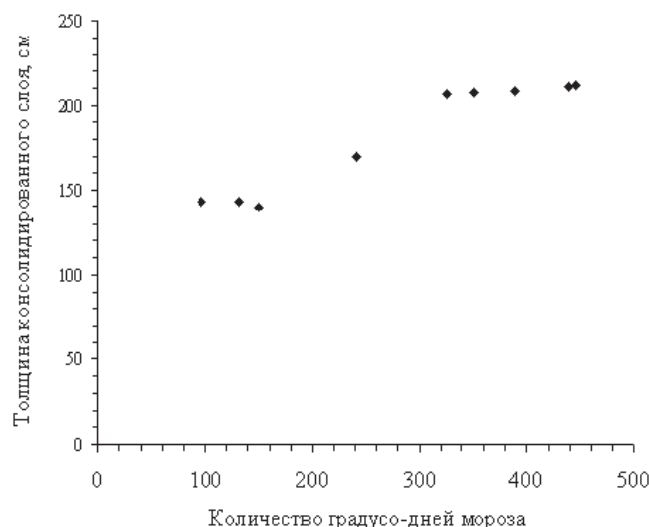


Рис. 2. Скорость нарастания толщины консолидированного слоя молодого тороса, образовавшегося на многолетнем льду

было определено положение нижней границы КС, которая находилась на глубине, где температура льда достигала температуры воды и ниже этой глубины не изменялась. Рассчитывалось количество градусо-дней мороза с момента предыдущего измерения и от момента образования тороса. Таким образом, были получены зависимости толщины КС от количества градусо-дней мороза, прошедших с момента образования тороса. Одна из таких зависимостей приведена на рис. 2.

В первые дни существования тороса произошло быстрое нарастание КС. После 10–14 суток рост толщины КС постепенно замедлился. На зависимости нарастания толщины КС от количества градусо-дней мороза можно выделить два почти горизонтальных участка. В работе [2] приведен график нарастания толщины КС отдельно взятого тороса и толщины окружающего торос ровного льда в зависимости от времени исследования. Сравнивая полученную зависимость с приведенной в работе [2], можно отметить похожий характер нарастания толщины КС. В обоих случаях толщина КС нарастает скачкообразно и зависимости носят ступенчатый характер. В работе [2] также прогнозируется постепенное превышение толщины КС над толщиной ровного льда, однако, судя по приведенным там зависимостям, предпосылки к такому развитию событий отсутствуют.

Модель такого скачкообразного роста КС рассмотрена в работе [7]. Толщина КС будет расти по степенному закону, пока вода, заполняющая пространство между КС и нижележащим блоком льда, не замерзнет, а затем резко увеличится на величину, равную толщине нижележащего блока льда, что и дает скачкообразный рост КС.

Медленное нарастание толщины КС в правой части графика на рис. 2 (4 см за 25 суток) очень хорошо совпадает с расчетной зависимостью для толщины ровного льда по формуле Ю.П.Доронина [3]. Это подтверждает предположение о росте КС как ровного льда в промежутках между скачкообразным его увеличением.

По результатам выполненного эксперимента могут быть сделаны следующие выводы:

- полученные экспериментальные данные хорошо совпадают с результатами ранее проведенных работ других исследователей;

- нарастание толщины КС носит скачкообразный характер;
- толщина КС за рассматриваемый период не превысила толщину окружающего торос ровного льда;
- математический расчет роста КС при условии, что киль тороса рассматривается как однородная среда с заданной пористостью, применительно к торосам из многолетнего льда может дать серьезные расхождения с реальностью. В данном случае целесообразно проводить расчет нарастания КС как ровного льда, периодически (согласно линейному коэффициенту заполнения килля) добавляя к толщине КС значение средней толщины блоков льда, составляющих киль тороса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреев О.М., Иванов Б.В. Одномерная термодинамическая модель эволюции тороса // Метеорология и гидрология. (В печати.)
2. Гордиенко Е.В. Экспериментальное изучение процесса развития однолетних торосов и оценка влияния этого процесса на расчет сооружений шельфа // Труды РАО. С.-Петербург, Россия, 16–19 сентября 2003 г. СПб., 2003. С. 444–448.
3. Доронин Ю.П. К вопросу о нарастании морского льда // Проблемы Арктики и Антарктики. 1959. Вып. 1. С. 78–83.
4. Марченко А.В., Гудошников Ю.П., Зубакин Г.К., Макштас А.П. Термодинамическая консолидация торосов // Тр. ААНИИ, 2004. Т. 449. С. 64–89.
5. Степанов И.В., Лихоманов В.А., Николаев П.М. Физическое моделирование эволюции торосистого образования // Тр. ААНИИ. 2004. Т. 449. С. 90–103.
6. Knut V. Høyland and Sveinung Løset. Experiments and preliminary simulations of the consolidation of a first-year sea ice ridge // Proc. of the 15th Int. Conf. on Port and Ocean Engineering under Arctic Condition, POAC' 99. 1999. Vol. 1. P. 49–59.
7. Surkov G.A. Thickness of the consolidated layer in first-year hummocks // Proc. 16th Int. Conf. on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions, August 12-17, 2001, Ottawa, Ontario, Canada. P. 245–252.

V.V.KHARITONOV, V.A.MOREV, V.L.KUZNETSOV

ON THE RESULTS OF INVESTIGATING THE EVOLUTION OF THE YOUNG ICE RIDGE CONSOLIDATED LAYER DURING THE HIGH-LATITUDINAL ARCTIC EXPEDITION AT THE «NORTH POLE-33» DRIFTING STATION

Main factor influencing the formation of the ice ridge consolidated layer is a sum of degree-days of frost. The experiment aimed at studying the evolution of the consolidated layer of new ice ridge formed on multiyear ice is described. It is noted that the consolidated layer of ice ridge grows irregularly. The consolidated layer thickness increases according to the power law until water filling the space between the ice ridge keel blocks freezes. Then it sharply increases by the value, equal to the thickness of the ice block located below the consolidated layer.