

**Влияние вертикальной неоднородности заполнения киля тороса на скорость его промерзания**

© 2013 г. О.М. Андреев

Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург

*andoleg@ari.ru**Статья принята к печати 20 декабря 2012 г.*Арктика, математическая модель, потоки тепла, термодинамика, торосы.  
Arctic, hammock, heat flux, mathematical model, thermodynamic.

По материалам экспедиционных исследований торосов в юго-восточной и восточной частях Баренцева моря, проведённых специалистами Арктического и Антарктического научно-исследовательского института (ААНИИ) в 2003–2007 гг., сделана попытка выявить характер неоднородности заполнения килевой части тороса по вертикали. Анализировались свежесформированные торосы, сложенные однолетним морским льдом, в котором консолидированный слой либо ещё отсутствовал, либо его толщина не превышала 5–10 см. Обработка данных первичных наблюдений и применение ряда условий позволили установить вертикальное распределение коэффициента заполнения киля тороса. С помощью его аппроксимации оно было использовано в одномерной термодинамической модели торосов, разработанной в ААНИИ для воспроизведения эволюции торосистых образований в Центральной Арктике и арктических морях. Результаты моделирования скоростей промерзания торосов для разных географических объектов показали, что в начальный период киль тороса промерзает интенсивнее, чем это воспроизводила модель ранее. Такое положение согласуется с материалами экспедиционных наблюдений за толщиной консолидированного слоя в торосах. Если проводить расчёты для более продолжительного периода, то разница между данными с использованием предложенной аппроксимации или без неё будет невелика.

**Введение**

Морской ледяной покров Арктического бассейна в природных условиях представляет собой совокупность льдин разного возраста, толщины, размера и формы. Морфометрически это — неоднородный объект. К характерной особенности природного морского ледяного покрова относятся торосы, представляющие собой нагромождения обломков льдин, которые образуются в результате бокового давления ледяных полей друг на друга, а также на берега и мелководные участки дна. Чаще всего они встречаются в Восточно-Сибирском и Чукотском морях, а также в открытой части Северного Ледовитого океана, где их высота над ровным ледяным покровом может превышать 8–10 м. В основном образование торосов характерно для льдов небольшой толщины, т.е. для молодых или однолетних морских льдов. В морях высоких широт именно торосы ограничивают хозяйственную деятельность человека и несут угрозу как для судоходства, так и для эксплуатации нефтегазодобывающих платформ и трубопроводов. Кроме того, в научной литературе последних лет показано, что торосы — один из важнейших факторов, регулирующих теплообмен между океаном и атмосферой в Арктике и влияющих на климат [3, 6, 7].

Торосы имеют пористую структуру, сформированную из льда, воды и воздуха. Та часть тороса, которая находится выше ватерлинии, называется парусом и состоит из блоков льда и воздушных пор, количество которых характеризуется коэффициентом заполнения паруса тороса — отношением объёма, заполненного льдом, к общему объёму паруса. При аэрофотографических или стандартных ледовых наблюдениях именно парус тороса служит объектом исследований. Часть тороса ниже ватерлинии называется килем, который делится на две части: консолидированную, состоящую только из льда, и неуплотнённую, состоящую из блоков льда и поровых пространств, заполненных морской водой или шугой. Количество поровых пространств принято характеризовать коэффициентом заполнения киля тороса, т.е. отношением объёма льда в киле тороса к общему объёму киля. В течение холодного сезона консолидированная часть растёт за счёт действия термодинамических факторов, а неуплотнённая часть эволюционирует под разрушающим термическим и динамическим влиянием окружающей водной среды.

Определение толщины консолидированной части относится к одной из важнейших задач, стоящих перед исследователями. Именно эта часть

киля тороса оказывает основное разрушающее действие на гидротехнические сооружения и препятствует судоходству. Есть основания полагать, что толщина консолидированного слоя также может быть хорошим индикатором короткопериодных климатических изменений.

### Постановка проблемы

Создание термодинамической модели торосистого образования связано с рядом проблем, которые пока препятствуют решению этого вопроса в полном объёме. С одной стороны, применение одномерного подхода к такому трёхмерному объекту, как торос, априори вносит множество упрощений и погрешностей; с другой – трёхмерное моделирование невозможно применять в совместных динамико-термодинамических климатических моделях морского ледяного покрова, более того – оно требует гораздо большей точности в описании самого объекта (это касается и морфометрии, и теплофизики). Данные обстоятельства лишают такую модель универсальности, что в настоящее время считается серьёзным упущением. Исходя из сказанного, в последние годы появился ряд оригинальных работ по термодинамическому моделированию эволюции торосистых образований [7, 8, 12–15], в которых, в основном, используется одномерное приближение, так как оно наиболее легко реализуемо и в то же время отвечает условиям поставленных перед исследователями задач.

Автором настоящей статьи в исследовании [1] также дана характеристика одномерной термодинамической модели тороса с указанием ряда параметров, нуждающихся в уточнении. В первую очередь это связано с неоднородностью вертикального распределения коэффициента заполнения кия тороса. Именно от этой величины в большей степени и зависит скорость роста консолидированного слоя тороса [1, 8]. Однако о самом коэффициенте известно лишь, что обычно его определяют при экспедиционных исследованиях как интегральную величину для всего кия тороса [3, 5, 6]. Это упрощение не всегда соответствует действительности, так как заполнение кия сильно меняется как в горизонтальной плоскости, так и в вертикальной. С горизонтальными колебаниями заполнения связано, например, возникновение так называемых «ядер консолидации». Данный природный феномен отмечается при быстром росте консолидированного слоя на

участках кия тороса с повышенным заполнением, что приводит к выраженной горизонтальной неоднородности фронта консолидации. Особенно это заметно на начальных этапах консолидации при небольшой толщине консолидированного слоя и иногда приводит к ложным выводам об отсутствии консолидированного слоя в торосах как такового. Но поскольку одномерный подход к моделированию позволяет избежать указанных моментов, то на первый план выходит вопрос о неоднородности заполнения кия тороса по вертикали. Решению данной проблемы и посвящено настоящее исследование.

### Исходные материалы и методика исследований

Исходными материалами служили данные экспедиционных исследований торосистых образований, полученные в 2003–2007 гг. специалистами ААНИИ (лаборатория «Арктик-шельф») в юго- и северо-восточной частях Баренцева моря. Объектами работ были однолетние торосистые образования, на которых проводился комплекс морфометрических, физико-механических и теплофизических наблюдений. Внутреннюю структуру торосов исследовали с помощью сквозного вертикального шнекового бурения в точках, находящихся в специальных створах на определённом расстоянии друг от друга. Створы располагались с учётом максимального охвата всей изменчивости морфометрических параметров исследуемого торосистого образования. В процессе бурения оператор фиксировал три состояния толщи торосистого образования: лёд, провал (воздух, вода), шугу. Обязательно фиксировались глубина бурения и вертикальные координаты провалов. Точность измерений определялась характеристиками используемого оборудования и обычно составляла  $\pm 0,05$  м.

Одним из критериев отбора данных для дальнейшего анализа выбрано десятикратное превышение глубины кия над средней толщиной блока, из которого слагались наблюдаемые торосы (0,45 м). Другой критерий отбора – отсутствие консолидированного слоя (или его толщина не более 5–10 см). Из всего массива наблюдений (1014 точек с записями) указанным критериям отбора соответствовали только точки в ярко выраженных свежееобразованных торосистых образованиях с килем, толщиной более 4,5 м. Следующий шаг – исключение точек наблюдений на стамухах. Это связано с тем, что киль стамух при взаимодействии с грунтом уплотняется и вертикальная

структура его заполнения изменяется. В рамках настоящего исследования это обстоятельство также было критерием отбраковки данных, которые в дальнейшем будут обязательно проанализированы. В результате отбора сформирован массив из 112 записей точек наблюдений. Поскольку при дальнейшем анализе парус тороса в рассмотрении не участвовал, записи рассматривались с учётом двух состояний среды: лёд или провал (жидкая фаза, шуга). Процедура обезразмеривания и разбиения килы тороса на десять равных слоёв по вертикали позволила получить процентное содержание провалов (пор) в каждом полученном слое для каждой записи. При суммировании записей выведено среднее вертикальное послойное распределение поровых пространств в киле тороса.

В качестве тестовой модели для дальнейших исследований принята одномерная термодинамическая модель эволюции тороса, рассмотренная в работе [1]. Возможность её использования при моделировании торосов анализируется в исследованиях [4, 7, 13, 14]. В нашей модели делается предположение, что в парусе тороса поровые воздушные пространства изолированы и не связаны с атмосферой. В киле же тороса поры обязательно свободно связаны с нижележащими слоями воды. Это упрощение позволяет не учитывать в термодинамической модели тороса уравнение диффузии соли и избыточное давление, возникающее при замерзании воды в замкнутом пространстве. Отметим также, что блоки льда, слагающие киль тороса, имеют температуру, равную температуре замерзания воды [6, 7, 12]. Консолидированный слой формируется в результате замерзания морской воды, заполняющей поровые пространства между кусками льда внутри килы тороса, а под промерзанием торосистого образования понимается увеличение толщины консолидированного слоя. Треугольная форма паруса тороса [6, 12] учитывается путём следующего преобразования: парус тороса в модели представляется в виде прямоугольника, ширина основания которого равна ширине основания треугольника, а высота вычисляется исходя из равенства площадей, занимаемых парусом тороса в виде треугольника и прямоугольника. При расчёте радиационного баланса поверхности учитывается дополнительный множитель, показывающий, во сколько раз длина поверхности паруса тороса (треугольного) больше размера его основания [1].

Система уравнений для определения толщины консолидированного слоя (при отсутствии

снега на поверхности тороса) будет иметь следующий вид:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = (a\gamma_1 + a_{air}(1-\gamma_1)) \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{1}{c\rho} \frac{\partial I_0}{\partial z}; 0 \leq z \leq h; \quad (1)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{1}{c\rho} \left( \frac{\partial \lambda}{\partial z} \frac{\partial T}{\partial z} + \frac{\partial I_0}{\partial z} \right); h \leq z \leq H. \quad (2)$$

Граничные условия:

$$z = 0 \quad \lambda \left. \frac{\partial T}{\partial z} \right|_{z=0} = \Phi;$$

$$z = h \quad h(\lambda\gamma_1 + \lambda_{air}(1-\gamma_1)) \left. \frac{\partial T}{\partial z} \right|_{z=h-0} = \lambda \left. \frac{\partial T}{\partial z} \right|_{z=h+0};$$

$$z = hT(t, z_{h-0}) = T(t, z_{h+0});$$

$$z = HT_z(t, H) = \Theta;$$

$$\frac{\partial H}{\partial t} = \frac{1}{(1-\gamma_2)} \frac{1}{L\rho} \lambda \left. \frac{\partial T}{\partial z} \right|_{z=H} - \Phi_w,$$

где  $\gamma$  – коэффициент заполнения надводной – формула (1) или подводной – формула (2) частей тороса;  $h$  – высота паруса тороса;  $H$  – толщина консолидированного слоя;  $a$  – коэффициент теплопроводности льда или воздуха;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности льда или воздуха;  $t$  – время;  $T$  – температура;  $z$  – вертикальная координата;  $L$  – эффективная теплота плавления;  $c$  – коэффициент эффективной теплоёмкости;  $\rho$  – плотность;  $\Phi_w$  – поток тепла от воды;  $\Phi$  – суммарный поток тепла на границе «лёд (парус тороса) – атмосфера», включающий в себя коротко- и длинноволновые радиационные балансы поверхности льда и вертикальные турбулентные потоки явного и скрытого тепла;  $I_0$  – поток коротковолновой солнечной радиации, проникающей в среду;  $\Theta$  – температура замерзания морской воды.

При такой постановке задачи высота паруса тороса считается заданной величиной, а глубина килы ограничивает максимально возможную глубину промерзания тороса. Фазовый переход сосредоточен на плоском фронте внутри килы тороса. При наличии снежного покрова на поверхности тороса в систему добавляют уравнение теплопроводности для снега и условие склейки потоков на границе «снег–парус». Таяние снежного покрова и консолидированного слоя рассчитывается аналогично приведённому в работе [2], а таяние паруса тороса вычисляется с учётом коэффициента заполнения в работе [1].

### Результаты исследований

Полученное среднее вертикальное послойное распределение поровых пространств (пористость) в киле тороса хорошо ( $R^2 = 0,94$ ) аппроксимируется простой степенной зависимостью следующего вида:

$$v = 0,1 + 0,58\xi - 0,27\xi^2, \quad (3)$$

где  $\xi$  – безразмерная вертикальная координата в киле тороса; начало координат – граница парус–киль.

Учитывая, что пористость – величина, обратная коэффициенту заполнения ( $\gamma = 1 - v$ ), по выражению (3) легко получить вертикальное распределение заполнения для любой толщины кила тороса. Отметим, что средняя для всего кила тороса пористость, рассчитанная по выражению (3), равна 30%, что согласуется с оценками, приведёнными в исследованиях [5, 6]. Из выражения (3) также следует, что заполнение в верхней части кила тороса больше заполнения в нижней части. Это связано с действием архимедовых сил, которые позволяют небольшим блокам или их обломкам всплывать в промежутках между крупными блоками на начальном этапе формирования тороса. Здесь важен и генезис тороса.

Чтобы установить влияние вертикального распределения коэффициента заполнения килевой части на скорость роста консолидированного слоя, были выполнены модельные расчёты для тороса, имеющего характерные (средние) параметры для высоких широт Арктического бассейна. Исходя из материалов работ [5, 6, 10, 11], мы выбрали характерный размер высоты паруса и глубины кила тороса, равные 2,4 и 11,0 м соответственно. Важное условие проведения вычислений – нахождение моделируемых торосов в пределах  $80-82,5^\circ$  с.ш. для всего расчётного периода. С учётом этого подбирались внешние параметры модели – характеристики атмосферы и потока коротковолновой солнечной радиации. Определяющий параметр для расчётов – среднегодовой ход среднесуточной температуры приземного слоя воздуха – получен из массива данных реанализа NCEP. Содержащиеся в нём среднемесячные температуры за 1948–2008 гг. для заданной широты усреднялись, а затем аппроксимировались для получения среднесуточных значений. Расчёт вели для двух вариантов заполнения кила тороса: рассчитанного по предложенной зависимости (3) и среднего значения для кила, равного 70%. Коэффициент заполнения паруса принят

### Варианты расчёта толщина консолидированного слоя модельного тороса

Расчётный период (годовой цикл)	Толщина консолидированного слоя модельного тороса при среднем значении коэффициента заполнения кила тороса (числитель) и при расчёте с учётом формулы (3) (знаменатель)
1	2,07/2,80
2	4,73/5,08
3	5,24/5,52
4	6,00/5,71

равным 90%. Выбранные значения коэффициентов заполнения кила и паруса – наиболее часто встречающиеся при наблюдениях в Арктике [6]. Данные расчётов сравнивали с результатами аналогичных вычислений, но выполненных без учёта вертикального распределения коэффициента заполнения, которые приведены в работе [1].

В таблице даны результаты расчётов толщины консолидированного слоя для одно- и многолетних торосов, полученные с помощью разных методов учёта заполнения килевой части. Видно, что толщина консолидированного слоя однолетнего тороса не превышает 3 м, а двухлетнего – 5 м вне зависимости от используемого метода. Это неплохо согласуется с данными наблюдений, приведёнными в исследованиях [10, 11]. Учитывая, что морской лёд в Центральной Арктике в среднем выносится трансарктическим потоком через 3–4 года [9], расчёт ограничивали пятью годовыми циклами. Если проанализировать результаты расчётов на более долгий срок (например, при условии попадания тороса в Канадский круговорот), то необходимо отметить, что за 5–6 лет консолидированный слой тороса достигает своей равновесной толщины и расчёты на больший период нецелесообразны.

Кроме того, установлено, что при использовании средних значений высоты и толщины паруса и кила тороса толщина консолидированного слоя многолетнего тороса вряд ли превысит 6,5 м. Если оценивать по большим значениям высот и толщин паруса и кила, то подтверждается сделанный ранее вывод [1], что средняя многолетняя толщина консолидированного слоя арктических торосов не должна превышать 8 м. Конечно, в представленном модельном результате, как и ранее, не учитывался известный механизм просачивания талых вод из паруса тороса к его килу и замерзания их при соприкосновении с холод-

ными морскими водами, что должно приводить к значительному увеличению толщины консолидированного слоя. Но и препятствующие промерзанию механизмы, среди которых – поток тепла от нижележащих слоёв воды или замерзание замкнутых поровых пространств, заполненных рассолом и шугой, при расчётах во внимание также не принимались. Анализ таблицы показывает, что модельный расчёт эволюции консолидированного слоя с учётом вертикальной неоднородности заполнения приводит к росту его толщины более чем на 35% для однолетнего тороса, незначительным отличиям в толщинах для двух- и трёхлетних торосов и к снижению толщины для многолетнего тороса. Последнее связано с заложенной в расчётах толщиной килля. Если толщина килля будет большей, то снижение наступит позже, если меньшей – снижения может не наступить ввиду полного промерзания килля, например, на втором году жизни.

Аналогичные расчёты для однолетних (сезонных) торосов в Карском, Каспийском и Охотском морях показали, что увеличение расчётной толщины консолидированного слоя при использовании в модели выражения (3) находится в пределах 30–90%. Связано это, в основном, с продолжительностью холодного периода и морфометрическими размерами торосов. Чем меньше период промерзания и больше (глубже) киль тороса, тем интенсивнее происходит промерзание. Эта особенность – важнейший фактор при расчётах консолидированного слоя торосистых образований в морях с сезонным морским ледяным покровом. Именно в таких морях уже ведётся и планируется в дальнейшем хозяйственная деятельность человека. Заниженные оценки толщины консолидированного слоя, полученные без учёта вертикального распределения заполнения, могут привести к большим материальным затратам ввиду разрушения хозяйственных объектов (нефтяные вышки, буровые платформы, трубопроводы и т.д.) или нарушения их деятельности.

### Заключение

Исследование проводилось исходя из предположения о наличии подобия (автомодельности) вертикального распределения заполнения в киле сформировавшегося тороса. Несомненно, что оно нуждается в подтверждении данными натурных измерений, но планомерно такие исследования пока не ведутся. Отброшенные в ходе анализа данные по вертикальным профилям заполне-

ния для килей торосов, имеющих толщину менее 4,5 м, представляют собой значительный по объёму материал, который не учитывался в полученных результатах. Исключение этих данных из обработки обусловлено как значительным влиянием на предполагаемую толщину блоков льда, из которых слагается торос (а также их наслоения), так и со связанным с этим фактом резким локальным увеличением заполнения для небольших (компактных) торосов. В данном исследовании основное внимание уделено мощным торосам с хорошо развитым килем, так как именно такие торосы угрожают хозяйственной деятельности и судовождению и обычно становятся объектами прикладных и модельных исследований. Насколько допустимо применение полученной функции вертикального распределения заполнения к торосам меньших размеров – вопрос дискуссионный. Согласно ряду публикаций [3, 6, 13], общее заполнение килля небольших торосов выше, чем у использованных в этой работе, но специального анализа пока не было.

Отдельно необходимо обсудить вопрос о торосах, возникающих на границах многолетних полей или в результате схлопывания разводий. С одной стороны, образованный торос – свежий, с другой – налицо разительная разница в геометрических размерах блоков, слагающих киль и парус тороса. Нередко парус такого тороса сложен блоками морского льда толщиной 30–50 см, а киль – блоками, толщиной 1,5–2,5 м. Результаты вертикального термического бурения трёх таких торосов, выполненного В.В. Харионовым на дрейфующей станции «Северный полюс-38», показали, что вертикальное распределение пористости отличается от распределения вида (3), что связано со значительно бóльшим заполнением в верхней части килля. Можно предположить, что здесь велико влияние верхних блоков килля тороса, не позволяющее исключить их из анализа, но фактически уже представляющих собой консолидированный слой. В настоящем исследовании данные этих наблюдений (90 точек с записями) отброшены, но в дальнейшем планируется их учитывать.

Выполненные модельные исследования позволяют сделать несколько важных выводов.

1. Увеличение толщины консолидированного слоя внутри килля однолетнего (сезонного) тороса происходит быстрее, если в модели учитывается вертикальная неоднородность заполнения килля. Данная особенность – важнейший фактор при

расчётах консолидированного слоя торосистых образований в морях с сезонным морским ледяным покровом. Именно к таким морям приурочена хозяйственная деятельность человека. Заниженные оценки толщины консолидированного слоя, полученные без учёта вертикального распределения заполнения, могут привести к большим материальным и техническим затратам ввиду разрушения хозяйственных объектов (нефтяные вышки, буровые платформы, трубопроводы и т.д.) или нарушения их деятельности.

2. Учёт вертикальной неоднородности заполнения кия тороса приводит к значительному росту расчётной толщины консолидированного слоя на начальных этапах жизни многолетнего тороса и к снижению в последующие. Прослеживается чёткая взаимосвязь между морфометрическими параметрами (глубиной) кия тороса и количеством нарощенного/стаявшего за сезон льда.

3. Толщина консолидированного слоя модельного многолетнего тороса в Арктике, вне зависимости от метода расчёта заполнения кия, не превышает 6,5 м. Этот вывод получен на основании модельных расчётов и должен расцениваться как оценка, учитывающая все допущения и упрощения, присущие изложенной модели.

**Благодарности.** Автор выражает благодарность сотрудникам лаборатории «Арктик-шельф» ААНИИ, а также В.В. Харитонову (ААНИИ) за предоставленный первичный материал, ценные советы и замечания.

### Литература

1. Андреев О.М. Термодинамическое моделирование эволюции торосистых образований в Арктическом бассейне // Лёд и Снег. 2011. № 1 (113). С. 69–74.
2. Андреев О.М., Иванов Б.В. Параметризация радиационных процессов в модели ледяного покрова // Метеорология и гидрология. 2001. № 2. С. 81–88.
3. Астафьев В.Н., Сурков В.Н., Трусков П.А. Торосы и стамухи Охотского моря. СПб.: Прогресс–Погода, 1997. 184 с.
4. Бузуев А.Я., Шестериков Н.П. Зависимость средней толщины припайного льда от торосистости // Проблемы Арктики и Антарктики. 1969. Вып. 32. С. 30–36.
5. Гудошников Ю.П., Зубакин Г.К., Наумов А.К. Морфометрические характеристики ледяных образований Печорского моря по многолетним экспедиционным данным // Тр. РАО-03 Санкт-Петербург, 16–19 сентября 2003. 2003. С. 295–299.
6. Ледяные образования морей западной Арктики / Под ред. Г.К. Зубакина. СПб.: изд. ААНИИ, 2007. 256 с.
7. Марченко А.В. Влияние консолидации торосов на тепловые потоки из океана в атмосферу // Тр. ААНИИ. 2003. Т. 446. С. 150–164.
8. Марченко А.В., Гудошников Ю.П., Зубакин Г.К., Макштан А.П. Термодинамическая консолидация торосов // Тр. ААНИИ. 2004. Т. 449. С. 64–89.
9. Морской лёд / Под ред. И.Е. Фролова, В.П. Гаврило. СПб.: Гидрометеиздат, 1997. 402 с.
10. Харитонов В.В., Морев В.А., Кузнецов В.Л. О результатах исследования эволюции консолидированного слоя молодого тороса в высокоширотной арктической экспедиции на дрейфующей станции «Северный полюс-33» // Проблемы Арктики и Антарктики. 2008. Вып. 75. С. 119–122.
11. Харитонов В.В., Морев В.А. Торосы в районе дрейфующей станции «Северный полюс-35» // Метеорология и гидрология. 2009. № 6. С. 68–73.
12. Hoyland K.V. Simulations of the consolidation process in first-year ice ridges // Cold Region Science and Technology. 2002. № 34. P. 143–158.
13. Lepparanta M., Lensu M., Kosloff P., Veitch B. The life story of a first-year sea ice ridge // Cold Region Science and Technology. 1995. № 23. P. 279–290.
14. Schramm J., Flato G., Curry J. Toward the modeling of enhanced basal melting in ridge keels // Journ. of Geophys. Research. 2000. V. 105. № C6. P. 14081–14092.
15. Timco G.M., Burden R.P. An analysis of the shapes of sea ice ridges // Cold Region Science and Technology. 1997. № 25. P. 6577.

### Summary

Field data on ice ridges in the south-eastern and eastern parts of the Barents Sea collected by specialists of the Arctic and Antarctic Research Institute (AARI) in 2003–2007 have been used in attempt to understand the vertical inhomogeneity of the ridge keels filling. New ridges originated from one-year sea ice (with no consolidated layer or less than 5–10 cm thick) have been analyzed. Reduction of original observations under certain additional assumptions has allowed to formulate the vertical distribution of the ridge keel fill factor. This approximation has been applied in one-dimensional thermodynamic ridge model developed in AARI to simulate the ice ridges behavior in the Central Arctic and Arctic seas. The modeling of ridge freezing rates for different geographical sites has shown the more intensive freezing of ridge keels in initial stage than expected from previous modeling runs. The new results are consistent with field observations on consolidated layer thickness in ridges. Model calculations for a longer period show no big difference in results obtained with or without the approximation proposed.