

МАКСИМАЛЬНАЯ ОСАДКА КИЛЕЙ ГРЯД ТОРОСОВ В ГЛУБОКОВОДНОЙ ЧАСТИ СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА

канд. техн. наук В.С. ПОРУБАЕВ

ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, e-mail: pvs@aari.ru

ВВЕДЕНИЕ

Гряды торосов являются важной характеристикой ледяного покрова. Неравномерность скорости дрейфа льда вызывает сжатия и разряжения в ледяном покрове. При сжатиях происходит процесс торосообразования, в результате которого формируются гряды торосов с большой глубиной их подводной части. По степени опасности ледяных образований в море торосы располагаются после айсбергов и ледяных островов, но, в отличие от них, гряды торосов более многочисленны. Частота их с осадкой более 9 м в центральной глубоководной части Северного Ледовитого океана в зависимости от района весной изменяется от 0,3 до 9,0 гряд на 1 км пути. Осенью частота килей с такой осадкой несколько меньше. Максимальное ее значение не превышает 7 единиц на км пути.

Кили гряд торосов с большой осадкой оказывают негативное воздействие на плавание надводных и всплытие подводных кораблей. Дрейфующие гряды торосов могут попадать в окраинные моря, где глубина моря в некоторых районах сравнима с осадкой килей гряд торосов. На мелководье в результате дрейфа кили гряд торосов вызывают экзарацию дна, что представляет опасность для придонных технических сооружений.

При контакте гряды тороса с дном дрейф ее может прекратиться, и в этом месте образуется стамуха. Дрейфующие поля льда, наталкиваясь на стамуху, увеличивают ее размеры, как по вертикали, так и по горизонтали. Стамухи представляют опасность для судоходства и технических морских сооружений. Максимальная глубина моря, на которой могут формироваться стамухи, определяется максимально возможной глубиной килей гряд торосов, которые образовались в конкретном районе или появились здесь вследствие дрейфа из других районов океана.

Масштабные исследования нижней поверхности ледяного покрова северной полярной области, важной особенностью которой являются кили гряд торосов, производятся с бортов атомных подводных лодок (АПЛ) при попутных наблюдениях. Такие наблюдения проводятся в глубоководной части Северного Ледовитого океана.

Глубоководная часть Северного Ледовитого океана не связана с границами морей и определяется только глубиной условно выбранной изобаты. При необходимости ограничивающая изобата может изменяться в зависимости от решаемых задач. Поэтому в данной статье глубоководной частью Северного Ледовитого океана называется

акватория, где АПЛ производили съемку рельефа нижней поверхности ледяного покрова. Эта глубоководная часть включает в себя центральную приполюсную область, северные окраины морей Гренландского, Бофорта, Лаптевых и пролив Фрама.

ГЕОГРАФИЯ РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЯ ГРЯД ТОРОСОВ

При упоминании района исследования возникают трудности, связанные с разграничением окраинных морей и центральной акватории Северного Ледовитого океана.

Несмотря на многолетнюю историю научных исследований Арктики, до сих пор существуют неточности в описании границ центральной части Северного Ледовитого океана. Связано это не только с тем, что северные границы арктических морей Сибири, принятые в России, отличаются от границ, принятых Международной гидрографической организацией. Хотя в России границы арктических морей и их названия законодательно определены, для обозначения центральной части Северного Ледовитого океана однозначного названия нет, и часто употребляется название Арктический бассейн. Попытки решить вопросы с границами и названиями в Северном Ледовитом океане предпринимались давно.

Решить такие вопросы пытались в 1966 г. ученые США. Группа американских ученых разработала предложения по стандартизации названий в Северном Ледовитом океане. Их предложения были высланы директору Арктического и антарктического научно-исследовательского института (ААНИИ).

Для создания взаимно приемлемой системы названий Северного Ледовитого океана была организована инициативная группа советских ученых под председательством директора ААНИИ А.Ф. Трёшников. Эта группа, проделав большую работу, в части географических названий, сославшись на постановление Президиума ЦИК СССР (протокол № 10 от 27 июня 1935 г.), предложила для всего океана, включая и окраинные моря, сохранить название Северный Ледовитый океан (СЛО). В СЛО входят 11 морей, границы которых определены вышеуказанным постановлением и опубликованы в пособии (Границы океанов и морей, 1960). По этому постановлению к Северному Ледовитому океану относятся моря: Норвежское, Гренландское, Баренцево, Белое, Карское, Лаптевых, Восточно-Сибирское, Чукотское, Бофорта, Баффина, Линкольна.

Особенностью этого постановления было то, что географическое название центральной приполюсной акватории Северного Ледовитого океана, которая расположена севернее границ окраинных морей, не было определено.

Предложенное инициативной группой ААНИИ название Арктический бассейн (Трёшников А.Ф. и др., 1967) для глубоководной части океана, ограниченной изобатой 2 км, привело к тому, что часть океана между северными границами некоторых морей и Арктическим бассейном оказалась без названия, так как севернее некоторых морей глубина составляет менее двух километров. С другой стороны, северные окраины морей Лаптевых, Бофорта и Гренландского формально стали относиться к Арктическому бассейну, так как имеют глубину более 2 км. Неточности в границах Арктического бассейна произошли из-за того, что для обозначения его водной поверхности было использовано понятие из геоморфологии — абиссаль, применяемое для обозначения поверхности дна.

В документе Международной гидрографической организации (Limits of Oceans and Seas, 1953) центральная часть Северного Ледовитого океана, исключая окраинные моря, называется Арктическим океаном (Arctic Ocean). В России, напротив, как уже указано выше, Северным Ледовитым океаном называется центральная часть вместе

с окраинными морями. В документе Международной гидрографической организации северные границы морей Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского существенно отличаются от границ, определенных постановлением Советского правительства. Документ в настоящее время выставлен на сайте Международной гидрографической организации, что дает основание считать, что никаких существенных изменений с 1953 г. до настоящего времени в него внесено не было.

При отсутствии общепринятых границ поверхности центральной части СЛО название Арктический бассейн в данной статье предлагается применять к части СЛО, находящейся вне морей за пределами их северных границ, независимо от глубины места. Таким образом, границы Арктического бассейна будут определены северными границами морей СЛО, если они на севере не граничат с другими морями, что не противоречит постановлению Президиума ЦИК СССР (протокол № 10 от 27 июня 1935 г.).

Описываемая в данной статье максимальная осадка килей гряд торосов относится в основном к Арктическому бассейну, а также к северным окраинам некоторых арктических морей. Условия формирования гряд торосов в Арктическом бассейне и в его окраинных морях различны, хотя четкой границы в этом отношении нет. Гряды торосов в результате дрейфа постоянно перемещаются. Большое количество гряд торосов из Арктического бассейна выносятся в Гренландское море через пролив Фрама. Особенности генерального дрейфа ледяного покрова в Северном Ледовитом океане таковы, что арктические моря сибирского шельфа во многом являются поставщиком гряд торосов и ровного льда в Арктический бассейн.

МАКСИМАЛЬНАЯ ОСАДКА КИЛЕЙ ГРЯД ТОРОСОВ

Представляет интерес рассмотреть измеренную максимальную толщину подводной части гряды тороса, которая называется глубиной или осадкой киля гряды тороса. В работе использованы исходные данные по рельефу нижней поверхности ледяного покрова глубоководной части СЛО, заимствованные на сайте американского центра снега и льда (NSIDC, 1998). На этом сайте представлены данные измерений осадки льда через 1 м вдоль маршрута движения американских и английских атомных подводных лодок (АПЛ).

АПЛ могут, кроме гряд торосов, фиксировать осадку таких ледяных объектов, как айсберги и ледяные острова. Обычно АПЛ избегают встречи с айсбергами, но возможность осуществить съемку нижней поверхности айсберга или ледяного острова существует.

Как описано в работе (Кессель, 2005), ледяные острова образуются у северного побережья о. Элсмир, отрываясь от шельфового льда или многолетнего припая. Вовлекаясь в антициклонический круговорот, ледяные острова могут достигать северной части морей Бофорта, Чукотского, Восточно-Сибирского и акватории к северу от моря Лаптевых. Примером могут служить данные советской дрейфующей станции СП-24, которая базировалась на ледяном острове и летом 1978 г. дрейфовала в северной части Восточно-Сибирского моря. В этом же районе дрейфовала на ледяном острове американская научная станция Т-3 весной и летом 1980 г.

Наиболее мощными в Северном Ледовитом океане являются гренландские айсберги. Однако появление их в Арктическом бассейне маловероятно. Такие айсберги образуются при сползании ледников с восточного и западного побережья Гренландии и дрейфуют на юг в сторону Атлантического океана. В северной части Гренландии край ледникового щита располагается на большом удалении от моря, и

айсберги здесь не образуются. Источниками айсбергов в Северном Ледовитом океане, в частности, являются ледники островов Земли Франца-Иосифа, Северной Земли, архипелага Де-Лонга, которые, сползая в море, превращаются в айсберги, обломки и куски айсбергов (Захаров, 1996).

По данным АПЛ максимальная осадка льда определялась по участкам маршрута различной длины. В случае прямолинейного движения АПЛ с постоянной скоростью длина участка, как правило, равна 50 км. Однако нередко длина участка была существенно меньше. Для таких участков определялись различные ледовые характеристики, в том числе и максимальная осадка льда, которая, как правило, соответствует килям гряд торосов. В работе поверхность СЛО была разбита параллелями и меридианами на четырехугольники, равные по площади 50 тыс. км². Для каждого из этих четырехугольников определялась максимальная осадка килями гряд торосов, определенная на маршрутах АПЛ, попадающих в эти площадки. Следует отметить, что встречались площадки СЛО, по которым не было данных. В этом случае производилась интерполяция значений осадки гряд торосов.

Чтобы исключить из рассмотрения осадку айсбергов, ледяных островов и ошибочные данные были проанализированы профили рельефа нижней поверхности ледяного покрова с осадкой более 25 м. Несмотря на то, что маршруты АПЛ охватывают большое пространство глубоководной части СЛО, количество гряд торосов с осадкой более 30 м было невелико.

Примеры исходных данных большой осадки льда и координаты мест, где она была зафиксирована, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Примеры значения большой осадки льда в Арктическом бассейне по данным АПЛ

Название АПЛ	Макс. осадка льда килями, м	Широта, градусы с.ш.	Долгота, градусы	Дата	Примечание
Sbmr_86a	36,55	85,85	-117,34	25.05.86	Гряда тороса (рис. 1а)
USS Billfish	58,03	83,95	-155,62	15.04.87	Айсберг (рис 1б)
USS Archerfish	28,3	85,01	157,18	24.09.97	Гряда тороса
USS Archerfish	36,93	84,91	158,59	24.09.97	Айсберг
HMS Superb	49,05	89,95	-35,55	17.05.87	Айсберг
UK91	62,07	86,71	-0,14	22.04.91	Ошибка измерений
USS Flyingfish	36,74	87,95	-39,64	15.04.77	Гряда тороса
USS Silversides	29,43	89,36	-163,29	15.09.89	Гряда тороса
HMS L2_92	56,05	82,75	-149,85	15.04.92	Ошибка измерений

Анализ профиля рельефа нижней поверхности ледяного покрова показал, что большая осадка льда в преобладающем количестве случаев принадлежит килям гряд торосов. Причем максимальная осадка килями не превышала 37 м. Айсберги встречались реже, но их осадка в отдельных случаях приближалась к 60 м.

Чтобы отличить гряду тороса от айсберга, строился график профиля рельефа нижней поверхности льда. Главным отличием гряды тороса от айсберга в данном случае являлась форма подводной части ледяного образования. Гряды торосов имеют треугольную или иногда трапециевидную форму киля (Миронов, Порубаев, 2011). Подводная часть айсберга, хотя не всегда имеет прямоугольную форму, все же имеет характерный рельеф, что позволяет отличить их от гряд торосов. Примеры профиля нижней поверхности гряды тороса и айсберга приведены на рис. 1.

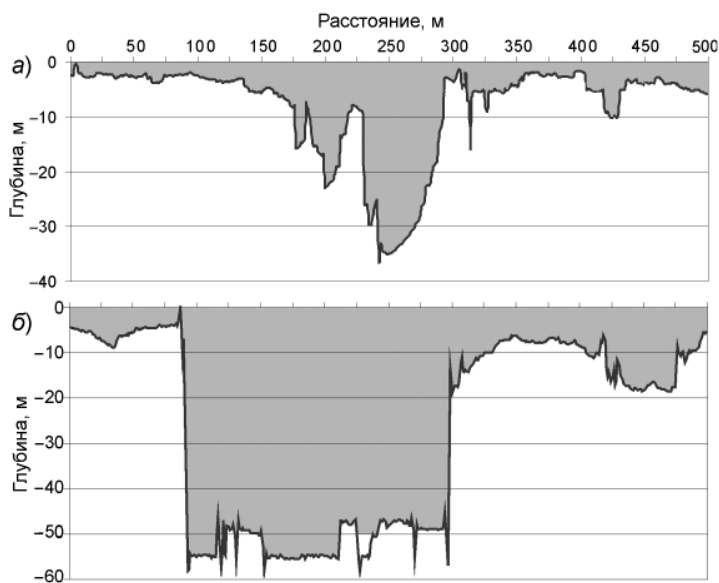


Рис. 1. Рельеф нижней поверхности гряды тороса (а) и айсберга (б) в Северном Ледовитом океане по данным подводных лодок.

Вероятность того, что айсберги были идентифицированы как гряды торосов, невелика, хотя все же существует, так как главным отличием гряд торосов от айсбергов (кроме размеров) является внутренняя их структура, которую оценить по данным сонаров не представляется возможным. Основным отличием гряды тороса от айсберга (при сравнимости их размеров) является ее консолидированный слой.

Консолидированный слой гряды тороса представляет собой монолит, в который смерзлись ледяные блоки в слое, близком к поверхности воды. Он простирается до глубины в среднем 2–4 м. При этом отдельные вмержшие в него ледяные блоки, могут возвышаться над уровнем воды или распространяться в глубину от среднего уровня нижней поверхности консолидированного слоя. Толщина консолидированного слоя при этом в отдельных точках может достигать 6–8 м. Выше и ниже консолидированного слоя гряды тороса располагается хаотическое нагромождение ледяных блоков, которое составляет основную часть паруса и киля гряды тороса, в то время как айсберги почти полностью состоят из монолитного льда.

Кроме айсбергов в Северном Ледовитом океане встречаются обломки айсбергов, высота над водой которых находится в диапазоне 1–5 м, а также куски айсбергов с высотой над водой менее 1 м. При одинаковом объеме гряды тороса и обломка айсберга, последний представляет собой большую опасность для судов, чем гряда тороса. Однако однозначно идентифицировать обломок и тем более кусок айсберга в сплошном ледяном покрове по спутниковым снимкам, по данным судового локатора и даже иногда при непосредственном визуальном наблюдении не всегда представляется возможным. Так, во время экспедиции сотрудников ААНИИ на ледоколе «Ямал» весной 2014 г. в море Лаптевых один ледяной объект при визуальном осмотре был определен как гряда тороса. В пользу этого свидетельствовали высота его паруса около 4 м и нагромождение ледяных блоков на его поверхности. Однако термобурение показало, что в реальности ледяной объект — обломок айсберга. По-

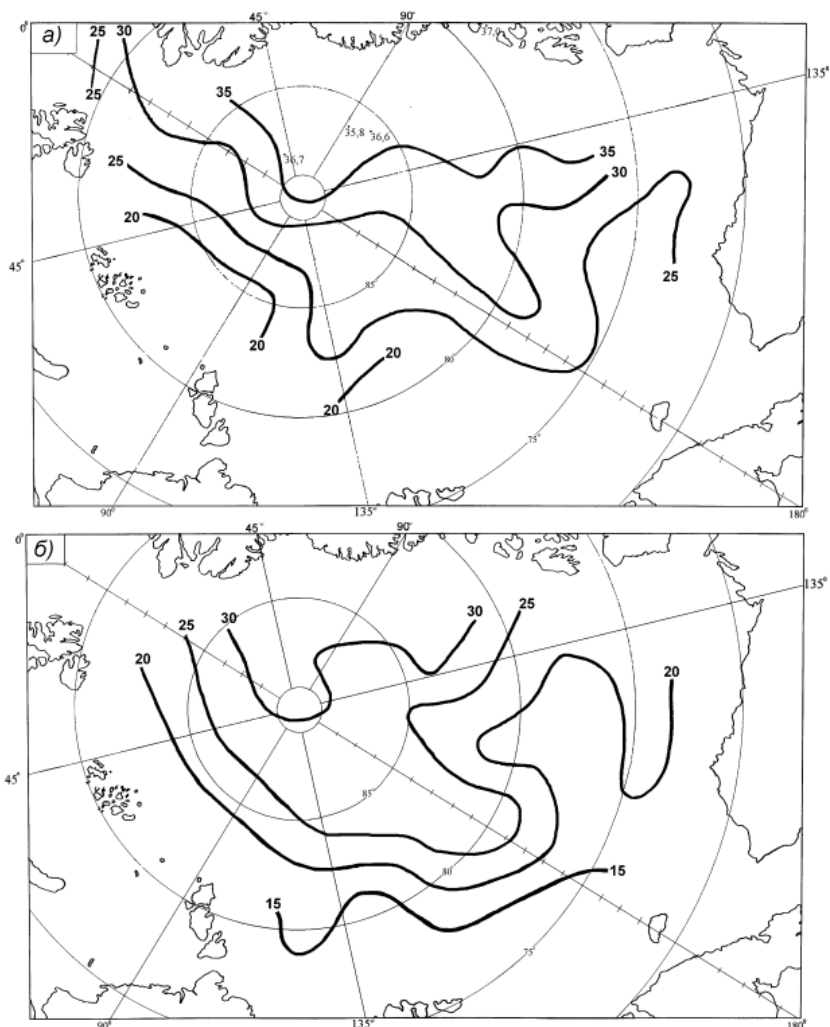


Рис. 2. Максимальная измеренная осадка килей торосов, м для весеннего (апрель–июнь, *a*) и осеннего (август–октябрь, *b*) сезонов.

этому важным является маркировка айсбергов радиобуями и последующее слежение за их движением.

В результате работы с исходными данными подводного профилирования нижней поверхности ледяного покрова были выделены кили гряд торосов с большой осадкой льда. Все значения осадки льда, не относящиеся к грядам торосов, были исключены из рассмотрения. Максимальные значения осадки килей гряд торосов были нанесены на карты (рис. 2). Значения максимальной осадки килей для весны (апрель–июнь) и осени (август–октябрь) различаются. Осадку килей гряд торосов в весеннее время несколько превышает осадку, наблюдаемую в осеннее время. Такое превышение в большинстве районов составляет около 5 м.

Анализ исходных данных показал, что максимальная осадка килей гряд торосов увеличивается от северных окраин морей сибирского шельфа по направлению

к Канадскому Арктическому архипелагу и Гренландии. Наибольшую осадку килей гряд торосов следует ожидать в районе от полюса в сторону Гренландии и Канадского Арктического архипелага. Об этом свидетельствует общая тенденция увеличения осадки килей в Арктическом бассейне в этом направлении. Максимальная осадка килей гряд торосов, зафиксированная в районе, не превысила 36,7 м.

Данных об осадке килей гряд торосов, полученных с борта АПЛ в непосредственной близости от Гренландии и островов Канадского Арктического архипелага, нет. Однако есть данные о глубине килей гряд торосов, полученные в результате прямых измерений (Dickins, Wetzel, 1981) в Канадском Арктическом архипелаге. Измерения морфометрии гряд торосов проводились западнее острова Эллеф Рингнес в проливе на границе с Арктическим бассейном. Максимальная осадка килей гряд торосов здесь также не превысила 37 м. Это свидетельствует в пользу того, что гряды торосов с осадкой более 37 м относятся к явлениям редкой повторяемости. Вероятность их существования крайне мала.

ВЫВОДЫ

На основании анализа исходных данных были сделаны следующие выводы:

- максимальная осадка килей гряд торосов в глубоководной части Северного Ледовитого океана по имеющимся данным измерений не превысила 37 м;
- осадка килей гряд торосов увеличивается от морей сибирского шельфа к острову Гренландия и к Канадскому Арктическому архипелагу;
- частота гряд торосов также увеличивается в таком же направлении, достигая 9 единиц на 1 км пути в канадском секторе океана;
- большие гряды торосов сравнимы по геометрическим параметрам с обломками айсбергов, что затрудняет их идентификацию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Границы океанов и морей. Л.: Управление начальника гидрографической службы военно-морского флота, 1960. 51 с.

Захаров В.Ф. Морские льды в климатической системе. СПб.: Гидрометеоиздат, 1996. 213 с.

Кессель С.А. Ледяные острова Арктики. СПб.: «Фонд Отечества», 2005. 250 с.

Миронов Е.У. Порубаев В.С. Статистическая модель гряды тороса в юго-западной части Карского моря // Проблемы Арктики и Антарктики. 2011. Т. 3 (89). С. 49–61.

Трёшников А.Ф., Балакишин Л.Л., Белов Н.А., Деменюк Р.М., Дибнер В.Д., Карасик А.М., Шнайхер А.О., Шургаева Н.Д. Географические наименования основных частей рельефа дна Арктического бассейна // Проблемы Арктики и Антарктики. 1967. Вып. 27. С. 5–15.

Dickins D.F., Wetzel V.F. Multiyear pressure ridge study. Queen Elizabeth Islands. In: POAC 81. Proceedings of the sixth International Conference on port and ocean Engineering under Arctic Conditions, II. 1981. P. 765–775.

Limits of Oceans and Seas. International Hydrographic Organization, Special publication No 23, Monte-Carlo, 1953. URL: http://www.iho.int/iho_pubs/standard/S-23/S23_1953.pdf [дата обращения 31.03.2014]

NSIDC. Submarine Upward Looking Sonar Ice Draft Profile Data and Statistics (1975–1999). Boulder, Colorado USA: National Snow and Ice Data Center. 1998, updated 2006. URL: <http://dx.doi.org/10.7265/N54Q7RWK> [дата обращения 31.03.2014]