

Б.А. Казан, Д.А. Романенков, Е.В. Софьина

**МОДЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПРИЛИВНОГО ЛЕДООБМЕНА
МЕЖДУ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АРКТИКОЙ
И СИБИРСКИМ КОНТИНЕНТАЛЬНЫМ ШЕЛЬФОМ**

B.A. Kagan, D.A. Romanenkov, E.V. Sofina

**MODEL ESTIMATION OF THE TIDAL ICE EXCHANGE
BETWEEN CENTRAL ARCTIC
AND SIBERIAN CONTINENTAL SHELF**

Приводится модельная оценка усредненного (за трехмесячный период) приливного ледообмена между окраинными морями Сибирского континентального шельфа и Центральной Арктикой. Показано, что она много меньше такой же оценки ветрового происхождения.

Ключевые слова: приливный ледообмен, моделирование, окраинные моря Сибирского континентального шельфа, Центральная Арктика.

A model estimate of the averaged (over a 3-month period) tidal ice exchange between the adjacent seas of the Siberian continental shelf and the Central Arctic is found. It is shown to be much less than the identical wind-driven ice exchange estimate.

Key words: tidal ice exchange, modeling, the adjacent seas of the Siberian continental shelf, the Central Arctic.

Первые оценки ледообмена между Центральной Арктикой и окраинными морями Сибирского континентального шельфа принадлежат, по-видимому, Гудковичу и Николаевой [Гудкович, 1963] (см. также [Фролов, 2005]). Они касаются только той составляющей ледообмена, что генерируется геострофическим ветром. Оценка приливной составляющей получена не была. Во всяком случае, наши попытки найти ее закончились безрезультатно. Поэтому приведенную в настоящем сообщении оценку следует рассматривать как дополнительный штрих, в какой-то мере восполняющий пробел в наших знаниях о ледообмене в Арктике. Мотивация сообщения может быть как прагматической (объяснение особенностей ледового режима тех или иных районов Арктического бассейна), так и познавательной, связанной, например, с достижением конечных целей Международного Полярного Года (2007–2008 гг.).

Сразу же следует оговориться: из-за отсутствия или недостаточности данных наблюдений эмпирическое оценивание приливного ледообмена между Центральной Арктикой и Сибирским континентальным шельфом в настоящее время вряд ли возможно. Единственная возможность, на которую мы можем сегодня реально рассчитывать, это – получить модельную оценку, обладающую, однако, тем недостатком, что она является модельнозависимой, а в качестве полумеры, обеспечивающей выход из создавшейся ситуации, использовать разные модели приливного дрейфа льда в надежде на то, что средняя из различных модельных оценок будет более или менее достоверной. Одна из таких оценок дается ниже.

Исходное поле эллипсов скорости суммарного ($M_2 + S_2 + K_1 + O_1$) приливного дрейфа льда было представлено в [Каган, 2006], где для его определения привлекалась модифицированная версия трехмерной конечно-элементной гидротермодинамической модели *QUODDY-4*. Последняя почти не отличалась от первоначальной версии *QUODDY-3* [Ip, 1995], (см. также [Каган, 2005]). Модификация модели сводилась к добавлению модуля приливного дрейфа льда с вязкоупругой реологией. Подробное описание принятых предпосылок и уравнений приливного дрейфа льда приводятся в [Каган, 2006a]. Во избежание повторов здесь перечисляется только самая необходимая информация.

Горизонтальное разрешение сетки задается варьирующим от 2,59 до 60,66 км, вертикальное разрешение – соответствующему разбиению толщи моря на 20 слоев одинаковой толщины, шаг по времени – 60 с, коэффициент сопротивления в подледном и придонном логарифмических пограничных слоях – 0,015 и 0,003 соответственно, толщина и плотность льда – 2 м и $900 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$, глубины заимствуются из банка данных *IBCAO*, имеющего 1-минутное горизонтальное разрешение, приливные колебания уровня на открытой границе – из высокоразрешающей арктической модели [Padman, 2004]. Остальные параметры модифицированной модели полагаются такими же, как и в [Каган, 2006, 2006a].

Результаты расчета нормальной (к открытой границе) компоненты среднего (за тропический месяц) приливного ледообмена между Центральной Арктикой и Сибирским континентальным шельфом показаны на рис. 1. Как видно, наибольший перенос льда из Центральной Арктики и обратно из окраинных морей Сибирского континентального шельфа приходится на соединение западного и северного участков открытой границы Карского моря и на окрестности о. Комсомолец (самый северный из островов архипелага Северная Земля). Здесь максимальное поступление льда из Центральной Арктики достигает $30,6 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-1}\cdot\text{с}^{-1}$, а выноса льда – $126,4 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-1}\cdot\text{с}^{-1}$. На других участках открытой границы моря Лаптевых, а также Восточно-Сибирского и Чукотского морей они меньше и не превышают $20,0 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-1}\cdot\text{с}^{-1}$.

Определенный интерес могут представлять следующие детали. Именно, почти вся западная часть открытой границы моря Лаптевых идентифицируется как зона поступления льда из Центральной Арктики, восточная часть – как зона выноса льда в Центральную Арктику. Противоположный перенос льда характерен также для Восточно-Сибирского и Чукотского морей. Мало того, оказывается, что перенос льда на восточной части открытой границы Восточно-Сибирского моря либо вообще отсутствует, либо он мал. Что касается Чукотского моря, то на северной части его открытой границы происходит вынос льда в Центральную Арктику, на восточной части – наоборот, поступление льда из Центральной Арктики.

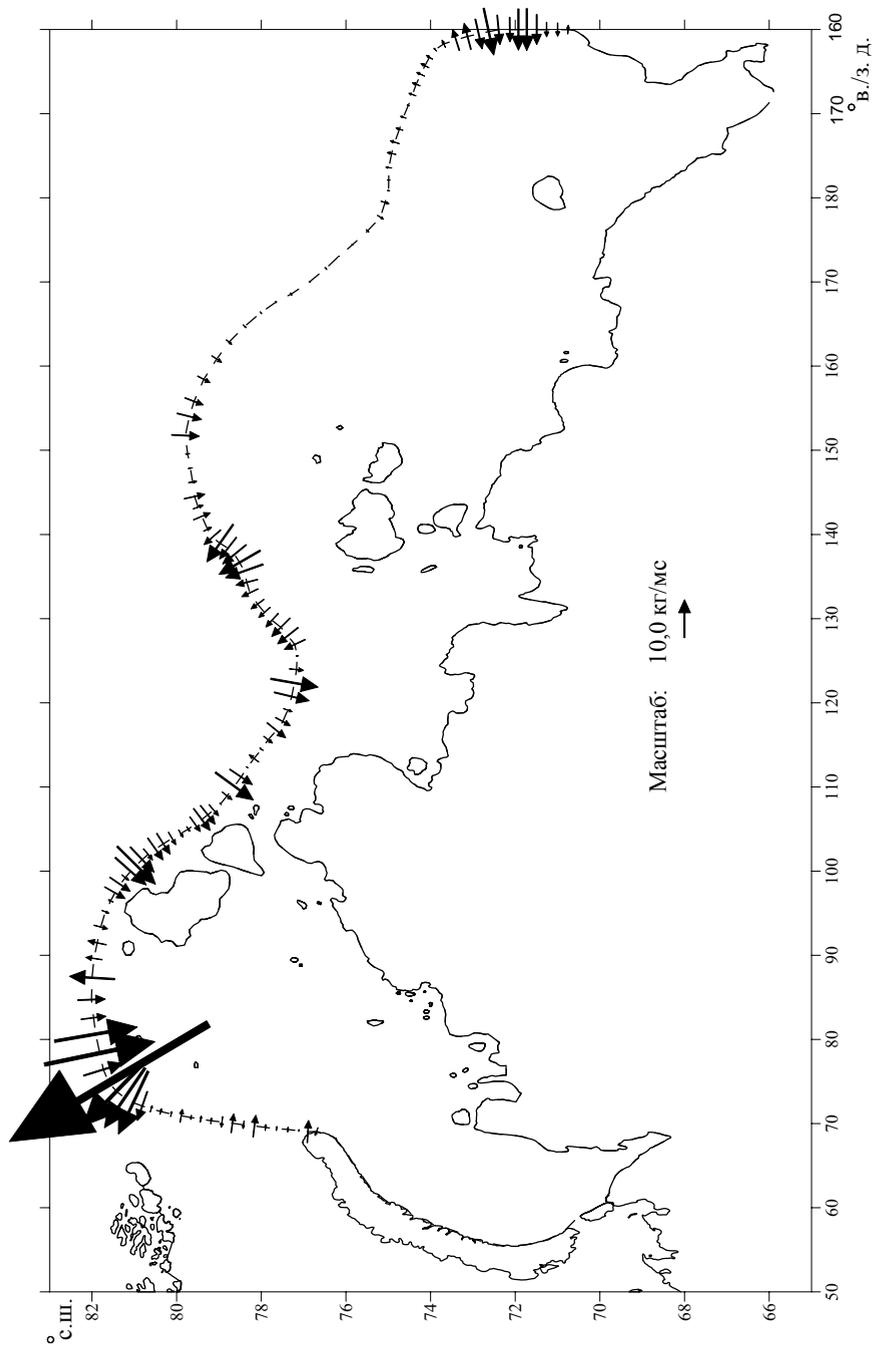


Рис. 1. Нормальная компонента среднего (за тропический месяц) приливного ледообмена между Центральной Арктикой и Сибирским континентальным шельфом. Пунктир – открытая граница шельфа, принимаемая совпадающей с изобатой 300 м.

В общем на открытой границе Карского моря имеет место результирующий вынос льда в Центральную Арктику, равный $74,2 \times 10^3 \text{ кг} \cdot \text{с}^{-1}$, а на открытой границе моря Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского морей – результирующее поступление льда, соответственно равное $43,3 \times 10^3 \text{ кг} \cdot \text{с}^{-1}$, $55,4 \times 10^3 \text{ кг} \cdot \text{с}^{-1}$ и $55,1 \times 10^3 \text{ кг} \cdot \text{с}^{-1}$. Другими словами, как и для ветрового ледообмена (см., например, [Фролов, 2005]), Карское море является морем приливного выноса льда, а море Лаптевых, Восточно-Сибирское и Чукотское моря – морями приливного поступления льда. Заметим, однако, что в отличие от ветрового ледообмена интенсивность приливного поступления льда не увеличивается с запада на восток, а варьирует следующим образом: она увеличивается от моря Лаптевых до Восточно-Сибирского моря и затем остается практически неизменным в Чукотском море.

Если теперь перейти к привычным единицам измерений, поделив приведенные выше оценки на $\rho_l h_l$ (где ρ_l – плотность льда, h_l – его толщина), то за трехмесячный период они составят $-0,32$ тыс. км² за 3 мес. для Карского моря, $+0,19$ тыс. км² за 3 мес. для моря Лаптевых, $+0,23$ тыс. км² за 3 мес. для Восточно-Сибирского моря и $+0,23$ тыс. км² за 3 мес. для Чукотского моря. Здесь знак « \leftrightarrow » соответствует выносу льда из окраинных морей, знак «+» – поступлению льда. Приливный ледообмен для Сибирского континентального шельфа в целом равен $+0,33$ тыс. км² за 3 мес., т.е. он, на два порядка меньше ветрового ледообмена. Это означает, что при оценивании суммарного (ветрового + приливного) ледообмена Сибирского континентального шельфа с Центральной Арктикой и выбранного периода усреднения таким, как указано выше, приливной составляющей оправдано пренебречь.

Авторы признательны проф. З.М. Гудковичу, любезно предоставившему данные о ветровом ледообмене в рассматриваемом районе. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 07-05-00290).

Литература

1. Гудкович З.М., Николаева А.Я. Дрейф льдов в Арктическом бассейне и его связь с ледовитостью советских арктических морей // Тр. ААНИИ, 1963, т. 104, с. 5–186.
2. Каган Б.А., Романенков Д.А., Софьина Е.В. Суммарный приливный дрейф льда и индуцируемые льдом изменения динамики и энергетики суммарного прилива на Сибирском континентальном шельфе // Океанология, 2006, т. 48, № 3, с. 345–355.
3. Каган Б.А., Тимофеев А.А. Динамика и энергетика поверхностных и внутренних полусуточных приливов в Белом море // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана, 2005, т. 41, № 4, с. 550–566.
4. Каган Б.А., Тимофеев А.А. Приливный дрейф льда в Белом море: результаты численного эксперимента // Океанология, 2006а, т. 46, № 6, с. 846–853.
5. Фролов И.Е., Гудкович З.М., Радионов В.Ф., Тимохов Л.А., Широков А.В. Научные исследования в Арктике. Т. 1. Научно-исследовательские дрейфующие станции «Северный Полюс». – СПб.: Наука, 2005. – 267 с.
6. Ip J.T.C., Lynch D.R. QUODDY3 User's Manual: Comprehensive coastal circulation simulation using finite elements: Nonlinear prognostic time-stepping model. Thayer School of Engineering. Dartmouth College. Hanover. New Hampshire, 1995, Report Number NML 95-1.
7. Padman L., Erofeeva S.A. A barotropic inverse tidal model for the Arctic Ocean // Geophys. Res. Lett., 2004, vol. 31, № 2 (1029/ 2003). GL019003.