

## КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЛЕДОВЫХ УСЛОВИЙ ПЛАВАНИЯ ПО МАРШРУТУ ОБСКАЯ ГУБА – БЕРИНГОВ ПРОЛИВ

В.Ю. Третьяков<sup>1,2</sup>, С.В. Фролов<sup>1</sup>, М.И. Сарафанов<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

## CLIMATIC CHANGES OF ICE SWIMMING CONDITIONS ON THE ROUTE OF THE OB OBLET - BERINGES OF THE STRAITS

V.Yu. Tretyakov<sup>1,2</sup>, S.V. Frolov<sup>1</sup>, M.I. Sarafanov<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

*Приводится методика и результаты обработки карт ледовой обстановки из архива ААНИИ за период с 1998 по 2018 гг. Рассмотрена изменчивость параметров ледовых условий плавания, влияющих на вероятность возникновения аварийных ситуаций.*

*There is considered methodology and some results of computer processing of ice maps of the AARI archive for the period 1998-2018. There is observed variability of parameters of ice navigation conditions affecting the probability of accident situations.*

Представления о «глобальном потеплении», сокращении и даже исчезновении в ближайшее время ледяного покрова Северного Ледовитого океана широко распространены как в научном сообществе, так и среди общественности. Подобные изменения должны привести к существенному улучшению условий проведения морских транспортных операций [1]. Однако так ли уж радужны перспективы на самом деле? В работах сотрудников ААНИИ утверждается, что потепление в Арктике, возможно, уже сменяется похолоданием [2, 3, 4, 5].

Цель представленной работы заключалась в исследовании состояния ледяного покрова по маршруту плаваний «Обская губа – Берингов пролив» за период 1998-2018 гг. и выявлении направленности изменений ледовых условий. Актуальность данной темы определяется планированием создания морской транспортной системы для транспортировки нефти и сжиженного газа из Обской губы в Китай, Японию, а также другие страны тихоокеанского региона.

Для этого подекадно были обработаны данные электронных векторных карт из архива Арктического и Антарктического научно-исследовательского института (ААНИИ), которые были составлены на основе данных спутниковых снимков. В настоящее время выполнены исследования данных за месяцы с максимальным развитием ледяного покрова – апрель и май.

### **Методика.**

Первый этап обработки состоял из упорядочивания архива и обработки шейп-файлов электронных ледовых карт в среде ArcGIS. При помощи написанных на языке Python программ производилось перепроецирование слоев ледовых карт и их объединение, пересечение участками маршрута, выполнение запросов, объединение линейных объектов, удовлетворяющих определенным семантическим условиям, расчёты протяжённостей линейных объектов. Для минимизации ошибок при расчётах протяжённостей для секций маршрута в отдельных морях были получены центры тяжести, координаты которых задавались в качестве параметров систем координат с применением стереографической проекции. Исследовались суммарные протяженности участков маршрута в припае, сплоченных льдах (сплоченностью 9 и более баллов, при учёте льдов всех возрастных градаций старше начальных), суммарные протяженности участков маршрута в сплоченных льдах при наличии старых, толстых однолетних, и средних льдов, а также суммарные протяженности участков маршрута в сплоченных льдах с частной концентрацией толстых льдов 5 и более баллов и частной концентрацией суммы толстых и средних льдов 5 и более баллов. Обработка участков маршрута в различных морях выполнялась отдельно. На рисунке 1 представлена карта маршрута плаваний, по которому выполнена обработка ледовой информации.

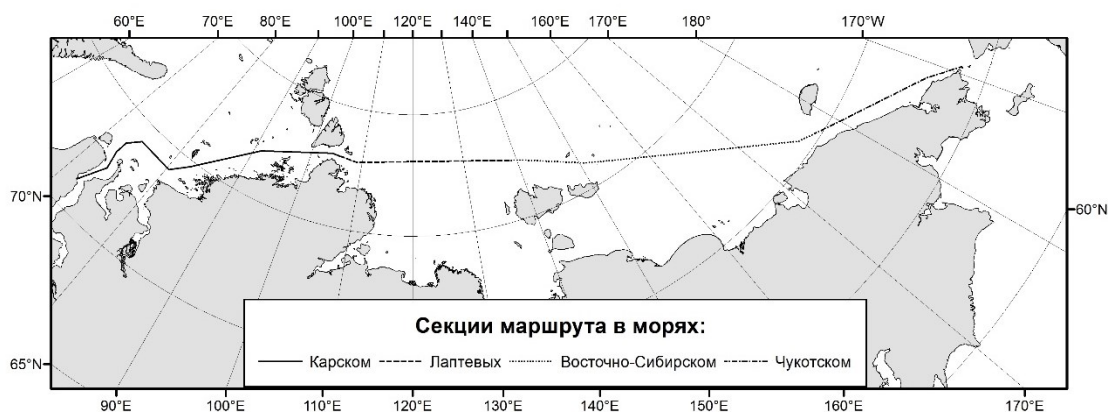


Рис. 1. Маршрут плаваний «Обская губа – Берингов пролив»

К части декад относились по 2 электронные ледовые карты за 2 срока дистанционного зондирования. В таких случаях с помощью компьютерной программы выполнялось осреднение значений протяжённостей. Далее для отдельных декад создавались шейпфайлы, атрибутивные таблицы которых содержали значения протяжённостей за весь период 1998-2018 гг. Эти таблицы затем переводились в формат Microsoft Excel. В итоге получено по 860 значений протяженностей для участка маршрута в каждом море. Уже выполнена обработка информации по морям Карскому и Лаптевых, данные по Восточно-Сибирскому и Чукотскому морям находятся в процессе обработки.

Затем выполнялась статистическая обработка. При помощи разработанных в среде MathCAD рабочих областей (компьютерных программ) ряды межгодовых изменчивостей подекадных значений суммарных протяжённостей участков маршрута, удовлетворяющих определённому ледовым условиям, проверялись на присутствие или отсутствие тренда изменений методом интегральных кривых (накопленных сумм). Суть метода заключается в следующем: строится график точек: ось X – года, по оси Y – накопленные суммы значений, т.е. суммы значений за все годы от первого до данного, включая последний. Если форма линии, соединяющей точки графика, близка к прямой, то это свидетельствует об отсутствии выраженного тренда межгодовой изменчивости. Присутствие на линии изломов может служить признаком межгодового тренда. Затем ряды исходных значений подразделялись на 2 части по местам наиболее ярко выраженных изломов, при отсутствии последних – поровну. Далее выполнялась проверка рядов на однородность при помощи ранговых непараметрических критериев Уилкоксона-Манна-Уитни и Зигеля-Тьюки. Для каждого из критериев рассчитывалась величина верности в процентах нулевой гипотезы о принадлежности двух частей ряда к одной генеральной совокупности, т.е. об отсутствии значимых изменений за период 1998-2018 гг. Ряд считался неоднородным, если гипотеза об однородности ряда опровергалась хотя бы одним из критериев, или если хотя бы по одному из критериев нулевая гипотеза однородности не опровергалась с вероятностью, меньшей 50%. Затем статистические характеристики частей рядов сравнивались между собой для выявления направленности изменений.

#### Результаты.

Обработка результатов по Карскому морю показала, что только для одного ряда значений интегральная кривая оказалась без изломов, остальные 44 были с изломами. Результаты проверки рядов суммарных протяжённостей участков маршрута в Карском море на однородность при помощи ранговых непараметрических критериев Уилкоксона-Манна-Уитни и Зигеля-Тьюки представлены в таблице 1. Все ряды неоднородны. Сравнение средних значений первой и второй частей рядов показало следующие результаты: для всех декад апреля и мая протяженность пути в дрейфующих льдах с наличием средних и толстых льдов, в дрейфующих льдах с частной концентрацией толстых и суммы толстых и средних льдов 5 и более баллов возросла, кроме протяженности пути в припае – она уменьшилась для всех декад. Таким образом, налицо явное ухудшение ледовых условий плавания в Карском море во вторую половину периода 1998-2018 гг.

Таблица 1. Результаты проверки однородности рядов значений суммарной протяженности участков маршрута в Карском море в дрейфующих льдах со сплоченностью 9 и более баллов

Протяжённость маршрута плавания	Число рядов		% неоднородных рядов
	однородных	неоднородных	
в припае	0	6	100
в сплоченных льдах	0	6	100
в сплоченных льдах с наличием льдов следующих градаций возраста:			
однолетних средних	0	6	100
однолетних толстых льдов	0	6	100
в сплоченных льдах с частной концентрацией 5 баллов и более:			
толстых льдов	0	0	100
суммы толстых и средних льдов	0	0	100

На рисунке 2 представлена межгодовая изменчивость суммарной протяженности участков маршрута в Карском море в сплоченных дрейфующих льдах с наличием толстых льдов в первую декаду мая. Видно явное увеличение суммарной протяженности таких участков маршрута за последние годы.

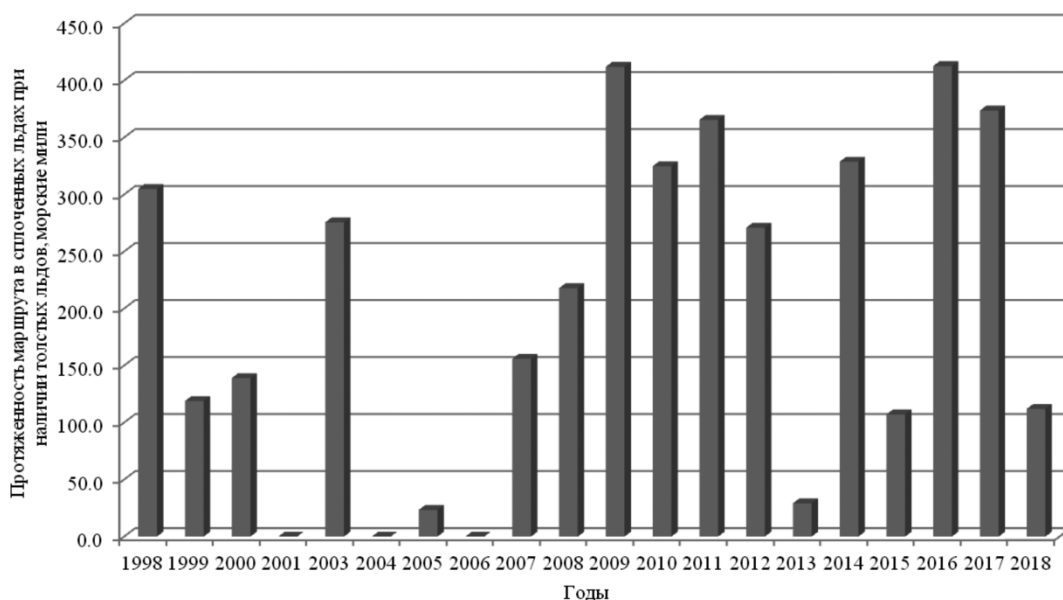


Рис. 2. Суммарная протяженность участков маршрута в сплоченных дрейфующих льдах при наличии толстых однолетних льдов в Карском море в первую декаду мая

И, как «вишенка на торте»: в 2014 на маршруте в Карском море и в апреле, и в мае были обнаружены участки с наличием старых льдов. В море Лаптевых участки маршрута с присутствием старых льдов были отмечены в следующие годы: в первую декаду апреля – в 1999, 2005 и 2018 гг., во вторую декаду апреля – в 2005 и 2018 гг., в третью декаду апреля – в 2001, 2005 и 2018 гг., в первую декаду мая – в 2001 и 2005 гг., во вторую декаду мая – в 2001 и 2005 гг., в третью декаду мая – в 1999, 2001 и 2005 гг. Очевидно, что отсутствие на маршруте плаваний старых льдов во вторую половину периода 1998-2018 гг. служит слабым утешением: раз они встретились в апреле 2018 года, то могут встречаться в конце зимы и в последующие годы. Суммарная протяжённость участков маршрута с наличием старых льдов в море Лаптевых по частям периода 1998-2018 гг. составила: в первую половину периода – 421.1 морских миль, во вторую – 296.2 морских миль.

Очевидно, что в ближайшее время не приходится ожидать наступления «эры безледокольного плавания» по Северному Морскому Пути. Также понятно, что эксплуатация морской транспортной системы «Обская губа – пролив Вилькицкого– Берингов пролив» требует дальнейшего совершенствования как компьютеризированных систем оперативной поддержки морских транспортных операций, так и компьютерных моделей оценки рисков возникновения аварийных ситуаций с наливными судами, в том числе чреватых загрязнением окружающей среды, за весь ожидаемый период эксплуатации данной морской транспортной системы.

### **Литература**

1. Данилов А.И., Алексеев Г.В., Клепиков А.В., Последствия изменения климата для морской деятельности в Арктике // Лед и Снег, Том 54, №3, с. 91-99, 2014.
2. Фролов И.Е., Гудкович З.М., Карклин В.П., Смоляницкий В.М. Шестидесятилетняя цикличность в изменениях климата полярных регионов // Материалы гляциологических исследований, № 105, с. 158-165, 2008.
3. Большианов Д.Ю., Макаров А.С., Морозова Е.А., Павлов М.В., Саватюгин Л.М. Развитие природной среды полярных областей Земли последнего тысячелетия по данным изучения донных отложений озер // Проблемы Арктики и Антарктики №1 (81), с. 108-115, 2009.
4. Фролов И.Е., Гудкович З.М., Карклин В.П., Смоляницкий В.М. Региональные особенности климатических изменений морского ледяного покрова в XX – начале XXI века и их причины // Лед и Снег, № 3 (115), с. 91-98, 2011.
5. Ашик И.М., Иванов В.В., Кассенс Х., Махотин М.С., Поляков И.В., Тимохов Л.А., Фролов И.Е., Хёлеманн Й. Основные результаты океанологических исследований Северного Ледовитого океана в последнее десятилетие // Проблемы Арктики и Антарктики, № 1(103), с. 42-56, 2015.