# Российская Арктика №2/2018

Современные методы исследования ледяного покрова в Арктике



## РОССИЙСКАЯ АРКТИКА

**RUSSIAN ARCTIC** 

Учредитель и издатель: ООО «Центр информационного и правового обеспечения развития Арктики» info@arctic-centre.com www arctic-centre com

Генеральный директор: Юлия Беликова

#### РЕДАКЦИОННАЯ коллегия: Главный редактор: Юлия Беликова Выпускающий редактор: Марина Дробышевская Научный редактор:

Татьяна Алексеева Дизайн и верстка: Марина Дробышевская Елена Макова Специалист по связям с общественностью

Ольга Чаховская

### СОДЕРЖАНИЕ

В.И. Бессонов

Слово редактора	3
Долгосрочный прогноз площади остаточных льдов в сентябре в Северном Ледовитом океане А.В. Юлин, М.В. Шаратунова	4
Снежницы на поверхности льда в летний период и их связь с климатическими изменениями в Арктике И.А. Репина, В.В. Тихонов	15
Ледовые условия плавания в Арктическом бассейне в летний период 2018 года Т.А. Алексеева, С.С. Сероветников, С.В. Фролов, В.Т. Соколов	31
Судовой телевизионный комплекс – реализация автоматизированной системы натуральных измерений толщины морского льда С.С. Сероветников, С.В. Фролов, А.Э. Клейн	41
Ледяные дрейфующие острова в Арктике	56

2 российская арктика (№2)

Адрес редакции и издателя: 101000, г. Москва, Армянский пер., д. 9/1/1, оф. 203 Телефон: 8 (495) 229-41-44 Электронная почта: info@arctic-centre.com

#### СЛОВО РЕДАКТОРА



ЮЛИЯ БЕЛИКОВА Главный редактор

Уважаемые коллеги!

Этим летом информационное пространство взорвала новость: «Баренцеву морю грозит климатическая катастрофа». Что же произошло? Норвежские ученые проанализировали данные с 1970 по 2016 гг. и выяснили, что в Баренцевом море происходит таяние льдов и снижается объем поступающей в акваторию холодной пресной воды. Норвежцы сделали вывод о том, что это неминуемо приведет к негативным климатическим последствиям для России. Как мы помним, российские специалисты опровергли столь скоропалительные выводы, что еще раз показало, объективный как важен научный подход к жизненно важным вопросам человечества.

Сегодня перед вами – специальный выпуск новейшие журнала, В который вошли Арктического исследования ученых И Научно-исследовательского Антарктического посвященные института, состоянию ледяного покрова российской Арктики.

На страницах нового номера ответы на волнующие их вопросы могут найти все читатели, интересующиеся природно-климатическими феноменами Севера.

## УДК 551.467 ДОЛГОСРОЧНЫЙ ПРОГНОЗ ПЛОЩАДИ ОСТАТОЧНЫХ ЛЬДОВ В СЕНТЯБРЕ В СЕВЕРНОМ ЛЕДОВИТОМ ОКЕАНЕ

А.В. Юлин, М.В. Шаратунова

Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург

e-mail: icefore@mail.ru, mvsh@aari.ru

В статье рассматривается возможность долгосрочного (с заблаговременностью от 5 до 8 месяцев) прогнозирования площади остаточных льдов в сентябре, которые сохранятся в Северном Ледовитом океане после периода летнего таяния. Это важный показатель, характеризующий предстоящую сложность навигационной обстановки в морях российской Арктики. Результаты прогноза позволяют планировать морские операции на трассе СМП, а также оценивать состояние климатической системы атмосфера-лед-океан на предстоящий летний сезон.

Ключевые слова: Северный Ледовитый океан, ледовый режим, площадь остаточных льдов, долгосрочные ледовые прогнозы

## LONG-RANGE FORECAST OF RESIDUAL ICE AREA IN THE

#### **ARCTIC OCEAN IN SEPTEMBER**

A.V. Yulin, M.V. Sharatunova

Arctic and Antarctic research institute, Saint-Petersburg

e-mail: icefore@mail.ru, mvsh@aari.ru

The opportunity of long term forecasting (5-8 months in advance) the area of residual ice which remains in the Arctic ocean in September after the summer melting is discussed in the paper. It is an important indicator which characterizes the expected difficulty of the navigation conditions in the Russian Arctic. The results of the forecast allow planning the marine activity at the North Sea Route as well as assessing the state of the climatic system "atmosphere – ice – ocean" in the next summer.

#### Keywords: Arctic Ocean, ice regime, area of residual ice, long-range forecasts

Введение. Изменчивость площади льдов в Северном Ледовитом океане (СЛО) вызывает большой интерес у исследователей по целому ряду причин.

Во-первых, площадь льдов в Северном Ледовитом океане

является	наибс	лее	досту	ПНЫМ	И
информат	ГИВНЫМ	1	ПОК	азателе	ем
состояния	я клим	атич	неской	систем	њ
«атмосфе	ра-лед	-океа	ан»		И
προμενοπ	σππν	в	этой	систе	ме
происход	лщил	Ъ	51011	enerer	-

4 РОССИЙСКАЯ АРКТИКА (№2)

Во-вторых, очень важным является прикладное значение больше этого показателя. Чем исчезнет результате льдов В более тем летнего таяния, обширные акватории океана и его морей очистятся ото льда, ЧТО будет способствовать судоходству. Например, если площадь остаточных льдов сентябре В составляет менее 5 млн км<sup>2</sup>, то это ледяной означает, что покров интенсивно разрушался в течение периода И акватория летнего российских арктических морей будет полностью свободна ото льда (рис. 1а). Если площадь остаточных льдов в сентябре более 5 млн км<sup>2</sup>, то акватории некоторых на арктических морей будет сохраняться ледяной покров, что негативно отразится на

безопасности возможности И плавания судов (рис. 1б). Если в течение летнего периода ледяного разрушение И таяние покрова происходило низкой с интенсивностью, то площадь остаточного льда в сентябре будет более 7 млн км<sup>2</sup> и плавание судов по трассе СМП будет происходить очень сложных ледовых В условиях.

Сезонная изменчивость ледяного покрова. Начиная с конца 70-x годов прошлого века, спутниковая информация 0 состоянии ледяного покрова оперативно поступает В распоряжение специалистов, которая оценивается с большой точностью И дискретностью (c частотой не менее 1 суток).



Рисунок 1 - Распределение льда в середине сентября в 2012 г (a, площадь остаточных льдов 3,5 млн км<sup>2</sup>) и в 2013 г. (б, площадь остаточных льдов 5,2 млн км<sup>2</sup>) (www.aari.ru)

6 Российская арктика (№2)

осенне-зимнее увеличение площади льдов результате В ледообразования И летнее уменьшение площади льдов в результате таяния. На рисунке 2, приведенном ниже, показан среднемноголетний сезонный ход изменения площади льдов в СЛО за ряд наблюдений с 1979 по 2018 гг.,

а также его минимальные И значения (данные максимальные Арктического архива И антарктического научноисследовательского института (ААНИИ) http://wdc.aari.ru/datasets/ssmi/data/n orth/extent/).



Рисунок 2 - Сезонное изменение количества льдов в Северном Ледовитом океане

приведенного Из рисунка видно, что В осенний период, начиная с сентября, происходит интенсивное нарастание площади льдов. С сентября по ноябрь площадь ледяного покрова увеличивается в среднем на 2,0 млн км<sup>2</sup> в месяц. С ноября по декабрь интенсивность нарастания площади льдов уменьшается до 1,3 млн км<sup>2</sup>. Всего же за осенние месяцы до конца года в среднем появляется до 85% вновь образованных льдов. За оставшиеся зимние месяцы до апреля площадь льдов увеличивается только на 15%, несмотря на период самых низких температур. В апреле увеличение площади льдов прекращается.

Таким образом, в осенний период года с сентября по декабрь происходит основное увеличение площади льдов в СЛО. Это однолетние молодые И льлы осенне-зимнего образования. В оставшиеся зимние месяцы С января ПО апрель увеличение площади льдов уже незначительно, но именно В ЭТОТ период продолжается интенсивное нарастание толщины этих льдов.

В течение апреля-мая начинается уменьшение площади льдов в результате летнего таяния, которое продолжается до середины Остаточная сентября. площадь СЛО льдов сентябре В В характеризует интенсивность процессов В летних таяния. среднем летний период за разрушается и тает около 5,8 млн км<sup>2</sup>. В середине сентября в СЛО сохраняются остаточные льды. площадь которых в среднем (за весь ряд наблюдений с 1979 по 2017 гг.) составляет около 6,1 млн км<sup>2</sup>.

Межгодовая изменчивость ледяного покрова. Необходимо отметить, что в динамике летнего таяния и разрушения льдов за последние десятилетия два произошли существенные изменения. Сравнение остаточной площади льдов в СЛО в сентябре за последнее десятилетие 2008-2017 гг. с данными за более холодное десятилетие 1978-1986 ГГ. показывает, наблюдается что уменьшение количества остаточных льдов в сентябре в среднем с 7,2 до 4,7 млн км $^{2}$ . То есть в Северном Ледовитом океане В последнее десятилетие после летнего таяния стало оставаться меньше льдов в среднем на 2,5 млн км<sup>2</sup>. Гигантские акватории океана и его морей, которые еще три десятка лет назад были покрыты льдом в сентябре, сейчас полностью очищаются ото льда.

На рисунке 3 представлен межгодовой ход площадей льдов в СЛО в декабре предшествующего года и в сентябре текущего года (данные архива ААНИИ http://wdc.aari.ru/datasets/ssmi/data/n orth/extent/). Из данных, приведенных на рисунке, хорошо

прослеживается тенденция сокращения остаточной площади льдов, наблюдаемая в последние два десятилетия.



Рисунок 3 - Межгодовой ход площади льдов в СЛО в декабре и сентябре (красная точка – прогноз на сентябрь 2018 г)

Очишение больших акваторий ледовитых морей И увеличение длительности безледного периода существенно снижает зависимость от ледяного покрова хозяйственной деятельности различных направлений: плавания судов И перевозки грузов, разведки И добычи минерального сырья В шельфовых районах, экспедиционных исследований, операций ВМФ [2].

Таким образом, становится очевидным важность мониторинга изменения площади ледяного покрова и его прогноза.

Прогноз площади остаточных льдов. В отделе прогнозов ледового режима И ААНИИ В результате изучения взаимосвязи накопления льда В зимний период года с

последующим его сокращением в летний период было установлено, существует хорошая что зависимость между интенсивностью осенне-зимнего накопления льда в СЛО и его Величина последующего таяния. коэффициента корреляции **(KK)** площади льда В декабре предшествующего года С площадью сентябре льда В текущего года для ряда наблюдений в 39 лет составила 0,84. Величина R плошали ледяного покрова в марте (период максимального накопления льда) составила 0,81. Это значимые и очень большие значения коэффициентов корреляции, доказывающие неслучайный характер связи.

Прогнозирование природных процессов с большой временной заблаговременностью,

составляющей от 1 до 6 месяцев, является сложной исследовательской задачей. Научно обоснованный прогноз с большой заблаговременностью возможен только в том случае, если есть правильное понимание природы формирования прогнозируемого явления и определены формирующие его факторы, установлены надежные и информативные предикторы.

Физический механизм связи сроков начала осеннего ледообразования, интенсивности накопления льда в зимний период и последующего летнего разрушения, принципе, понятен. Раннее и В интенсивное накопление льда В СЛО, нарастание его толщины и торосистости приводит к формированию большого количества мощных льдов. Позднее начало ледообразования и низкая интенсивность нарастания льда приводит К формированию ледяного покрова гораздо меньшей мощности. В свою очередь, чем больше мошных (по льдов количеству и толщине) появляется на акватории морей океана к концу периода нарастания, тем больше их остается после летнего таяния.

Выявленные зависимости между площадями льдов в различные сезоны года и установленные ранее взаимосвязи изменчивости площади льдов с крупномасштабными показателями температуры воздуха и воздушных переносов позволяют использовать их для построения прогностической модели.

Ha основе автоматизированной прогностической системы «Пегас» (АПС «Пегас»), разработанной в ААНИИ успешно И использующейся В оперативной практике, была построена прогностическая модель, позволяющая оценивать площадь остаточного льда в СЛО в сентябре [2].

Основным назначением АПС "Пегас" является исследование информативности различных гидрометеорологических полей, построение расчетных И прогностических Она моделей. позволяет оценивать

статистическую связь между показателями метеорологического и ледового режима, по заданному выбирать наиболее критерию информативные данные, проводить информации обобщение всей И линейную строить прогностическую модель.

В качестве исходных данных модели прогноза площади В остаточных сентябре льдов В используются основные показатели состояния ледяного покрова, воздушных переносов И крупномасштабные показатели температуры воздуха, приведенные в таблице 1. По приведенным в таблице частным коэффициентам корреляции видно, что наиболее информативными для прогноза являются льдов площади В предшествующие периоды формирования ледяного покрова и температура воздуха В осеннезимний период.

**11** Российская арктика (№2)

Таблица 1 – Даты разработки и исходные данные для прогноза остаточной ледовитости СЛО в сентябре

Дата составления прогноза	Вид прогноза	Заблаговременность прогноза	Исходные данные	R
			Ледовитость СЛО в декабре	0,83
1 декадаПредварительный8 месяянваряпрогнозсверхд		8 месяцев сверхдолгосрочный	Среднегодовая температура воздуха	-0.82
			Поля давления IX-XII	0,32- 0,51
			Ледовитость СЛО в марте	0,81
1 декада апреля	Уточнение предварительного прогноза 5 до	5 месяцев долгосрочный	Средняя температура воздуха за осенне- зимний период	-0,80
			Поля давления IX-III	0,32- 0,55

Технология прогноза площади остаточного льда в СЛО в сентябре основана на этапах двух предварительном прогнозе И прогнозе. В основном прогнозе, предварительном составляемом первой В декаде заблаговременностью 8 января, месяцев, учитываются осенние процессы накопления льда предшествующего года по декабрь включительно. В основном прогнозе, составляемом в первой декаде апреля, заблаговременностью 5 месяцев, учитываются осенне-зимние процессы накопления льда в СЛО период максимального на накопления ледяного покрова, которое наблюдается в конце марта - начале апреля.

Оправдываемость ретроспект ивных расчетов для предварительного прогноза составляет 88% (при допустимой ошибке для сверхдолгосрочных прогнозов равной  $\pm 1,0$   $\sigma$ ) и для основного прогноза 92 % (при допустимой ошибке для долгосрочных прогнозов равной  $\pm 0,8$   $\sigma$ ).

На сентябрь 2018 г. был составлен предварительный прогноз в начале января и основной прогноз начале апреля. В Результаты прогноза приведены в таблице 2. По результатам мониторинга ледяного покрова в конце сентября 2018 г. прогноз будет проверен на успешность.

Таблица 2 – Основные результаты прогноза площади остаточного льда в СЛО в сентябре 2018 г.

Вид прогноза и дата составления	Сверхдолгосрочный, заблаговременность 8 месяцев	Долгосрочный, заблаговременность 5 месяцев	Климатический (по норме)	
Дата разработки	10 января	10 апреля	10 января, 10 апреля	
КК результирующего уравнения	0,88	0,92		
Прогноз площади остаточного льда в сентябре 2018 г.	4680 тыс. км <sup>2</sup>	4850 тыс. км <sup>2</sup>	$6150$ тыс. км $^{2}$	
Норма полного ряда с 1979-2017 гг. (39 лет)	6150 тыс. км <sup>2</sup>	6150 тыс. км <sup>2</sup>	6150 тыс. км <sup>2</sup>	
Аномалия по длинному ряду	- 1470 тыс. км $^{2}$	- 1300 тыс. км <sup>2</sup>	0	
Норма короткого ряда с 2008-2017 гг. (10 лет)	4670 тыс. км <sup>2</sup>	4670 тыс. км <sup>2</sup>	4670 тыс. км $^2$	
Аномалия по короткому ряду	+10 тыс. км <sup>2</sup>	+ 120 тыс. км <sup>2</sup>	+1480 тыс. км <sup>2</sup>	

Выводы. По разработанному прогнозу ожидается, что площадь остаточных льдов В СЛО В сентябре 2018 г. составит 4850 тыс. км<sup>2</sup>. Это меньше среднемноголетнего значения за полный ряд наблюдений с 1979-2017 гг. (39 лет) на 1300 тыс. км<sup>2</sup> или на величину -1,18σ, которая показывает, что аномалия площади остаточных льдов относится К крупной отрицательной аномалии. Однако, если рассмотреть площади остаточных изменения льдов в сентябре за последнее теплое десятилетие (с 2008-2017

гг.), то выявляется интересная особенность. Становится очевидным, что после аномального сокращения площади остаточных которое наблюдалось льдов. В сентябре 2012 г. и составило 3346 км<sup>2</sup>, площадь тыс. остаточных льдов начинает медленно повышаться (см. рис. 3 нижняя кривая).

По разработанному прогнозу ожидается, что площадь остаточных льдов в сентябре 2018 г. превысит на 230 тыс. км<sup>2</sup> величину площади льдов предыдущего 2017 г., а также на 120 тыс. км<sup>2</sup> превысит норму ряда
наблюдений за последнее
десятилетие с 2008-2017 гг.

Таким образом, прогноз на сентябрь 2018 г. продолжает «климатическую паузу» в изменении площади льдов в СЛО, которая наблюдается в последние пять лет.

Значительных изменений в площади остаточных льдов в

#### Литература

1. Фролов И.Е., Гудкович З.М., Карклин В.П., Ковалев Е.Г., Смоляницкий В.М. Научные исследования в Арктике. Т. 2, Климатические изменения ледяного покрова морей Евразийского шельфа. СПб.: Наука, 2007. 136 с.

Карклин В.П., Юлин А.В., Карелин И.Д., Иванов В.В. Климатические колебания ледовитости арктических морей сибирского шельфа // Труды ААНИИ. 2001. Т. 443. С. 5 – 11.

 Юлин А.В. Автоматизированный программный комплекс по обработке и обобщению гидрометеоинформации, используемой в системе "Пегас" // Труды ААНИИ, т. 418, 1990, с. 25-36. сентябре, которые бы смогли объективно однозначно И подтвердить одну ИЗ двух существующих ключевых гипотез ожидаемого изменения климата необратимость нарастание И потепления или циклический характер изменений в 2018 г., не ожидается.

#### References

 Frolov I.E., Gudkovich Z.M., Karklin V.P., Kovalev E.G. Smolyanitsky V. M. Climate Change in Eurasian Arctic Shelf Seas. Centennial Ice Cover Observations. V.
 Climate Change of ice cover extent in Eurasian Arctic Shelf Seas. Saint-Petersburg: Nauka, 2007: 136 p.

2. Karklin V.P., Yulin A.V., Karelin I.D., Ivanov V.V. Climatic fluctuations of ice cover extent in the Siberian shelf Arctic seas. Proc. AARI, 2001, vol. 443, p. 05-11.

3. Yulin A.V. Automated program complex for the information processing and generalization used in the PEGAS system. Proc. AARI, 1990, vol. 418, p. 25-36.

#### УДК 551.467

### СНЕЖНИЦЫ НА ПОВЕРХНОСТИ ЛЬДА В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД И ИХ СВЯЗЬ С КЛИМАТИЧЕСКИМИ ИЗМЕНЕНИЯМИ В АРКТИКЕ

И.А. Репина<sup>1,2</sup>, В.В. Тихонов<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, <sup>2</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, <sup>3</sup>Институт космических исследований РАН

e-mail: iar.ifaran@gmail.com vtikhonov@asp.iki.rssi.ru

Образование снежниц на поверхности морского льда в летний период является основным фактором, приводящим к изменению его альбедо. Но снежницы также влияют и на температурный режим поверхности, на характер ее взаимодействия с атмосферой. Роль снежниц в формировании потока углекислого газа, его величины и знака также может быть значимой. В статье на основании данных наземных измерений исследуются термические, радиационные свойства снежниц, их влияние на энерго- и газообмен ледовой поверхности с атмосферой. Использование результатов спутниковых измерений в микроволновом диапазоне позволило проследить динамику изменчивости относительной площади снежниц за последние десятилетия и их роль в формировании сентябрьского минимума льда.

## Ключевые слова: морской лёд, климат Арктики, снежницы, альбедо, дистанционное зондирование

### MELT POND ON THE SEA ICE SURFACE DURING SUMMER AND ITS CONNECTION WITH ARCTIC CLIMATE CHANGE

I.A. Repina<sup>1,2</sup>, V.V. Tikhonov<sup>3</sup>

<sup>1</sup>A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS, <sup>2</sup>M.V. Lomonosov Moscow State Univercity, <sup>3</sup>Space Research Institute RAS

e-mail: iar.ifaran@gmail.com ; vtikhonov@asp.iki.rssi.ru

The formation of melt ponds on the surface of sea ice during summer is one of the main factors affecting variability in surface albedo over the ice cover. Also melt ponds influence on the surface temperature regime and on air-surface interaction. The role and impact of pond formation on both the direction and size of CO2 fluxes between air and sea is also significant. In the paper on the base on data field measurement the thermal, radiative properties of melt ponds are investigated. Also its effect on energy- and gas air-surface exchange is studied. The passive microwave satellite data were used. Processing of satellite data permits to estimate the trend of mean relative melt pond fraction in the Arctic and its role in ice extend minimum formation.

Keywords: sea ice, Arctic climate, melt ponds, albedo, remote sensing

Состояние морского ледяного покрова связано с изменениями климатической системы Арктики благодаря так называемому эффекту полярного усиления, которое из-за ряда положительных и отрицательных обратных связей приводит более быстрому к потеплению в Арктике, чем В других регионах планеты [1; 2]. Полярное усиление объясняется как региональными причинами, так и влиянием "удаленных связей" атмосферных вследствие И океанических переносов [2]. Ho определяющую все-таки роль играет альбедный механизм, действие которого заключается в альбедо (отражающая TOM, что способность) открытой воды гораздо меньше, чем льда и снега 10% (вода отражает около приходящего солнечного \_ излучения, а 80-95% лед B зависимости ОТ состояния И, поверхности). чем больше свободных ото льда пространств в Северном Ледовитом океане, тем больше тепла он поглощает 3a летний сезон.

С начала 2000-х годов летнее сокращение площади арктического морского льда заметно ускорилось по сравнению с предшествующими [3], двумя десятилетиями И фактические темпы этого уменьшения превышают прогнозы климатических моделей даже по самым пессимистичным сценариям [4]. Но изменяется не только площадь ледяного покрова - еще более значительные изменения произошли с его толщиной [5; 6]. В В настоящее результате, время количество многолетних льдов в Арктике существенно сократилось – если в середине 1980-х годов многолетние льды занимали 70% площади ледяного покрова Арктики, то К 2012 году ИХ осталось всего 30-40% [7]. И этот процесс продолжается. Изменения наблюдаются В структуре И ледяных полей – их торосистости, площади разводий В зимний период, площади снежниц. Также изменилась продолжительность сезона летнего таянья морского за время спутниковых льда наблюдений 1978 С года ОН

увеличивается на 5 дней за десятилетие [8].

Если мы посмотрим на фотографию ледяного массива гденибудь в центре Арктики в июле (рис. 1), то увидим не белое ледяное поле, а будто пятнистую шкуру какого-то зверя. Но все-таки это сплошной лед. А пятна – это снежницы, лужи или небольшие а)

озера талой которые воды, образуются летний на В льду период из-за воздействия солнечного излучения И таяния снега и верхнего слоя льда. Начало формирования снежниц – конец мая, В августе ОНИ начинают концу сентября замерзать И К практически исчезают с покрова. поверхности ледяного б)





Рисунок 1. Снежницы (талые пруды) на льду в Арктике в июле: а - фотография с самолета, б - с борта судна.

Эти, столь незначительные на взгляд, первый лужи являются одним из важнейших элементов арктической климатической системы [9]. Их глубина может изменяться ОТ нескольких сантиметров до полутора метров, а площадь достигает сотни квадратных метров.

Пространственное распределение на льду, размер и глубина снежниц, также как ИХ цвет, очень И изменчивы И зависят OT топографии, поверхностных И атмосферных условий. На ровном однолетнем льду их доля в общем покрытии может достигать 90% [10]. В среднем в летний период

**17** Российская арктика (№2)

50-60% покрывают снежницы площади ледяной поверхности, и, обладая низким альбедо, поглощают в несколько раз больше приходящей коротковолновой радиации, чем остальная часть снежно-ледяного покрова. Присутствие снежниц на льду приводит к уменьшению альбедо поверхности с 80-90 % до 30-60%, что вызывает дополнительный её нагрев и, следовательно, снежницы оказывают значимое влияние на [11] таяние льда И изменение площади многолетних льдов [12]. Поэтому минимум альбедо ледяного покрова Арктики (Рис. 2) наблюдается как раз в июле, когда площадь открытых снежниц наибольшая.

Также снежницы, поглощая больше солнечной радиации, чем

окружающий лед, способствуют его неравномерному таянию. И поступление тепла от солнечного излучения к океану через покрытый снежницами лед на порядок больше, чем через лед, ими не покрытый, и лёд со снежницами 2-3 быстрее, тает в раза чем чистый. А уменьшение площади многолетних льдов и связанное с увеличение ЭТИМ однолетних увеличивает относительную снежниц [13: 14], площадь И снежницы вносят дополнительный альбедный вклад В механизм Еще полярного усиления. существеннее значение снежниц при таянии припайных льдов, где они являются основной причиной разрушения ледяного покрова.



Рисунок 2 - Среднее альбедо поверхности покрытой льдом части Северного Ледовитого океана в летний период

Фазовые превращения на поверхности льда оказывают существенное влияние И на формирование термического режима приводного слоя атмосферы. В OCHOBHOM, лед препятствует энергообмену. Потоки тепла и влаги в зимний период в Арктике близки к нулю [15]. В летний период температура воздуха близка к температуре как открытой льда, так И воды, тепловые потоки малы, и основную формировании роль баланса В

тепла играет радиационный баланс за счет потоков коротковолновой радиации [16]. При переходе к отрицательным температурам августе-сентябре воздуха В снежницы начинают замерзать, но покрываются сначала тонким льдом, температура которого выше температуры окружающего льда (Рис. 3). И, следовательно, они становятся источником положительных потоков тепла в атмосферу (Рис. 4).



Рисунок 3 - Термограмма участка поверхности льда, покрытого замерзающими снежницами. Температуры сплошного льда (синий цвет) -8<sup>0</sup>C, температура покрытой тонким льдом снежницы (зеленый цвет) -4<sup>0</sup>C. Температура воздуха -7<sup>0</sup>C



Рисунок 4 - Потоки тепла (а) и влаги (б) измеренные на 4 ледовых станциях в Арктике в августе-сентябре. На всех станциях на поверхности льда находились снежницы в стадии замерзания. Наибольшая площадь покрытия наблюдалась на третьей станции

Также	снежницы	служат	углекислого газа из атмосферы в
стоком для	углекислого	газа из	воду снежниц может достигать
атмосферы	из-за	низкого	десятка ммоль/(м <sup>2</sup> день) [18]
содержания	в ИХ	воде	(Рис.5).
растворенног	о углерода.	Поток	



Рисунок 5 - Поток углекислого газа, измеренный на четырех ледовых станциях в июлеавгусте. Наибольшая площадь снежниц наблюдалась на первой станции. На четвертой станции (август) снежницы начали покрываться льдом

Bce вышесказанное подтверждает климатическую значимость снежниц. Кроме того, относительная площадь снежниц, образовавшихся в период таяния ледяного покрова, может служить индикатором интенсивности будущего уменьшения его площади И факторов, одним ИЗ определяющих значение сентябрьского минимума площади льда [18].

Но снежницы - и одна из основных причин занижения летней сплоченности морского льда, определяемой ПО спутниковым данным. Поэтому и для климатических оценок, и для интерпретации данных дистанционного зондирования определение важно площади

покрытия снежницами ледяных Арктики. Правильные массивов оценки площади снежниц на льду дают информацию для коррекции спутниковых данных И ДЛЯ прогноза площади ледового покрытия в осенне-зимний период.

В первых попытках определять наличие снежниц на морском льду с помощью данных зондирования дистанционного космические использовались радиолокаторы синтезированной [19]. апертуры далее были разработаны методики идентификации снежниц ПО данным спутниковых альтиметров И скаттерометров, В частности скаттерометра QuikSCAT [20]. Но эти спутниковые системы не дают проследить возможности

глобальную динамику изменчивости структуры ледяных полей как в пространственном, так временном масштабе. В и BO настоящее время с этой целью используются данные спектрорадиометра MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) [11; 21]. Метод определения по MODIS основан на различных спектральных свойствах снежницы, льда, открытой воды и полосе наблюдений снега В спектрорадиометра: для каждой из перечисленных поверхностей строятся спектральные модели, а потом решается обратная задача

[11]. Результаты анализа в виде карт распределения снежниц на поверхности Арктики льда находятся в открытом доступе на сайте университета Гамбурга http://icdc.cen.uni-(ICDC, hamburg.de/1/daten/cryosphere/arctic -meltponds.html). На рис. 6 показано пространственное распределение снежниц в июне 2007 и 2011 годов, предшествующих минимумам площади ледяного покрова В сентябре по данным MODIS. Карты показывают относительную площадь снежниц в одном пикселе изображения, разрешение – 12, 5 КМ.



Рисунок 6. Пространственное распределение относительной площади снежниц в Арктике 18 июня 2007 и 2011 годов [21]

Но недостатком данных MODIS является, во-первых, относительно короткий ряд наблюдений (с 2000 года), и, главное, невозможность получать данные при наличии облачности, что для Арктики является критичным, ибо большую часть года она покрыта сплошными облаками [22].

Получать всепогодные, ежедневные, независимые ОТ освещенности наличия И облачности данные о сплоченности И площади морского льда позволяет пассивное микроволновое зондирование. Среди действующих ныне наиболее программ продолжительной является миссия, начатая на спутнике Nimbus 7 (1978–1987 гг., прибор SSMR) и продолжающаяся по настоящее время на спутниках серии DMSP (приборы SSM/I И SSMIS). Используемые В рамках этой программы сканирующие многоканальные микроволновые радиометры позволяют эффективно распознавать покрытую льдом поверхность и открытую воду с помощью различных алгоритмов обработки радиометрических [23]. Непрерывно данных пополняемый набор данных общедоступным, является что 40-летней наряду С почти продолжительностью ряда наблюдений делает его важнейшим источником фактической информации состоянии 0 арктического ледяного покрова. Но наличие снежниц на поверхности приводит к занижению летней площади и сплоченности льда, так радиометрические как свойства открытой воды и воды снежниц одинаковы [24]. Толщина скинслоя воды В микроволновом диапазоне менее 1 мм, поэтому даже очень тонкий слой воды на поверхности будет льда восприниматься радиометром как участок открытой воды.

устранения проблемы Для занижения сплоченности льда в разработанный институте В космических исследований алгоритм определения площади и сплоченности льда по ланным пассивного микроволнового

VASIA была зондирования включена модель эффективной диэлектрической проницаемости снежниц [25; 26]. Модель основана на том, что с электродинамической точки зрения, снежница собой представляет смесь трех диэлектрических сред: воды, льда и воздуха, а эффективную диэлектрическую проницаемость такого рода сред можно определить помощью электростатических С смеси [27]. Алгоритм моделей позволяет определять не только a)

сплоченность ледового покрова, но и площадь снежниц, покрывающих В летнее время. Площадь лед снежниц можно определить, найдя разницу результатов определения сплоченности, полученных С применением модели снежниц и представлены без нее. На рис.7 карты сплоченности ледового покрова Арктики и относительной площади снежниц В баллах, полученные из этого алгоритма для 30 августа 2012 г.

б)



Рисунок 7 - Сплоченность ледяного покрова Арктики за 30.08.2012, рассчитанная по алгоритму VASIA (а), а также удельная площадь снежниц на поверхности льда (б)

Пред	алгоритм		
позволяет	оценить	И	динамику
изменения	относител	ьно	й площади
снежниц	за		достаточно

продолжительный период наблюдений. На рисунке 8 показано изменение относительной площади снежниц, осредненной по

10

2

всей всему летнему сезону И площади арктического ледяного покрова за период с 1992 по 2014 годы. Наблюдается слабый тренд относительной увеличения площади снежниц, a также максимумы в 2007 и в 20012 годах, когда сентябре наблюдался В минимум площади ледяного

Арктики. Результаты покрытия качественно совпадают с данными, полученными по MODIS за период с 2000 по 2011 годы [21], что свидетельствует о том, что оба алгоритма отражают реальные тенденции изменения состояния ледяного покрова Арктики.



Рисунок 8 - Изменение относительной площади снежниц, осредненной по всему летнему сезону и всей площади арктического ледяного покрова (1992-2014 гг)

сложная

дрейфом

Каждая

во

особенностями

неоднородность

как

снежницы)

приводным

Это

его

И

с

c

Важным свойством морского является льда поверхностная структура. связано с И ледообразования, полей. ледяных поверхностная разводья, (торосы, играет свою роль взаимодействии

атмосферы, слоем так И В термическом радиационном И режиме поверхности. И учет этих морфометрических особенностей важен не только для расчетов, связанных с динамикой И термодинамикой самого льда, но и климатического ДЛЯ моделирования. В данной статье в качестве объекта исследования

РОССИЙСКАЯ АРКТИКА (Nº2

выбраны снежницы – талые лужи льду, изменяющие как его на альбедо, так и теплофизические свойства. На основании данных наземных измерений исследуются термические, радиационные свойства снежниц, их влияние на энергогазообмен ледовой И поверхности С атмосферой. Установлено. что снежницы изменяют альбедо поверхности в несколько раз, над замерзающими снежницами поток тепла меняет знак, а также они служат стоком углекислого газа из атмосферы. Использование результатов измерений спутниковых В микроволновом лиапазоне Литература

- Алексеев Г.В. Исследования изменений климата Арктики в XX столетии // Тр. ААНИИ. 2003. Т. 446. С. 6–21.
- Alexeev V.A., Jackson C.H. Polar amplification: is atmospheric heat transport important? // Climate Dynamics. 2012. V.39. N12. P. 215–239.
- Иванов В.В., Алексеев В.А., Алексеева Т.А. Колдунов Н.В, Репина И.А., Смирнов А.В. Арктический ледяной покров становится сезонным? // Исследования Земли из космоса. 2013. № 4. С. 50–65.

позволило проследить динамику изменчивости относительной площади снежниц за последние Наряду десятилетия. С незначительным трендом видно, что максимумы площади снежниц совпадают с годами, когда наблюдался сентябрьский минимум площади ледяного покрова, то есть подтверждено, что количество снежниц может служить одним из индикаторов дальнейшей изменчивости состояния морского льда.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 18-05-60184.

- IPCC 2014. Climate Change 2014 Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Geneva: IPCC.
- Kwok R., Cunningham G.F., Wensnahan M., Rigor I., Zwally H.J., Yi D. Thinning and volume loss of the Arctic Ocean sea ice cover: 2003–2008 // J. Geophys. Res. 2009. V. 114. № C07005.
- Kwok R., Untersteiner N. The thinning of Arctic sea ice // Phys. Today. 2011. V. 41.
   P. 36–41.

26 Российская арктика (№2)

- Polyakov I.V., Walsh J.E., Kwok R. Recent Changes of Arctic Multiyear Sea Ice Coverage and the Likely Causes // Bull. Amer. Meteorol. Societ., 2012, p.145-151.
- Stroeve J.C., Markus T., Boisvert L., Miller J., Barrett A. Changes in Arctic melt season and implications for sea ice loss // Geophys. Res. Lett. 2014. V. 41. P. 1216–1225.
- 9. Макштас А. П., Богородский П. В. К вопросу о формировании снежниц в Арктическом бассейне // Метеорология и гидрология. 1996. № 8. С. 72–80.

 Perovich D.K., Jones K.F., Light B., Eicken H., Markus T., Stroeve J., Lindsay R.
 Solar partitioning in a changing Arctic seaice cover // Ann. Glaciol. 2011. V. 52(57).
 P. 192–196.

11. Tschudi M.A., Maslanik J.A., Perovich D.K. Derivation of melt pond coverage on arctic sea ice using MODIS observation // Remote Sens. Environ. 2008. V. 112. P. 2605–2614.

 Serreze M.C., Barry R.G. Processes and impacts of Arctic amplification: A research synthetis // Global Planet. Change. 2011.
 V.77. P. 85–96.

 Agarwal S., Moon W., Wettlaufer J.S.
 Decadal to seasonal variability of Arctic sea ice albedo // Geophys. Res. Lett. 2011. V.
 38, L20504.

14. Ehn J.K., Mundy C.J., Barber D.G., Hop H., Rossnagel A., Stewart J. Impact of horizontal spreading on light propagation in melt pond covered seasonal sea ice in the Canadian Arctic // J. Geophys. Res. 2011. V.116. C00G02.

Макштас А.П. Тепловой баланс
 Арктических льдов в зимний период. Л.:
 Гидрометеоиздат, 1984. 87 с.

16. Репина И.А., Артамонов А.Ю., Смирнов А.С., Чечин Д.Г. Исследование взаимодействия океана и атмосферы в полярных районах В рамках международного полярного // года Метеорологические И геофизические исследования. Под ред. Г.В. Алексеева. М. - СПб., 2011. С. 236-250.

17. Geilfus N.-X., Galley R. J., Crabeck O.,
Papakyriakou T., Landy J., Tison J.-L.,
Rysgaard S. Inorganic carbon dynamics of
melt-pond-covered first-year sea ice in the
Canadian Arctic // Biogeosciences. 2015. V.
12. P. 2047–2061.

18. Liu J., Song M., Horton R.M., Hu Y. Revisiting the potential of melt pond fraction as a predictor for the seasonal Arctic sea ice extent minimum// Environ. Res. Lett. 2015. V.10. 054017.

19. Yackel J.J., Barber, D.G. Melt ponds on sea ice in the Canadian Archipelago, 2: on the use of RADARSAT-1 synthetic aperture radar for geophysical inversion // Journal of Geophysical Research. 2000. V. 105(C9). P. 22061–22069.

20. Howell S.E.L., Yackel J. J., De Abreu R., Goldsetzer T., Breneman C. On the utility of SeaWinds/QuikSCAT data for the estimation of the thermodynamic state of first-year sea ice // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. 2005. V.43(6). P. 1338–1350.

21. Rösel A., Kaleschke L. Exceptional melt pond occurrence in the years 2007 and 2011 on the Arctic sea ice revealed from MODIS satellite data // J. Geophys. Res. 2012. V.117. C05018.

22. Чернокульский А.В., Климатология облачности В арктических исубарктических широтах по спутниковым и наземным наблюдениям иданным реанализа.// Солнечно-земная физика, Изд. Институт солнечно-земной физики Сибирского отделения Российской академии наук, Иркутск, 2012.

23. Тихонов В.В., Раев М.Д., Шарков
Е.А., Боярский Д.А., Репина И.А.,
Комарова Н.Ю. Спутниковая
микроволновая радиометрия морского
льда полярных регионов. Обзор. //
Исследование Земли из космоса. V. 2016.
№ 4. С. 65–84.

24. Cavalieri D.J., Gloersen P., Campbell W.J. Determination of Sea Ice Parameters With the NIMBUS 7 SMMR // J. Geophys. Res. 1984. V. 89. № D4. P. 5355–5369.

25. Тихонов В.В., Репина И.А., Раев М.Д., Шарков Е.А., Боярский Д.А., Комарова Н.Ю. Комплексный алгоритм определения ледовых условий в полярных регионах по данным спутниковой микроволновой радиометрии (VASIA2) // Исследование Земли из космоса. 2015. № 2. С. 78-93.

26. Tikhonov V.V., Repina I.A., Raev M.D., Sharkov E.A., Ivanov V.V., Boyarskii D.A., Alexeeva T.A., Komarova N.Yu. A physical algorithm to measure sea ice concentration from passive microwave remote sensing data // Adv. Space Res. 2015. V. 56. № 8. P. 1578–589.

27. Tikhonov V.V., Boyarskii D.A., Sharkov E.A., Raev M.D., Repina I.A., Ivanov V.V., Alexeeva T.A., Komarova N.Yu. Microwave model of radiation from the multilayer "Ocean–atmosphere" system for remote sensing studies of the Polar Regions // Progr. in Electromagn. Res. 2014. V. 59. P. 123–133.

#### References

1. Alekseev, G. V. Issledovaniya izmenenij klimata Arktiki v XX stoletii / 2003. Trudy AANII, 446, 6–21.

 Alexeev V.A., Jackson C.H. Polar amplification: is atmospheric heat transport important? // Climate Dynamics. 2012.
 V.39. N12. P. 215–239.

 Ivanov V.V., Alexeev V.A., Alekseeva T.A., Koldunov N.V., Repina I.A., Smirnov A.V. Does Arctic ocean ice cover become seasonal? // Issledovanie Zemli iz Cosmosa.
 2013. V 4. p. 50–65.

4. IPCC 2014. Climate Change 2014 – Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Geneva: IPCC.

5. Kwok R., Cunningham G.F., Wensnahan M., Rigor I., Zwally H.J., Yi D. Thinning and volume loss of the Arctic Ocean sea ice cover: 2003–2008 // J. Geophys. Res. 2009. V. 114. № C07005.

6. Kwok R., Untersteiner N. The thinning of Arctic sea ice // Phys. Today. 2011. V. 41.P. 36–41.

7. Polyakov I.V., Walsh J.E., Kwok R. Recent Changes of Arctic Multiyear Sea Ice Coverage and the Likely Causes // Bull. Amer. Meteorol. Societ., 2012, p.145-151.

8. Stroeve J.C., Markus T., Boisvert L., Miller J., Barrett A. Changes in Arctic melt season and implications for sea ice loss // Geophys. Res. Lett. 2014. V. 41. P. 1216– 1225.

 Makshtas A.P., Bogorodskiy P.V. A slush-field formation in the Arctic Basin // Meteorology and Gydrology. 1996 (8), 72– 80. (Russian, English abstract).

 Perovich D.K., Jones K.F., Light B., Eicken H., Markus T., Stroeve J., Lindsay R.
 Solar partitioning in a changing Arctic seaice cover // Ann. Glaciol. 2011. V. 52(57).
 P. 192–196.

11. Tschudi M.A., Maslanik J.A., Perovich D.K. Derivation of melt pond coverage on arctic sea ice using MODIS observation // Remote Sens. Environ. 2008. V. 112. P. 2605–2614.

12. Serreze M.C., Barry R.G. Processes and impacts of Arctic amplification: A research

synthetis // Global Planet. Change. 2011. V.77. P. 85–96.

 Agarwal S., Moon W., Wettlaufer J.S.
 Decadal to seasonal variability of Arctic sea ice albedo // Geophys. Res. Lett. 2011. V.
 38, L20504.

14. Ehn J.K., Mundy C.J., Barber D.G., Hop H., Rossnagel A., Stewart J. Impact of horizontal spreading on light propagation in melt pond covered seasonal sea ice in the Canadian Arctic // J. Geophys. Res. 2011. V.116. C00G02.

15. Makshtas A.P. Teplovoy balans arkticheskikh l'dov v zimniy period [Heat balance of Arctic ice in winter]. 1984. Leningrad, Gidrometeoizdat. USSR. 67p. (In Russian)

16. Repina I.A., Artamonov A.Yu., Smirnov A.S., Chechin D.G. (2011) Investigation of the oceanatmosphere interaction in polar regions in frames of the International Polar Year. Meteorological and Geophysical Research. Ed. by Alekseev G.V., Moscow-St.Petersburg, pp. 236-250. (in Russian).

17. Geilfus N.-X., Galley R. J., Crabeck O., Papakyriakou T., Landy J., Tison J.-L., Rysgaard S. Inorganic carbon dynamics of melt-pond-covered first-year sea ice in the Canadian Arctic // Biogeosciences. 2015. V. 12. P. 2047–2061.

18. Liu J., Song M., Horton R.M., Hu Y. Revisiting the potential of melt pond fraction as a predictor for the seasonal Arctic sea ice extent minimum// Environ. Res. Lett. 2015. V.10. 054017. 19. Yackel J.J., Barber, D.G. Melt ponds on sea ice in the Canadian Archipelago, 2: on the use of RADARSAT-1 synthetic aperture radar for geophysical inversion // Journal of Geophysical Research. 2000. V. 105(C9). P. 22061–22069.

20. Howell S.E.L., Yackel J. J., De Abreu R., Goldsetzer T., Breneman C. On the utility of SeaWinds/QuikSCAT data for the estimation of the thermodynamic state of first-year sea ice // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. 2005. V.43(6). P. 1338–1350.

21. Rösel A., Kaleschke L. Exceptional melt pond occurrence in the years 2007 and 2011 on the Arctic sea ice revealed from MODIS satellite data // J. Geophys. Res. 2012. V.117. C05018.

22. Chernokulsky A.V., Cloudiness climatology in the Arctic and subarctic regions from satellite surface and observations and reanalysis data // Solnechno-zemnaya physica, Irkutsk. 2012 (21), 73-78.

23. Tikhonov V.V., Raev M.D., Sharkov E.A., Boyarsky D.A, Repina I.A., Komarova N.Yu Satellite microwave radiometry of sea ice of polar regions: a review // Izvestiya Atmospheric and Oceanic Physics. 2016. V.
4. p. 65–84.

24. Cavalieri D.J., Gloersen P., Campbell W.J. Determination of Sea Ice Parameters With the NIMBUS 7 SMMR // J. Geophys. Res. 1984. V. 89. № D4. P. 5355–5369.

25. Tikhonov V.V., Repina I.A., Raev M.D., Sharkov E.A., Boyarskii D.A., Komarova N.Yu, Kompleksnii algoritm opredeleniya ledovikh uslovii v polyarnikh regionakh po dannim sputnikovoyi mikrovolnovoyi radiometrii (VASIA2) (An integrative algorithm for ice conditions determination in polar regions from satellite microwave radiometry (VASIA2)), Issledovanie Zemli iz kosmosa, 2015, No. 2, pp. 78–93.

26. Tikhonov V.V., Repina I.A., Raev M.D., Sharkov E.A., Ivanov V.V., Boyarskii D.A., Alexeeva T.A., Komarova N.Yu. A physical algorithm to measure sea ice concentration from passive microwave remote sensing data // Adv. Space Res. 2015. V. 56. № 8. P. 1578–589.

27. Tikhonov V.V., Boyarskii D.A., Sharkov E.A., Raev M.D., Repina I.A., Ivanov V.V., Alexeeva T.A., Komarova N.Yu. Microwave model of radiation from the multilayer "Ocean–atmosphere" system for remote sensing studies of the Polar Regions // Progr. in Electromagn. Res. 2014. V. 59. P. 123–133.

## УДК 551.467 ЛЕДОВЫЕ УСЛОВИЯ ПЛАВАНИЯ В АРКТИЧЕСКОМ БАССЕЙНЕ В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД 2018 ГОДА

Алексеева Т.А., Сероветников С.С., Фролов С.В., Соколов В.Т.

Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург

e-mail: taa@aari.ru ; sssu@aari.ru ; svf@aari.ru ; svt@aari.ru

В статье приводятся первичные результаты обработки специальных судовых наблюдений за ледяным покровом в Арктическом бассейне по маршруту Земля Франца-Иосифа – Северный полюс в летний период 2018 г. Показано распределение сплоченности и возрастного состава льда по пути движения ледокола к Северному полюсу. По сравнению с 2006-2011 гг. количество старых льдов в данном районе увеличилось, однако средняя толщина ровного льда по пути плавания существенно уменьшилась. Средняя толщина старых льдов в 2018 г. составила 160 см, что на 65 см меньше, чем в период наблюдений 2006-2011 гг. и на 90 см меньше, чем в 1991-1996 гг. Средняя толщина однолетних льдов в 2018 г. составила 90 см, что на 35 см меньше, чем в 2006-2011 гг. и на 60 см меньше, чем в 1991-1996 гг.

#### Ключевые слова: Арктический бассейн, толщина льда, сплоченность, возраст льда,

#### судовые наблюдения

## ICE CONDITIONS OF NAVIGATION IN THE ARCTIC BASIN IN SUMMER 2018

Alekseeva T.A., Serovetnikov S.S, Frolov S.V., Sokolov V.T.

#### Arctic and Antarctic Research Institute, Saint-Petersburg

e-mail: taa@aari.ru ; sssu@aari.ru ; svf@aari.ru ; svt@aari.ru

The paper presents preliminary results of data processing of special ship observations of ice cover in the Arctic Basin between Franz Josef Land and the North Pole in summer 2018. Distribution of total ice concentration and ice age on the route of navigation of the nuclear icebreaker "50 let Pobedy" is shown. Comparatively to 2006-2011, amount of old ice in this area increased, however average ice thickness dramatically decreased. Mean thickness of level old ice in 2018 was 160 cm, which is 65 less than in 2006-2011 years of observations, and 90 cm less than in 1991-1996. Mean thickness of first-year ice in 2018 was 90 cm, which is 35 cm less than observed in 2006-2011 and 60 cm less than in 1991-1996.

#### Keywords: Arctic Basin, ice thickness, ice concentration, ice age, ship observations

Первь	ій туристи	ческий рейс	К	1990 г. на	ато	мном ледоколо	е (а/л)
Северному	полюсу	состоялся	В	«Россия».	В	дальнейшем	такие

рейсы стали регулярно проводиться в летний период и осуществлялись на а/л «Советский Союз», «Ямал», 2008 года на а/л «50 лет a С 1997 Победы». Ежегодно с Γ. атомный ледокол выходит из порта Мурманск, проходит через Γ.

архипелаг Земля Франца-Иосифа и, далее, направляется к Северному полюсу сквозь льды Арктического бассейна. 3a сезон может рейсов, состояться несколько 2017 например, В году ИХ количество достигло шести.



Рисунок 1 – Маршруты плавания а/л «50 лет Победы» в 2018 г.

В периоды 1991-1996 и 2006-2018 гг. сотрудники Арктического и антарктического научноисследовательского института (ААНИИ) принимали участие в этих рейсах, получая уникальные данные для оценки общего распределения характеристик

ледяного покрова и для оценки их межгодовой изменчивости в данном районе. Маршрут плавания ледоколов на участке от Земли Франца-Иосифа до Северного полюса (Рис. 1) интересен тем, что пересекает западную часть трансарктического дрейфа – одного из главных элементов циркуляции льдов в Арктическом бассейне.

Несмотря на интенсивное спутниковых развитие методов зондирования поверхности Земли, спутниковые данные не дают полного представления о ледяном покрове замерзающих морей. На спутниковых снимках в видимом диапазоне, в большинстве случаев, В летний период значительная часть приполюсного района облаками. закрыта Снимки В радиолокационном диапазоне В приполюсном районе нерегулярны, покрывают лишь часть акватории и сложны для дешифрирования (особенно В летний период). Данные микроволновой радиометрии хотя и регулярны и не зависят от наличия облаков, но обладают низким разрешением и больше пригодны оценки ДЛЯ общей площади ледяного покрова.

Наблюдения за морским льдом производятся по методике ААНИИ [1] непрерывно по всему маршруту следования ледокола. Выделяются однородные ледовые зоны, в которых ледовый наблюдатель определяет общую сплоченность возрастной льда, состав ледяного покрова, а также горизонтальные размеры льдин, толщину ровного льда и высоту торосистость, снега, высоту надводной части торосов, стадию разрушенности, интенсивность сжатия. Кроме того, по ПУТИ движения судна отмечаются ориентация и размеры разводий, трещин и каналов.

Одновременно с наблюдениями визуальными c цифрового помощью телевизионного комплекса (СТК) проводится видеофиксация выворотов льдин вдоль борта ледокола во время движения во льдах для последующего определения толщины льда И высоты снега. СТК представляет собой стандартную систему видеоконтроля, адаптированную ААНИИ специалистами для специфических условий судовых ледовых наблюдений [2].

Данная работа основана на первичных результатах обработки визуальных наблюдений, которые

проводились в период с 14 июня по 12 августа 2018 года. Основные черты изменчивости характеристик ледяного покрова в исследуемом районе определяются циркуляцией льдов в Арктическом бассейне под воздействием атмосферных процессов. В Трансарктический дрейф поступает большое количество льдов из арктических морей сибирского шельфа, а также примыкает область К нему антициклонического круговорота, которого расположен центр примерно на 78° с.ш., 150 ° в.д. Льды, попадающие В трансарктический дрейф из моря Лаптевых, выносятся В Гренландское море через 2-3 года, из Восточно-Сибирского – через 3-4 года, из Чукотского – через 4-5 лет [3]. Таким образом, возрастной состав льдов, которые встречаются на пути плавания ледокола от Земли Франца-Иосифа к Северному полюсу, зависит OT ледовых условий, сформировавшихся в этих морях в предыдущие годы. На рисунке 2 представлены обзорные ледовые карты ААНИИ для общего представления изменения ледовой обстановки по маршруту движения ледокола в 2018 году. С началом определение летнего таяния возраста льда ПО спутниковым снимкам может быть ошибочным из-за образования снежниц на льду, поэтому в летний период, начиная с 1-го июня, на ледовых картах указывается лишь один параметр общая сплоченность ледяного покрова. Для оценки возрастного состава льдов на рисунке 2 (слева) приведена карта за период 27-29 мая 2018 г. От Земли Франца-Иосифа к северу до 83-84° с.ш. преобладали толстые (120 см и более) однолетние льды, и далее к полюсу - старые льды. Также на рисунке 2 (в центре и справа) представлены обзорные карты общей сплоченности льда, за период 17-19 июня и 5-7 августа, т.е. во время 1-го и 5-го рейсов а/л «50 лет Победы» к Северному В полюсу. полутора течение месяцев существенно уменьшилась площадь ледяного покрова в районе Земли Франца-Иосифа вследствие летнего таяния и дрейфа льда,

кромка льдов Арктического бассейна постепенно сместилась к северу до 83° с.ш. В середине июня в приполюсном районе сплоченностью 10 баллов, затем в июле появились разрывы и разводья, а средняя сплоченность снизилась до 9-10 баллов.



Рисунок 2 – Обзорные ледовые карты ААНИИ за период 27-29 мая (слева), 17-19 июня (в центре), 5-7 августа (справа) (более подробная информация о ледовых картах на сайте http://www.aari.ru)

Изменение распределения общей сплоченности и возрастного состава льдов по пути плавания представлены на рисунке 3. На изменение соотношения однолетних и старых льдов по пути плавания между Землей Франца-Иосифа И Северным полюсом дрейф влияет льда, как так И процессы летнего таяния. В то же время, в процессе таяния, в течение однолетние тонкие лета льды вытаивают первую очередь, В поэтому к концу июля обычно уменьшается количество однолетних льдов относительно старых (рисунок 3).



Рисунок 3 – Распределение общей сплоченности и возрастного состава льдов по пути движения а/л «50 лет Победы» от северной границы Земли Франца-Иосифа до Северного полюса в пяти рейсах 2018 г. (между меридианами 45 ° -55 ° в.д.)

Ледяной покров по маршруту Земля Франца Иосифа – Северный полюс в 2018 г. характеризовался высокой сплоченностью, малым количеством разводий, высокой торосистостью, и большим количеством старых льдов относительно периода 2006-2011 ΓГ. (процентное соотношение однолетних старых И льдов приведено в таблице 1). Тем не менее, средняя толщина ровного 2018 году существенно льда в Средняя уменьшилась. толщина

старых льдов в 1991-1996 гг.	старых льдов до 160 см. Средняя
составляла почти 250 см., в 2006-	толщина однолетних льдов от 150
2011 гг. – 225 см, а в 2018 году	см в 1991-1996 гг. снизилась до 125
произошло существенное	см в 2006-2011 гг. и достигла 90 см
уменьшение средней толщины	в 2018 г.

Таблица 1 – Количество однолетних и старых льдов по пути движения в июле (Земля Франца-Иосифа - Северный Полюс)

Год	1991- 1996	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2018
Однолетние льды	62%	87%	96%	95%	93%	90%	93%	80%
Старые льды	38%	13%	4%	5%	7%	10%	7%	20%



Рисунок 4 – Средняя толщина ровного льда по данным визуальных наблюдений с борта ледоколов по маршруту плавания Земля Франца-Иосифа – Северный полюс в июле 1991-1996, 2006-2011 и 2018 гг.

Ра	аспределе	ение и межгодов	вая	толщины	льда	является
изменчи	ивость во	озрастного соста	ава	результатом		сложных
льдов,	общей	сплоченности	И	термодинами	ческих	И

процессов динамических В Арктике, которые тесно взаимосвязаны друг с другом. За специальных период судовых наблюдений за ледяным покровом года на участке Земля с 1991 Франца-Иосифа – Северный полюс средняя толщина ровного льда в данном секторе Арктического бассейна уменьшилась на 85 см. При этом, средняя толщина старых льдов уменьшилась на 90 см, а однолетних – на 60 см. Основными причинами такой деградации толщины льда являются приземной возрастание температуры воздуха, изменения в структуре атмосферной циркуляции, изменения радиационного баланса вследствие изменения альбедо подстилающей поверхности, происходящих В последние десятилетия [4; 5; 6; 7; 8]. Полученные результаты за периоды 1991-1996 и 2006-2011 коррелируют общими С тенденциями В изменении возрастного состава и толщины льда, рассчитанными на основании измерений подводной толщины

части льда с подводных лодок и на основе анализа спутниковых данных [9, 8 и ссылки в этой публикации].

Для оценки степени влияния фактора каждого природного требуется работа комплексная специалистов в различных областях науки: подробный анализ ледовой обстановки в морях, из которых лед трансарктический вовлекается В дрейф, а также В самом Арктическом бассейне, 3a несколько предшествующих лет анализируемому периоду. Требуется анализ скорости морских течений и дрейфа льда, изменения атмосферной циркуляции, температуры воздуха И Т.Д. данной Авторами работы проводится дальнейшая обработка и анализ всех данных, полученных в туристических рейсах с 1991 по 2018 гг. (а также и в других высокоширотных экспедициях), в и инструментальных числе том измерений толщины льда с СТК, помошью что позволит провести детальный анализ изменения состояния ледяного покрова в Арктическом бассейне.

#### Литература

 Руководство по производству судовых специальных ледовых наблюдений. СПб.: ААНИИ, 2011.

2. Фролов С.В., Третьяков В.Ю., Клейн А.Э., Алексеева Т.А., Пряхин С.С.. Результаты наблюдений за толщиной ледяного покрова по данным высокоширотных арктических морских экспедиций. Вклад России В Международный полярный год 2007/2008. Океанография и морской лед. Москва-Санкт-Петербург. 2011 г., с. 374-385.

Наблюдения за ледовой обстановкой:
 Учебное пособие. – СПб.: ГУ «ААНИИ»,
 2009. 360 с.

 Алексеев Г.В. Арктическое измерение глобального потепления. Лед и снег. 2014
 №2 Т. 54 С. 53-68

5. Wang, J., Zhang, J., Watanabe, E., Ikeda, M., Mizobata, K., Walsh, J., Bai, X., and Wu, B.: Is the Dipole Anomaly a major driver to record lows in Arctic summer sea ice extent?, Geophys. Res. Lett., 36, L05706, doi:10.1029/2008GL036706, 2009. 6. Petoukhov V., Semenov V.A. A link between reduced Barents Kara sea ice and cold winter extremes over northern continents // Journ. of Geophys. Research. 2010. 115, D21111. doi.10.1029/2009JD013568

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 18-05-60048.

 Liu Y., Key J.R., Wang X. The Influence of Changes in Cloud Cover on Recent Surface Temperature Trends in the Arctic // Journ. of Climate. 2008. V. 21. P. 705–715.
 Иванов В.В., Алексеев В.А., Алексеева Т.А.,. Колдунов Н.В, Репина И.А., Смирнов А.В. Арктический ледяной покров становится сезонным? // Исследования Земли из космоса. 2013. № 4. С. 50–65.

9. Kwok R., Untersteiner N. The thinning of Arctic sea ice // Phys. Today. 2011. V. 41.P. 36–41.

#### References

1. Rukovodstvo po proizvodstvu sudovyh special'nyh ledovyh nabljudenij. SPb.: AANII, 2011. (In Russian).

2. Frolov S.V., Tretyakov V.Yu., Kleyn A.E., Alekseeva T.A., Pryakhin S.S. Results of observations of ice thickness from the data of high latitudinal Arctic marine expeditions. Impact of Russia to the International Polar Year 2007/2008. Oceanography and sea ice. Moscow-Saint-Petersburg. 2011. Pp 374-385.

 Nabljudenija za ledovoj obstanovkoj: uchebnoe posobie. [Observations of ice conditions: manual] SPb.: AANII, 2009. –
 360 s. (In Russian). 4. Alekseev G.V. Arctic dimension of global warming. Led I sneg Journal. 2014 №2 V.
54 P. 53-68.

 Wang, J., Zhang, J., Watanabe, E., Ikeda, M., Mizobata, K., Walsh, J., Bai, X., and Wu, B.: Is the Dipole Anomaly a major driver to record lows in Arctic summer sea ice extent?, Geophys. Res. Lett., 36, L05706, doi:10.1029/2008GL036706, 2009.
 Petoukhov V., Semenov V.A. A link between reduced Barents Kara sea ice and cold winter extremes over northern continents // Journ. of Geophys. Research. 2010. 115, D21111. doi.10.1029/2009JD013568

7. Liu Y., Key J.R., Wang X. The Influence of Changes in Cloud Cover on Recent Surface Temperature Trends in the Arctic // Journ. of Climate. 2008. V. 21. P. 705–715.
8. Ivanov V.V., Alexeev V.A., Alekseeva T.A., Koldunov N.V., Repina I.A., Smirnov A.V. Does Arctic ocean ice cover become seasonal? // Issledovanie Zemli iz Cosmosa. 2013. V 4. p. 50–65.

9. Kwok R., Untersteiner N. The thinning of Arctic sea ice // Phys. Today. 2011. V. 41.P. 36–41.

#### УДК 551.326.02

## СУДОВОЙ ТЕЛЕВИЗИОННЫЙ КОМПЛЕКС – РЕАЛИЗАЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ НАТУРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ТОЛЩИНЫ МОРСКОГО ЛЬДА

Сероветников С.С., Фролов С.В., Клейн А.Э.

Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург

e-mail: sssu@aari.ru ; svf@aari.ru

В статье приводится краткий обзор современных технологий получения натурных данных о толщине морских льдов, суммарный опыт многолетней эксплуатации судового телевизионного комплекса (СТК), а также программа модернизации измерительного комплекса СТК-К.

Получение качественных натурных данных о толщине морского льда является ключевым моментом для последующей валидации (аттестации качества и достоверности) ледовых карт, создаваемых на основе спутниковых методов дистанционного мониторинга ледовой обстановки, составления оперативных прогнозов ледовой обстановки в районах активного судоходства. Результаты измерений являются реперными данными для оценки современных климатических изменений в ледяном покрове.

Программа модернизации комплекса СТК-К позволяет осуществлять переход от эпизодических локальных наблюдений к оперативному широкомасштабному системному мониторингу ледяного покрова. По мере развития и распространения проектируемой системы значительно возрастет точность и детализация картирования и оперативного прогнозирования ледовой обстановки в зонах активного судоходства.

Ключевые слова: Арктический бассейн, толщина льда, сплоченность, возраст льда, судовые наблюдения, мониторинг, прогноз, ледовая обстановка, валидация ледовых карт

## SHIP-BASED TELEVISION COMPLEX – THE PROGRAM FOR AUTOMATIC SEA ICE THICKNESS MONITORING

Serovetnikov S.S, Frolov S.V., Klein A.E.

Arctic and Antarctic Research Institute, Saint-Petersburg

#### e-mail: sssu@aari.ru ; svf@aari.ru

The paper presents a short review of modern technologies for sea ice thickness measuring, the experience of operation with ship-based television complex (STK), and the program for automatic sea ice thickness monitoring system STK-K.

The key moment for operative satellite ice condition forecasts in active navigation areas is the ice charts validation. For qualitative ice charts validation is using the real ice thickness data. The general purpose of STK-K program (automatic sea ice thickness monitoring system) is transition from temporary local observations to real-time and large-area monitoring system. The STK-K program will provide the operative data-array of the ice thickness values for the qualitative and detailed ice charts validation.

## Keywords: Arctic Basin, ice thickness, ice concentration, ice age, ship observations, ice condition forecast, ice monitoring network, ice charts validation

#### Введение

Основным источником оперативной информации 0 ледовой обстановке в Арктическом бассейне и замерзающих морях умеренных широт являются данные искусственных спутников Земли (ИСЗ), получаемые в различных спектральных диапазонах видимом (ТВ), инфракрасном (ИК) и радиолокационном (РЛ), а также данные пассивного микроволнового зондирования. Дешифрирование спутниковых снимков процессом является обнаружения, распознавания И интерпретации изображенных объектов ледяного покрова, суши и др.

Результатом дешифрирования снимков ИСЗ являются обзорные и детализированные карты распределения льда. Обзорные ледовые карты отображают состояние ледяного покрова моря или нескольких морей за период 2-3 дня. Детализированные ледовые карты ЭТО карты крупномасштабного формата, которые составляются для конкретной акватории (моря, залива, бухты, полигона и т.п.) за определенное время. Такие карты используются для оперативного обеспечения судоходства, исследовательских работ, а также используются при составлении ледовых прогнозов.

В настоящее время существует большое количество алгоритмов автоматизированного дешифрирования спутниковой информации, каждый из которых адаптирован под определенные группы типы ИЛИ типов спутниковых данных, все ОНИ имеют свои положительные И отрицательные стороны, что В конечном итоге приводит К необходимости ручной корректировки результатов дешифрирования [1,2]. Построение обзорных И детализированных карт требует участия ледовых высококвалифицированных специалистов И длительного времени, затрачиваемого на анализ имеющейся информации.

Важнейшим критерием обстановки прогноза леловой является валидация (аттестация качества и достоверности) ледовых карт, когда результаты дешифрирования и картирования сравниваются с данными натурных измерений параметров ледяного покрова. Такие данные можно получить, только проводя специальные ледовые наблюдения непосредственно в районах, для которых осуществляется прогноз и картирование ледовой обстановки [3, 4]. Также результаты натурных измерений используются при уточнении алгоритмов дешифрирования спутниковой информации.

К сожалению, в настоящее время производство специальных ледовых наблюдений осуществляется эпизодически И точечно, что обусловлено высокой стоимостью экспедиционных работ. Такой подход не обеспечивает достаточного пространственного и временного формирования охвата для оперативной базы данных натурных наблюдений.

Для своевременной И качественной валидации дистанционного результатов мониторинга ледовой обстановки и повышения степени детализации ледовых карт необходимо иметь гибкую пространственно-И распределенную систему сбора данных натурных наблюдений. В современных реалиях такая система обязана состоять ИЗ большого количества недорогих регистрирующих модулей, способных производить измерения автоматическом режиме в И оперативно передавать результаты обработки центр сбора В И информации.

Одним из ключевых параметров, характеризующих состояние ледяного покрова в исследуемом районе, наряду с общей сплоченностью, торосистостью и разрушенностью льда является его толщина и возрастной состав льдов.

## 1. Методы измерения толщины морского льда

Морской лед, в отличие ото льда континентального, образуется в результате замерзания морской (соленой) воды и в процессе своего существования претерпевает многочисленные структурные изменения, чем обусловлена его внутренняя сложная структура. Так, ровный морской лед имеет некоторую вертикальную слоистость (в первом приближении) и такие физические параметры как температура, соленость, плотность и структура в значительной мере закономерно изменяются по вертикали В пределах отдельной льдины или (ровного) однородного участка ледяного покрова. Деформированный морской лед (наслоения, торосы) имеет более сложную внутреннюю структуру. Такая особенность приводит К

значительным затруднениям при измерении толщины морского льда традиционными средствами.

1. Бурение наиболее \_ точный метод измерения К толщины морского льда. сожалению, для производства широкомасштабных натурных наблюдений данный метод совершенно не подходит ввиду длительности финансовой И затратности. Данный метод эффективен для производства локальных контрольных измерений.

2. Акустический метод (эхолокация) – наиболее точный метод из всех существующих решений для дистанционного зондирования ледяного покрова, успешно применяется на подводных лодках И необитаемых подводных аппаратах, в частном случае на погружаемых

К гидроакустических буях. сожалению, В силу ряда объективных причин данные измерений толщины льда акустическим не методом

доступны ограниченно ИЛИ доступны и не подходят для решения оперативного задач мониторинга. B случае применения гидроакустических буев, получение данных возможно только в отложенном режиме, что наряду С дороговизной элементов И ограниченной применимостью по глубинам не подходит для решения поставленных задач.

3. Электромагнитный метод (георадар) – наиболее распространенный метод малого и среднего глубинного зондирования на суше. Ввиду значительной изменчивости морского солености льда, а также «слоистости», переменное электрическое сопротивление проницаемого материала приводит К подавляющему искажению И В затенению отдельных зон. настоящее время научными институтами и лабораториями (США, различных стран Канада, Германия) проводятся экспериментальные работы В рамках данного метода [5], но добиться устойчивости результатов измерения толщин морского льда относительно контрольного бурения на локальных полигонах В настоящее время не удалось. При переходе буквально ОТ льдины к льдине, системы серьезной нуждаются В калибровке. Данный метод не подходит для решения задач оперативного мониторинга.

4 Радиолокационный (спутниковое метод зондирование) – данный метод имеет низкую разрешающую способность  $\pm 1$ м, что делает его бесполезным при измерении характерных толщин арктических морских льдов 0.5-2.0 м. Радиолокационный метод измерения толщины морского (авиационный) был льда реализован В разработках Рижского института инженеров гражданской авиации в середине 80-х годов ХХ века. Было выпущено несколько прибора: типов такого

45 Российская арктика (№2)

«Омар» «Аквамарин», И «Припай». Однако все эти приборы были предназначены измерений толщины для морского борта льда С воздушного судна (самолеты ИЛ-14, ИЛ-18, AH-30). Разработка модификации этих приборов для морских судов не Масштабное проводилась. использование РЛ комплекса авиационного базирования В значительной мере осложнено современными экономическими реалиями.

5. Визуальные/телевизион ные судовые измерения - в настояшее время наиболее распространенный метод измерения толщины морского льда. Суть метода заключается в наблюдении за выворотами отдельных льдин при движении судна. При самостоятельном движении судна BO льдах, непосредственно борта, У регулярно выворачиваются обломки отдельные льдин, которые, занимая положение близкое к вертикальному, И

обеспечивают возможность оценить толщину бокового скола. Измерения толщины производятся визуально масштабной относительно рейки или, в случае применения телевизионного комплекса, относительно заранее измеренных контрольных величин путем геометрических расчетов оптических параметров регистрирующей Точность камеры. измерения морского толщины льда  $\pm 10$ составляет СМ при визуальной регистрации и ±2 см при использовании телевизионного комплекса. Достоинства И недостатки подробно данного метода рассмотрены в разделе 2.

Как видно, выбор из существующих методик измерений толщины морского льда для осуществления недорогих масштабных натурных наблюдений не богат и сводится к судовым телевизионным наблюдениям.

## 2. Судовой телевизионный комплекс (СТК)

Судовой телевизионный (CTK) комплекс представляет собой систему видеоконтроля, адаптированную специалистами ФГБУ «ААНИИ» для специфических условий судовых ледовых наблюдений [6]. Основная задача, решаемая с помощью СТК, частичная автоматизация специальных ледовых наблюдений (измерение толщины морского унификация льда), ИХ И исключение влияния субъективных факторов на объем и качество наблюдений. Измерения осуществляются в соответствии с «Рекомендациями № 52.17.3 «Толщина льда у борта судна. Методика выполнения измерений судовым телеметрическим комплексом». ААНИИ (2009 г.).

Комплекс конструктивно состоит из двух модулей. Модуль регистрации, включающий в себя телевизионную камеру и систему GPS. позиционирования осуществляет непрерывную (2 сек.) сьемку морского льда у борта судна и обеспечивает точную временную И координатную привязку получаемых изображений. Программно-аппаратный модуль архивирует получаемые данные и выделяет снимки, содержащие отдельные вывороты льдин, подлежащие измерению (рис. 1), а также производит запись основных параметров движения судна. Полученные снимки используются для измерения толщины морского льда и высоты снежного покрова.



Рисунок 1 - Слева пример выворота льдин при движении атомного ледокола «50 лет Победы», 2018 г. Справа снимок выворота льдины, выполненный комплексом СТК

При измерениях используется специальное программное обеспечение (ПО) с учетом заранее известных контрольных величин оптической системы.

Результатом работы СТК является массив данных о толщине морского льда и снежного покрова на всем протяжении маршрута ледового плавания.

Опыт применения комплекса на протяжении 15 лет (с 2003 г.) показал его высокую эффективность при производстве натурных наблюдений, но в то же время выявил ряд определенных недостатков. К основным недостаткам относятся: относительность измерений толщин на основе геометрических построений, невысокая устойчивость ключевых контрольных величин оптической системы комплекса при наличии кренов судна во время активного движения во льдах, что приводит к резкому увеличению «невязок» при последующей обработке. Так же необходимо отметить относительную дороговизну «защищенных» систем видеоконтроля, используемых В

составе комплекса и приобретаемых у производителей в виде готового решения.

Отдельно следует остановиться на выявленных проблемах автоматизации процессов измерения. Так как основным результатом регистрации является массив растровых изображений, получаемых при динамически переменном контрастность освещении, И тоновая насыщенность искомых объектов (выворотов льдин) невелика относительно фонового изображения. Многочисленные версии специализированного ПО, применявшиеся В процессе СТК. эксплуатации выявили низкую стабильность автоматизированного поиска И оконтуривания боковых сколов льдин. В результате итогом автономной работы комплекса СТК является обширный массив данных, непригодных оперативной к передаче В условиях реальной пропускной способности телекоммуникационных сетей В полярных регионах. Длительность

и трудоемкость ручной обработки данных оператором комплекса не позволяет обеспечивать оперативную передачу результатов натурных наблюдений в центр сбора информации.

В итоге можно заключить, что комплекс СТК представляет собой эффективное решение для производства периодических натурных наблюдений, но в его текущем состоянии не пригоден для реализации системных мониторинговых работ.

> 3. СТК-К – реализация автоматизированной системы натурных наблюдений толщин морского льда

В настоящее время В лаборатории изучения ледового ААНИИ плавания реализуется проект по глубокой модернизации программно-аппаратного решения СТК. Целью комплекса проекта является создание автоматизированной системы натурных наблюдений толщин морского льда (СТК-К), на основе имеющихся опытноэксплуатационных наработок.

Ключевыми задачами проекта модернизации являются:

- переход от относительных измерений к прямым (лазерное сканирование);
- повышение точности измерений (до ±0,5 мм);
- обеспечение устойчивой работы, как в дневное, так и в ночное время;
- внедрение цифровой оценки структуры морского льда с целью определения возрастных и эволюционных характеристик (по данным лазерной фотометрии);
- сокращение объёма данных, производимых непосредственно на борту судна (автоматизация обработки в режиме реального времени);
- обеспечение оперативности передачи данных натурных наблюдений сервера на ААНИИ для использования в процессе валидации спутниковых снимков И осуществления научно-

оперативного обеспечения морской деятельности;

- общее аппаратное удешевление стоимости автономного регистратора входящего в систему СТК-К;
- организация
   автоматизированного центра
   контроля/управления и приема
   данных наблюдений.

При глубоком инженернонедостатков техническом анализе действующего комплекса был выявлен ключевой момент, определяющий все существующие проблемы технические измерений. В относительность эксплуатации СТК процессе не удалось создать эффективного ПО, способного автоматически выявлять и измерять боковые сколы льдин в поле слабоконтрастного растрового изображения. Решение такой задачи возможно применением c самообучающейся нейронной сети, реализуемо что трудно по финансовым техническим И причинам. В итоге в полной мере проблемы больших проявились

50 российская арктика (№2)

массивов данных и длительной ручной обработки.

Современное развитие мощных, недорогих и общедоступных лазерных излучателей породило целую плеяду сканирующих устройств различного назначения. В то же время на рынке появилось большое количество фоторегистрирующих устройств с высоким разрешением и, что не менее низкой важно, себестоимостью.

B 2018 сотрудниками Г. лаборатории изучения ледового ААНИИ разработана плавания цифрового модель лазерного сканирующего устройства, призванного дополнить, а в дальнейшем И заменить существующий СТК. На рисунке 2 показана принципиальная схема регистрирующего компонента лазерного сканирующего устройства. Рассчитанная на применение недорогих общедоступных компонентов такая модель в первую очередь снижает финансовую нагрузку при реализации системы. При ЭТОМ

эффективно решается проблема относительности измерений: система проводит точные измерения и имеет устойчивую обратную связь, реализующую непрерывную корректировку измерений, учитывая любые внешние динамические пути изменения следования на судна.

Основным результатом работы такой системы является не объемный массив растровых цифровая таблица данных, а измерений, результатов имеющая скромный весьма размер И пригодная к оперативной передаче в рамках существующих телекоммуникационных каналов. Все расчётные и вычислительные операции проводятся компонентами системы непосредственно на борту судна автоматизированно в режиме реального времени. Что превращает любое оснащённое судно, регистрирующим компонентом СТК-К, В индивидуальную регистрирующую единицу в составе регистрации толшины системы морского льда.



Рисунок 2 - Принцип создания цифровой развертки рельефа на CMOS матрице при вертикально расположенной камере. Зеленым цветом показан полосовой лазер подсекающий рельеф, красным - сдвоенный корректирующий лазерный дальномер, желтым цветом показана цифровая модель рельефа поверхности, регистрируемая CMOS матрицей

2018 Проведенные в Γ. экспериментальные работы ПО оценке ключевых параметров модели не подтвердили только техническую состоятельность проекта, но И выявили перспективный ряд дополнительных возможностей.

52 РОССИЙСКАЯ АРКТИКА (Nº2)

В отличие от функциональных возможностей существующего СТК, где измерению подлежат только вертикальные И близкие к вертикальным вывороты, лазерное сканирующее устройство способно измерять практически любые вывороты льдин, независимо от угла выворота относительно вертикали. Необходимым условием измерения является только полный выход бокового скола льдины над поверхностью воды.

При проведении лазерной фотометрии боковых сколов льдин выявлена возможность автоматизированного определения структуры (слоистости), ИХ на основе интенсивности рассеяния/отражения несущего луча. Используя информацию о структуре бокового скола льдины можно достоверно определять ee возрастные характеристики И. помимо профиля толщин льдов при движении судна, получать так же и профиль распределения возрастного состава льда, что в разы увеличивает применимость и полезность получаемых данных.

В 2019-2020 течение ΓГ. планируется ввести в эксплуатацию первую очередь автоматизированной системы наблюдений натурных толщины льда СТК-К. Система морского будет включать в себя несколько модулей судовых автономных регистрации и автоматизированный контроля/управления центр И Дальнейшее приема данных. развитие системы будет целиком финансирования зависеть ОТ заинтересованными организациями. В настоящий момент программа является инициативной.

#### Заключение

В настоящее время транспортная артерия Северного морского пути переживает период бурного развития. Строятся И вводятся в эксплуатацию новые суда различного ледового класса и назначения. На отдельных участках Северного морского пути навигация носит круглогодичный характер. В летне-осенний период активно развивается транзитное плавание.

В то же время результаты наблюдений многолетних 38 арктическими льдами показывают постепенное увеличение количества морского льда. Начиная с 2012 Г., были когда зарегистрированы наименьшие навигационные затруднения на трассах Северного морского пути, появилась четкая тенденция К усложнению ледовых условий год от года [7, 8].

Существующая в настоящее время система оперативной оценки фактической И прогностической обстановки ледовой имеет недостаточную точность И детализацию для полноценного обеспечения безопасности ледового плавания. Реализация автоматизированной системы наблюдений натурных толшин морского льда СТК-К позволит существенно повысить качество и эффективность научнооперативного обеспечения морской деятельности в ледовых условиях.

**53** Российская арктика (№2)

#### Благодарности

Автором идеи создания СТК является ведущий программист ААНИИ Анатолий Эвадьевич Клейн (1954-2017 гг.).

Под руководством А.Э. Клейна и с его личным участием комплекс был разработан и внедрен в практику судовых специальных ледовых наблюдений.

А.Э. Клейн принимал самое активное участие на всех стадиях Литература

 Алексеева Т.А., Фролов С.В.
 Сравнительный анализ спутниковых и судовых данных о ледяном покрове в морях Российской Арктики // Исслед.
 Земли из космоса. 2012 г. № 6, с. 69-76.

2. Tikhonov V.V., Repina I. A., Raev M. D., Sharkov E. A., Ivanov V. V., Boyarskii D. A., Alexeeva T. A., Komarova N. Yu.. A physical algorithm to measure sea ice concentration from passive microwave remote sensing data // Adv. in Space Res. 2015. V56. N8. P. 1578-1589. DOI:10.1016/j.asr.2015.07.009.

 Наблюдения за ледовой обстановкой: учебное пособие. СПб.: ААНИИ, 2009. – 360 с.

 Руководство по производству судовых специальных ледовых наблюдений. СПб.: ААНИИ, 2011. работы над СТК – идеи, создания опытного образца, модификации комплекса, разработки обеспечения, программного обеспечения функционирования комплекса В многочисленных арктических экспедициях, обработки полученных данных, их анализа и интерпретации.

Настоящая работа посвящается памяти А.Э. Клейна.

5. Haas, C., 1998. Evaluation of ship-based electromagnetic-inductive thickness measurements of summer sea-ice in the Bellingshausen and Amundsen Seas, Antarctica. Cold Regions Science and Technology 27, 1-16.

6. Клейн А. Э., Третьяков В. Ю., Фролов
С. В. Патент на полезную модель №
70983 «УСТРОЙСТВО ДЛЯ
ИЗМЕРЕНИЯ ТОЛЩИНЫ ЛЬДИН С
БОРТА СУДНА» // Правообладатель:
«Арктический и антарктический научно-исследовательский институт».

7. Миронов Е.У., Фролов С.В. Влияние морского льда на судоходство и классификация опасных ледовых явлений. // Опасные ледовые явления для судоходства в Арктике. С.-П.: ААНИИ. 2010. Гл. 1. С. 12-32.

8. Юлин А.В. Вторжение труднопроходимых льдов на трассы плавания // Опасные ледовые явления для судоходства в Арктике. С.-П.: ААНИИ. 2010. Гл. 8. С. 269-277.

#### References

1. Alekseeva T.A., Frolov S.V. Comparing satellite and shipborne sea ice data obtained in the Russian Arctic Seas // Izvestia Atmos. Ocean Phys., 49 (9), 2013, P. 879-885. dx.doi.org/10.1134/S000143381309017X.

 Tikhonov V.V., Repina I. A., Raev M. D., Sharkov E. A., Ivanov V. V., Boyarskii D.
 A., Alexeeva T. A., Komarova N. Yu.. A physical algorithm to measure sea ice concentration from passive microwave remote sensing data // Adv. in Space Res.
 2015. V56. N8. P. 1578-1589.
 DOI:10.1016/j.asr.2015.07.009.

 Nabljudenija za ledovoj obstanovkoj: uchebnoe posobie. [Observations of ice conditions: manual] SPb.: AANII, 2009. – 360 s.

 Rukovodstvo po proizvodstvu sudovyh special'nyh ledovyh nabljudenij. SPb.: AANII, 2011. 5. Haas, C., 1998. Evaluation of ship-based electromagnetic-inductive thickness measurements of summer sea-ice in the Bellingshausen and Amundsen Seas, Antarctica. Cold Regions Science and Technology 27, 1-16.

6. Kleyn A.E., Tretyakov V.Yu., Frolov S.V. Utility patent 70983 «EQUIPMENT TO MEASURE ICE THICKNESS FROM A SHIP BOARD» // Rigthholder: «Arctic and Antarctic Research Institute».

7. Mironov E. U., Frolov S. V. Vlijanie morskogo l'da na sudohodstvo i klassifikacija opasnyh ledovyh javlenij. Opasnye ledovye javlenija dlja sudohodstva v Arktike. [Influence of sea ice on navigation and classification of dangerous ice formations] S.-P.: AANII. 2010. Ch. 1. P. 12-32.

8. Yulin А V. Vtorzhenie trudnoprohodimyh l'dov na trassy plavanija // Opasnye ledovye javlenija dlja sudohodstva v Arktike. [Methods of intensive control of icebergs. Ice formations in the western Arctic Seas] S.-P.: AANII. 2010. Ch. 8. P. 269-277.

#### УДК 551.467

B

#### ЛЕДЯНЫЕ ДРЕЙФУЮЩИЕ ОСТРОВА В АРКТИКЕ

В.И.Бессонов

Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург

#### e-mail: vladimirb@aari.ru

В работе кратко приведена информация о современном состоянии шельфовых ледников Арктики. Приводятся данные о дрейфе одного из самых крупных ледяных дрейфующих островов. Делается вывод о возможности использования подобных ледяных объектов для организации новой научно-исследовательской дрейфующей станции «Северный Полюс».

#### Ключевые слова: Арктика, ледяной дрейфующий остров, Маркхем, шельфовый ледник, дрейфующая станция «Северный Полюс»

#### **ICE ISLANDS IN THE ARCTIC**

V.I.Bessonov

Arctic and Antarctic Research Institute, Saint-Petersburg

e-mail: vladimirb@aari.ru

Information on the current condition of the Arctic ice shelf is briefly provided in the paper. Data about drift of one of the largest ice island are provided. It is concluded that such kind of ice formations are appropriate for organization of the drifting polar station "North Pole".

#### Key words: Arctic, ice island, Markham, ice shelf, drifting station «North Pole»

56 РОССИЙСКАЯ АРКТИКА (№2)

1907 году арктический Роберт Пири исследователь путешествовал собачьих на упряжках северного вдоль побережья Элсмир острова И описал "ледниковый край" вдоль побережья. северного его Современные гляциологи установили, что ЭТОТ край сформировался примерно 4500 лет назад и во времена Пири вероятно

представлял собою единый шельфовый ледник, площадь которого приблизительно была равна 8900 км<sup>2</sup>. К 50-м годам прошлого века большая часть этого ледника распалась.

К июлю 2008 г. то, что когдато было массивным ледяным краем вдоль северного побережья острова Элсмир, уменьшилось ДО ПЯТИ шельфовых изолированных

ледников: Серсон, Петерсен, Милн, Уорд Хант и Маркхем. В 2005 г. шельфовый ледник Эйлс полностью прекратил свое существование. Эти пять ледников стали последними из оставшихся шельфовых ледников в Канаде.

22 июля 2008 г. началась новая волна разрушения шельфовых ледников и к концу августа площадь их уменьшилась в общей 214 сложности на  $KM^2$ . Шельфовый ледник Уорд Хант потерял в общей сложности 42 км<sup>2</sup>, Серсона 122 ледник  $KM^2$ , составляющие 60 процентов его предыдущей площади. Шельфовый ледник Маркхем (рис. 1) общей площадью в 50 км<sup>2</sup> полностью прекратил свое существование.



 возвышенная часть ледника, впоследствии ставшая ядром дрейфующего острова; 2 – низменная часть шельфового ледника

Рисунок 1 - Радиолокационное изображение шельфового ледника Маркхем до образования одноименного дрейфующего острова по данным с искусственного спутника Земли (ИСЗ) RADARSAT-1 на 11 сентября 2002 г. (разрешение спутникового изображения 15 м)

При разрушении шельфовых островов (ice island), каждый из ледников образовалось большое которых представлял собою число ледяных дрейфующих «большой кусок плавучего льда,

выступавшего выше уровня моря 5 на И более метров И отломившегося ОТ арктического шельфового льда. Такие острова могут иметь толщину более 15-30 м и площадь от нескольких тысяч 500 квадратных метров до квадратных километров или более. Они обычно характеризуются волнистой правильной поверхностью, благодаря которой с воздуха они выглядят ребристыми» [1]. В августе 2005 г. образовался первый из этой группы островов дрейфующий остров Эйлс (рис. 2) [2]. По площади (66 км<sup>2</sup>) этот остров оказался самым большим за 40 последние более чем лет. Компания BBC (British Broadcasting Corporation) организовала экспедицию на этот остров, одной из задач которой было измерение толщины. Толщина острова его оказалась значительной И колебалась от 42 до 45 м.



1 – возвышенная часть дрейфующего острова, впоследствии ставшая его ядром; 2 – низменная часть дрейфующего острова.

Рисунок 2 - Многоканальное изображение будущего дрейфующего острова Эйлс (Ayles), полученное 19 июля 2007 г. с помощью прибора ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer), установленного на борту ИСЗ Тегга (разрешение спутникового изображения 15 м)

Основная и значительная по количеству группа дрейфующих ледяных островов, разных по характеру своей размерам И поверхности, образовалась в июлеавгусте 2008 г. После образования эти острова начали дрейфовать по обычной для них траектории в сторону проливов в Канадском Арктическом архипелаге и к концу сентября 2009 г. большая их часть оказалась проливах. В ЭТИХ Небольшая часть этих островов, которых некоторые ИЗ имели достаточно большие размеры, попрежнему находилась В малоподвижной зоне дрейфующих льдов Арктического бассейна и в непосредственной близости ОТ указанных выше проливов. Имелось предположение, что некоторые из этих островов могут пройти мимо проливов и оказаться в море Бофорта.

Среди появившихся летом 2008 года дрейфующих островов одним из самых больших по своим

дрейфующий размерам оказался остров Маркхем (Markham ice island), образовавшийся 10 августа 2008 Г. В результате полного разрушения одноименного шельфового ледника и появления нескольких дрейфующих островов, которых Маркхем среди также оказался самым большим. Длина его составила 5.1 км, ширина – 3.6 км. Дрейфующий остров Маркхем образовался из передней части одноименного шельфового ледника (рис. 1) и состоял так же, как и дрейфующий остров Эйлс, из двух предположительно не равных по толщине частей. Основная часть острова, представлявшая его ядро, вероятно, более являлась возвышенной и в средней своей части имела размеры 2.0 х 3.4 км (рис. 3). Остальная часть острова представляла собою низменную поверхность, покрытую морскими водорослями, которые создавали высокую яркость отображения на радиолокационных снимках.



 возвышенная часть дрейфующего острова, являющаяся его ядром; 2 – низменная часть дрейфующего острова; 3 – озера пресной талой воды, расположенные в подошвах ледяных волн

Рисунок 3 - Многоканальное изображение дрейфующего острова Маркхем, полученное 16 июля 2009 г. с помощью прибора ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer), который был установлен на борту ИСЗ Тегга (разрешение спутникового изображения 15 м)

Ледяной дрейфующий остров Маркхем, некоторые как И подобные острова, имел волнообразную форму поверхности (рис. 3) [3]. Длина волн такой поверхности на возвышенной части острова колебалась в пределах 160-230 м, а на низменной его части – 80-120 По М. некоторым источникам длина наблюдавшихся на поверхности дрейфующих островов волн, находилась В прямой зависимости ОТ ИХ

толщины [4, 5, 6]. Сопоставление известной толшины льда дрейфующего острова Эйлс и длин наблюдавшихся волн, на поверхности обоих островов, получить позволило ориентировочную толщину льда дрейфующего острова Маркхем. Возвышенная часть этого острова предположительно могла иметь толщину 30-34 м, а низменная его часть – 12-15 м. В летний период на поверхности дрейфующего острова

образовывались Маркхем озера пресной талой воды в подошвах ледяных волн. Длина этих озер колебалась от 200 до 2000 м, а ширина – 15-100 м (рис. 3). В зимний период на этих озерах было оборудовать возможно прекрасные взлетно-посадочные полосы. Предварительный анализ данных прибора ASTER за 16 июля 2009 г. показал, что в возвышенной части острова можно было найти площадки для создания лагеря дрейфующей научноисследовательской станции.

Постоянные наблюдения за дрейфующим островом Маркхем позволили установить, что он не претерпел каких-либо серьезных изменений за все время дрейфа в Арктическом бассейне, пройдя

районы высокой через с динамической нагрузкой на ледяной покров. Исключение составила лишь низменная его которая часть, по имеющимся подверглась данным частичному разрушению, имевшему медленный характер. Это можно объяснить тем, что эта часть острова, как указывалось выше, была покрыта морскими водорослями, которые, без всякого сомнения, оказывали отрицательное влияние на прочность льда, медленно его Анализ полученной разрушая. информации позволил сделать вывод, что возвышенная часть острова была свободна от морских водорослей, не подверглась подобному разрушению и являлась достаточно крепким ядром.



Рисунок 4 - Траектория дрейфа ледяного острова Маркхем за период с 10 августа 2008 г. по 10 октября 2011 г.

За первые неполные два года остров Маркхем прошел путь около 1000 Ha КМ. первом, самом продолжительном, этапе скорость дрейфа острова была незначительной 3a исключением некоторых дней (рис. 4). Так с 11 12 2008 августа по г. В непосредственной близости ОТ побережья Элсмир скорость 0. дрейфа острова составила рекордную величину 41 км/сутки. В начале 2010 года с выходом острова из малоподвижной зоны дрейфующих льдов,

расположенной у входа в проливы Канадского Арктического архипелага, дрейфа скорость острова стала заметно увеличиваться и в последние дни с 1 по 7 июля составила 5.8 км/сутки. Миновав входы В канадские которые проливы, через В канадском секторе происходит существенный морских вынос льдов из Арктического бассейна, дрейфующий остров Маркхем в начале 2011 г. оказался в море Бофорта и МΟΓ стать ледяной

62 РОССИЙСКАЯ АРКТИКА (N<sup>e</sup>2,

дрейфующей станции [7].

платформой для организации новой



Рисунок 5 - Многоканальное изображение дрейфующего острова у побережья Канадского Арктического архипелага, полученное 11 августа 2016 г. с ИСЗ Sentinel-2A (разрешение спутникового изображения 10 м)

B настоящее время В Арктики канадском секторе дрейфует еще один существенный по размерам (1.4 х 5.3 км) ледяной остров (рис. 5). Ожидается, что к концу летнего периода 2019 г. он может оказаться в море Бофорта. В случае сохранения своих размеров нынешнего состояния ЭТОТ И ледяной дрейфующий остров также мог бы стать прекрасной ледяной платформой для долговременных научных исследований в Арктике. истории советских Из научных исследований Арктике В организованная подобном на ледяном дрейфующем острове «Северный Полюс-22» станция проработала более 7 лет.

#### Литература

- 1. <u>http://www.aari.ru/gdsidb/glossary/r1.ht</u> <u>m#10-4-3</u>
- Copland, L., Mueller, D. R., & Weir, L. Rapid loss of the Ayles Ice Shelf, Ellesmere Island, Canada. Geophysical

Research Letters. 2007. 34, L21501. doi:10.1029/2007GL031809.

- Holdsworth, G. (1987). The surface waveforms on the Ellesmere Island ice shelves and ice islands. In Workshop on extreme ice features, technical memorandum 141 (NRCC 28003), National Research Council of Canada.1987. p.385–403.
- 4. Copland, L. and Mueller, D. (eds) Arctic Ice Shelves and Ice Islands. Springer, Dordrecht. 2017. <u>doi:10.1007/978-94-</u> <u>024-1101-0</u>
- Crary, A. P. Arctic ice island and ice shelf studies. Part I. Arctic. 1958. 11(1), 3–42. doi:10.14430/arctic3731.
- Crary, A. P. Arctic ice island and ice shelf studies, Part II. Arctic. 1960. 13(1), 32–50. doi:10.14430/arctic3687.
- Jeffries, M. O., & Shaw, M. A. The drift of ice islands from the Arctic Ocean into the channels of the Canadian Arctic Archipelago: The history of Hobson's Choice Ice Island. Polar Record. 1993. 29(171), 305–312.

#### References

- 1. <u>http://www.aari.ru/gdsidb/glossary/r1.ht</u> <u>m#10-4-3</u>
- Copland, L., Mueller, D. R., & Weir, L. (2007). Rapid loss of the Ayles Ice Shelf, Ellesmere Island, Canada. Geophysical Research Letters, 34, L21501. doi: 10.1029/2007GL031809.
- Holdsworth, G. (1987). The surface waveforms on the Ellesmere Island ice shelves and ice islands. In Workshop on extreme ice features, technical memorandum 141 (NRCC 28003), National Research Council of Canada (p.385–403).
- 4. Copland, L. and Mueller, D. (eds) (2017) Arctic Ice Shelves and Ice Islands. Springer, Dordrecht, <u>doi:10.1007/978-94-024-1101-0</u>
- Crary, A. P. (1958). Arctic ice island and ice shelf studies. Part I. Arctic, 11(1), 3– 42. doi:10.14430/arctic3731.
- Crary, A. P. (1960). Arctic ice island and ice shelf studies, Part II. Arctic, 13(1), 32–50. doi:10.14430/arctic3687.
- Jeffries, M. O., & Shaw, M. A. (1993). The drift of ice islands from the Arctic Ocean into the channels of the Canadian Arctic Archipelago: The history of Hobson's Choice Ice Island. Polar Record, 29(171), 305–312.