

УДК 551.326.1

DOI: 10.24412/2658-4255-2021-4-54-67

Для цитирования:

А.Б. Тимофеева Ледовые условия плавания в экспедиции NABOS-2021 в сентябре-октябре 2021 года // Российская Арктика. 2021. № 15. С. 54–67

Получена: 15.12.2021

Принята: 23.12.2021

Опубликована: 24.12.2021



Статья распространяется в полнотекстовом формате на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0

ЛЕДОВЫЕ УСЛОВИЯ ПЛАВАНИЯ В ЭКСПЕДИЦИИ NABOS-2021 В СЕНТЯБРЕ-ОКТАБРЕ 2021 ГОДА

А.Б. Тимофеева¹ 

¹ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург, Россия
tianna@aari.ru

Аннотация: В данном кратком сообщении приводятся первичные результаты обработки специальных судовых наблюдений за ледяным покровом в ходе экспедиции NABOS-2021 в сентябре-октябре 2021г. Особенностью ледовых условий данной экспедиции стала более тяжёлая ледовая обстановка, чем ожидалось при планировании работ, что внесло коррективы в первоначальные экспедиционные планы. Маршрут экспедиции проходил в северной части морей Лаптевых и Восточно-Сибирского по океанологическим разрезам в пределах 79-82° с. ш. вплоть до 170° з. д. Были выполнены обобщение и анализ ледовой обстановки по протяжённости океанологических разрезов, объединяя или разделяя сегменты в соответствии с однородностью ледовых условий. В целом, 66% пути во льдах в ходе экспедиции NABOS-2021 были пройдены во льду сплочённостью 10 баллов. На долю остаточных льдов по пути плавания пришлось 26%, молодых льдов наблюдалось 38%, ниласа и начальных льдов — 36% протяжённости пути. Толщина остаточного льда варьировала от 30-50 см до 160 см и выше, в отдельных случаях (для торосистых образований) свыше 300 см. На толщины остаточного льда 30-50 см и 50-70 см приходится по 9% протяжённости пути, на толщины свыше 70 см приходится 8% всего маршрута судна во льдах.

Ключевые слова: судовые наблюдения, ледовые условия плавания, толщина льда, сплоченность, возраст льда

ICE CONDITIONS OF NAVIGATION DURING THE NABOS-2021 EXPEDITION IN SEPTEMBER-OCTOBER 2021

А.В. Timofeeva¹

¹ Arctic and Antarctic Research Institute, Saint-Petersburg, Russia

Abstract: The short message presents the primary processing data results of special shipborne ice observations during the NABOS-2021 expedition in September-October 2021. A feature of this expedition was unforeseen during the planning period hard ice conditions, which made adjustments to the initial expedition plans. The overall research area for the cruise included northern parts of the Laptev and the East Siberian seas within 79-82°N up to 170°W. Generalization and analysis of the sea ice conditions along the oceanographic sections were performed, combining or dividing segments in accordance with the ice conditions homogeneousness. In general, 66% of the ship track within the ice during the NABOS-2021 expedition had the ice concentration of 10 tenths, the residual ice by the route accounted for 26%; young ice, 38%; the nilas and the new ice, 36%. The residual ice thickness varied from 30-50 cm to 160 cm and above, in some cases (hummock formations) over 300 cm. Residual ice thickness of 30-50 and 50-70 cm accounts for 9% each of the route length, thickness over

70 cm account for 8% of the entire route of the vessel in the ice.

Keywords: shipborne observations, ice conditions of navigation, ice thickness, ice concentration, stage of development of ice

Введение

В сентябре-октябре 2021 года была проведена экспедиция NABOS-2021 на борту НЭС "Академик Трешников". Этот рейс стал 12-м по счёту в многодисциплинарной программе NABOS начиная с 2002 г., направленной, в первую очередь, на проведение океанографических наблюдений, включая физические и химические исследования, а также на использование притопленных автономных буйковых станций (ПАБС). Значительное количество научных работ было опубликовано по результатам предыдущих океанографических исследований экспедиций программы NABOS [1-6].

Программа ледовых наблюдений включала проведение детальных круглосуточных визуальных наблюдений за распределением характеристик ледяного покрова на пути движения судна [7], в том числе существенно влияющих на безопасность и надёжность плавания [8, 9]. Результаты этих наблюдений вошли в постоянно пополняющуюся базу данных ледовых условий плавания в Арктическом бассейне [10].

Поскольку основным источником информации о ледовой обстановке в Арктике являются данные искусственных спутников Земли (ИСЗ), получение натуральных данных о характеристиках ледяного покрова является важной задачей, в том числе для верификации информации, получаемой с помощью спутников [11-13]. Так, например, для оценки толщины льда применяются различные методы, как контактные, так и разнообразные дистанционные [14, 15]. Визуальные судовые наблюдения за толщиной льда выполняются ледовым наблюдателем и являются важным источником информации. Данный вид работ осуществлялся в ходе экспедиции NABOS-2021. В дополнение к визуальным наблюдениям для получения достоверного массива данных по толщине ровного льда и высоте снега производились наблюдения с помощью судового телевизионного комплекса [16-18].

Ко времени выхода из порта Киркенес, 10-го сентября 2021, акватория, по которой проходила большая часть предполагаемого маршрута экспедиции, была покрыта дрейфующими льдами. Поскольку НЭС "Академик Трешников" имеет ледовый класс Arc 7, согласно правилам Российского морского регистра судоходства, НЭС может осуществлять самостоятельное плавание при любых типах ледовых условий в летне-осеннюю навигацию [19]. Уже непосредственно в ходе проведения экспедиции по причине непростой ледовой обстановки в заранее запланированных районах работ предварительная схема маршрута претерпела изменения, вследствие чего несколько северных океанологических разрезов были отменены (рис. 1).

Методы

Судовые специальные ледовые наблюдения осуществлялись в соответствии с методикой, разработанной в АНИИ, визуально с ходового мостика [7, 20]. Особенности методики является непрерывность

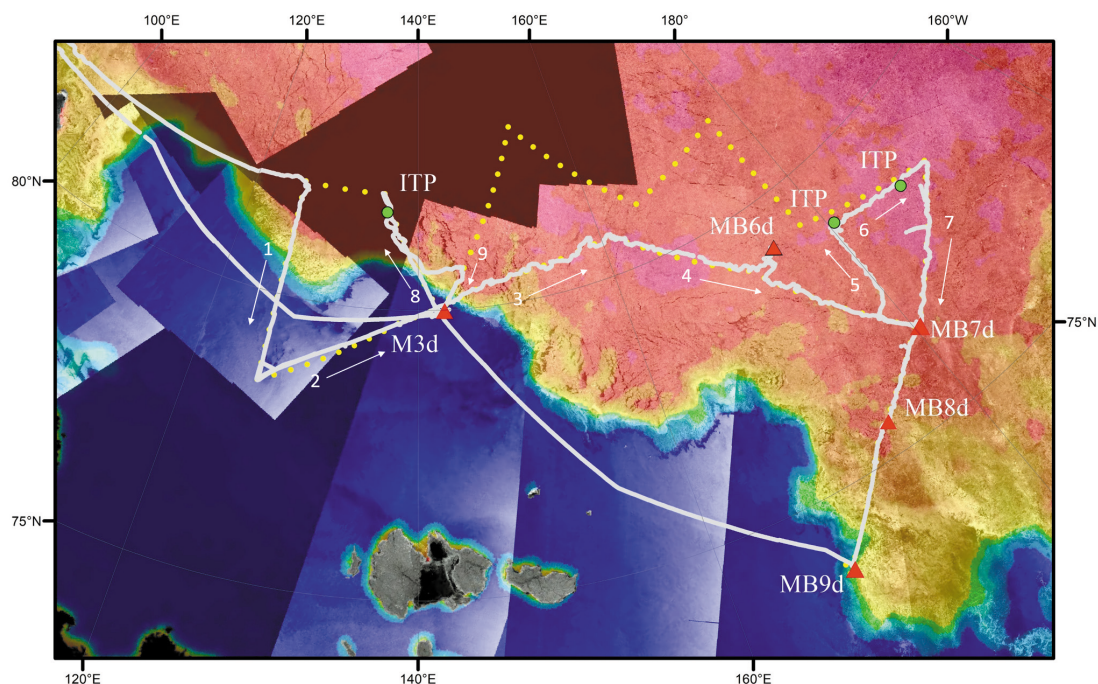


Рисунок 1 — Мозаика данных радиолокационного зондирования ИСЗ Sentinel-1АВ и AMSR2 за 04-06.10.2021 с предварительной схемой (желтые точки) и реальным треком маршрута экспедиции NABOS-2021 (белая линия).

наблюдений и фиксация параметров ледяного покрова отдельно по пути плавания, т. е. там, где непосредственно движется судно (2-3 ширины корпуса), и по району плавания, т. е. оценка производится в пределах видимости. По всему маршруту следования во льдах выделяются ледовые зоны с однородными характеристиками ледяного покрова. Оцениваются такие характеристики, как общая и частная сплочённость льда разной возрастной градации, преобладающие формы ледяных образований, толщина ровного льда и высота снежного покрова, торосистость и наслоенность, стадия разрушенности, интенсивность сжатия и др. Наблюдения проводятся с использованием штатных судовых приборов: навигационных систем; судовой автоматической метеорологической станции; выносной ледомерной рейки, установленной на борту судна; штатной панели приборов показаний работы энергетической установки судна, мощности, оборотов винта; схемы работы энергетической установки; судового локатора кругового обзора; судового ледового радара.

Визуальные судовые наблюдения за толщиной льда выполняются ледовым наблюдателем, находящимся на ходовом мостике судна путём глазомерной оценки льдин, вставших на ребро у борта судна при его движении, при помощи специальной мерной рейки с определённой шириной отсечек (рисунок 2). Дополнительно к визуальным наблюдениям для определения толщины льда и высоты снега был установлен судовой телевизионный комплекс (СТК). С его помощью осуществлялась видеофиксация выворотов льда вдоль борта судна. На момент написания этого материала данные СТК находятся в обработке.

С целью успешного использования спутниковой информации при выборе маршрута плавания и совмещения её с навигационными картами во время движения была произведена организация работы терминала на основе программного комплекса dKart Ice Navigator, в том числе конвертация спутниковых изображений под необходимый формат для дальнейшего представления в терминале.



Рисунок 2 — Фотографии ледовых выворотов под ледемерной рейкой и камерой СТК с точки обзора ледового наблюдателя.

Результаты

В данной работе приведены результаты первичного анализа и обобщения ледовых условий плавания по результатам судовых специальных ледовых наблюдений. В сообщении приведены обобщения по двум наиболее интересным отрезкам пути следования судна во льдах, а также обобщение по всему маршруту.

Минимум площади ледяного покрова в Арктике обычно фиксируется в сентябре, однако осенний период выделяется также началом интенсивных процессов ледообразования. Несмотря на то, что на момент начала экспедиции NABOS-2021 море Лаптевых было практически свободно ото льда, большая часть океанографических разрезов предполагалась в более высоких широтах, где уже начались процессы ледообразования среди значительного количества остаточных льдов, т.е. переживших сезон таяния [21].

Ледовые наблюдения начались 13.09.2021, ещё до начала морских работ в море Лаптевых, поскольку при переходе к северу от м. Арктический маршрут пересекал обширную ледовую зону. В этом же районе при движении в обратном направлении, в сторону порта Киркенес, НЭС "Академик Трешников" вновь выполнил переход спустя месяц, 14-15 октября, поэтому есть возможность сравнить, как за месяц изменилась ледовая обстановка. На рисунке 3 представлена обзорная ледовая информация по времени обоих проходов.

Большую часть пути в середине сентября судно проходило через зоны мелкобитого и тёртого остаточного льда сплочённостью 1-3 балла по району плавания. При этом непосредственно по пути плавания около 80% протяжённости пройденного расстояния пришлось на зоны с отдельно плавающими льдинами (ОПЛ), т.е. сплочённостью менее 1 балла.

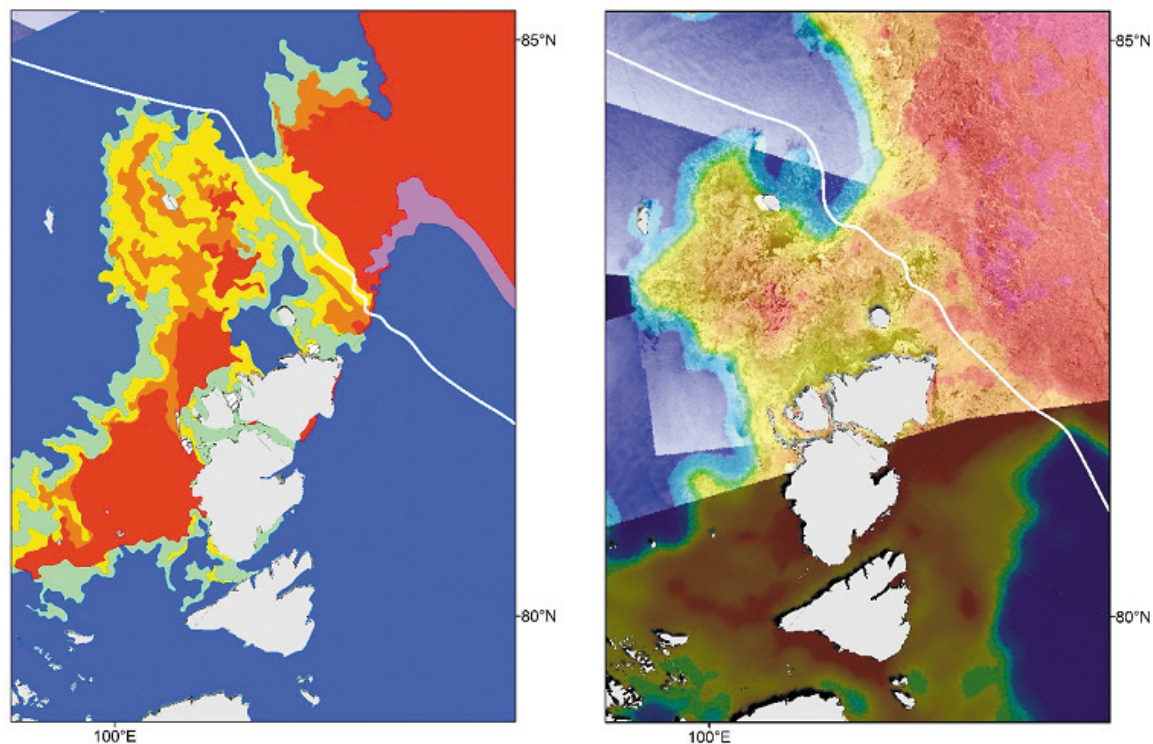


Рисунок 3 — Обзорная информация по ледовой обстановке в районе м. Арктический: карта ледовых условий (общая сплочённость) за 11-14.09.2021 (слева); мозаика данных радиолокационного зондирования ИСЗ Sentinel-1АВ и AMSR2 за 12-15.10.2021 (справа).

В непродолжительных зонах более сплочённых льдов сплочённость составляла от 7 до 10 баллов, из которых до 6-8 баллов приходилось на остаточный лёд. В районе уже началось ледообразование и поэтому по маршруту следования судна часто присутствовали начальные виды льда в виде ледяных игл и сала, а также блинчатого льда.

В октябре, как видно на гистограмме распределения сплочённости на рисунке 4, общая сплочённость уже на 70% протяжённости пути плавания составляла 10 баллов, что произошло вследствие активного ледообразования в течение прошедшего месяца. При следовании по маршруту преобладали начальные и молодые льды, 23% пути прошли в серых льдах толщиной до 15 см, 16% во льдах, достигших градации серо-белых, толщиной 15-30 см, 45% в начальных льдах, преимущественно ниласе. В среднем, ниласовых и начальных льдов наблюдалось до 5-7 баллов, серых льдов, в зависимости от зоны, от 3 до 8 баллов, серо-белого льда от 3-5 до 7-8 баллов. Остаточных льдов чаще всего наблюдалось 2-3 балла, однако в отдельных достаточно обширных зонах его сплочённость достигала 8 баллов с толщиной льда преимущественно 30-70 см, иногда свыше 100 см. Формы и размеры остаточного льда преимущественно были следующими: мелкобитый (2-20 м) и крупнобитый (20-100 м), изредка обломки ледяных полей (100-500 м).

Наиболее сложным сегментом всего пути экспедиции во льдах с наиболее трудными ледовыми условиями стала первая половина океанографического разреза № 4. Океанографический разрез № 4 был выполнен между 80° и 76° с. ш. от 160° до 180° в. д., между точками постановки ПАБС МВ5 и МВ7 (рисунок 5).

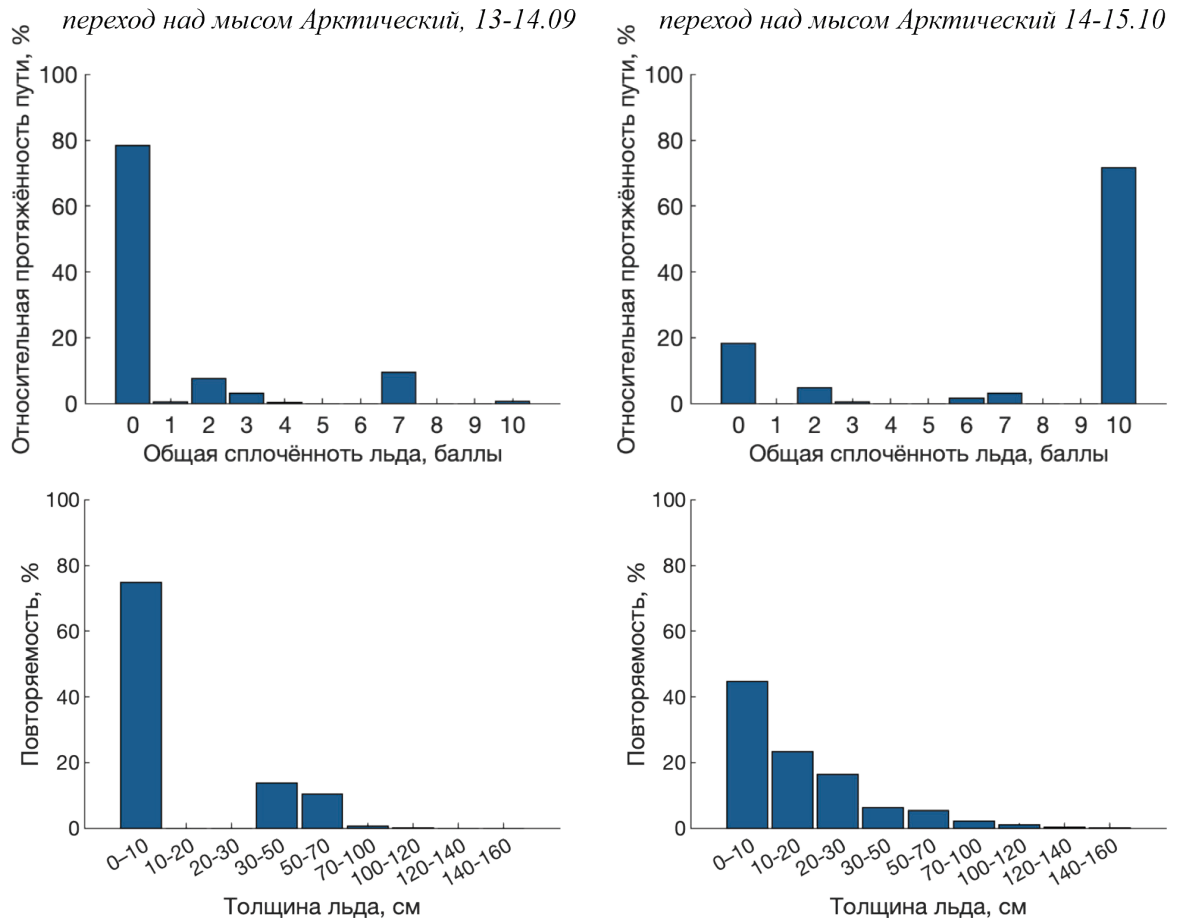


Рисунок 4 — Распределение сплоченности и толщины льда по пути следования на переходе через лед над мысом Арктический при движении к точке начала работ 13-14.09.2021 и при движении в направлении порта Киркенес 14-15.10.2021.

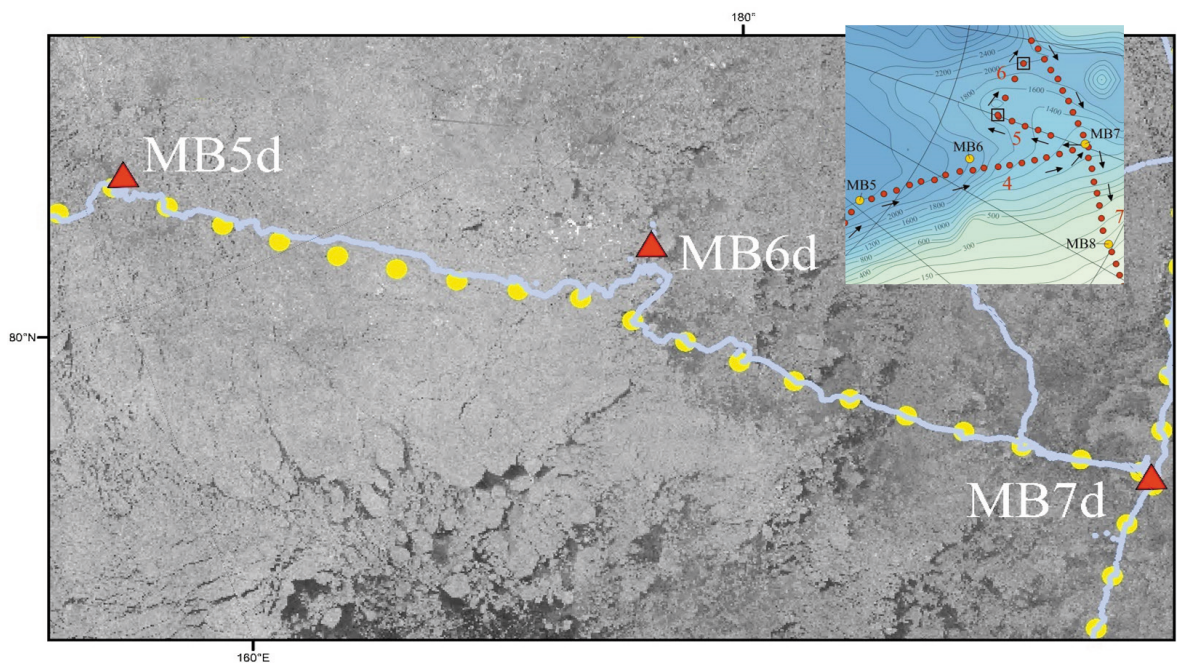


Рисунок 5 — Радиолокационное изображение Sentinel-1 AB по району следования за 21.09.2021 со схемой выполнения станций зондирования CTD (желтые точки) и реальным треком движения судна по маршруту (голубая линия).

При движении по первой половине разреза № 4, приблизительно до района постановки ПАБС МВ6d (78°с.ш. 172°в.д.), общая сплочённость на протяжении всего пути следования составила 10 баллов (рисунок 6). При этом наблюдалось значительное количество остаточного льда (до 10 баллов в единичных зонах, преимущественно 5-7 баллов), часто в форме больших (500 м - 2 км) и обширных ледяных полей (2 км – 10 км), с сильно сглаженными массивными торосистыми образованиями, покрытыми снегом высотой 10-15 см (рисунок 7). Толщина остаточного льда, зафиксированного по пути плавания, преимущественно отмечалась как 50-70 см (17% от общего распределения по толщинам), часто свыше 100 см (6%), иногда в торосах свыше 2х метров. Поскольку ледообразование в этом районе шло уже давно и, очевидно, интенсивно, начальные виды льда (3%) и нилас (13%) по пути плавания отмечались только в достаточно свежих элементах нарушения сплошности льда (НСЛ), разрывах и трещинах. При этом в основном все НСЛ наблюдались в восточном секторе сегмента, где к моменту подхода судна, ледовые условия были в значительной степени динамичны. Акватория между полями остаточного льда была охвачена молодым льдом, серым (13%) и серо-белым (25%), толщиной около 20 см, иногда достигавшим толщины близкой к 30 см, так что в нескольких зонах в районе 80° с.ш. 164° - 169° в.д. было отмечено появление однолетнего тонкого льда в незначительном количестве до 2 баллов.

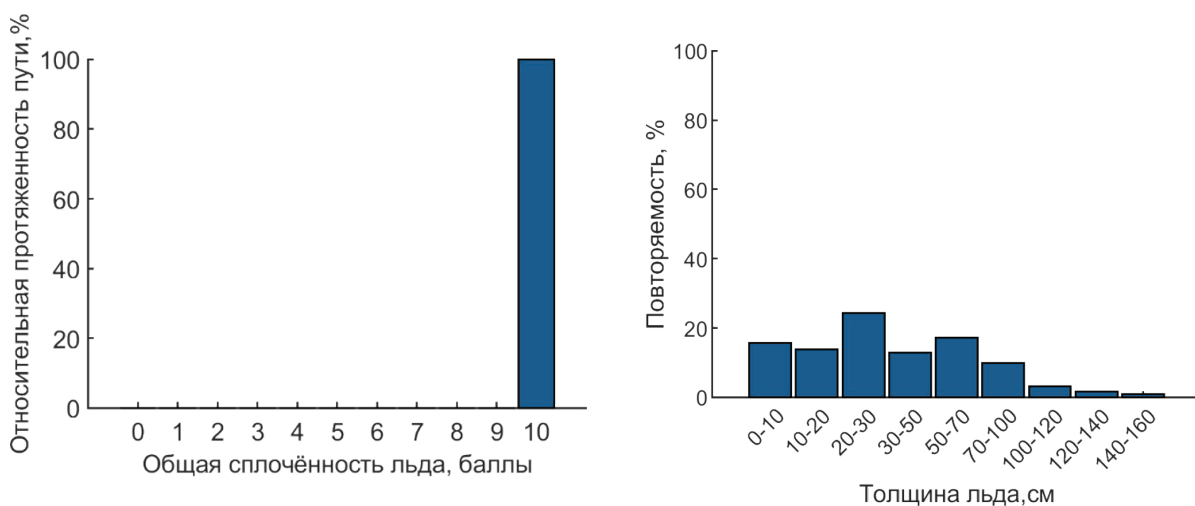


Рисунок 6 — Распределение сплоченности и толщин льда по пути следования по первой половине разреза № 4.



Рисунок 7 — Фотографии ледовой обстановки на разрезе № 4.

Такие ледовые условия вызывали трудности при навигации, особенно в условиях ночи и плохой видимости (туман, снег). Стали трудно различимы реальные условия на пути движения судна, при этом на судовом ледовом радаре из-за большого количества помех было сложно достоверно оценить ледовую поверхность. По этой причине судно неоднократно попадало в ситуацию клинения и работы набегами. Стратегией движения в этой зоне был выбор пути в обход крупных полей, между ними или по краю, чтобы была возможность пройти в более тонком молодом, хоть и часто всторошенном льду.

На отрезке маршрута по первой половине разреза № 4 характеристики ледовых условий по району и по пути плавания значительно различаются в распределении частной сплоченности возрастного состава льда, поскольку выбор непосредственного пути следования предполагал движение по более легким участкам. В соответствии с методикой судовых ледовых наблюдений [7, 20] в тёмное время суток ледовые наблюдения проводятся только с фиксацией характеристик ледяного покрова по пути плавания, наблюдения по району плавания не проводятся. По этой причине корректное сравнение условий по пути и по району затруднительно, однако результаты общей оценки по доступным данным представлены на рисунке 8. Поскольку для продвижения судна выбираются более лёгкие условия, лёд по району в большинстве случаев наблюдался более тяжёлый, чем по пути. Так по району плавания остаточных льдов наблюдалось 60%, а по пути 47%, 3% начальных видов по пути следования указывают на использование для движения зон с НСЛ.

Из-за сложной ледовой обстановки была изменена первоначально планировавшаяся локация для постановки ПАБС МВб. Поскольку в запланированном районе не было ни одного подходящего для осуществления работ разводья, находящимися на борту специалистами ледовой группы было предложено сместиться в северо-восточном направлении на расстояние предположительно около 15-20 миль. Основываясь на информации со спутниковых изображений Sentinel-1, ледовыми экспертами был выполнен расчёт приблизительного расстояния и направления дрейфа, определена предполагаемая локация обнаружения разводья, в которой также сохранялась вероятность использовать подходящие глубины склона шельфа для постановки ПАБС.

При движении в потенциальный район постановки буя выполнялся оперативный анализ и сверка очертаний ледяных полей, заметных на ле-

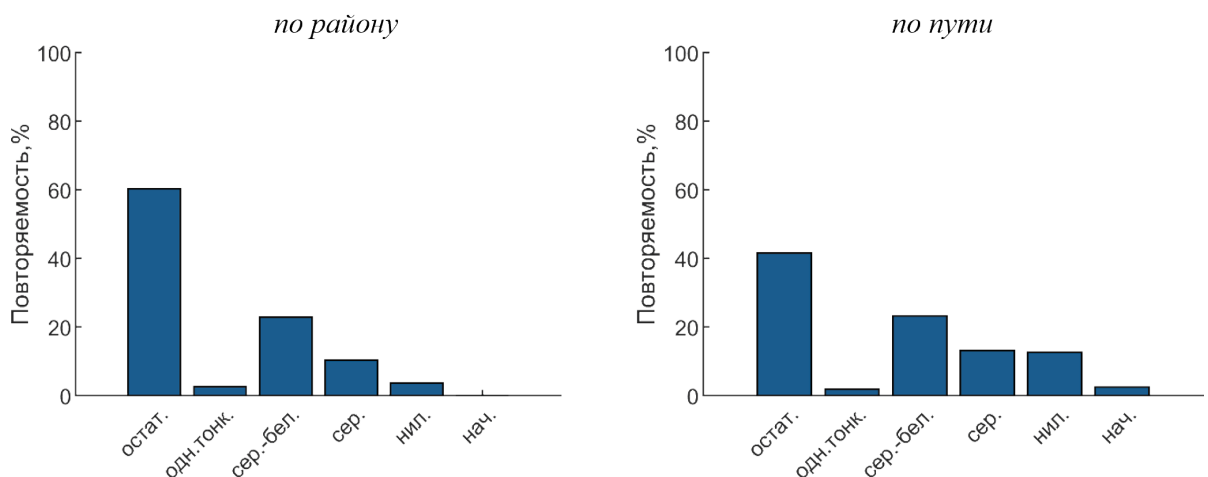


Рисунок 8 — Распределение сплоченности льда возрастного состава льдов по району и по пути следования на первой половине разреза №4.

довом радаре, с очертаниями полей на спутниковом изображении для выбора пути следования к искомому разводью. Ситуацию осложняла плохая видимость в тёмное время суток и густой туман. Разводье было покрыто серым льдом и ниласом. Постановка ПАБС состоялась в координатах 78°58' с.ш. 173°48' в.д. Для оперативного анализа ледовой обстановки были использованы спутниковые снимки PCA Sentinel-1 за 24-25.09.2021 г., dKart Ice Navigator, а также изображения, полученные с помощью судового радара (рисунок 9).

В целом ледовую обстановку в ходе экспедиции NABOS-2021 в большинстве случаев можно охарактеризовать как сложную. На рисунке 10 приведено распределение сплочённости и повторяемость толщины льда по всей протяжённости пути экспедиции во льдах. Как видно из гистограммы распределения сплочённости льда, 66% пути экспедиции во льдах были пройдены во льду сплочённостью 10 баллов. На сплочённость 0 (от 0 до 1) баллов приходится 16% относительной протяжённости пути по всему маршруту во льдах. Такое большое значение связано с наличием по пути следования довольно протяжённых зон с ОПЛ, сплочённость в которых обычно определяется как 0,1 балл. Поскольку моментов пересечения кромки, где обычно отмечаются такие зоны, было несколько, на сплочённость льда от 0 до 1 балла приходится такой значительный процент протяжённости пути.

Высокая повторяемость небольших толщин льда (до 30 см) объясняется тем, что визуально толщина льда оценивается только по пути плавания, для которого в оперативном режиме характерен выбор более лёгких условий: с наличием разводий, разрывов, зон с преобладанием молодого льда. Так, повторяемость льда с толщиной 0-10 см (37%) объясняется отношением к этой категории начальных видов льда, таких как сало или ледя-

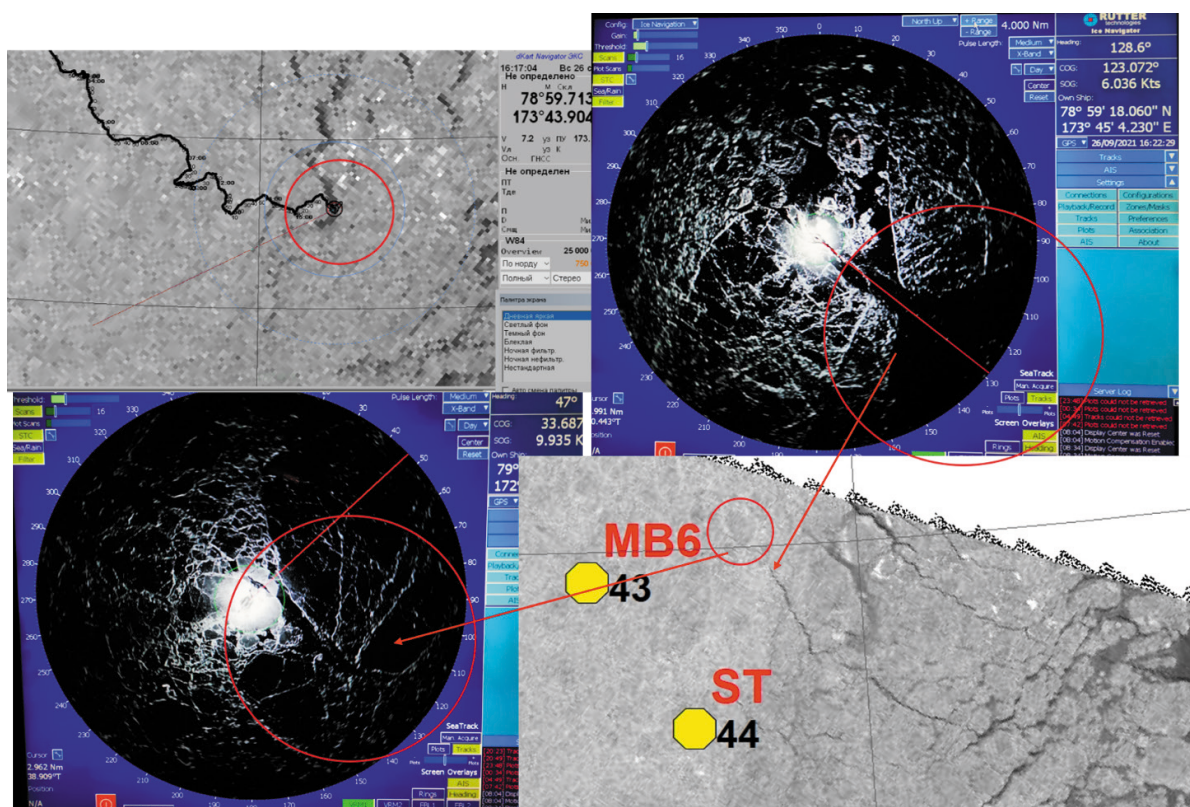


Рисунок 9 — Информация, использованная для оперативного анализа ледовой обстановки 26.09.2021 г. для поиска подходящего разводья для развертывания ПАБС MB6: спутниковые изображения Sentinel-1 за 24-25.09.2021 г., ПО dKart Ice Navigator и снимки судового радара.

ные иглы, которые могут занимать обширные акватории в прикромочных зонах, а также ниласа, который встречался довольно часто, поскольку шёл активный процесс ледообразования, в том числе в разводьях, по которым двигалось судно. Толщина остаточного льда варьировалась от 30-50 см до свыше 160 см, в отдельных случаях (напр., для торосистых образований) – свыше 300 см. В целом по 9 % приходится на толщину льда 30-50 см и 50-70 см (на каждую градацию), на толщины свыше 70 см приходится 8% протяжённости пути. Распределение возрастного состава льда, наблюдавшегося по району (по доступным данным) и по пути плавания, приведены на рисунке 11.

Заключение

В ходе подготовительного периода при планировании экспедиции не ожидалось большого количества льда в районах морских работ, поскольку в предыдущие несколько лет акватории арктических морей в значительной степени очищались ото льда, а ледообразование начиналось позже среднемноголетних сроков на 2-3 недели [22, 23]. Однако межгодовая изменчивость этих показателей является весьма выраженной, что подтверждают характеристики ледовых условий, наблюдавшиеся в ходе

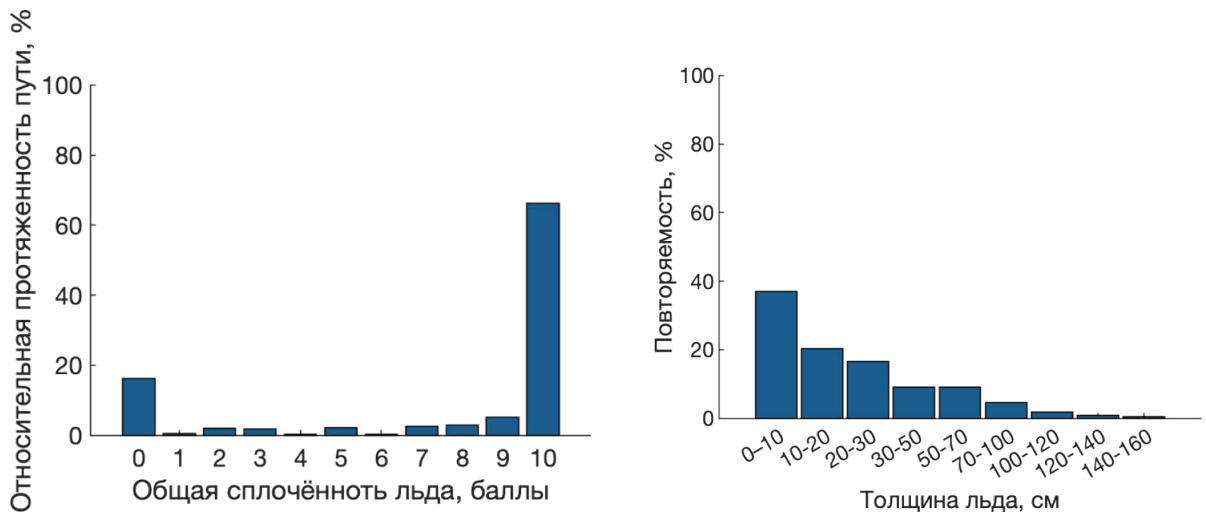


Рисунок 10 — Распределение сплоченности и толщины льда по всему пути следования экспедиции NABOS -2021 во льдах.

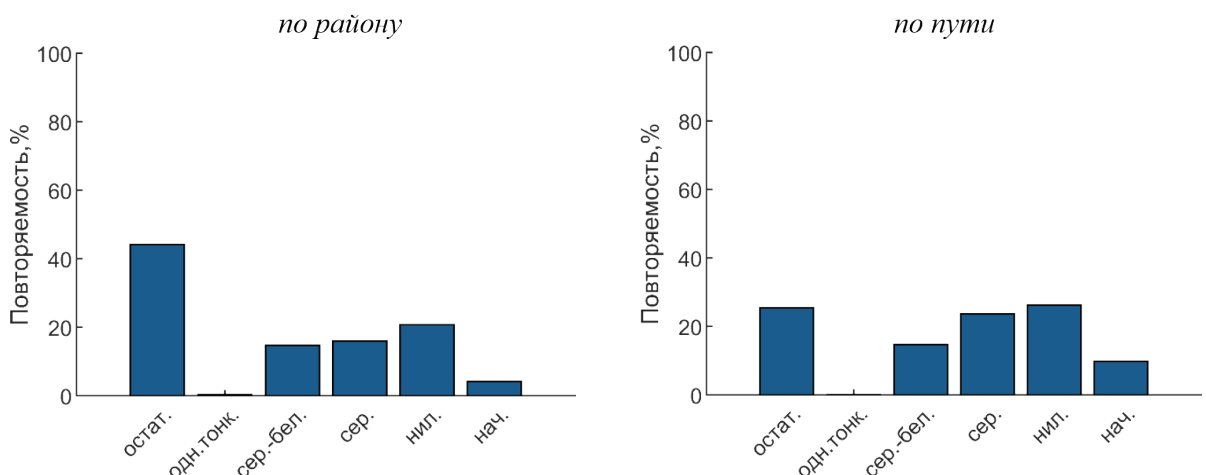


Рисунок 11 — Распределение возрастного состава льдов по району (слева) и по пути следования (справа) вдоль всего маршрута экспедиции NABOS-2021 во льдах.

экспедиции в 2021 г. Межгодовая изменчивость площади и толщины ледяного покрова, его региональных и режимных особенностей находится под влиянием сложных термодинамических и динамических процессов, в том числе выносного дрейфа льда, интенсивности летнего таяния, сопряженности с атмосферными процессами, изменения радиационного баланса и теплонакопления в морях сибирского шельфа и во всём Арктическом регионе [24-26]. В ряде работ отмечается уменьшение площади арктического ледяного покрова и деградация толщины льда в последние десятилетия, вследствие существенных изменений в атмосферной циркуляции и повышении приземной температуры воздуха [26-28]. Тем не менее даже при сохранении общего тренда межгодовая изменчивость колебаний температуры, площади ледяного покрова, толщины льда и др. остаётся достаточно высокой. Так, в 2021 г. годовой минимум распространения льда оказался лишь 12-м в ряду минимальных значений с 1979 г. [29].

Более сложная, чем ожидалось, ледовая обстановка внесла коррективы в проведение экспедиционных работ. В фактических ледовых условиях при грамотном использовании ледовой информации оказалось возможным осуществить все основные задачи экспедиции, в том числе полностью выполнить программу постановки буйковых станций. В результате отменены были только несколько второстепенных северных океанографических разрезов.

В целом 66% пути во льдах в ходе экспедиции NABOS -2021 были пройдены во льду сплочённостью 10 баллов, на долю остаточных льдов по пути плавания пришлось 26%, молодых льдов наблюдалось 38%, ниласа и начальных льдов - 36%.

Сравнения результатов наблюдений с данными предыдущих рейсов в приблизительно тех же районах за близкий период времени пока не проводилось, ведётся подбор подходящих для сравнения рейсов, а также дальнейшая обработка и анализ данных судового телевизионного комплекса.

Благодарность

Исследование выполнено благодаря финансовой поддержке рейса программой NABOS и ее руководителю Игорю Полякову (Igor Polyakov, IARC, International Arctic Research Center, University of Alaska Fairbanks, Alaska, USA)

Список литературы:

1. Alkire, M. B., Polyakov, I., Rember, R., Pnyushkov, A., Ivanov, V., & Ashik, I. (2017). Combining physical and geochemical methods to investigate lower halocline water formation and modification along the Siberian continental slope. *Ocean Science*, 13(6), 983–995. <https://doi.org/10.5194/os-13-983-2017>
2. Polyakov, I. V., Pnyushkov, A. V., Alkire, M., Ashik, I. M., Baumann, T., Carmack, E., et al. (2017). Greater role for Atlantic inflows on sea-ice loss in the Eurasian Basin of the Arctic Ocean. *Science* 356, 285–291. doi: 10.1126/science.aai8204 DOI: 10.1126/science.aai8204
3. Polyakov, I. V., Pnyushkov, A. V., and Carmack, E. C. (2018). Stability of the arctic halocline: a new indicator of arctic climate change. *Environ. Res. Lett.* 13:125008. doi: 10.1088/1748-9326/aaec1e
4. Polyakov, I. V., Rippeth, T. P., Fer, I., Baumann, T. M., Carmack, E. C., Ivanov, V. V., et al. (2020). Intensification of near-surface currents and shear in the Eastern Arctic Ocean. *Geophysical Research Letters*, 46, e2020GL089469. <https://doi.org/10.1029/2020GL089469>
5. Polyakov, I. V., Rippeth, T. P., Fer, I., Alkire, M. B., Baumann, T. M., Carmack, E. C., et al. (2020).

- Weakening of cold halocline layer exposes sea ice to oceanic heat in the eastern Arctic Ocean. *J. Clim.* DOI: 10.1175/JCLI-D-19-0976.1
6. Polyakov, I. V., Rippeth, T. P., Fer, I., Baumann, T. M., Carmack, E. C., Ivanov, V. V., et al. (2020). Intensification of near-surface currents and shear in the Eastern Arctic Ocean. *Geophysical Research Letters*, 46, e2020GL089469. <https://doi.org/10.1029/2020GL089469>
 7. Наблюдения за ледовой обстановкой: Учебное пособие. – СПб.: ГУ «ААНИИ», 2009. 360
 8. 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.
 9. 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.
 10. Фролов С. В., Макаров Е. И., Третьяков В. Ю., Сероветников С. С., Алексеева Т. А., Гришин Е. А., Пряхин С. С., Саперштейн Е. Б., Ярославцева С. И., Сергеева И. А. Свидетельство о государственной регистрации базы данных №2019621801 "СТК-ЛЕД" // Свидетельство о государственной регистрации базы данных №2019621801 "СТК-ЛЕД"
 11. 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.
 12. Alekseeva T.A., Tikhonov V.V., Frolov S.V., Raev M.D., Repina I.A., Sokolova Yu.V., Afanasieva E.V., Sharkov E.A., Serovetnikov S.S. Comparison of satellite microwave and visual shipborne data on sea ice concentration. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, 2019, Vol. 55, No. 9, pp. 1292-1301. DOI: 10.1134/S0001433819090032
 13. Alekseeva, T.; Tikhonov, V.; Frolov, S.; Repina, I.; Raev, M.; Sokolova, J.; Sharkov, E.; Afanasieva, E.; Serovetnikov, S. Comparison of Arctic Sea Ice Concentrations from the NASA Team, ASI, and VASIA2 Algorithms with Summer and Winter Ship Data. *Remote Sens.* 2019, 11, 2481
 14. Алексеева Т.А., Фролов С.В., Сероветников С.С. Обзор методов и основных результатов измерения толщины морского льда в Арктике // Российская Арктика. 2021. № 12. С. 33–49. DOI: 10.24412/2658-4255-2021-1-33-49
 15. 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.
 16. Сероветников С.С. Судовой телевизионный комплекс – реализация автоматизированной системы натуральных измерений толщины морского льда / С.В. Фролов, А.Э. Клейн // Российская Арктика – 2018. – №2. – С.41.
 17. 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».
 18. Алексеева Т.А. Ледовые условия плавания в арктическом бассейне в летний период 2018 года / С.С. Сероветников, С.В. Фролов, В.Т. Соколов // Российская Арктика. – 2018. – №2. – С.31. DOI: 10.24411/2658-4255-2018-00016
 19. Правила плавания в водах Северного морского пути (редакция 2020 года), Министерство транспорта России, 2020 год. Москва.
 20. Руководство по производству судовых специальных ледовых наблюдений. СПб.: ААНИИ, 2011.
 21. World Meteorological Organization, 1989-2017. Sea ice Nomenclature; WMO, No. 259.
 22. Timofeeva A., Yulin A., Sharatunova M., Pavlova E., Sheveleva T. General tendencies of the ice extent changes in the Russian Arctic seas//Proceedings of the 26th International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions; June 14-18, 2021, Moscow, Russia; ISSN 2077-7841
 23. Егоров А.Г., Павлова Е.А. Изменение сроков устойчивого ледообразования в восточных арктических морях России в начале XXI в. Проблемы Арктики и Антарктики. 2019;65(4):389-404. <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2019-65-4-389-404>
 24. Алексеев Г.В., Радионов В. Ф., Александров Е.И., Иванов Н.Е., Харланенкова Н.Е. Изменение климата Арктики при глобальном потеплении // Проблемы Арктики и Антарктики. 2015. № 1(103), С. 32-42.
 25. 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.
 26. Stroeve, J.C., Schroeder, D., Tsamados M., Feltham, D. Warm winter, thin ice?. *The Cryosphere*. 12., 2018, 1791-1809. 10.5194/tc-12-1791-2018.

27. Тимофеева А.Б., Шаратунова М.В. Многолетняя изменчивость толщины припая в море Лаптевых по данным полярных станций // Российская Арктика. 2021. № 12. С. 62-76. DOI: 10.24412/2658-4255-2021-1-62-76
28. Serreze, M. C., Stroeve, J., Barrett, A. P., and Boisvert, L. N.: Summer atmospheric circulation anomalies over the Arctic Ocean and their influences on September sea ice extent: A cautionary tale, *J. Geophys. Res.-Atmos.*, 121, 11463–11485, <https://doi.org/10.1002/2016JD025161>, 2016.
29. R.Thoman, J.Lacroix, A.-H.Olafsdottir, L.Ostvand, V.Khan, S.Emelina and A.Timofeeva. ArcRCC-N regional climate overview briefing: temperature, precipitation and sea-ice conditions: review of summer 2021 including extreme events, and outlook for winter 2021/22// The 8th Arctic Climate Forum (ACF-8), October 27-28 2021.

References:

1. Alkire, M. B., Polyakov, I., Rember, R., Pnyushkov, A., Ivanov, V., & Ashik, I. (2017). Combining physical and geochemical methods to investigate lower halocline water formation and modification along the Siberian continental slope. *Ocean Science*, 13(6), 983–995. <https://doi.org/10.5194/os-13-983-2017>
2. Polyakov, I. V., Pnyushkov, A. V., Alkire, M., Ashik, I. M., Baumann, T., Carmack, E., et al. (2017). Greater role for Atlantic inflows on sea-ice loss in the Eurasian Basin of the Arctic Ocean. *Science* 356, 285–291. doi: 10.1126/science.aai8204 DOI: 10.1126/science.aai8204
3. Polyakov, I. V., Pnyushkov, A. V., and Carmack, E. C. (2018). Stability of the arctic halocline: a new indicator of arctic climate change. *Environ. Res. Lett.* 13:125008. doi: 10.1088/1748-9326/aaec1e
4. Polyakov, I. V., Rippeth, T. P., Fer, I., Baumann, T. M., Carmack, E. C., Ivanov, V. V., et al. (2020). Intensification of near-surface currents and shear in the Eastern Arctic Ocean. *Geophysical Research Letters*, 46, e2020GL089469. <https://doi.org/10.1029/2020GL089469>
5. Polyakov, I. V., Rippeth, T. P., Fer, I., Alkire, M. B., Baumann, T. M., Carmack, E. C., et al. (2020). Weakening of cold halocline layer exposes sea ice to oceanic heat in the eastern Arctic Ocean. *J. Clim.* DOI: 10.1175/JCLI-D-19-0976.1
6. Polyakov, I. V., Rippeth, T. P., Fer, I., Baumann, T. M., Carmack, E. C., Ivanov, V. V., et al. (2020). Intensification of near-surface currents and shear in the Eastern Arctic Ocean. *Geophysical Research Letters*, 46, e2020GL089469. <https://doi.org/10.1029/2020GL089469>
7. Nabljudenija za ledovoj obstanovkoj: uchebnoe posobie. [Observations of ice conditions: manual] SPb.: AANII, 2009. – 360 s. (In Russian)
8. 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. (In Russ.).
9. Yulin A. 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.
10. Frolov S. V., Makarov E. I., Tretyakov V. Yu., Serovetnikov S. S., Alekseeva T. A., Grishin E. A., Pryakhin S. S., Saperstein E. B., Yaroslavtseva S. I., Sergeeva I. A. Certificate of state registration of the database No.2019621801 "STC-ICE" // Certificate of state registration of the database No.2019621801 "STC-ICE"
11. 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](https://doi.org/10.1134/S000143381309017X).
12. Alekseeva T.A., Tikhonov V.V., Frolov S.V., Raev M.D., Repina I.A., Sokolova Yu.V., Afanasieva E.V., Sharkov E.A., Serovetnikov S.S. Comparison of satellite microwave and visual shipborne data on sea ice concentration. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, 2019, Vol. 55, No. 9, pp. 1292-1301. DOI: 10.1134/S0001433819090032
13. Alekseeva, T.; Tikhonov, V.; Frolov, S.; Repina, I.; Raev, M.; Sokolova, J.; Sharkov, E.; Afanasieva, E.; Serovetnikov, S. Comparison of Arctic Sea Ice Concentrations from the NASA Team, ASI, and VASIA2 Algorithms with Summer and Winter Ship Data. *Remote Sens.* 2019, 11, 2481

14. Alekseeva T.A. , Frolov S.V., Serovetnikov S.S. Review of methods and main results of the sea ice thickness measuring in the Arctic // Russian Arctic. 2021. No. 12. pp. 33-49. DOI: 10.24412/2658-4255-2021-1-33-49
15. 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.
16. Serovetnikov S.S. Ship telemetric complex - implementation of an automated system of full-scale measurements of sea ice thickness / S.V. Frolov, A.E. Klein // Russian Arctic - 2018. - No.2. - p.41.
17. Kleyn A.E., Tretyakov V.Yu., Frolov S.V. Utility patent 70983 «EQUIPMENT TO MEASURE ICE THICKNESS FROM A SHIP BOARD» // Rightholder: «Arctic and Antarctic Research Institute».
18. Alekseeva T.A. Ice conditions of navigation in the Arctic basin during the summer 2018 / S.S. Serovetnikov, S.V. Frolov, V.T. Sokolov // Russian Arctic. - 2018. - No.2. - p.31. DOI: 10.24411/2658-4255-2018-00016
19. Rules of navigation in the waters of the Northern Sea Route (revision 2020), Ministry of Transport of Russia, 2020. Moscow. (In Russian).
20. Rukovodstvo po proizvodstvu sudovyh special'nyh ledovyh nabljudenij. SPb.: AANII, 2011. (In Russian).
21. World Meteorological Organization, 1989-2017. Sea ice Nomenclature; WMO, No. 259.
22. Timofeeva A., Yulin A., Sharatunova M., Pavlova E., Sheveleva T. General tendencies of the ice extent changes in the Russian Arctic seas//Proceedings of the 26th International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions; June 14-18, 2021, Moscow, Russia; ISSN 2077-7841
23. Egorov A.G., Pavlova E.A. Change in the time of stable ice formation in the Russian Eastern Arctic seas at the beginning of 21st century. Arctic and Antarctic Research. 2019;65(4):389-404. (In Russ.) <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2019-65-4-389-404>
24. Alekseev, G. V., Radionov, V. F., Alexandrov, E. I., Ivanov, N. E., and Kharlanenkova, N. E., Climate change in the Arctic under global warming. Arctic and Antarctic Research. 2015. № 1(103): 32-42. (In Russian)
25. 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 Kosmosa. 2013. V 4. p. 50–65.
26. Stroeve, J.C., Schroeder, D., Tsamados M., Feltham, D. Warm winter, thin ice?. The Cryosphere. 12., 2018, 1791-1809. 10.5194/tc-12-1791-2018.
27. Timofeeva A.B., Sharatunova M.V. Multiyear variability of the fast ice thickness in the Laptev Sea according to the polar stations data // Russian Arctic. 2021. No. 12. pp. 62-76. DOI: 10.24412/2658-4255-2021-1-62-76
28. Serreze, M. C., Stroeve, J., Barrett, A. P., and Boisvert, L. N.: Summer atmospheric circulation anomalies over the Arctic Ocean and their influences on September sea ice extent: A cautionary tale, J. Geophys. Res.-Atmos., 121, 11463–11485, <https://doi.org/10.1002/2016JD025161>, 2016.
29. R.Thoman, J.Lacroix, A.-H.Olafsdottir, L.Ostvand, V.Khan, S.Emelina and A.Timofeeva. ArcRCC-N regional climate overview briefing: temperature, precipitation and sea-ice conditions: review of summer 2021 including extreme events, and outlook for winter 2021/22// The 8th Arctic Climate Forum (ACF-8), October 27-28 2021