

ОКЕАНОЛОГИЯ OCEANOLOGY

<https://doi.org/10.30758/0555-2648-2023-69-4-394-406>
УДК 551.467



ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

ORIGINAL PAPER

Развитие методики проведения специальных судовых ледовых наблюдений

Т.А. Алексеева^{1,2}✉, Е.И. Макаров¹, В.А. Бородин¹, С.С. Сероветников¹,
Е.Б. Саперштейн¹, Ю.В. Соколова^{1,2}, В.Д. Котельников¹

¹ ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

² Институт космических исследований РАН, Москва, Россия

✉ taa@aari.ru

ID ТАА, 0000-0002-1575-8784; ЮВС, 0000-0002-5744-7204; ВДК, 0009-0006-3204-5707

Аннотация. С середины XX в. специалистами Арктического и антарктического научно-исследовательского института (ААНИИ) выполняются специальные судовые ледовые наблюдения в арктических и других замерзающих морях. Натурные данные об основных характеристиках ледяного покрова необходимы для разработки и уточнения ледовых прогнозов и для валидации спутниковой информации. В соответствии с техническими достижениями, а также с новыми научными и практическими задачами методика наблюдений постоянно развивается. Весной 2023 г. специалистами ААНИИ выполнялись ледовые наблюдения на борту атомного ледокола «50 лет Победы» в юго-западной части Карского моря. В данной статье представлены новые рекомендации к методике специальных судовых ледовых наблюдений, разработанные во время экспедиции: отправка на судно оперативной и прогностической гидрометеорологической информации из ААНИИ с запросом на ответную передачу в ААНИИ результатов обработки полученных данных в зонах прогнозируемой повышенной деформации ледяного покрова по пути движения судна и расширение возможностей судового телевизионного комплекса для получения информации о слоистости льда и его структуре.

Ключевые слова: гидрометеорологическое обеспечение, ледовое плавание, ледовые наблюдения, оптимальный маршрут, Северный морской путь, структура льда, судовой телевизионный комплекс

Для цитирования: Алексеева Т.А., Макаров Е.И., Бородин В.А., Сероветников С.С., Саперштейн Е.Б., Соколова Ю.В., Котельников В.Д. Развитие методики проведения специальных судовых ледовых наблюдений. *Проблемы Арктики и Антарктики*. 2023; 69(4):394–406. <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2023-69-4-394-406>

Поступила 18.10.2023

После переработки 07.11.2023

Принята 09.11.2023

Development of the method of special ship ice observations

Tatiana A. Alekseeva^{1,2}✉, Yevgeny I. Makarov¹, Vladimir A. Borodkin¹,
Sergey S. Serovetnikov¹, Elena B. Saperstein¹, Yulia V. Sokolova^{1,2},
Vladimir D. Kotelnikov¹

¹ State Scientific Center of the Russian Federation Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg, Russia

² Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

✉taa@aari.ru

ID TAA, 0000-0002-1575-8784; YVS, 0000-0002-5744-7204; VDK, 0009-0006-3204-5707

Abstract. Since the middle of the XXth century researchers at the Arctic and Antarctic Research Institute (AARI) have been carrying out special ship ice observations in the Arctic and other freezing seas. Field data about main sea ice parameters are necessary for developing and validation of sea ice forecasts and satellite information. In keeping with technological advances and new research and practical tasks this method is ever developing. In spring 2023 sea ice observations were organized by the AARI's researchers onboard the nuclear icebreaker *50 let Pobedy* in the south-western part of the Kara Sea. This paper presents recommendations concerning the method of special ship ice observations as developed during the expedition: dispatch to the vessel of operative and forecast hydrometeorological information from the AARI with a request for return transfer to the AARI of the processing results of the data obtained in the areas of predicted high deformation of ice cover along the route of navigation and upgrade of the ship television complex to receive information about ice layers and structure.

Keywords: hydrometeorological support, ice navigation, ice observations, ice structure, Northern Sea Route, optimal route, ship television complex

For citation: Alekseeva T.A., Makarov Ye.I., Borodkin V.A., Serovetnikov S.S., Saperstein E.B., Sokolova Yu.V., Kotelnikov V.D. Development of the method of special ship ice observations. *Arctic and Antarctic Research*. 2023; 69 (4): 394–406. (In Russ.). <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2023-69-4-394-406>

Received 18.10.2023

Revised 07.11.2023

Accepted 09.11.2023

Введение

В настоящее время в мире используются три метода визуальных судовых ледовых наблюдений: это методика Арктического и антарктического научно-исследовательского института (ААНИИ), протокол по ледовым процессам и климату антарктических морей Antarctic Sea-ice Processes and Climate (ASPeCt) (<http://www.aspect.aq>) и протокол Arctic Ship-based Sea Ice Standardization (IceWatch/ASSIST) (<http://icewatch.gina.alaska.edu>). Принцип всех судовых наблюдений заключается в визуальной фиксации параметров ледяного покрова во время движения судна. В международной практике судовые визуальные наблюдения производятся один раз в 1–3 часа по ходу движения судна, что не дает полной информации о ледяном покрове по пути плавания.

Система специальных судовых ледовых наблюдений ААНИИ была разработана в середине XX в. Первое обобщение опыта специальных судовых ледовых наблюдений было выполнено в 1944 г. Я.Я. Гаккелем (Я.Я. Гаккель (ред.). *Инструкция для производства наблюдений над льдами с корабля*. М.: Изд-во Главсевморпути; 1944. 42 с).

Основной принцип специальных судовых ледовых наблюдений ААНИИ заключается в непрерывной фиксации характеристик ледяного покрова и эксплуатационных показателей движения судна по пути и по району движения судна. До 2004 г. наблюдения за всеми параметрами выполнялись визуально, а с 2004 г. к визуальной

фиксации толщины льда и высоты снега были добавлены инструментальные измерения этих двух параметров с помощью судового телевизионного комплекса (СТК).

Наблюдения за ледовой обстановкой с борта судна необходимы для разработки качественных рекомендаций по оптимальному варианту плавания судов во льдах, для валидации спутниковой информации и ледовых прогнозов.

В последние годы возникла необходимость пересмотра методики специальных судовых ледовых наблюдений в связи с рядом причин:

1. Появилось большое количество данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) в открытом доступе, которые позволяют создавать информационную среду для фиксации эволюции процессов, происходящих в ледяном покрове, с большой достоверностью.
2. На судах появилась возможность безлимитной связи и передачи данных на сушу.
3. Усовершенствовалось научное и судовое оборудование.
4. Имеется достаточное количество данных, позволяющих по-новому понять природные механизмы формирования динамики ледяного покрова.
5. Необходимы разработка и усовершенствование краткосрочных и долгосрочных ледовых прогнозов для обеспечения судоходства в Арктике и других замерзающих морях.

Вышеизложенные обстоятельства определяют новые требования к методике специальных судовых ледовых наблюдений, которая должна включать:

1. Ежедневное поступление оперативных и прогностических данных и указаний по районам, требующим более подробного изучения с борта судна, из Центра управления экспедицией (ЦУЭ).
2. Максимально автоматизированное получение данных о характеристиках ледяного покрова, быстрый комплексный анализ на борту судна всех полученных данных и оперативная передача данных и результатов их обработки в ЦУЭ. Система должна работать вне зависимости от количества ледовых наблюдателей, даже если на борту присутствует лишь один специалист.
3. В результате совершенствования системы судовых специальных ледовых наблюдений должна быть разработана новая система синтеза ледовой информации на ледовых картах или иных средствах отображения, раскрывающая механизмы формирования динамики ледяного покрова.

В мае 2023 г. специалистами ААНИИ с согласия и с помощью ФГУП «Атомфлот» была организована научно-исследовательская экспедиция на борту атомного ледокола «50 лет Победы» во время штатной работы ледокола на трассе для проводки судов в юго-западной части Карского моря, в ходе которой были определены и апробированы основные положения новой методики специальных судовых наблюдений ААНИИ, представленные в данной статье.

Целью данной работы является разработка обновленной методики специальных судовых ледовых наблюдений для последующего внедрения в экспедиционную деятельность и оперативную практику.

Существующая методика специальных судовых ледовых наблюдений

Основным источником информации о характеристиках ледяного покрова в настоящее время являются данные с искусственных спутников Земли (ИСЗ), однако спутниковые данные не позволяют получить подробные характеристики ледяного покрова, отображающие его состояние. В связи с этим ледовые наблюдения с борта

судна занимают важное место в изучении ледяного покрова. Основной целью специальных судовых ледовых наблюдений является получение новых натуральных данных для выявления закономерностей мелкомасштабной изменчивости характеристик ледяного покрова, существенно влияющих на эффективность судоходства [1].

Специальные ледовые наблюдения по методике ААНИИ выполняются с ходового мостика судна непрерывно по всему маршруту следования судна во льдах по пути (зона по курсу судна, ширина которой равна 6-кратной ширине, а длина — 3-кратной длине корпуса судна) и по району движения (зона, ограниченная пределами горизонтальной видимости). Каждая однородная ледовая зона отделяется от предыдущей при изменении хотя бы одного ледового параметра на 0,5–1 балл.

По пути движения визуально оцениваются: общая и частная сплоченность, возраст, размеры ледяных полей, толщина льда и высота снега, торосистость, слоенность, разрушенность, наличие и интенсивность сжатия в ледяном покрове, а также состояние канала, прокладываемого судном, наличие опасных ледовых явлений и опасных ледяных образований. По району движения визуально оцениваются: общая и частная сплоченности, возраст, размеры ледяных полей, торосистость, тип ориентации нарушений сплошности ледяного покрова.

Все ледовые характеристики определяются согласно их описанию в руководствах [1–3] и фиксируются в судовом бумажном или электронном журнале наблюдений.

Судовой телевизионный комплекс представляет из себя систему видеонаблюдения, адаптированную для фиксации выворотов льдин вдоль борта судна и последующего расчета толщины льда и высоты снега, также при необходимости СТК дополняется периферическими камерами для фоторегистрации ледовых условий на пути следования судна. Основная задача, решаемая с помощью комплекса, — это проведение непрерывных круглосуточных наблюдений и устранение влияния человеческого фактора на устойчивость результатов наблюдений. СТК в последние годы стал неотъемлемой частью проведения специальных судовых ледовых наблюдений ААНИИ. СТК состоит из двух модулей: модуля фоторегистрации и программно-аппаратного модуля обработки информации. Модуль регистрации осуществляет непрерывную съемку морского льда у борта судна и обеспечивает временную и географическую привязку получаемых снимков. Программно-аппаратный модуль архивирует получаемые данные и выделяет снимки, пригодные для измерения ледовых параметров. Подробное описание СТК приводится в работах [4, 5].

Экспедиция «ЛЕД-СМП-1/2023»

В мае 2023 г. отделом ледового режима и прогнозов ААНИИ была организована экспериментальная и обучающая экспедиция «ЛЕД-СМП-1/2023» в юго-западной части Карского моря на борту атомного ледокола (а/л) «50 лет Победы». В задачи экспедиции входили: мониторинг морского ледяного покрова на трассах Северного Морского пути (СМП), определение его современного состояния и его влияния на ледопроездимость судов, подготовка ледовых экспертов и наблюдателей, взаимодействие с судоводителями в интересах развития системы специализированного гидрометеорологического обеспечения. Наблюдения проводились во время четырех рейсов а/л «50 лет Победы» при выполнении проводки судов в Обскую губу (рис. 1).

В первом рейсе а/л «50 лет Победы» двигался автономно, а во втором, третьем и четвертом рейсах выполнял проводку судов «Залив Креста», «Мыс Желания» и «Сибирь», имеющих ледовый класс Arc4. По четырем маршрутам плавания были проведены визуальные ледовые наблюдения, измерения толщины льда и высоты

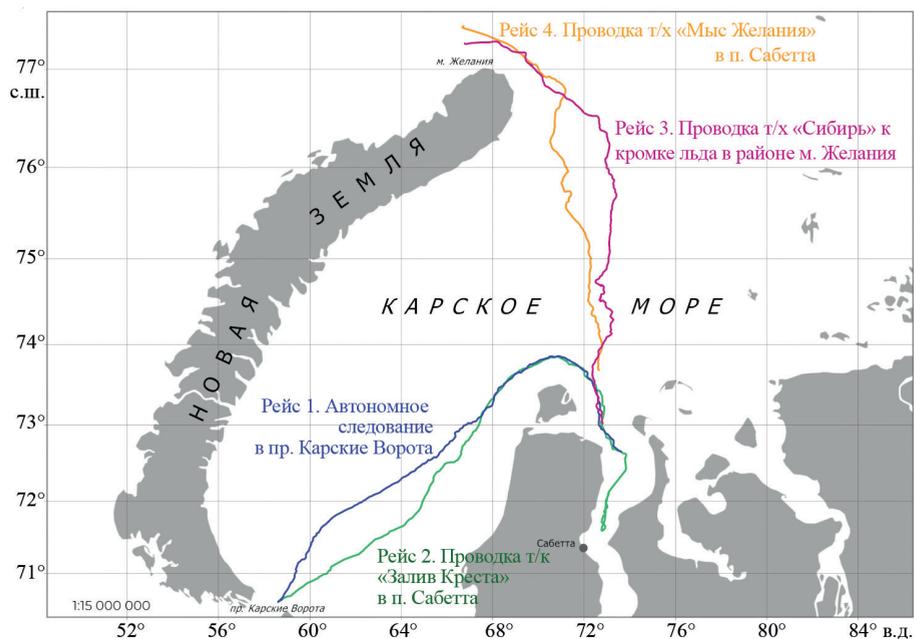


Рис. 1. Схема рейсов, во время которых выполнялись специальные судовые ледовые наблюдения экспедиции «ЛЕД-СМП-1/2023» на борту а/л «50 лет Победы» в мае 2023 г.

Fig. 1. Scheme of cruises “ICE-NSR-1/2023”, where special ship ice observations were made, onboard the nuclear icebreaker *50 let Pobedy* in May 2023

снега с помощью СТК, велась запись изображений судового радара с помощью приставки Ice Vision. До экспедиции и во время нее разрабатывалась и отработывалась новая схема выполнения специальных судовых ледовых наблюдений. Из ААНИИ поступала прогностическая информация об особенностях ледового плавания и оптимальный маршрут плавания. Ледовые наблюдатели на борту судна оперативно обрабатывали и анализировали все полученные данные и отправляли их в ААНИИ для валидации прогноза в графическом и текстовом виде.

Одновременно были получены экспериментальные данные для последующего использования СТК в целях получения информации о строении льда. Для этого выполнялась съемка выворотов льда с помощью СТК и синхронная съемка фотоаппаратом для получения снимков высокого разрешения.

Результаты разработок более подробно представлены в следующем разделе.

Развитие технологии проведения специальных судовых ледовых наблюдений

Интерпретация и прогноз волновой динамики ледяного покрова

Основой нового подхода является планируемый эксперимент. Планирование основывается на оценке ожидаемого результата наблюдений. Это обеспечивается только при условии понимания механизмов формирования динамики ледяного покрова и, следовательно, наличия возможности прогнозирования его эволюции в конкретном

районе в конкретное время. Само планирование осуществляется путем обработки накопленной ранее информации и согласования ее между экспериментаторами.

Выбор оптимального варианта плавания в лаборатории изучения ледового плавания ААНИИ выполняется согласно методике, утвержденной 16 декабря 2020 г. Центральной методической комиссией Росгидромета («Метод специализированного прогноза ледово-эксплуатационных характеристик безледокольного плавания современных типов судов по трассам СМП заблаговременностью до 1 месяца»), авторами разработки являются Е.И. Макаров, С.В. Фролов, В.Е. Федяков, Е.Б. Саперштейн). Ниже приведем краткое содержание данной методики.

Механизмы формирования структур ледяного покрова, которые являются индикаторами происходящих в нем динамических процессов, основаны на волновой концепции движения водной среды [6]. Волновые структуры таких движений имеют солитоноподобный характер. Аналоговым отображением такой динамики являются приливные волны Пуанкаре. На рис. 2а показан пример поля приливных волн Пуанкаре (стоячие волны) [7].

На рис. 2а также представлена регулярная сетка пересекающихся прямых линий (решетка), соединяющая пучности (гребни) стоячих волн. Форма ячеек решетки зависит от граничных условий акватории — ее размеров, морфологических характеристик дна и береговой черты. Предполагается, что для Северного Ледовитого океана (СЛО) форма ячеек должна быть близкой к квадратной.

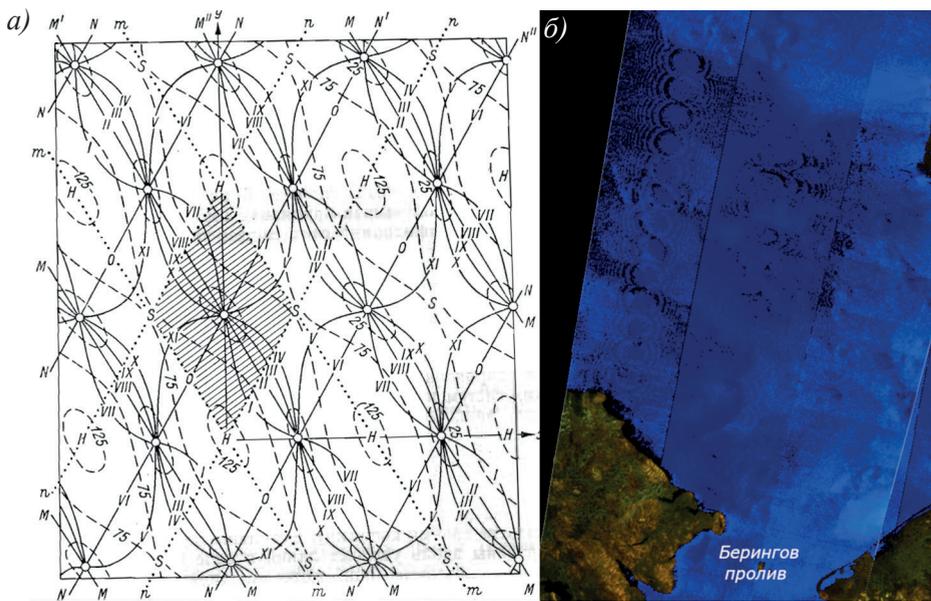


Рис. 2. Результат косо́й интерференции стоячих волн: а — поле приливных волн Пуанкаре — классический пример солитонобразной динамики вод [7]; б — снимок ИСЗ Sentinel-1 Чукотского моря от 24–27 сентября 2023 г. (<https://apps.sentinel-hub.com/>)

Fig. 2. The result of oblique interference of standing waves: а — the Poincaré tidal wave field is a classic example of soliton-like water dynamics [7]. б — Sentinel-1 satellite image (<https://apps.sentinel-hub.com/>) of the Chukchi Sea in September 24–27, 2023

Подтверждением того, что предлагаемая схема динамики вод и льдов реальна, являются радиолокационные съемки в Арктике с помощью ИСЗ. На рис. 2б представлен пример таких данных.

На рис. 2б видно, что акватория полностью покрыта волнами-солитонами и что пучности и впадины волн образуют регулярную решетку.

Указанные положения применены для аналоговой интерпретации волновых структур [6, 8] по данным карт сплоченности льда цифровой обработки MODIS-AMSR2 Бременского университета (<https://seaice.uni-bremen.de/sea-ice-concentration/modis-amsr2/>) микроволновых ИСЗ снимков СЛО. Пример такой интерпретации представлен на рис. 3.

Учитывая обстоятельство, что динамика волн-солитонов имеет наименьшее энергопотребление, а сами волны являются долгопериодными, есть все основания ожидать высокую устойчивость формируемых волновых структур. Высокая устойчивость структур дает основание для надежного их выявления и прогнозирования.

Описанные особенности схемы интерпретации и прогноза волновой динамики ледяного покрова были применены в период организации научно-оперативной экспедиции на борту а/л «50 лет Победы». В ЦУЭ производилась обработка цифровых данных микроволновых ИСЗ снимков акватории СЛО. По полученным результатам выбирались локальные районы планируемого маршрута атомохода. Районами интереса на маршруте считались места локализации узлов регулярной решетки, в которых линии тока волн-солитонов находились в непосредственной близости. Такие районы считались районами повышенной деформации ледяного покрова,

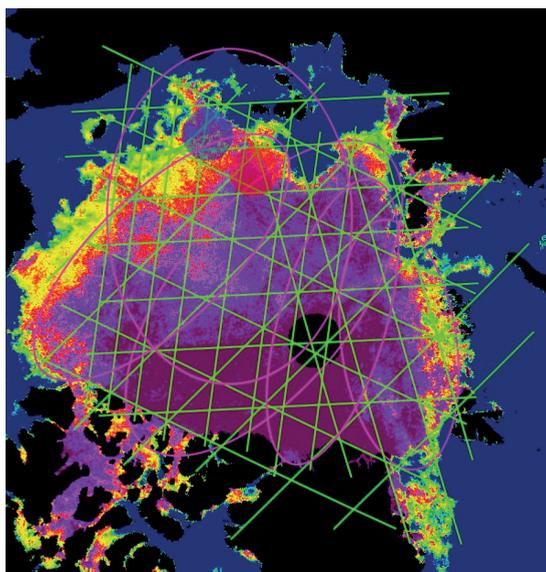


Рис. 3. Структуры ледяного покрова СЛО в виде волн-солитонов, определяющих его динамику 27.07.2005 [6, 8], наложенные на карту сплоченности морского льда MODIS-AMSR2 (<https://seaice.uni-bremen.de/sea-ice-concentration/modis-amsr2/>)

Fig. 3. Structures of the Arctic Ocean ice cover in the form of soliton waves that determine its dynamics on July 27, 2005 [6, 8], superimposed on the MODIS-AMSR2 sea ice concentration map (<https://seaice.uni-bremen.de/sea-ice-concentration/modis-amsr2/>)

торосообразования и сжатий. Ледовые наблюдения в таких районах должны были проводиться с максимально возможной детализацией.

Пример волнового анализа динамики ледяного покрова в Карском море 5 мая 2023 г. для передачи на борт атомного ледокола приведен на рис. 4.

Предоставление данных специальных судовых ледовых наблюдений по мере прохождения ледоколом заданных районов повышенной деформации ледяного покрова должно содержать в себе следующую информацию:

- выборка изображений судового радара, наиболее характерных для особенностей ледяного покрова в заданном районе;
- выборка изображений СТК для различных типов льда в заданном районе;
- панорамные фотографии пройденных однородных ледовых зон, сделанные с ходового мостика;
- обобщение данных визуальных ледовых наблюдений в заданном районе в табличном и текстовом виде.

Таким образом, в экспедиции «ЛЕД-СМП-1/2023» были отработаны состав и форма предоставления информации с борта судна для уточнения методики составления оптимального маршрута плавания. В дальнейшем форма и состав информации могут быть дополнены в зависимости от запросов для других ледовых прогнозов.

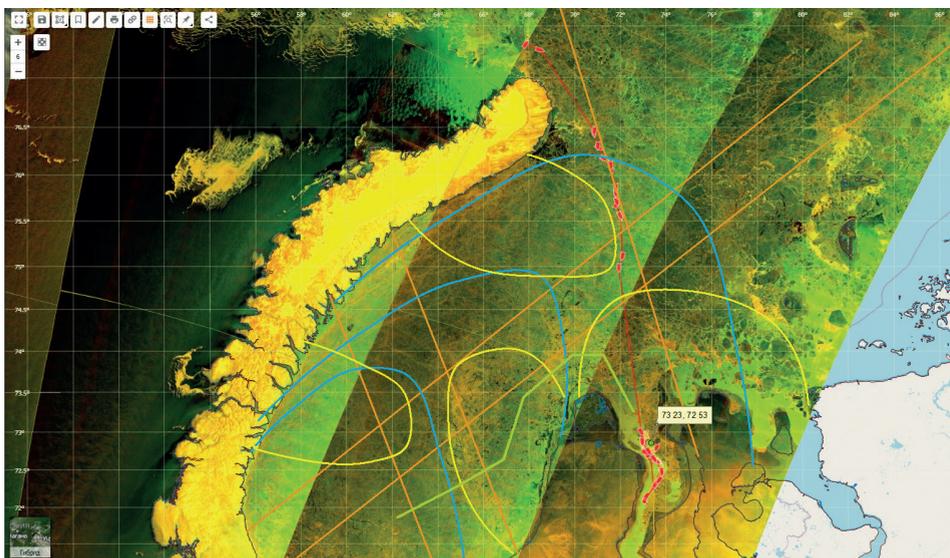


Рис. 4. Интерпретация волновых структур ледяного покрова для первого маршрута экспедиции «ЛЕД-СМП-1/2023». Зеленая линия — прогнозируемый оптимальный маршрут плавания. Оранжевые прямые — «природная решетка» собственных колебаний акватории, синие — распространение прогрессивной волны, желтые — отраженные волны [6, 8] для юго-западной части Карского моря, 5 мая 2023 г.

Fig. 4. Interpretation of the wave structures of the ice cover for the first route of the expedition “ICE-NSR-1/2023”. The green line is the predicted optimal route of navigation. The orange lines are the “natural grid” of natural oscillations of the water area, the blue lines are the propagation of a progressive wave, the yellow lines are reflected waves [6, 8] for the southwestern part of the Kara Sea, May 5, 2023

Использование СТК для получения информации о строении льда при движении судна

Вопрос о выявлении и фиксации строения льда по ходу движения судна является важным для понимания закономерностей распределения льда различного строения и физических свойств на трассах СМП и в других районах Арктики. Строение ровного льда, под которым понимается совокупность кристаллического строения (структура) и распределение в толще льда различных включений (текстура), во многом определяет его физические свойства [9]. Фиксация выворотов льдин у корпуса судна с помощью СТК позволяет получить фотографии бокового скола льда, отражающие «текстурный рисунок» расколотов льдины в вертикальной плоскости. При естественном нарастании льда в его структуре и текстуре последовательно фиксируются все изменения, связанные с изменениями условий формирования льда за весь период его существования, а строение льда и стадии его состояния, т. е. внутренние изменения, происходящие со льдом под действием термометаморфических процессов, непосредственно влияют на физические свойства льда, в том числе на прочностные, что важно для судоходства [10]. Таким образом, по фотографиям выворотов льдин вдоль борта судна во время его движения можно восстановить «историю существования» исследуемой льдины.

На данный момент разрешение камеры СТК позволяет получить информацию о толщине льда и его слоистости. Слоистость льда чаще всего возникает в следующих случаях:

1. Переход от одного генетического типа льда к другому при изменении условий ледообразования, особенно в случае смены слоя, сложенного зернистыми и волокнистыми структурами [9, 10].
2. Фронтальное прерывание естественного роста кристаллов в результате динамических процессов в ледяном покрове (торошение, наслоение, разломы, образование трещин и полыней). В результате этих процессов к фронту кристаллизации на нижней границе льда поступают мелкие обломки и кристаллы внутриводного льда, образующиеся в толще воды. Возникает тонкая прослойка льда зернистой структуры (иногда и значительная), ниже которой продолжается естественное нарастание льда прежней структуры.

На рис. 5 показан пример скола льда, полученного при фиксации вывернутой льдины. В этом примере верхние слои «*a*» и «*b*» отличаются по текстуре от нижележащих слоев, но слои «*c*, *d*, *e*» сформированы, скорее всего, одним генетическим типом льда, а слоистость возникла в результате динамических процессов в ледяном покрове, что зафиксировалось в виде «слоев-прослоек». Можно предположить, что район, где формировалась льдина, достаточно динамичен, если на срок ее существования, судя по фотографии — не очень долгий, приходится не менее трех случаев нарушения естественного нарастания льда, вызванного динамическими процессами в ледяном покрове. По толщине слоев, которую можно определить с помощью СТК, и примерной скорости нарастания льда можно вычислить ориентировочные сроки торошения.

При разработке данной методики на первом этапе необходимо сосредоточиться на получении качественной информации о слоистости льда по фотографиям боковых сколов льдин. В дальнейшем необходимо увеличивать разрешение изображений с СТК для улучшения качества изображения текстуры льда.

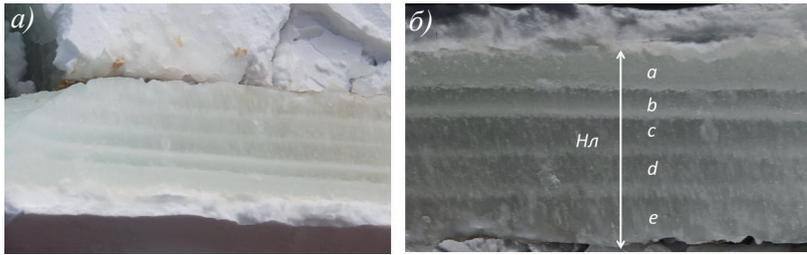


Рис. 5. Пример использования фотографий боковых сколов льдин для текстурного анализа: исходный снимок (а) и обработанный снимок (б). Проставленные на обработанном снимке (б) индексы отображают возможную интерпретацию слоистости льда, где $H_{л}$ — толщина льда, слой a — верхний слой зернистой структуры, слой b — слой неясного кристаллического строения (возможно, начала формирования волокнистой структуры), слои c , d и e — слои, скорее всего имеющие волокнистую структуру

Fig. 5. An example of using photographs of ice floes for texture analysis: original image (a) and processed image (b). The indices placed in the processed image (b) reflect a possible interpretation of the layering of ice, where $H_{л}$ is the thickness of the ice, layer a — the top layer of the granular structure, layer b — a layer of unclear crystalline structure (possibly the beginning of the formation of a fibrous structure), layers c , d and e — layers likely to have a fibrous structure

Одновременно с СТК-съемкой необходимо получать следующие натурные данные с борта судна:

- данные о солёности воды в районе проведения съемки, так как солёность воды является одним из основополагающих факторов, влияющих на ледообразование, что отражается на формировании льда различных генетических типов;
- данные о метеорологической обстановке в районе проведения съемки;
- данные о температуре воды на участке фиксации текстуры льда.

Дополнительно при анализе информации о структуре льда необходимо привлекать следующие материалы:

- данные о течениях (необходимо учитывать, что для дрейфующих льдов начальное и дальнейшее формирование льда может протекать в разных местах и, соответственно, строение льда, восстановленное по текстурному рисунку, может не отражать условия формирования льда в точке фиксации);
- сведения о строении льда и условиях ледообразования для исследуемых участков акватории с учетом сезонности из других источников. Особое внимание следует обратить на данные о строении льда, полученные непосредственно в полевых условиях [11]. Эти данные могут быть использованы как тестовые для идентификации данных о строении льда, полученных при СТК-съемке.

Таким образом, при внедрении вышеописанной методики определения структуры льда с помощью СТК будет поступать массив данных, на которых станет возможным выявление «основного сценария формирования льда» для различных акваторий. Под сценарием формирования льда авторами статьи понимается смена условий ледообразования, приводящая к последовательному нарастанию льда различных генетических типов. Под «основным сценарием» понимается повторяющийся из года в год сценарий формирования льда, который отражает как повторяющиеся строение льда, так и повторяющиеся условия ледообразования для данной акватории.

Помимо «основного сценария» формирования льда, охватывающего значительные площади, лед может формироваться по «локальным сценариям», которые отражают нарастание льда в отличных от «основного сценария» условиях ледообразования. К таким участкам ледяного покрова относятся льды прибрежной полосы, вблизи торосов и айсбергов, в трещинах и разводьях. Строение льда, сформированного по «локальным сценариям», будет отличаться от строения льда, сформированного по «основному сценарию», что будет сказываться на физических свойствах льда. Поэтому в результате проводимого анализа материалов СТК-съемки необходимо стремиться разграничивать материалы по группам: материалы, отражающие строение льда, сформированного по «основному сценарию», и материалы, отражающие строение льда, сформированного по «локальным сценариям». Каждая группа будет нести соответствующую, присущую именно ей, информацию о строении льда, что необходимо учитывать при анализе его физических свойств.

Разработка новой комплектации СТК

В первую очередь необходимо отметить некоторое разветвление в процессе совершенствования и модернизации СТК. Судовой телевизионный комплекс, как система, ориентированная в первую очередь на проведение и совершенствование научных наблюдений, в 2018 г. позволил сформировать проект судового телевизионно-метеорологического комплекса (СТМК), основной задачей которого является оперативная поддержка системы специализированного гидрометеорологического обеспечения стандартизированными опорными данными о ледовой и метеорологической обстановке в районе движения судна [4].

Проект СТМК, разрабатываемый с целью установки на большое количество судов, в первую очередь ориентированный на автоматический сбор ключевых данных, не отвечает требованиям научно-исследовательских задач. Это обусловлено необходимостью стандартизации оборудования СТМК согласно регламентам средств измерений и морского регистра и не предполагает активных модернизационных работ сверх поставленных перед системой задач.

СТК, оставаясь непрерывно развивающимся научно-исследовательским оборудованием, продолжает совершенствоваться и модифицироваться путем отработки и внедрения новых технических решений.

На текущем этапе проводятся работы по дооснащению СТК комплектом мобильной метеорологической станции с целью получения попутной метеорологической информации, имеющей специфические, относительно штатных судовых метеостанций, режимы сбора данных, позволяющие четко привязывать регистрируемые ледяные образования к текущим условиям.

Серьезным шагом в улучшении информативности собираемых данных является разработка методики получения информации о торосистости льда на пути следования судна на основе комбинирования данных толщиномера и группы акселерометрических датчиков, что в совокупности с информацией о движении судна позволяет оценивать торосистость в виде относительного параметра динамики движения судна. При таком подходе параметр торосистости характеризует не площадное распределение торосов в районе плавания, а комплексный параметр динамического сопротивления отдельных торосов движению судна на пути следования.

Для обеспечения более качественной оценки морфологии боковых сколов льдин проводятся работы по повышению разрешающей способности камеры толщиномера и средств защиты объектива камеры при ее установке ближе к площадке измерений, что приводит к активному забрызгиванию и обмерзанию оптики.

Программно-аппаратный комплекс непрерывно дооснащается новыми алгоритмами, обеспечивающими взаимодействие всех регистрирующих элементов, автоматическую предобработку и получение окончательных результатов обработки потоковых данных в реальном масштабе времени.

Необходимо отметить, что полная автоматизация процесса работы комплекса СТК невозможна ввиду значительной доли информации визуальных наблюдений, получаемой ледовым наблюдателем. Тем не менее непрерывное повышение степени автоматизации обработки потоковой информации СТК и формирование оперативных комплексных данных, дополненных параметрами сопутствующих условий наблюдения, имеет приоритетное значение в рамках развития системы.

Одним из серьезных ограничивающих факторов в процессе технического совершенствования СТК является сохранение высокой степени мобильности комплекса, а также универсальности применения на разных типах судов при проведении экспедиционных и специальных работ.

Заключение

В рамках экспедиции «ЛЕД-СМП-1/2023» была разработана и частично введена в практику обновленная методика специальных судовых ледовых наблюдений. Основой нового подхода является планируемый эксперимент, который заключается в оценке ожидаемого результата наблюдений. В центре управления экспедицией производится анализ динамики ледяного покрова в районе экспедиции, составляется оптимальный маршрут плавания и выделяются наиболее важные для прогноза районы, то есть районы повышенной деформации ледяного покрова. На борту судна научная группа проводит максимально детализированные наблюдения в выделенных районах, по мере их прохождения анализирует и обобщает данные специальных судовых ледовых наблюдений и оперативно отправляет их в центр управления экспедицией.

Для получения более полной информации о ледяном покрове как среде существования важное значение имеет информация о строении морского льда и истории его формирования. Такую информацию можно получить путем повышения разрешающей способности камеры СТК и средств защиты объектива камеры при ее установке ближе к площадке измерений. Фиксация выворотов льдин у корпуса судна с помощью СТК позволяет получить фотографии вертикального скола льда, отражающие «текстурный рисунок» льдины в вертикальной плоскости. В настоящее время сотрудниками ААНИИ разрабатывается методика определения структуры льда с помощью СТК, что позволит в дальнейшем выявлять «основной сценарий формирования льда» для различных акваторий.

Конфликт интересов. Авторы не имеют конфликта интересов.

Финансирование. Данная работа была поддержана Российским научным фондом, грант № 23-17-00161.

Competing interests. The authors declare no conflict of interest.

Financing. We thank the Russian Science Foundation [grant number 23-17-00161] for the financial support of our studies.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. *Наблюдения за ледовой обстановкой*. СПб.: ГУ «АНИИ»; 2009. 360 с.
2. *Руководство по производству ледовой авиаразведки*. Л.: Гидрометеониздат; 1981. 240 с.
3. Дерюгин К.К., Карелин Д.Б. *Ледовые наблюдения на морях*. Л.: Гидрометеониздат; 1954. 168 с.
4. Сероветников С.С., Фролов С.В., Клейн А.Э. Судовой телевизионный комплекс — реализация автоматизированной системы натурных измерений толщины морского льда. *Российская Арктика*. 2018; 2: 41–55. <https://doi.org/10.24411/2658-4255-2018-00017>
Serovetnikov S.S., Frolov S.V., Klein A.E. Ship-based television complex — the program for automatic sea ice thickness monitoring. *Russian Arctic*. 2018; 2: 41–55. (In Russ.) <https://doi.org/10.24411/2658-4255-2018-00017>
5. Афанасьева Е.В., Сероветников С.С., Алексеева Т.А., Гришин Е.А., Солодовник А.А., Филиппов Н.А. Применение данных судового телевизионного комплекса в оперативном гидрометеорологическом обеспечении морской деятельности на примере картирования толщины ледяного покрова в Арктике. *Проблемы Арктики и Антарктики*. 2022; 68(2): 96–117. <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2022-68-2-96-117>
Afanasyeva E.V., Serovetnikov S.S., Alekseeva T.A., Grishin E.A., Solodovnik A.A., Filippov N.A. Mapping the thickness of sea ice in the Arctic as an example of using data from a ship-based television complex for operational hydrometeorological support of maritime activities. *Arctic and Antarctic Research*. 2022; 68(2): 96–117. (In Russ.) <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2022-68-2-96-117>
6. Макаров Е.И., Саперштейн Е.Б., Фролов С.В., Федяков В.Е. Разработка сценариев для тактического планирования транзитных рейсов газовозов в ледовых условиях в акватории СМП. *Труды 15-й Международной конференции и выставки по освоению ресурсов нефти и газа Российской Арктики и континентального шельфа стран СНГ (RAO/CIS Offshore 2021), 21–24 октября 2021*. М.: Издательство Перо; 2021. С. 181–187.
7. Некрасов А.В. *Приливные волны в окраинных морях*. Л.: Гидрометеониздат; 1975. 247 с.
8. Макаров Е.И., Алексеева Т.А., Саперштейн Е.Б. Физико-статистические обобщения по оптимальным вариантам транзитных ледовых плавания для круглогодичных навигаций на Северном Морском пути. *Труды 16-й Международной конференции и выставки по освоению ресурсов нефти и газа Российской Арктики и континентального шельфа стран СНГ (RAO/CIS Offshore 2023), 26–29 сентября 2023*. М.: Издательство Перо; 2023. С. 160–163.
9. Черепанов Н.В. Классификация льдов природных водоемов. *Труды АНИИ*. 1976; 331: 77–99.
Cherepanov N.V. Classification of ice of natural water bodies. *Trudy Arkticheskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta = Proceedings of the ARI*. 1976; 331: 77–99. (In Russ.)
10. *Морской лед*. СПб.: Гидрометеониздат; 1997. 402 с.
11. Федотов В.И. Строение однолетнего льда моря Лаптевых в весенний период. *Труды АНИИ*. 1976; 331: 151–156.
Fedotov V.I. Structure of first-year sea ice in the Laptev Sea in spring period. *Trudy Arkticheskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta = Proceedings of the ARI*. 1976; 331: 151–156. (In Russ.)