

СЖАТИЯ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА В ПЕЧОРСКОМ МОРЕ: ПРИРОДНОЕ ЯВЛЕНИЕ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА МОРСКИЕ ОПЕРАЦИИ

И. В. Бузин, С. В. Клячкин, С. В. Фролов, К. Г. Смирнов, С. В. Михальцева,
Ю. В. Соколова, Ю. П. Гудошников

ФГБУ «Арктический и антарктический научно-исследовательский
институт» (Санкт-Петербург, Российская Федерация)

Г. Н. Войнов

ФГБУ «Арктический и антарктический научно-исследовательский институт»,
Санкт-Петербургское отделение ФГБУ «Государственный океанографический
институт имени Н. Н. Зубова» (Санкт-Петербург, Российская Федерация)

М. Н. Григорьев

ФГБНУ Национальный исследовательский институт мировой экономики и международных
отношений имени Е. М. Примакова РАН (Москва, Российская Федерация)

Статья поступила в редакцию 14 апреля 2022 г.

Печорское море — важный район российского арктического шельфа с точки зрения добычи углеводородов (УВ) и транзита грузов из акватории Северного морского пути, в первую очередь УВ из района Обской губы. Эпизодически в этом районе формируются тяжелые ледовые условия, проявляющиеся в сжатиях ледяного покрова, которые приводят к серьезному осложнению навигации и работы судов обеспечения морской ледостойкой стационарной платформы «Приразломная». На основе анализа различных источников рассмотрены процессы формирования тяжелых ледовых условий в 2003 и 2018 гг., а также их влияние на работу судов. Показано, что единственным уверенно работающим судном в таких условиях является атомный ледокол. Сделано предположение, что сжатия льдов различной интенсивности достаточно типичны для этого района и могут эпизодически повторяться.

Ключевые слова: Печорское море, углеводороды, Северный морской транспортный коридор, ледяной покров, сжатия льда, характеристики движения судна.

Введение

Печорское море (акватория в юго-восточной части Баренцева моря) является важной частью российского арктического шельфа. Через него проходит кратчайший путь из Мурманска к проливу Карские Ворота и далее на восток по трассе Северного морского пути (СМП) (рис. 1). В настоящее время транспортное значение этой акватории как «западных ворот» СМП многократно возросло в связи с тем, что в «условиях санкционного давления задача развития Северного морского пути становится одним из ключевых государственных приоритетов»¹. Несомненно, грузопоток (в том числе круглогодичный) в аквато-

рии Печорского моря будет стремительно расти, что требует систематизации исследований, нацеленных на обеспечение безопасности судоходства.

В море и на берегу находятся крупные углеводородные месторождения, на шельфе расположены лицензионные участки российских добывающих компаний^{2,3,4,5}. Месторождение «Приразломное» разрабатывается с единственной на шельфе российской Арктики морской ледостойкой стационарной платформы (МЛСП), первая нефть с которой была от-

¹ Мишустин назвал развитие Севморпути важной задачей для России из-за санкций. — URL: <https://ria.ru/20220602/sevmorput-1792631445.html?ysclid=I7c5097yoi219289998>.

© Бузин И. В., Клячкин С. В., Фролов С. В., Смирнов К. Г., Михальцева С. В., Соколова Ю. В., Гудошников Ю. П., Войнов Г. Н., Григорьев М. Н., 2022

² Rosneft Offshore Projects. — URL: <https://www.rosneft.com/business/Upstream/Offshoreprojects/#a1>.

³ Приразломное месторождение. — URL: http://shelf.gazprom-neft.ru/business/prirazlomnoe_field/.

⁴ Проекты ООО «Газпромнефть-Сахалин». — URL: <http://www.sakhalin.gazprom-neft.ru/business/about/>.

⁵ История проекта «Приразломное». — URL: <http://shelf.gazprom-neft.ru/about/history/>.

гружена в апреле 2014 г.⁶ Через Печорское море вывозятся углеводороды (УВ), добытые непосредственно в этом районе, и идет основной поток сжиженного природного газа и нефти из акватории СМП (в основном из Обской губы). Значительный вклад вносят перевозки ГМК «Норильский никель» из порта Дудинка (река Енисей). С учетом планов разработки месторождений Обской губы и реализации проекта «Восток Ойл» с отгрузкой нефти с терминала Бухта Север в Енисейском заливе следует ожидать возрастания количества судов, перевозящих углеводородное сырье и генеральные грузы (как на стадии строительства, так и для обеспечения действующих производств). Эпизодически возникающие здесь тяжелые ледовые условия, приводящие к сжатиям льда, создают значительные помехи судоходству и серьезно осложняют добычу УВ.

Термином «сжатие льдов» обозначается специфическое природное явление, при котором дрейфующие льдины оказывают давление друг на друга. Абсолютные значения сжатия могут меняться в очень широких пределах и порой достигают весьма значительной величины, равной прочности самого льда и сопоставимой с прочностью инженерных объектов [1], что может привести (и иногда приводит) к их повреждению и даже разрушению. Вследствие этого сжатия оказывают значительное воздействие на ледяной покров — формируются наслоения и/или торосы, появляются трещины, разломы, разводья, ропаки, тертый и набивной лед, стамухи и т. д. [1].

В соответствии с российскими нормативными документами [2] сжатия льда классифицируются по качественной шкале интенсивности («отсутствие сжатий» — 0 баллов, «слабое сжатие» — 1 балл, «заметное сжатие» — 2 балла

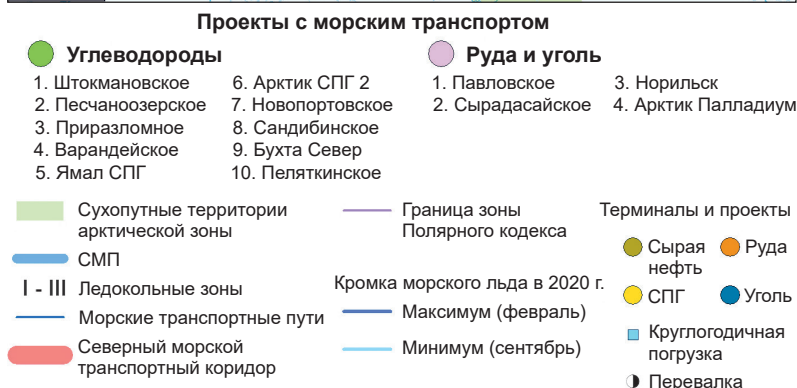
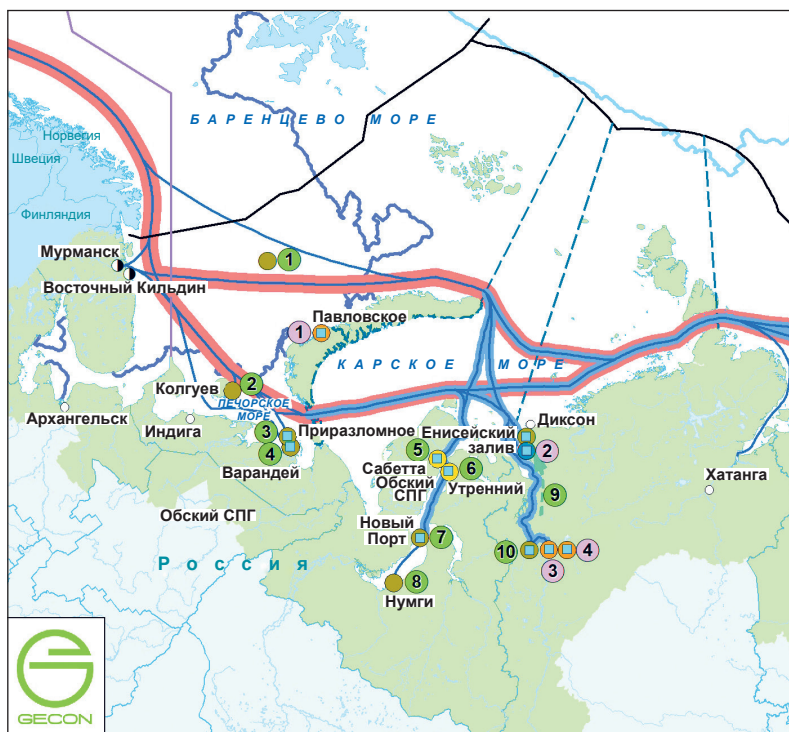


Рис. 1. Проекты в Баренцевом и Карском морях с морским вывозом продукции, а также положение Северного морского пути и Северного морского транспортного коридора (по данным ООО «Гекон»)

Fig. 1. Projects in the Barents and Kara Seas with sea export of products, as well as the situation of the Northern Sea Route and the Northern Sea Transport Corridor (according to LLC Gekon)

и «сильное сжатие» — 3 балла), основанной на визуальных наблюдениях за состоянием ледяного покрова. При этом каждый балл сжатости характеризуется набором характеристик ледяного покрова, присущих конкретной стадии развития этого явления и изменяющихся по мере его развития (наличие/отсутствие каналов, трещин, разводий; появление торосов из молодого (а затем и более старого) льда и пр.).

Сжатия являются опасным ледовым явлением для судоходства; они осложняют как автономность плавания судна, так и плавание под проводкой ледокола, и могут привести к повреждению и даже гибели судов. Попадание в зону сжатий одиночного судна или каравана судов резко снижает скорость их движения вплоть до остановки. Влияние сжатия на скорость движения судна зависит от его типа и мощности энергетической установки. Слабые сжатия, практически не сказываясь на скорости движения мощных ледоколов типа «Арктики», оказывают заметное влияние на движение менее мощных. Сильные сжатия могут приводить к вынужденному дрейфу даже современных мощных ледоколов [3]. Снижение скорости, а тем более заклинивание судна во льдах намного уве-

⁶ Отгружена первая нефть Арктического шельфа России. — URL: <https://www.gazprom-neft.ru/press-center/news/otgruzhena-pervaya-neft-arkticheskogo-shelfa-rossii/>.

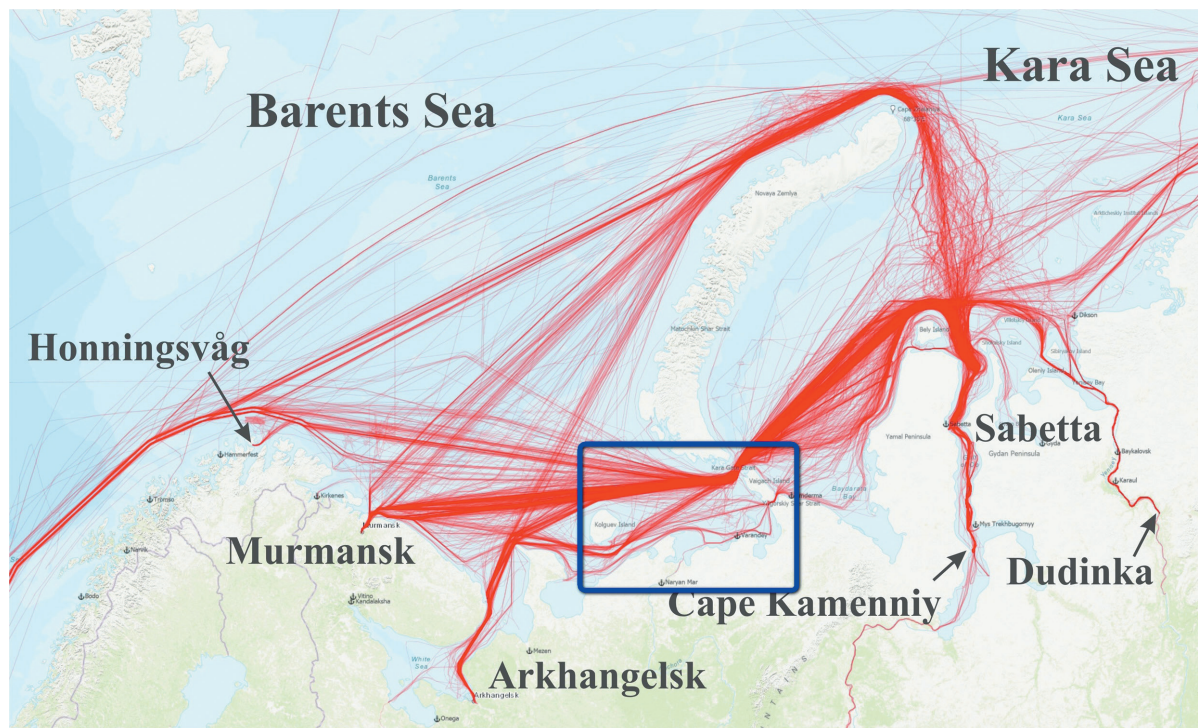


Рис. 2. Судоводные маршруты в западной части Северного морского транспортного коридора по данным AIS за 2018 г. по данным [10]. Район Печорского моря выделен прямоугольником

Fig. 2. Shipping routes in the Western part of the Northern Sea Transport Corridor according to AIS data for 2018, map fragment from [10]. The Pechora Sea water area is marked with a rectangle

личивают время рейса, нарушают график движения судов, что отрицательно сказывается на работе всей транспортной системы, предназначенной для вывоза УВ сырья из районов добычи [4].

Подавляющее число случаев гибели судов в Северном Ледовитом океане (за исключением военных потерь) было вызвано сжатиями льдов [5]. С 1922 по 1990 гг. при освоении СМП погибло 10 судов, из них 9 в результате сжатия льдов, позднее случаев гибели не было [6]; как отмечает автор этой работы Л. Г. Цой, «...современные суда арктического плавания достаточно хорошо выдерживают нагрузки, возникающие при ледовых сжатиях. Доля в общем числе повреждений конструкций вследствие сжатий не превышает 5—6%». Очевидно, что уменьшение к настоящему времени числа аварий и повреждений, вызванных сжатиями, обусловлено как ужесточением классификационных требований к судам, допускаемым к работе в Арктике, так и достигнутым прогрессом в области судостроения, созданием системы навигационно-гидрографического обеспечения, разработкой тактики ледового плавания, обеспечением ледовыми и гидрометеорологическими прогнозами.

Несмотря на широкое распространение явления сжатий (см., например, [7]), информация о сопутствующих процессах и их величинах, как правило, является малодоступной и фрагментарной. В настоящем исследовании на основании анализа наблюдений *in situ* и дистанционных рассматриваются процессы формирования тяжелых ледовых условий на акватории Печорского моря в 2003 и 2018 гг. и их

влияние на работу судов различного водоизмещения и мощности. Выбор указанных лет обусловлен документально подтвержденными фактами воздействия сжатия льдов на суда, наличием достаточного количества сопутствующих материалов, а также наличием результатов реанализов атмосферы.

Печорское море как важное звено в транзите по СМТК

Печорское море вместе с Баренцевым и Белым морями входит в западную часть Северного морского транспортного коридора (СМТК) — в его Поморский сектор [8; 9]. Оно является акваторией наиболее интенсивного судоходства в арктическом регионе России. Через него проходят трассы сезонных поставок грузов на порты Варандей и Нарьян-Мар, острова Колгуев и Вайгач, проводится круглогодичный вывоз нефти с терминала Варандей, ледостойкой платформы Приразломная и сезонный — с острова Колгуев. Через пролив Карские Ворота и реже через пролив Югорский Шар осуществляются рейсы судов, следующих с грузами в акваторию СМП и из нее, а также транзитные рейсы через акваторию всего СМТК (от Мурманска до Петропавловска-Камчатского). Примеры судоводных маршрутов и интенсивности проходов через акваторию Печорского моря представлены на рис. 2. Главную роль в транзитном трафике играет круглогодичный вывоз нефти, конденсата и сжиженного природного газа с терминалов Обской губы [8].

В акватории Печорского моря находятся два терминала, круглогодично отгружающие нефть:

- морской ледостойкий отгрузочный причал (СМЛОП) Варандей, расположенный на удалении 22 км от берега (введен в строй в 2008 г.);
- морская ледостойкая стационарная платформа (МЛСП) Приразломная, расположенная на расстоянии 60 км от берега (эксплуатация начата в 2014 г.).

Оба проекта обслуживаются танкерами типоразмера Панамакс дедвейтом 70 тыс. т и осадкой 14 м ледового класса Arc6. В настоящее время они обеспечивают круглогодичный вывоз нефти на рейдовые перевалочные комплексы в морском порту Мурманск. Объемы круглогодичного вывоза нефти с терминалов Печорского моря неустойчивы, так как определяются добычной возможностью месторождений (в первую очередь это относится к Варандейскому терминалу) [11]. Число грузовых рейсов значительно колеблется, например, с Варандейского терминала — от 2 до 11 в месяц. Вывоз нефти с платформы Приразломная в течение года также имеет значительные колебания — от 1 до 5 рейсов в месяц, что связано с остановками платформы на многочисленные ремонты [8]. В 2021 г. челночными рейсами с терминала Варандей было вывезено 4,6 млн т нефти, с платформы Приразломная — 3,6 млн т. Через акваторию Печорского моря также проходят суда ледового класса Arc7, обеспечивающие круглогодичный вывоз из акватории Обской губы:

- нефти Новопортовского месторождения со стационарного морского ледостойкого отгрузочного терминала «Ворота Арктики»;
- сжиженного природного газа проекта «Ямал СПГ» из морского порта Сабетта.

Устойчивый круглогодичный вывоз нефти из Обской губы начался в 2016 г., СПГ — в 2017 г., конденсата — в 2018 г. В 2021 г. объемы вывоза нефти составили 7,3 млн т, конденсата — 0,9 млн т. Всего было вывезено 19,5 млн т СПГ, в том числе через Печорское и Баренцево моря — 15,9 млн т.

В структуре транзита через Печорское море вывоз газового конденсата проекта «Ямал СПГ» из Сабетты имеет второстепенное значение, как и грузопоток продукции горнорудного комплекса Норильского промышленного района, отгружаемой из поселка Дудинка. Несмотря на высокий ледовый класс (до Arc7), в январе-мае часть рейсов из Обской губы осуществляется вокруг мыса Желания (архипелаг Новая Земля), в остальное время весь грузопоток, входящий через пролив Карские Ворота, пересекает Печорское море (см. [10; 12]). Маршрут вокруг мыса Желания используется в целях обеспечения безопасности и ритмичности судоходства — во избежание риска встречи с тяжелыми ледовыми условиями в Печорском море.

Используемые материалы

При подготовке работы был произведен поиск доступной информации о сжатиях льда в Печорском море в 2003 и 2018 гг., а также информации о сопутствующих явлениях. Ниже перечислены использованные в работе материалы.

1. Данные реанализа Arctic System Reanalysis, vers. 2 за февраль-июнь 2003 г. и реанализа GFS (Global Forecasting System) за февраль-май 2018 г. [13; 14].

2. Снимки искусственного спутника Земли (ИСЗ) Terra/Aqua MODIS за апрель 2003 г. и апрель-июнь 2018 г.

3. Еженедельные обзорные ледовые карты Арктического и антарктического научно-исследовательского института (ААНИИ) за февраль-июнь 2003 и 2018 гг.

4. Данные о температуре воздуха на полярной станции «Мыс Константиновский» за март-июнь 2003 и 2018 гг.

5. Данные специальных судовых ледовых наблюдений за ледяным покровом, выполненных с научно-экспедиционного судна (НЭС) «Михаил Сомов» в 2003 г., и параметры движения судна во льдах.

6. Данные о характеристиках ледяного покрова, собранные с судов, а также с МЛСП Приразломная в 2018 г. (включая данные вахтенного журнала судна «Brage Viking» за 30 апреля — 1 мая 2018 г.).

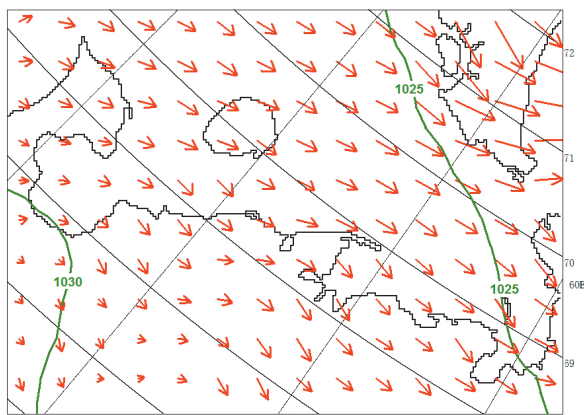
7. Данные о перевозках ФГБУ «АСМП», ФГБУ «Администрация морских портов Западной Арктики» и судоходных компаний.

8. Данные о движении судов AIS Vessel Tracking exactEarth.

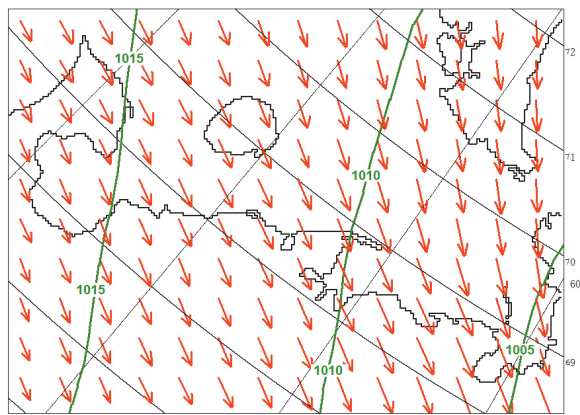
Применение двух различных реанализов в рамках одного исследования — вынужденная мера, обусловленная тем, что реанализ ASR-2 не содержит данных за 2018 г., а расчеты GFS за период до 2015 г. недостаточно надежны. Доступная информация по ледовым условиям *in situ* в 2003 и 2018 гг. различна по детализации. Для 2003 г. мы располагали подробным описанием характеристик ледяного покрова и параметров движения по пути следования НЭС «Михаил Сомов», задокументированных ледовым наблюдателем по специальной методике. Для 2018 г. имеется только краткое описание ледовых условий по данным наблюдателей с МЛСП Приразломная и судов, находившихся в этом районе.

Формирование тяжелых ледовых условий (сжатий) в Печорском море

Главное условие возникновения сжатий — это достаточно высокая сплоченность ледяного покрова. Сильные сжатия происходят преимущественно при сплоченности льда 10 баллов, а локальные сжатия (на стыках полей) — при сплоченности льда 7—9 баллов. Основными причинами возникновения сжатия льдов являются различия в скорости и направлении дрейфа. Исключительное значение при формировании неоднородностей поля дрейфа льда имеют препятствия — берега, острова, стамухи, припай. В прибрежной полосе арктических морей особенно сильные сжатия связаны с нажимными ветрами. Наиболее опасны с точки зрения судоходства сжатия, возникающие на границе припая при генеральном направлении дрейфа льда под некоторым углом к нему. В результате



Направление и скорость ветра → 10 м/с
а



Направление и скорость ветра → 10 м/с
б

Рис. 3. Направление и скорость ветра (осредненные значения) над районом Печорского моря по данным реанализа [13] для второй декады апреля 2003 г. (а); то же по данным реанализа [14] для апреля 2018 г. (б)

Fig. 3. Wind direction and speed (averaged values) over the Pechora Sea according to reanalysis data [13] the second decade of April 2003 (a); the same according to reanalysis data [14] for April 2018 (б)

таких сжатий могут формироваться торосы и стамухи, достигающие в высоту 15 м и более [1].

Нами рассматриваются два достаточно хорошо задокументированных случая формирования в этом районе тяжелых ледовых условий. В апреле 2003 г. в Печорском море проводилась комплексная ледоисследовательская экспедиция ААНИИ на НЭС «Михаил Сомов». По завершении работ судно должно было проследовать в центральную часть Баренцева моря и в конце апреля встретилось со значительными трудностями, вызванными ледовыми условиями, и с трудом покинуло этот район. Весной 2018 г. тяжелые ледовые условия серьезно осложнили работу судов обеспечения МЛСП Приразломная.

Случай 2003 г.

Зимой 2003 г. продолжительные ветры северных румбов над Баренцевым морем привели к выносу из его северной части в центральную двухлетних льдов и айсбергов. Одновременно с этим в юго-восточной части моря наблюдались ветры преимущественно западных румбов, которые привели к увеличению сплоченности ледяного покрова на этой акватории до 10 баллов, его деформации и образованию обширных, почти повсеместных зон торосения 4—5 баллов (80—100% площади, занятой торосами различной высоты) [15]. Осредненные за 10 суток характеристики ветра в районе Печорского моря за февраль-апрель 2003 г. подтверждают, что в этот период преобладали ветры западных румбов (т. е. «нажимные») со скоростями до 10 м/с (см. пример для апреля на рис. 3а).

В апреле 2003 г. ледяной покров в районе проведения экспедиции был представлен преимущественно однолетним тонким льдом (30—70 см). Под действием нажимных ветров в течение месяца произошло смещение льда на восток и сформировалась зона с очень высокой сплоченностью (рис. 4а и 4б). На рис. 4в показано изменение положения кром-

ки льда (без учета налосовых льдов толщиной до 10 см) в течение апреля. Видно, что с 1 до 23 апреля смещение кромки достигало 5° долготы (порядка 170—190 км). Данные среднесуточной температуры воздуха на станции «Мыс Константиновский» (центральная часть материкового побережья Печорского моря) в апреле 2003 г. показывают, что температура воздуха лежала в диапазоне от –20°C до 0°C, ее среднее значение составило –7,97°C.

В результате комплексного воздействия ветра и приливов на сплоченный ледяной покров в апреле 2003 г. в Печорском море наблюдались очень сильные сжатия, которые полностью заблокировали НЭС «Михаил Сомов» (судно не смогло самостоятельно покинуть район экспедиционных работ с 24 по 30 апреля 2003 г.).

Весьма показательно, что для проводки танкера «Усинск» ледового класса Arc4/5 (в зависимости от осадки)⁷ с грузом нефти от Варандейского терминала были задействованы два ледокола (атомный «Ямал» и дизельный «Капитан Николаев»), при этом «Ямал» возглавлял караван, а «Капитан Николаев» замыкал его [15]. Караван этих судов прошел в районе 01:00 30 апреля на расстоянии порядка 2 кабельтовых (около 370 м) от НЭС «Михаил Сомов», после чего оно в течение 9 ч (с 02:00 до 11:00) с большим трудом преодолело это расстояние до проложенного караваном канала. Основные технические характеристики перечисленных судов приведены в табл. 1. Необходимо отметить, что НЭС «Михаил Сомов» находилось в балласте, что существенно снизило эксплуатационную ледопроемкость судна в сложных ледовых условиях (это можно объяснить возникающей в таком случае неоптимальной формой корпуса и уменьшающейся инерцией).

⁷ Перевозка нефти с Варандейского терминала судами ледового класса Arc6 началась в июне 2008 г.

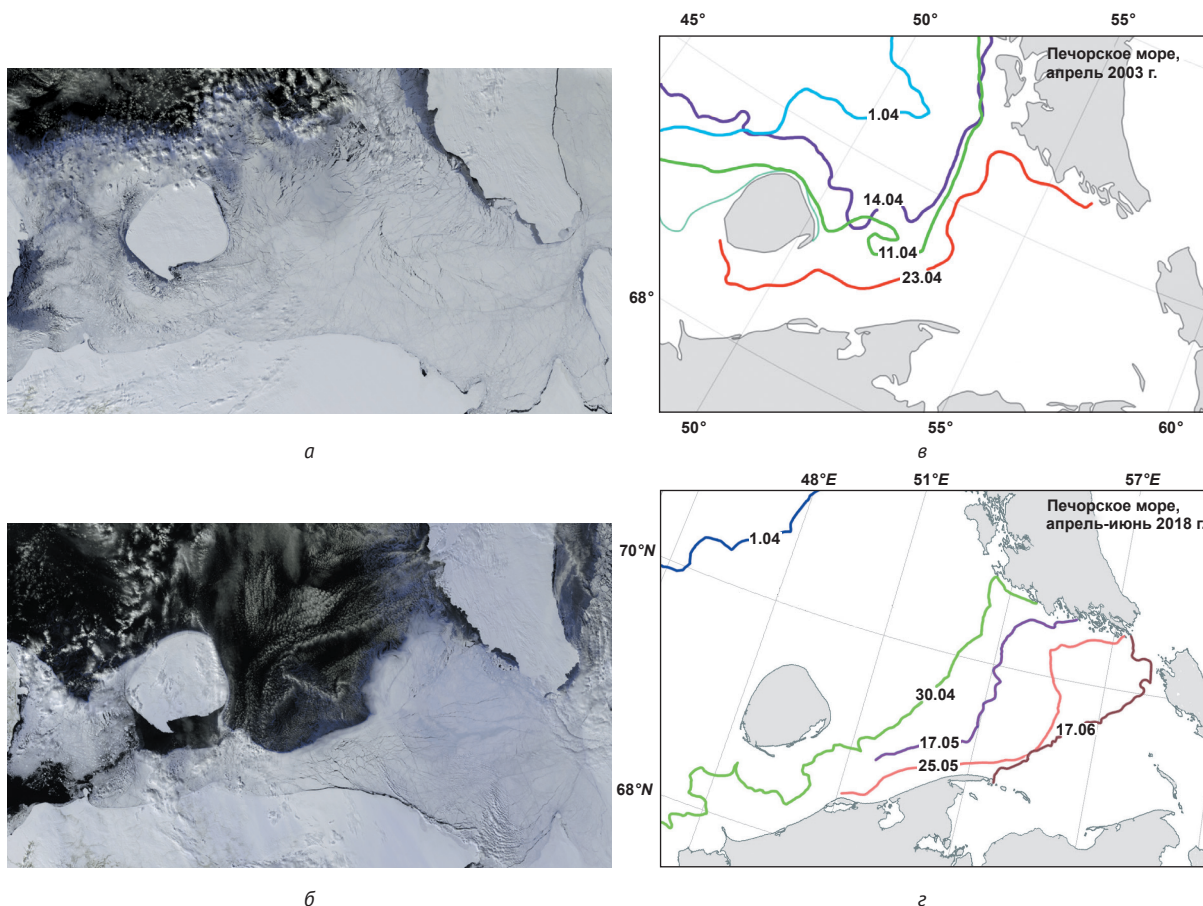


Рис. 4. Распределение ледяного покрова в районе Печорского моря по данным ИСЗ TERRA MODIS на 1 апреля (а) и 24 апреля (б) 2003 г. Кромка льда по данным ИСЗ Terra/Aqua MODIS в апреле 2003 г. (в) и апреле-июне 2018 г. (г) (по данным ААНИИ)
Fig. 4. Distributions of ice cover in the Pechora Sea area according the TERRA MODIS satellite data on (а) April 01 and (б) April 24, 2003. Ice edge according to the Terra/Aqua MODIS satellite data in April 2003 (в) and April-June 2018 (г) (according to AARI)

Таблица 1. Основные технические характеристики судов, столкнувшихся с тяжелыми ледовыми условиями в Печорском море в 2003 и 2018 гг.

Название судна, год постройки	Тип судна	Водоизмещение, т	Количество и мощность ГД, кВт
«Михаил Сомов», 2003	Ледокол дизель-электроход	14 135	4×1365
«Капитан Николаев», 2003	Ледокол обеспечения рейдовой отгрузки нефти	16 017	6×3400
«Усинск», 2003 (новое название — «Lagorta»)	Нефтеналивной танкер	27 584	1×8580
«Ямал», 2003	Атомный ледокол	23 460	2×27600
«Владивосток», 2018	Дизель-электрический ледокол	14 334	4×6960
«Юрий Топчев», 2018	Многофункциональное ледокольное судно	9 672	2×6000 2×4000
«Алеут», 2018	Судно обеспечения	7 970	2×4000 2×3000
«BrageViking», 2018	Судно снабжения	4500	2×4000 2×3000
«Мурман», 2018	Многофункциональное аварийно-спасательное судно	5831	4×3000

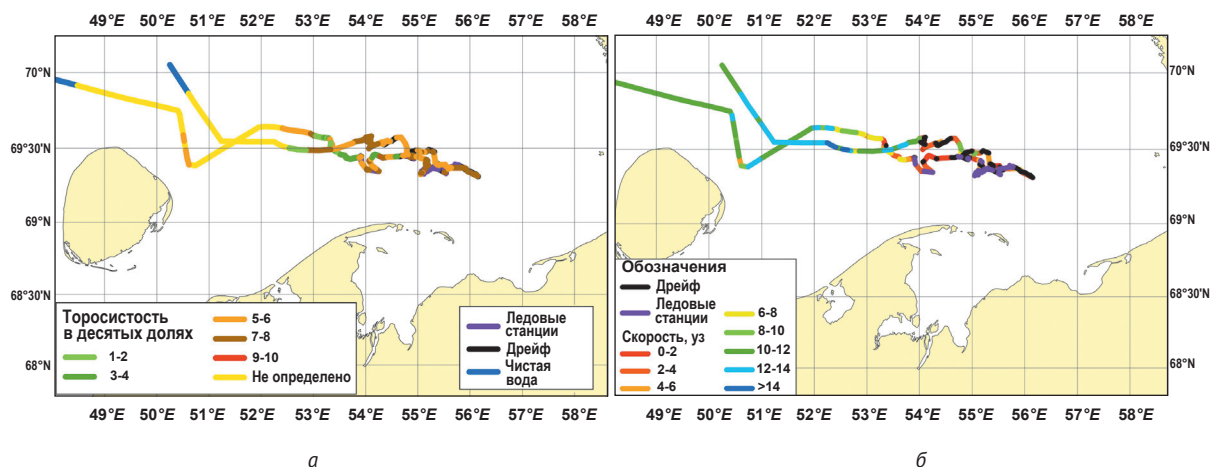


Рис. 5. Распределение торосистости ледяного покрова (а) на пути плавания НЭС «Михаил Сомов» и зоны с различной скоростью движения (б) судна в апреле 2003 г.

Fig. 5. Ice ridge concentration along the route of the R/V Mikhail Somov (a) and zones through which the vessel moved with different speeds (b) in April 2003

Таблица 2. Распределение сжатий льда на пути плавания НЭС «Михаил Сомов» в апреле 2003 г.

Интенсивность сжатия, баллы	0	0—1	1	1—2	2
Относительная протяженность, %	93,5	0,3	5,8	0,0	0,4
Относительное время, %	53,0	0,7	36,5	0,0	9,8

Сжатия ледяного покрова приводят к его интенсивному торшению. Ледоисследовательская экспедиция ААНИИ, проводившаяся в первой и второй декадах апреля 2003 г. в районе поселка Варандей (южный берег Печорского моря), зафиксировала при помощи аэрофотосъемки максимальные высоты торосов до 4—5 м и большое количество стамух. Донные станции, оборудованные профилографами нижней поверхности льда, установленные недалеко от варандейского побережья, зафиксировали осадку килей торосов до 18 м [15]. Ниже приведена краткая характеристика состояния ледяного покрова по пути следования НЭС «Михаил Сомов», а также параметров его движения по данным специальных судовых ледовых наблюдений [16].

Вследствие высокой сплоченности ледяного покрова движение судна осуществлялось в основном по мелким разрывам и трещинам, не имевшим ярко выраженной ориентации. Относительная протяженность пути плавания в сплошных и очень сплоченных льдах (10 и 9—10 баллов) составила по району 77%, во льдах сплоченностью 8—9 баллов и менее — 12%, сплоченностью менее 7,5 баллов — 11%. На маршруте в 55% случаев отмечался нилас, а в 45% — однолетние тонкие и средние льды. Эти льды состояли преимущественно из льда первой стадии развития (30—50 см) — 42%, 2% составлял лед второй стадии (50—70 см). Количество однолетнего среднего льда (70—120 см) не превышало

2%, его максимальная зарегистрированная толщина составила 80—90 см.

Преобладавший нажимной дрейф льда predetermined высокие значения торосистости ледяного покрова. Относительная протяженность пути плавания во льдах торосистостью 2—3 балла

(40—60%) составила порядка 33%, а торосистостью 3—4 балла (60—80%) — порядка 45%. Максимальные значения торосистости (4—5 баллов, 80—100% поверхности ледяного покрова заняты торосами) отмечались в 2,5% случаев. Распределение торосистости по пути следования судна приведено на рис. 5а. Даже незначительное сжатие в сплоченных льдах толщиной более 20 см вынуждало судно работать набегам, а сильные сжатия зачастую служили причиной заклинивания судна и его вынужденного дрейфа. Хотя относительная протяженность пути в сжатых льдах невелика — 6,5% общей протяженности пути во льдах, относительное время, затраченное на движение в сжатых льдах, составляет 47% (табл. 2).

Скорость судна является интегральным показателем трудности плавания во льдах, поскольку на нее оказывают влияние практически все основные характеристики ледяного покрова. Движение НЭС «Михаил Сомов» со скоростью 10 уз и более соответствует плаванию в редких и разреженных льдах, а также по разрывам и разводьям, ширина которых сопоставима с шириной корпуса судна или превышает ее, а преобладающая ориентация совпадает с генеральным курсом движения. Плавание судна со средней скоростью менее 4 уз носит неустойчивый характер — при движении с такой скоростью высока вероятность остановок и работы набегам. Из рис. 5б видно, что скорости менее 4 уз отмечаются в зоне восточнее 53°, что объясняется смещением

Таблица 3. Средние эксплуатационные характеристик движения НЭС «Михаил Сомов» в период с 20 по 30 апреля 2003 г.

Показатель	Активное плавание		Вынужденный дрейф	
	Абсолютное значение	%	Абсолютное значение	%
Пройденное расстояние, миль	52,50	58,40	37,40	41,60
Затраты времени, ч	53,68	22,37	186,32	77,63
Средняя скорость, уз	0,98		0,20	

границы ледяного покрова к началу третьей декады апреля (см. рис. 4в), приведшему к высокой сплоченности ледяного покрова и увеличению торосистости до 3—4 баллов (60—80%) (см. рис. 5а).

Незначительное количество трещин и разрывов, определяющих эффективность плавания, имели ширину преимущественно менее 10 м (т. е. меньше ширины судна), а их ориентация чаще всего не совпадала с генеральным курсом движения. Движение по ненарушенному ледяному покрову также не приносило успеха вследствие его повышенной «мощности», обусловленной высокой торосистостью. Движение в таком льду сопровождалось работой набегам, заклиниванием судна в грядях торосов, что в конечном счете приводило к вынужденному дрейфу (рис. 5б). В этот период было совершено 195 набегов, на которые было затрачено 25,25 ч. Кроме того, в этот период зарегистрировано 5 заклиниваний судна. В качестве иллюстрации приведем характеристики движения НЭС «Михаил Сомов» с 0 ч 20 апреля по 0 ч 30 апреля (10 сут, табл. 3).

При работе судна набегам резко снижается эффективность его движения во льдах, возрастают нагрузки на корпус, повышается вероятность повреждения винто-рулевой группы. Работа набегам осуществлялась при преодолении торосистых гряд ледовых полей и их обломков, состоящих преимущественно из однолетнего тонкого льда, а также при возникновении ледовых сжатий.

В целом (76% времени) по маршруту плавания судно двигалось равномерно. Относительная протяженность ледовых зон, в которых судно работало набегам практически непрерывно (75—100% времени), составляет 5%. Тем не менее влияние ледовых условий при движении судна в этих зонах было максимальным. Работа набегам в них практически не обеспечивала судну движения генеральным курсом и заканчивалась прекращением работы энергетической установки и постановкой судна в дрейф для ожидания улучшения ледовых условий (в основном ослабления сжатий).

Случай 2018 г.

Согласно сообщениям судоводителей, в весенний период 2018 г. в восточной части Печорского моря сформировались тяжелые ледовые условия, значительно осложнившие судоходство и выполняемые работы. Оператор МЛСП Приразломная охарактери-

зовал ситуацию как «самую сложную ледовую обстановку за всю историю отгрузок» и был вынужден привлечь мощный линейный ледокол «Владивосток» для обеспечения бесперебойного и безопасного проведения отгрузок челночных танкеров, снабжения и обеспечения аварийно-спасательной готовности платформы⁸.

Под воздействием отрицательных температур воздуха в марте-апреле (среднемесячные значения были $-19,01^{\circ}\text{C}$ и $-7,41^{\circ}\text{C}$ соответственно) на акватории моря шло интенсивное ледообразование, в результате чего в первой декаде марта наблюдались в основном серо-белые и однолетние тонкие льды (15—30 см), в конце марта преобладали однолетние тонкие льды (30—70 см), в середине апреля — однолетние средние льды (70—120 см), к середине мая толщина льда достигала 120 см. Сплоченность льда составляла 8—10 баллов, причем во второй декаде апреля она не опускалась ниже 9 баллов. Осредненные за 10 суток характеристики ветра показывают, что с февраля по первую декаду апреля 2018 г. над морем преобладали ветры переменных направлений со скоростями до 10 м/с и более. «Нажимные» ветры (применительно к району — ветры западных румбов) начали преобладать в период со второй половины апреля до конца мая (см. рис. 3б).

Информация о ледовой и метеорологической обстановке с МЛСП Приразломная оперативно передавалась в ААНИИ в виде регулярных диспетчерских сообщений с дискретностью 4 ч. Сообщения содержали информацию о скорости и направлении ветра и дрейфе льда, температуре воздуха, а также оценки состояния ледяного покрова. На основании этих данных были рассчитаны повторяемости ветров различных направлений за апрель и май 2018 г. Для апреля преобладающими были ветры западной составляющей (повторяемость порядка 60%), а в мае — СЗ, С, З (повторяемость порядка 55%). Средняя скорость ветра в этот период лежала в диапазоне 7—9 м/с.

В результате действия нажимных ветров кромка ледяного покрова с 1 по 30 апреля сместилась более чем на 200 км в юго-восточном направлении, а его площадь сократилась примерно вдвое. В мае дан-

⁸ «Газпром нефть» наращивает компетенции по управлению ледовой обстановкой на шельфе Арктики. — URL: <https://shelf.gazprom-neft.ru/press-center/news/35814/>.

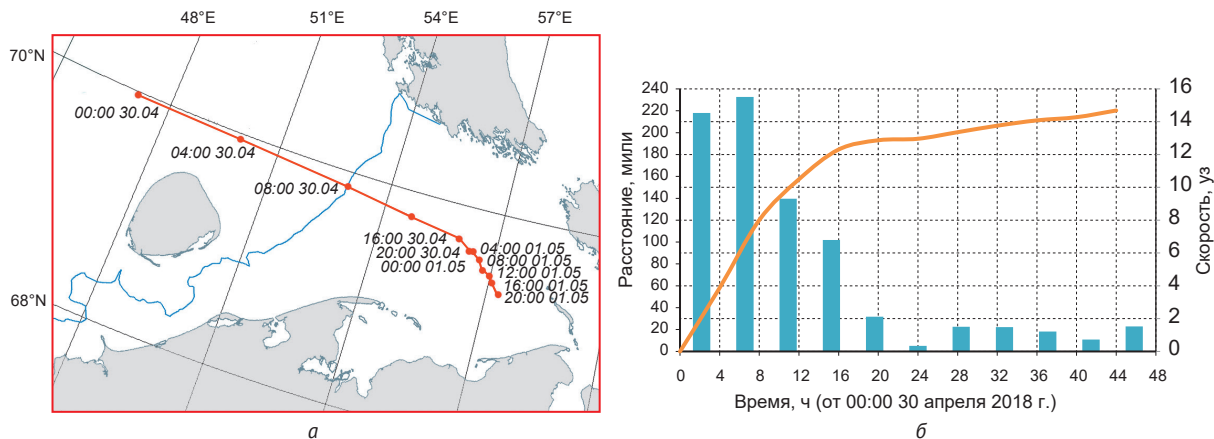


Рис. 6. Перемещение судна снабжения «Brage Viking» 30 апреля – 1 мая 1918 г. с отметками положения каждые 4 ч (а) (кроме льда на 30 апреля 1918 г. выделена синей линией). Пройденное расстояние и скорость судна (б) с 00:00 мск 30 апреля 1918 г. до 20:00 мск 1 мая 1918 г. (по данным [17])
 Fig. 6. Navigation of the supply vessel Brage Viking within April 30 – May 01, 2018 (a). Red dots indicate vessel's location every 4 hours; blue line marks the ice edge on April 30, 2018. The distance traveled and the speed of the vessel (b) from 00:00 Moscow time on April 30, 2018 to 20:00 Moscow time on May 01, 2018 (according to [17])

ная тенденция сохранялась (см. рис. 4г). В марте-мае 2018 г. в Печорском море активно шли процессы на-слоения и торошения льда. По данным с МЛСП При-разломная, среднее значение торосистости в марте составило 2 балла (40%), в апреле-мае увеличилось до 3–4 баллов (60–80%). По данным ледокола «Владивосток» в марте-апреле 2018 г. среди полей однолетнего льда встречались сморози и наслонен-ный лед, толщина которого достигала 3 м, также на-блюдалась торосы и их гряды высотой 1–2,5 м.

Уже в середине марта движение по акватории было затруднено. Так, 21 марта 2018 г. судно «Мур-ман» не смогло самостоятельно продолжать движе-ние во льдах (однолетний средний лед — 10 баллов, торосистость — 2 балла (40%), сжатие — 1 балл) и запросило помощь ледокола «Владивосток». В этот период помощь также оказывалась судам снабже-ния «Юрий Топчев» и «Brage Viking» (основные тех-нические характеристики приведены в табл. 1). Ана-лиз движения «Brage Viking» за 30 апреля — 1 мая 2018 г. [17] показал, что его осредненная за 4 ч ско-рость на открытой воде достигала 14–15 уз, а при вхождении в зону льдов сократилась до 6–9 уз (рис. 6). Резкое падение приращения пройденно-го расстояния и скорости произошло после 16:00 30 апреля 2018 г., когда судно пересекло 56° в. д. После этого оно могло перемещаться со скоростью 0,25–2,1 уз. Интересно отметить, что, согласно су-довому журналу, судно два раза полностью зажи-мало льдом — 21:30–24:00 30 апреля и в 00:00–01:00 1 мая 2018 г.

По сообщениям с ледокола «Владивосток», при сжатии 1–2 балла и толщине льда до 90 см ледо-кол работал набегами со скоростью до 3 уз при ис-пользовании 100% мощности двигателей. При пре-одолении торосов и сморозей скорость падала до 0 уз. В середине апреля при сжатии 3 балла ледокол не смог продолжать движение в направлении, пер-пендикулярном направлению дрейфа льда.

К концу мая произошло смещение кромки льда на восток за 56° в. д., сплоченность льда повсеместно составляла 10 баллов (100%), в районе МЛСП При-разломная лед был представлен преимущественно большими полями, обломками полей и крупнобитым льдом. Также отмечалось до 3 баллов (30%) толсто-го однолетнего льда, представленного обломками ледяных полей и крупнобитым льдом.

В целом подобная ситуация сохранялась до вто-рой декады июня 2018 г., когда преобладающие ветры западных румбов сменились на восточные и южные. Согласно спутниковым данным, после 17 июня наблюдалось прекращение уплотнения ле-дяного покрова в юго-восточной части Печорского моря. 20 июня ледокольное обеспечение судоход-ства в данном районе было прекращено по причине снижения сжатий ледяного покрова до 0–1 балла.

Обсуждение

Сравнение процессов формирования тяжелых ле-довых условий в 2003 и 2018 гг. в Печорском море показывает, что для полузамкнутой акватории ос-новным регулирующим фактором является воздей-ствие ветров западных румбов. Их продолжительное воздействие приводит к смещению кромки льда на восток, сплочению ледяного покрова, торосооб-разованию и развитию интенсивных сжатий. Как по-казывает пример 2003 г., сжатия могут возникнуть во льду относительно малой толщины (30–70 см) и достигать при этом максимальных значений, суще-ственно осложняя навигацию. Для возникновения здесь западного воздушного переноса необходимо действие циклона, расположенного либо над севе-ро-восточной частью Баренцева моря и Новой Зем-лей, либо над северной частью Карского моря [18]. Выявление повторяемости реализации подобных сценариев развития атмосферных процессов выхо-дит за рамки настоящей статьи и может быть вы-полнено позднее. На данном этапе можно достаточ-

но уверенно предположить, что сжатия льда в этом районе не являются уникальным явлением и могут реализоваться в любой ледовый сезон.

Рассмотренные случаи показывают, что эпизодически складывающиеся на акватории тяжелые ледовые условия (высокая сплоченность льда, повышенная вплоть до максимальной торосистость, сжатия ледяного покрова) серьезным образом воздействуют на навигацию, приводя к полной или частичной блокировке крупных судов на длительное время. Отмечается серьезное затруднение работы судов снабжения МЛСП Приразломная вплоть до запрашивания ими ледокольной поддержки (апрель-июнь 2018 г.). При этом в середине апреля 2018 г. ледокол «Владивосток», находясь в условиях сильных сжатий во льду толщиной порядка 90 см, сам испытывал серьезные трудности с движением. Фактически, как показывает пример 2003 г., единственным судном, уверенно работающим в подобных условиях, является атомный ледокол «Ямал» (мощность более 50 МВт).

Очевидно, что ситуация с блокировкой судов снабжения нефтедобывающей платформы не может рассцениваться как нормальная и отвечающая интересам безопасности функционирования этого сложного гидротехнического сооружения. Представляется, что возможность возникновения сжатий, подобных случаям 2003 и 2018 гг., должна быть самым серьезным образом учтена при планировании освоения углеводородных запасов лицензионных участков, расположенных на акватории Печорского моря. Частичным решением этой проблемы могло бы стать изучение случаев реализации синоптических ситуаций, приводящих к продолжительным западным ветрам, и моделирование динамики ледяного покрова (и создаваемых им нагрузок) под их воздействием. Результаты подобного ретроспективного анализа позволят оценить повторяемость этого явления и его продолжительность, набрать достаточный ряд численных оценок сжатий и выработать рекомендации по количеству и составу вспомогательных судов (ледоколов, судов снабжения) для обеспечения безопасной отгрузки нефти как с МЛСП Приразломная, так и с других потенциальных платформ. Количественные оценки возникающих в этом районе сжатий (продолжительность явления, возникающие нагрузки), безусловно, будут полезны и для транспортных компаний, осуществляющих транзитное плавание через акваторию Печорского моря из Обь-Енисейского района и в обратном направлении.

Выводы

1. Печорское море — акватория российского арктического шельфа, важная как с точки зрения добычи здесь УВ, так и с точки зрения перевозки грузов широкой номенклатуры из незамерзающего порта Мурманск по трассе СМП и в обратном направлении (в основном из Обь-Енисейского района). Возникновение здесь тяжелых ледовых условий серьезно осложняет навигацию, а также существенно затрудняет обеспечение безопасного и регулярного вывоза угле-

водородного сырья с МЛСП Приразломная и Варандейского терминала. Это приводит к необходимости привлечения ледоколов, не используемых при нормальных ледовых условиях на этой акватории.

2. Наиболее важные факторы, определяющие формирование в этом районе тяжелых ледовых условий, — полузамкнутая форма акватории и ветры западных румбов. В рассмотренные периоды (зима-весна 2003 и 2018 гг.) продолжительное воздействие подобных ветров со средней скоростью до 10 м/с вызвало смещение льда на восток и увеличение его сплоченности, что привело к торособразованию на обширной акватории вплоть до максимальных значений и к сжатиям ледяного покрова. Согласно инструментальным данным 2003 г., в период наибольшего развития ледяного покрова максимальные высоты торосов достигали 4—5 м, а кили торосов — 18 м.

3. Возникающие под воздействием ветровых потоков и приливов сжатия происходят во льду толщиной от 30 см (тонком однолетнем) и более и достигают 2—3 баллов (т. е. максимальных значений). При этом могут быть полностью или частично заблокированы крупные суда водоизмещением свыше 14 тыс. т (НЭС «Михаил Сомов», ледокол «Владивосток»), а суда снабжения МЛСП Приразломная оказываются временно не способны выполнять свои функции, и им требуется ледокольная поддержка. Случай 2003 г. показывает, что единственным уверенно работающим в подобных условиях судном из всех рассмотренных является атомный ледокол «Ямал» мощностью более 50 МВт.

4. Анализ параметров движения НЭС «Михаил Сомов» в апреле 2003 г. показывает, что, несмотря на очень малую относительную протяженность ($\leq 5\%$) ледовых зон, где судно работало набегам почти непрерывно, это практически не обеспечивало движения генеральным курсом и заканчивалась постановкой судна в дрейф в ожидании улучшения ледовой обстановки (ослабления сжатий). В середине апреля 2018 г. более мощное судно (ледокол «Владивосток») при максимальном сжатии 3 балла не могло продолжать движение в направлении, перпендикулярном направлению дрейфа льда.

5. Анализ развития тяжелых ледовых условий в Печорском море позволяет предположить, что ситуации, сопровождающиеся сильными сжатиями льда, достаточно типичны для этого района и могут эпизодически повторяться. Полученные в результате всестороннего изучения этого явления оценки можно использовать при выработке оптимальных решений для обеспечения безопасной работы МЛСП Приразломная, потенциальных добычных платформ на существующих лицензионных участках, а также организации морских перевозок в этом районе.

Авторы благодарят ООО «Газпром нефть» за возможность использовать данные диспетчерских телеграмм с МЛСП Приразломная и признательны и. о. руководителя ФГБУ «АСМП» Н. А. Монько за предоставленные данные по перевозке грузов по

СМП, Д. В. Драбенко, А. В. Чернову, Н. А. Крупной, Т. А. Алексеевой (ФГБУ «ААНИИ») за информацию о температуре воздуха и обсуждение воздействия сжатия льда на суда. Авторы благодарят А. J. Erikstad и J. Persson (компания «Viking Supply») за любезно предоставленный фрагмент судового журнала судна «Brage Viking».

Литература

1. Клячкин С. В., Гудкович З. М., Май Р. И., Фролов С. В. Сжатия льдов // Опасные ледовые явления для судоходства в Арктике / Под ред. Е. У. Миронова. — СПб.: ААНИИ, 2010. — С. 33—91.
2. Руководство по производству ледовой авиаразведки. — Л.: Гидрометеиздат, 1981. — 240 с.
3. Миронов Е. У., Фролов С. В. Влияние морского льда на судоходство и классификация опасных ледовых явлений // Опасные ледовые явления для судоходства в Арктике / Под ред. Е. У. Миронова. — СПб.: ААНИИ, 2010. — С. 12—32.
4. Анполонов Е. М., Сазонов К. Е., Бокатова Е. А. О вероятности заклинивания судов при сжатии // Мир транспорта. — 2012. — 4. — С. 4—9.
5. Третьяков В. Ю., Фролов С. В., Терентьева Д. В. Моделирование экологических рисков загрязнения окружающей среды углеводородами при их транспортировке в Карском море танкерами // Метеорол. вестн. — 2016. — Т. 8, № 1. — С. 59—87.
6. Цой Л. Г. К оценке риска при плавании судов по Северному морскому пути // Изучение ледовых качеств и обоснование рациональных параметров судов ледового плавания: Сборник трудов. — СПб.: Нестор-История, 2017. — С. 386—400.
7. Kubat I., Babaei M. H., Sayed M. Quantifying Ice Pressure Conditions and Predicting the Risk of Ship Besetting // Proc 10th Int. Conf. and Exhibition on Performance of Ships and Structures in Ice — Banff, AB — Canada — ICETECH 2012. — P. 106—113.
8. Григорьев М. Н. Развитие транзитного потенциала Северного морского пути // Контуры

глоб. трансформаций. — 2019. — Т. 12, № 5. — С. 109—129.

9. Григорьев М. Н. Развитие морской транспортировки арктических нефти и конденсата // Бурение и нефть. — 2020. — № 9. — С. 16—25.
10. Gunnarsson B. Recent ship traffic and developing shipping trends on the Northern Sea Route — Policy implications for future arctic shipping // Marine Policy. — 2021. — 124. — P. 104369.
11. Григорьев М., Монько Н. Суда арктической нефти // Нефтегаз. вертикаль. — 2021. — № 3—4. — С. 88—94.
12. Григорьев М. Н. Северный морской путь: динамика грузовых перевозок в 2014—2020 гг. и итоги 2020 г. // Арктич. ведомости. — 2021. — № 1. — С. 102—109.
13. Arctic System Reanalysis version 2. Research Data Archive at the National Center for Atmospheric Research, Computational and Information Systems Laboratory. — URL: <https://doi.org/10.5065/D6X9291B>.
14. National Centers for Environmental Prediction/ National Weather Service/NOAA/U.S. Department of Commerce. 2015, updated daily. _NCEP GFS 0.25 Degree Global Forecast Grids Historical Archive_. Research Data Archive at the National Center for Atmospheric Research, Computational and Information Systems Laboratory. — URL: <https://doi.org/10.5065/D65D8PWK>.
15. Зубакин Г. К., Бочков Ю. А., Бузин И. В. Экстремальные ледовые явления и процессы в Баренцевом море в 2002/2003 гг. // Тезисы конференции «Нефть и газ арктического шельфа». — Мурманск, 2006. — 3 с. — (CD).
16. Руководство по производству судовых специальных ледовых наблюдений. — СПб.: ААНИИ, 2011. — 42 с.
17. Судовой журнал судна «Brage Viking» (фрагмент на 30 апреля — 1 мая 2018 г.).
18. Дмитриев А. А. Динамика атмосферных процессов над морями Российской Арктики. — СПб.: Гидрометеиздат, 2000. — 233 с.

Информация об авторах

Бузин Игорь Владимирович, кандидат географических наук, старший научный сотрудник, ФГБУ «Арктический и антарктический научно-исследовательский институт» (199397, Россия, С.-Петербург, ул. Беринга, д. 38), e-mail: buzin@aari.ru.

Клячкин Сергей Владимирович, кандидат географических наук, старший научный сотрудник, ФГБУ «Арктический и антарктический научно-исследовательский институт» (199397, Россия, С.-Петербург, ул. Беринга, д. 38), e-mail: svkl@aari.ru.

Фролов Сергей Викторович, старший научный сотрудник, ФГБУ «Арктический и антарктический научно-исследовательский институт» (199397, Россия, С.-Петербург, ул. Беринга, д. 38), e-mail: svf@aari.ru.

Смирнов Константин Григорьевич, старший научный сотрудник, ФГБУ «Арктический и антарктический научно-исследовательский институт» (199397, Россия, С.-Петербург, ул. Беринга, д. 38), e-mail: kgsimirnov@aari.ru.

Михальцева Светлана Витальевна, научный сотрудник, ФГБУ «Арктический и антарктический научно-исследовательский институт» (199397, Россия, С.-Петербург, ул. Беринга, д. 38), e-mail: mshv@aari.ru.

Соколова Юлия Вадимовна, ведущий инженер, ФГБУ «Арктический и антарктический научно-исследовательский институт» (199397, Россия, С.-Петербург, ул. Беринга, д. 38), e-mail: j.sokolova@aari.ru.

Гудошников Юрий Петрович, кандидат географических наук, руководитель лаборатории, ФГБУ «Арктический и антарктический научно-исследовательский институт» (199397, Россия, С.-Петербург, ул. Беринга, д. 38), e-mail: gup@aari.ru.

Войнов Геннадий Николаевич, доктор географических наук, главный научный сотрудник, ФГБУ «Арктический и антарктический научно-исследовательский институт» (199397, Россия, С.-Петербург, ул. Беринга, д. 38), заведующий лабораторией, Санкт-Петербургское отделение ФГБУ «Государственный океанографический институт им. Н. Н. Зубова» (199397, Россия, С.-Петербург, ул. Беринга, д. 38), e-mail: voinovgn@mail.ru.

Григорьев Михаил Николаевич, кандидат геолого-минералогических наук, академик РАН, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ Национальный исследовательский институт мировой экономики и международных отношений им. Е. М. Примакова РАН (117997, Россия, Москва, Профсоюзная ул., д. 23), e-mail: mgrigoriev@gecon.ru.

Библиографическое описание данной статьи

Бузин И. В., Клячкин С. В., Фролов С. В. и др. Некоторые оценки тяжелых ледовых условий в Печорском море по данным наблюдений и моделирования (природное явление и его влияние на морские операции) // Арктика: экология и экономика. — 2022. — Т. 12, № 4. — С. 500—512. — DOI: 10.25283/2223-4594-2022-4-500-512.

COMPRESSION OF THE ICE COVER IN THE PECHORA SEA: A NATURAL PHENOMENON AND ITS IMPACT ON MARINE OPERATIONS

Buzin, I. V., Klyachkin, S. V., Frolov, S. V., Smirnov, K. G., Mikhaltceva, S. V., Sokolova, Yu. V., Gudoshnikov, Yu. P. Federal State Budgetary Institution "Arctic and Antarctic Research Institute" (St. Petersburg, Russian Federation)

Voinov, G. N.

Federal State Budgetary Institution "Arctic and Antarctic Research Institute", Saint-Petersburg Branch of State Oceanographic Institute (St. Petersburg, Russian Federation)

Grigoryev, M. N.

Primakov Institute of World Economy and International Relations of the RAS (Moscow, Russian Federation)

The article was received on April 14, 2022

Abstract

The Pechora Sea is an essential region of the Russian Arctic shelf in terms of hydrocarbon production and cargo transit along the NSR (mainly from the Ob' Bay area). Occasionally, heavy ice conditions form in this area, manifested in the compression of the ice cover, which lead to a serious complication of navigation and operation of vessels supporting the Pirazlomnaya ice resisting platform. Based on the analysis of various sources, the authors consider the processes of formation of severe ice conditions in 2003 and 2018, as well as their impact on the operation of ships. They demonstrate that the only vessel able to operate steadily in such conditions is a nuclear icebreaker. The authors suggest that ice compressions of varying intensity are quite typical for the area and can repeat occasionally.

Keywords: Pechora Sea, hydrocarbons, the Northern Sea Transport Corridor, ice cover, ice compression, vessel movement characteristics.

The authors are grateful to Gazprom Neft LLC for permission to use dispatcher messages from the Pirazlomnaya platform. We are thankful to N. A. Mon'ko (acting head of the FSBI Administration of the Northern Sea Route) for providing data on cargo transportation along the NSR and D. V. Drabenko, A. V. Chernov, N. A. Krupina, T. A. Alekseeva (FSBI AARI) for information on air temperature and discussion of the ice compression impact on ships. Authors thank A. J. Erikstad and J. Persson of Viking Supply for kindly providing a fragment of the Brage Viking logbook.

References

1. Klyachkin S. V., Gudkovich Z. M., May R. I., Frolov S. V. Ice Compression. Dangerous ice phenomena for navigation in Arctic. St. Petersburg, AARI, 2010, pp. 33—91. (In Russian).
2. Manual for the aerial ice reconnaissance. Lenin-grad, Gidrometeoizdat, 1981, 240 p. (In Russian).
3. Mironov E. U., Frolov S. V. Impact of the sea ice on the navigation and classification of the dangerous ice phenomena. Dangerous ice phenomena for navigation in Arctic. St. Petersburg, AARI, 2010, pp. 12—32. (In Russian).
4. Appolonov E. M., Sazonov C. E., Bokanova E. A. On the probability of sticking of vessels under ice pressure. World of Transport and Transportation, 2012, 4, pp. 4—9. (In Russian).
5. Tretyakov V. Yu., Frolov S. V., Terentyeva D. V. Simulation of ecological risks of environment pollution by hydrocarbons during their transportation within the Kara Sea by tankers. The Meteorological Bull., 2016, vol. 8, no. 1, pp. 59—87. (In Russian).
6. Tsoy L. G. On estimation of risks when navigating the Northern Sea Route. Study of ice qualities and sub-

stantiation of rational parameters of ice navigation ships: Collection of works. St. Petersburg, Nestor-Istoriya, 2017, pp. 386—400. (In Russian).

7. Kubat I., Babaei M. H., Sayed M. Quantifying Ice Pressure Conditions and Predicting the Risk of Ship Besetting. Proc 10th Int. Conf and Exhibition on Performance of Ships and Structures in Ice — Banff, AB — Canada — ICETECH 2012, pp. 106—113.

8. Grigoriev M. N. Development of Transit Potential of the Northern Sea Route. Outlines of Global Transformations: Politics, Economics, Law, 2019, vol. 12, no. 5, pp. 109—129. DOI: 10.23932/2542-0240-2019-12-5-109-129. (In Russian).

9. Grigoriev M. N. Development of Maritime Transportation of Arctic Oil and Gas Condensate. Burenie i Neft, 2020, vol. 9, pp. 16—25. (In Russian).

10. Gunnarsson B. Recent ship traffic and developing shipping trends on the Northern Sea Route — Policy implications for future arctic shipping. Marine Policy, 2021, 124, p. 104369.

11. Grigoriev M. N., Mon'ko N. A. Vessels for the Arctic Oil. Neftegazovaya Vertikal', 2021, vol. 3, pp. 88—94. (In Russian).

12. Grigoriev M. N. Northern Sea Route: dynamics of freight transport in 2014—2020 and 2020 results. Arkticheskie Vedomosti, 2021, vol. 1, pp. 102—109. (In Russian).

13. Arctic System Reanalysis version 2. Research Data Archive at the National Center for Atmospheric Research, Computational and Information Systems Laboratory. Available at: <https://doi.org/10.5065/D6X9291B>.

14. National Centers for Environmental Prediction/ National Weather Service/NOAA/U.S. Department of Commerce. 2015, updated daily. _NCEP GFS 0.25 Degree Global Forecast Grids Historical Archive_. Research Data Archive at the National Center for Atmospheric Research, Computational and Information Systems Laboratory. Available at: <https://doi.org/10.5065/D65D8PWK>.

15. Zubakin G. K., Bochkov Yu. A., Buzin I. V. Extreme ice features and processes in the Barents Sea in 2002/2003. Proceedings of the Conference “Oil and Gas of the Arctic Shelf”. Murmansk, 2006, 3 p. (CD). (In Russian).

16. Manual on ice observations performed from the vessel. St. Petersburg, AARI, 2011, 42 p. (In Russian).

17. Brage Viking Log Book, fragment for April 30 — May 01, 2018.

18. Dmitriev A. A. Dynamics of the Atmosphere Processes over the Russian Arctic Seas. St. Petersburg, Gidrometeoizdat, 2000, 233 p. (In Russian).

Information about the authors

Buzin, Igor Vladimirovich, PhD of Geography, Senior Researcher, Federal State Budgetary Institution “Arctic and Antarctic Research Institute” (38, Bering str., St. Petersburg, Russia, 199397), buzin@aari.ru.

Klyachkin, Sergey Vladimirovich, PhD of Geography, Senior Researcher, Federal State Budgetary Institution “Arctic and Antarctic Research Institute” (38, Bering str., St. Petersburg, Russia, 199397), svkl@aari.ru.

Frolov, Sergey Viktorovich, Senior Researcher, Federal State Budgetary Institution “Arctic and Antarctic Research Institute” (38, Bering str., St. Petersburg, Russia, 199397), svf@aari.ru.

Smirnov, Konstantin Grigorievich, Senior Researcher, Federal State Budgetary Institution “Arctic and Antarctic Research Institute” (38, Bering str., St. Petersburg, Russia, 199397), kgsmirnov@aari.com.

Mikhaltceva, Svetlana Vitalievna, Researcher, Federal State Budgetary Institution “Arctic and Antarctic Research Institute” (38, Bering str., St. Petersburg, Russia, 199397), msv@aari.ru.

Sokolova, Yulia Vadimovna, Leading Engineer, Federal State Budgetary Institution “Arctic and Antarctic Research Institute” (38, Bering str., St. Petersburg, Russia, 199397), j.sokolova@aari.ru.

Gudoshnikov, Yuri Petrovich, PhD of Geography, Head of Laboratory, Federal State Budgetary Institution “Arctic and Antarctic Research Institute” (38, Bering str., St. Petersburg, Russia, 199397), gup@aari.ru.

Voinov, Gennady Nikolaevich, Doctor of Geography, Chief Researcher, Federal State Budgetary Institution “Arctic and Antarctic Research Institute” (38, Bering str., St. Petersburg, Russia, 199397), Head of Laboratory, Saint-Petersburg Branch of State Oceanographic Institute (38, Bering str., St. Petersburg, Russia, 199397), voinovgn@mail.ru.

Grigoryev, Mikhail Nikolaevich, PhD of Geology and Mineralogy, Leading Researcher, Primakov Institute of World Economy and International Relations of the Russian Academy of Sciences (23, Profsoyuznaya str., Moscow, Russia, 117997), mgrigoriev@gecon.ru.

Bibliographic description of the article

Buzin, I. V., Klyachkin, S. V., Frolov, S. V., Smirnov, K. G., Mikhaltceva, S. V., Sokolova, Yu. V., Gudoshnikov, Yu. P., Voinov, G. N., Grigoryev, M. N. Compression of the ice cover in the Pechora Sea: a natural phenomenon and its impact on marine operations. Arktika: ekologiya i ekonomika. [Arctic: Ecology and Economy], 2022, vol. 12, no. 4, pp. 500—512. DOI: 10.25283/2223-4594-2022-4-500-512. (In Russian).