



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования

**«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Кафедра ПО ЮНЕСКО-МОК и КУПЗ

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

На тему **Оптимальные маршруты плавания в юго-западной части Карского
моря и их межгодовая изменчивость**

Исполнитель Котельников Владимир Дмитриевич
(фамилия, имя, отчество)

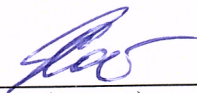
Руководитель кандидат географических наук
(ученая степень, ученое звание)

Чанцев Валерий Юрьевич
(фамилия, имя, отчество)

Консультант кандидат географических наук
(ученая степень, ученое звание)

Алексеева Татьяна Алексеевна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой


(подпись)

кандидат географических наук
(ученая степень, ученое звание)

Хаймина Ольга Владимировна
(фамилия, имя, отчество)

«19» нояб 2023 г.

Санкт-Петербург
2023

Оглавление

Введение.....	4
1. Общие сведения о районе исследований.....	6
1.1 Физико-географическое описание района.....	6
1.2 Гидрометеорологический режим Юго-западной части Карского моря. 7	
1.2.1 Температура.....	7
1.2.2 Солёность.....	10
1.2.3 Постоянные течения.....	12
1.2.4 Ветер.....	13
1.3 Параметры морского льда, влияющие на судоходство.....	14
1.4 Судоходство в юго-западной части Карского моря.	19
1.5 Характеристика стандартных маршрутов плавания в юго-западной части Карского моря.	22
2 Данные и методы.....	26
2.1 Диспетчерские сообщения с судов.	26
2.2 Спутниковые снимки и карты	27
3 Результаты исследования	29

3.1	Повторяемость выбора основных маршрутов плавания в юго-западной части Карского моря (через пролив Карские Ворота: прибрежный, центральный и мористый; через мыс Желания).	29
3.2	Среднее время движения судов класса Arc7 по основным маршрутам плавания.....	36
3.3	Межгодовая изменчивость выбора маршрутов плавания.	48
3.4	Анализ ледовых условий плавания, обуславливающих выбор основных маршрутов плавания в различные сезоны года.....	54
	Заключение	59
	Список использованных источников	60

Введение

О возможностях круглогодичного судоходства в Арктике задумывались с давних пор. Основной проблемой, естественно, являются и продолжают являться тяжёлые ледовые условия на пути плавания. Активное развитие данного направления началось только на рубеже XIX-XX в. В конце XIX в. был построен первый ледокол, в 1914-1915 гг. совершено первое транзитное плавание по Северному морскому пути российской экспедицией, в 1932 г. — первое прохождение пути за одну навигацию, в 1935 г. — первая транспортная операция. На данный момент в западной части Арктики судоходство осуществляется круглогодично: грузовые операции осуществляются в основных морских портах Сабетта, с. Новый порт в Обской губе, п. Диксон у входа в Енисейский залив и в г. Дудинка на р. Енисей. За годы существования данных портов были определены стандартные маршруты плавания. Кроме традиционной проводки судов в составе каравана с ледоколом во главе, с 2006 г. появились суда, способные на самостоятельное плавание в ледовых условиях. Данные суда принадлежат компании «Норильский никель» и к ним относятся контейнеровозы: «Норильский никель», «Талнах», «Надежда», «Мончегорск» и «Заполярный» и танкер «Енисей». В связи с увеличением интенсивности судоходства в Арктике повысилась необходимость в прогнозировании оптимального маршрута плавания и его передачи судоводителям. Для усовершенствования методик прогнозирования проводится анализ фактических маршрутов плавания с анализом ледовых и гидрометеорологических условий по пути плавания. В качестве судов, с которых анализируется информация, выбраны суда компании «Норильский никель», так как по этим судам имеется наиболее представительный ряд данных АИС и диспетчерских сообщений.

В данной работе проанализированы вероятность выбора маршрутов плавания судов типа «Норильский Никель» в зависимости от года и месяца, среднее время плавания по маршруту, межгодовая изменчивость. Также

проведён анализ ледовых условий плавания, обуславливающих выбор основных маршрутов плавания в различные сезоны года.

Цель работы: анализ основных характеристик различных вариантов плавания в юго-западной части Карского моря.

Для выполнения работы необходимо выполнить следующие задачи:

1. Выполнить первичную обработку исходных данных;
2. Проанализировать повторяемость выбора различных вариантов плавания;
3. Проанализировать среднее время при выборе различных вариантов плавания;
4. Проанализировать межгодовую изменчивость различных вариантов плавания;
5. Проанализировать ледовые условия плавания, обуславливающие выбор основных маршрутов плавания в различные сезоны года.

1. Общие сведения о районе исследований.

1.1 Физико-географическое описание района.

Карское море является окраинным морем Северного Ледовитого океана. На западе акватория ограничена островом Вайгач, островами архипелагов Новая земля и Земля Франца-Иосифа. Через проливы Карские ворота, Маточкин Шар и Югорский шар данное море соединяется с Баренцевым морем, граница проходит от мыса Желания, расположенного на острове Северный архипелага Новая земля, до мыса Кользат, расположенного в восточной части острова Грэм-Белл архипелага Земля Франца-Иосифа. Восточной границей является архипелаг Северная земля. Через Североземельские проливы осуществляется водообмен с морем Лаптевых. С южной стороны море простирается от мыса Белый Нос до мыса Прончищева. На севере Карского моря, между мысом Кользат к мысу Арктическому, расположенному на архипелаге Северная земля, имеется выход к Арктическому бассейну Северного Ледовитого океана. [1]

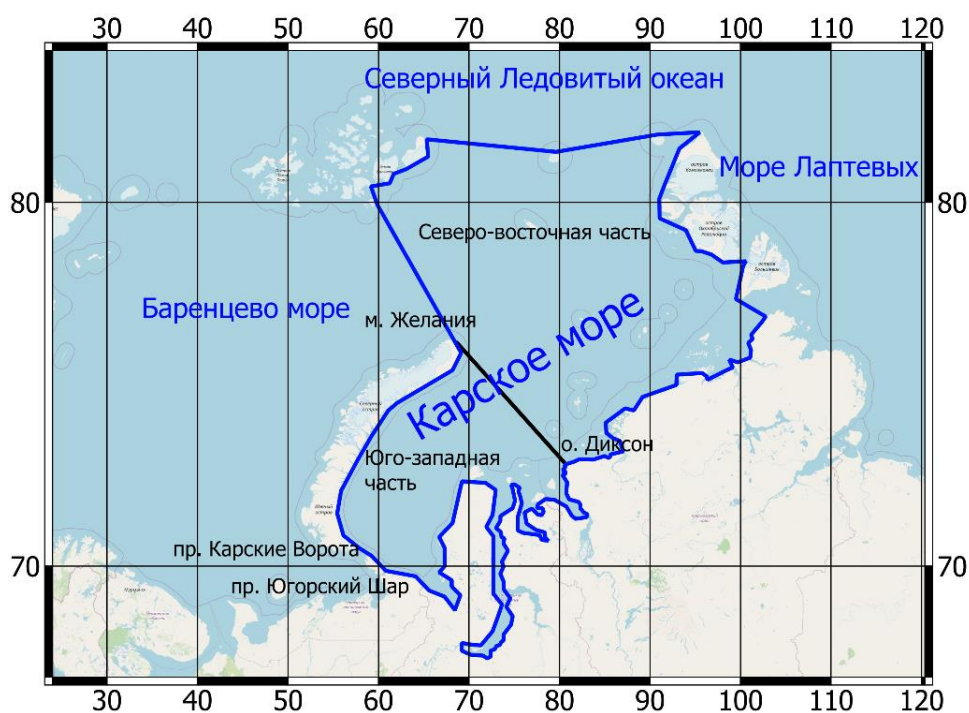


Рисунок 1.1. Границы Карского моря

Несмотря на достаточно большую площадь Карского моря — около 893 тыс. км², его акватория достаточно мелкая – средняя глубина около 100 м, на северо-востоке в желобе Святой Анны находится самая глубокая точка данной акватории – 620 м. [2, 3]

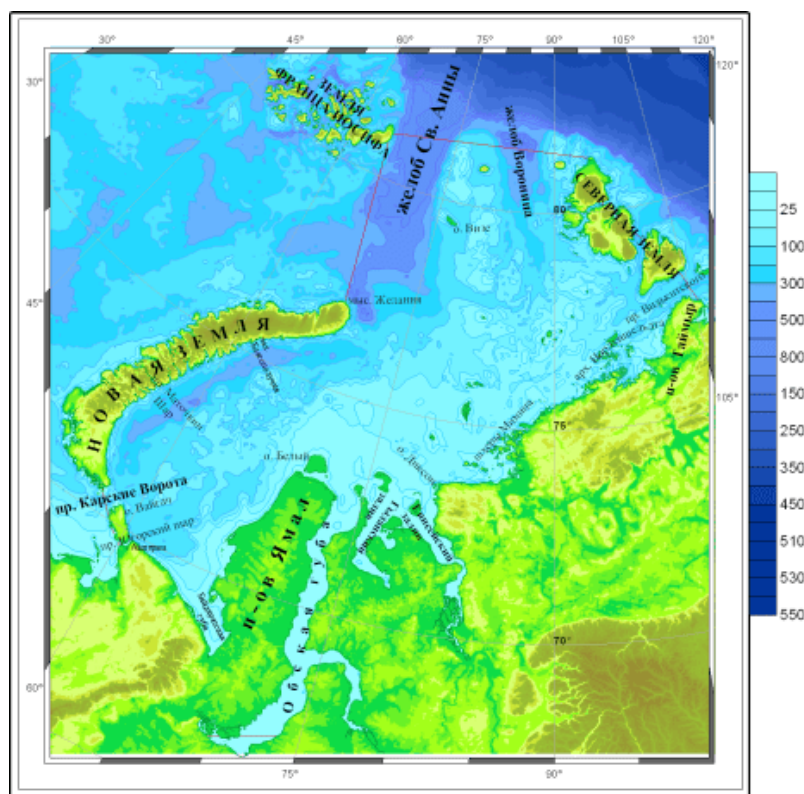


Рисунок 1.2. Карта глубины Карского моря

Карское море традиционно разделяют на юго-западную и северо-восточную части. Граница между данными областями проходит от мыса Желания до острова Диксон.

Юго-западная часть Карского моря имеет площадь около 335 тыс. км². Максимальная глубина – 433м в Новоземельском трое, расположенном вдоль архипелага Новая земля и острова Вайгач, остальная часть исследуемой зоны достаточно мелкая и имеет глубину около 60м. [4, 5]

1.2 Гидрометеорологический режим Юго-западной части Карского моря.

1.2.1 Температура

Климат Карского моря достаточно суровый. Большую часть времени акватория покрыта льдами, что не способствует прогреву вод, температура в среднем от -1.7 до -1.0 °C. На юго-западную часть Карского моря влияют водные массы, проникающие сквозь пролив Карские ворота. На мелководьях преимущественно отрицательные температуры, но в наиболее глубоких точках температура немного выше и может достигать $+1.5$ °C, что связано с проникновением в желоба, находящиеся в северной части моря, тёплой атлантической воды, но при продвижении к югу эти водные массы охлаждаются примерно до 0 °C.

В летнее время на море влияет сток рек, особенно Оби и Енисея, водообмен с Баренцевым морем и позднее освобождение ото льда (к середине июля море очищается лишь наполовину). В юго-западной части вода более свободна от ледяного покрова, следовательно, теплообмен более значительный, чем в северо-восточной части, летом поверхностный слой прогревается на глубину 10-15 м до $+2$ °C. В районе пролива Карские ворота, из-за затoka баренцевоморских вод, местами температура поднимается до $+8$ °C. [3]

Среднегодовая температура Карского моря колеблется несильно, в пределах полутра градусов.

Погодные условия не способствуют прогреву вод Карского моря. В зимние месяцы температура подо льдом примерно равна температуре замерзания (примерно от -1.7 °C до -1.9 °C). В мелководных частях температура выравнивается до примерно одного отрицательного значения от поверхности до дна. Так как заток тёплой глубинной атлантической водной массы в юго-западную часть Карского моря со стороны Северного Ледовитого океана затруднён, то повышенные температуры наблюдаются вблизи устьев рек, а наиболее низкие значения в местах поступления относительно солёных баренцевоморских водных масс — в проливе Карские ворота и рядом с мысом

Желания. В весенний период основная часть приходящей солнечной радиации тратится на таяние льда, а не на повышение температуры воды. Данная ситуация не наблюдается в южных районах, где к концу мая — началу июня льды разрушаются и начинается нагрев воды. Толщина тёплого слоя в юго-западной части моря достигает 15-20 м, ниже температура резко падает до отрицательных значений.

В летнее время влияние ледовой обстановки на распределение температуры уменьшается, а роль стока рек и водообмена с соседними акваториями увеличивается. Поэтому в зоне дрейфующих льдов на севере годовая амплитуда температуры минимальна и в данное время имеет температуру близкую к температуре замерзания, распределения температуры с глубиной так же не отличается от зимнего. В северной части открытая поверхность моря прогревается до 2 °С, а в юго-западной до 6 °С. На юго-западе прогрев распространяется на глубину до 60-70 м, а на северо-востоке до 10-15 м.

В районах, с влиянием речного стока, поверхностные воды летом в тёплые года могут прогреваться до 8-10 °С и более. На юго-западе при усилении залива тёплых вод из Баренцева моря температура может повышаться до 8 °С, но уже к 73° северной широты влияния баренцевоморских водных масс снижается и температура воды Карского моря около 3-4 °С.

Осенью достаточно быстро устраняется летний прогрев. Температура во всей толще, кроме глубинных атлантических водных масс, снова выравнивается.

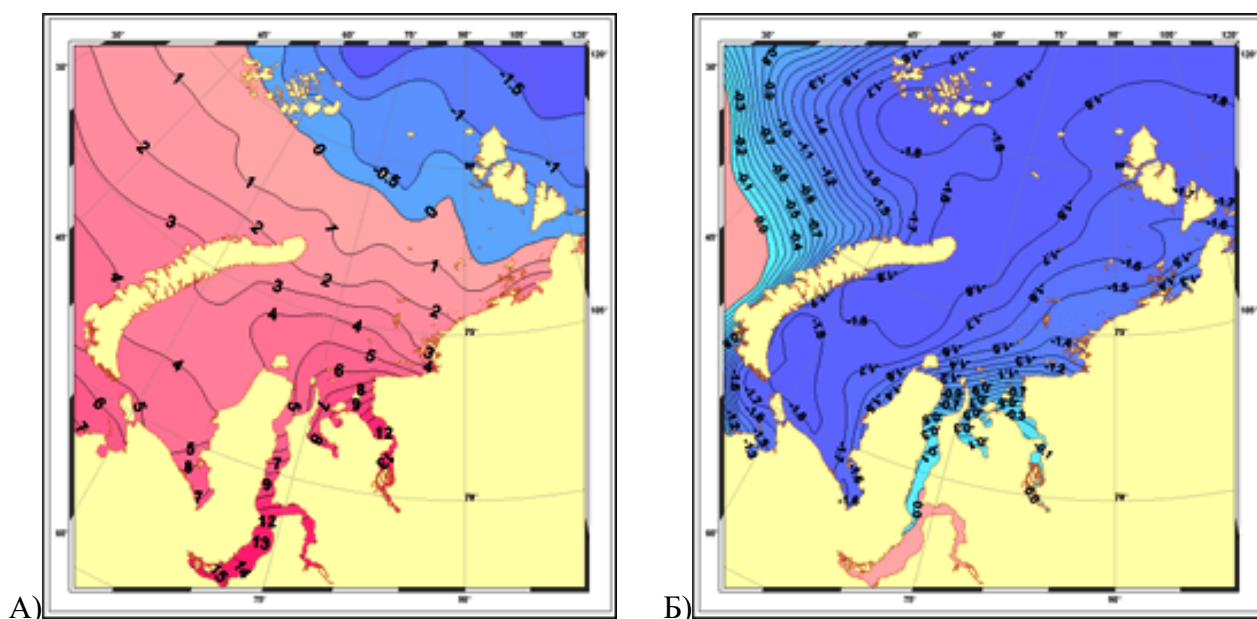


Рисунок 1.3. Карты распределения температуры на поверхности Каспийского моря (А — летом, Б — зимой)

Воды Каспийского моря претерпевают значительные сезонные колебания, которые в основном формируются летом из-за зависимости состояния поверхностной водной массы от ледовой обстановки, величины речного стока, притока тёплых водных масс. Зимой колебания проявляются главным образом в тепловом состоянии придонного слоя, а в поверхностном слое минимальны. Максимальная устойчивость температур наблюдается в северной части моря в зонах, покрытых льдом. В зонах без ледяного покрова или в районах с значимым притоком тепла из соседних акваторий наблюдаются большие значения изменчивости. [1, 6]

1.2.2 Солёность

В южной части моря солёность порядка 3-5 ‰, на севере 33-34 ‰, в среднем составляет около 27 ‰. Присутствуют сезонные колебания. Повышенное значение солёности наблюдается в зимнее время, когда понижено поступление пресной воды из рек и происходит ледообразование, повышающее концентрацию соли в образующемся «рассоле». Без учёта областей акватории

рядом с устьями рек, солёность на поверхности составляет около 25-30 ‰ и увеличивается с юга на север. [1]

В тёплое время года рядом с берегом и устьями поверхностная солёность уменьшается из-за притока речных вод. Летом распреснение происходит из-за таяния льдов и более обширного распространения речных водных масс. В районах устьев р. Енисей, Обь и иных крупных рек наблюдается наиболее низкая солёность (около 5-10 ‰). Для поверхностных водных масс в юго-западной части моря и севернее Обь-Енисейского мелководья солёность увеличивается до 15-20 ‰. В северных районах наблюдаются наиболее высокие значения солёности (до 34 ‰). При наличии плавающих льдов, солёность в данных районах акватории будет ниже на 7-8 ‰, чем в свободных ото льда участках. [1]

Солёность увеличивается от поверхности ко дну. Зимой в основном увеличивается от 30 ‰ до почти 35 ‰ у дна. Вблизи приустьевых районов переход от поверхностных менее солёных вод к более глубоким солёным выражен более резко. Весеннее вертикальное распределение солёности аналогично распределению в зимний период. Но из-за усиления материкового стока поверхностный слой опресняется, галоклин расположен на глубине 5-7 м, ниже солёность плавно увеличивается ко дну. Летом на поверхности достаточно низкие значения солёности (около 10-20 ‰), которые резко повышаются на горизонтах 10-15 м до 29-30 ‰. У дна достигает 34-35 ‰. [1]

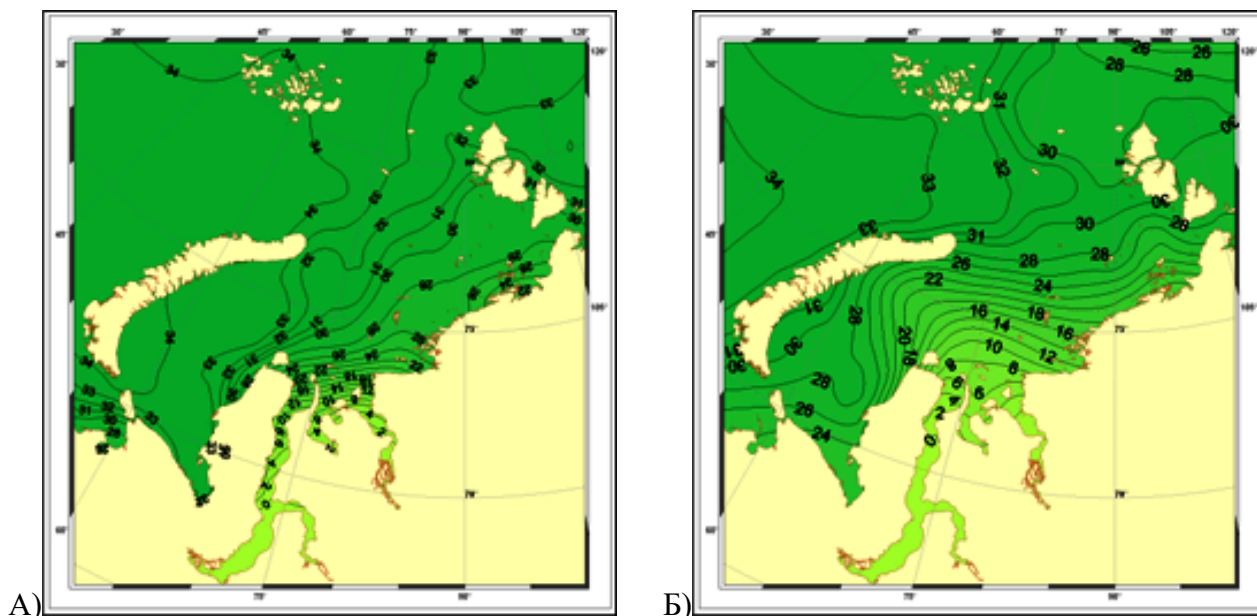


Рисунок 1.4. Карты распределения солёности на поверхности Карского моря (А — летом, Б — зимой)

В западной части Карского моря солёность немного выше из-за наличия залива более солёных вод из Баренцева моря. Осенью из-за образования льда и уменьшения речного стока поверхностная солёность повышается, распределение по вертикали становится более равномерным.[7, 8, 9]

1.2.3 Постоянные течения

На юго-западе Карского моря под воздействием западной ветви Обь-Енисейского течения и заходом через проливы Карские ворота и Югорский Шар вод из Баренцева моря формируется круговорот, направленный против часовой стрелки. Обь-Енисейское течение движется на север и разделяется на восточную, северную и западную ветви. Западная ветвь, в свою очередь, достигает северо-восточного побережья Новой Земли и разделяется на северо-восточную ветвь и Новоземельское течение, движущееся на юг. В районе пролива Карские ворота от Новоземельского течения отделяется течение Литке, уходящее в Баренцево море, а основной поток сливается с течением из Баренцева моря и движется в сторону полуострова Ямал, где формирует Ямальское течение, которое замыкает южный круговорот поверхностных вод.[1, 3, 10, 11, 12]

Воды, проникающие через пролив Карские ворота, могут создавать противотечение, наблюдаемое у южной часть Новой Земли.

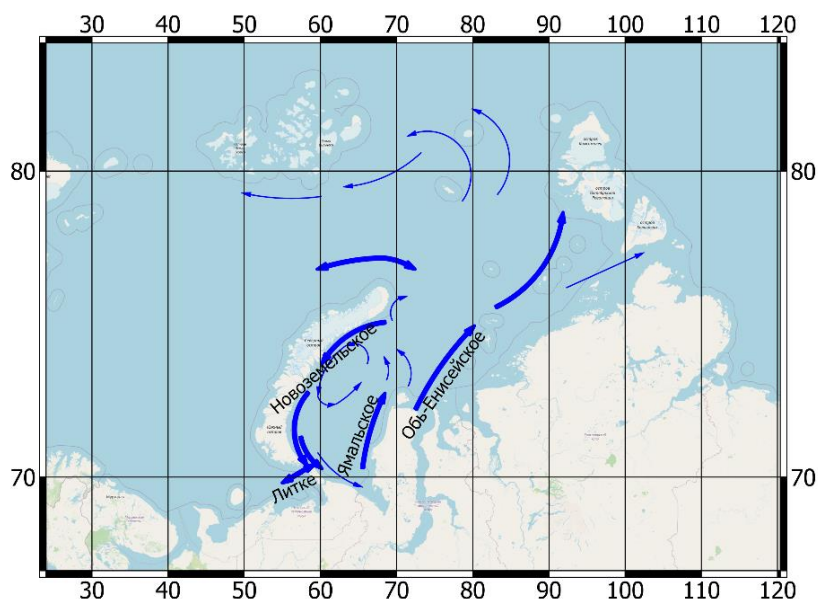


Рисунок 1.5. Карта поверхностных течений Карского моря

Средняя скорость постоянных течений около 5-15 см/с, но при совпадении по направлению данных течений с ветровыми, то скорость увеличивается до 70-90см/с. Циклонические круговороты могут несколько менять своё положение, расширяться или сокращаться в зависимости от преобладающего типа циркуляции воздушных масс. [1, 10, 11, 12]

1.2.4 Ветер

В осенне-зимний период над Карским морем устанавливается и формируется Сибирский антициклон, также усиливается Полярный максимум, на атмосферные процессы над акваторией влияет ложбина Исландского минимума. В начале холодного времени в северной части преобладает северный ветер, в южной части нет чётко выраженного преобладания. Скорость ветра обычно 5-7 м/с. Зимой на большей части моря юго-западные, южные и юго-

восточные ветра, только в северной части часто наблюдаются северные ветра. Скорость несколько выше, в среднем 7-8 м/с. Наибольшее количество штормов наблюдается в западной части. У Новой Земли иногда образуется новоземельская бора – ураганный ветер, длящийся обычно несколько часов, но зимой время существования доходит до 2-3 суток со средней скоростью около 60 м/с. Ветра южных направлений обычно приносят в Карское море сильно охлаждённый континентальный воздух, но иногда поступает и относительно тёплая морская полярная воздушная масса, приносимая циклонами, приходящими с запада, и при прохождении цепи новоземельских гор, отклоняющаяся на юг и юго-восток. Наиболее часто заливы тёплого воздуха наблюдаются в феврале, что приводит к некоторому повышению температуры воздуха. Данные заливы тёплых воздушных масс и новоземельская бора являются причиной неустойчивой зимней погоды в западной части Карского моря. [5, 13, 14, 15]

В весенне-летний период пропадает Сибирский максимум, исчезает ложбина низкого давления, также ослабевает Полярный максимум. В весенний период из-за этого дуют неустойчивые по направлению ветры, со скоростью в основном до 10 м/с. Циклоническая активность ослабевает. [13, 14]

1.3 Параметры морского льда, влияющие на судоходство.

Классификация по возрасту, форме, строению и динамическим признакам является удобной для судоходства. Физико-механические свойства льда, как материала, зависят от солёности, возраста, строения и формы, если учитывать толщину, то возможно также определение прочности.

По динамическому признаку льды разделяют на неподвижные (припайные льды), стамухи (льды, ставшие на мель) и подвижные (дрейфующие). Припайные

льды — прикреплённый к берегу или отмели ледяной покров, зафиксировано что в ряде случаев возможно распространение на сотни километров от места образования. Толщина, ширина зоны припая, возраст и солёность являются основными характеристиками припайных льдов. [16]

Дрейфующими льдами называют ледяные образования, которые все время находятся в движении под действием ветров и течений. Они обычно представляют собой льдины различной протяжённости и ледяные поля, площадью до нескольких десятков квадратных километров. Основные характеристики дрейфующих льдов: сплочённость, возраст, толщина и размеры льдин. [16]

Одной из основных характеристик дрейфующего льда является размер льдин. Различают ледяные поля (0.5-10 км), обломки полей (500-1000 м), крупнобитый лёд (20-100 м) и мелкобитый лёд (2-20 м). Также выделяют тёртый лёд, который может быть, как природным, так и образовавшимся в результате работы ледокола. Для припая, являющегося по сути одной льдиной, указывают его ширину и не делят по указанным градациям. [16]

По возрасту льды делят на начальные образования: ледяные иглы, ледяное сало, снежура, шуга, блинчатый лёд, склянка, тёмный и светлый нилас, имеющие толщину до 10 см, серый лёд с толщиной от 10 до 15 см, серо-белый лёд с толщиной от 15 до 30 см, белый лёд, также известный как тонкий однолетний лёд, с толщиной от 30 до 70 см, однолетний лёд средней толщины — от 70 до 120 см, толстый однолетний лёд — более 120 см. Лёд не растаявший в летний период, который на момент наблюдения находится вновь в состоянии замерзания, называется остаточным однолетним льдом. Двухлетний лёд, существующий больше одного года, достигает толщины 2 м. Паковый, или многолетний — лёд, существующий более двух лет и имеющий толщину 2.5 м и более. [16]

По состоянию поверхности льда и его строению выделяют:

- Ровный лёд — морской лёд без деформаций;
- Наслоенный лёд — двухслойные и многослойные дрейфующие льды, образованные при надвигании части одного ледяного поля на другое под действием сжатий и давлений. Данному явлению подвержены ниласы и серые льды.
- Торосистый лёд — лёд, имеющий на своей поверхности торосы (нагромождения обломков);
- Бесснежный лёд — лёд, на котором отсутствует снежный покров;
- Заснеженный лёд — лёд, имеющий снег на своей поверхности;
- Сморозь — ледяное поле, состоящее из смёрзшихся льдов разных стадий развития. [16]

Сплочённость льда характеризует степень покрытия поверхности воды дрейфующими льдами, оценивается как отношение суммарной площади льда к площади выбранного участка акватории. Сплочённость традиционно оценивается по десятибалльной шкале. Где 0 б. соответствует чистой воде, а 10 б. — сплошному льду. [16]

Толщина и состояние льда зависят от его температуры. Зимой у нижней части льдины она близка к температуре замерзания, а у поверхности около температуры воздуха. Колебания температуры атмосферы постепенно распространяются в глубь льда, к его нижней границе, причём, чем больше толщина, тем более заметное запаздывание изменения температуры.

Миграция рассола, зависящая от вертикального температурного градиента во льду, гидростатического давления и действия гравитационных сил, постепенно опресняет лёд. Основная масса рассола вытекает в период его образования, когда лёд относительно тонкий и его температура относительно

высокая. Чем быстрее происходит образование льда, тем больше в нём задерживается рассола и тем выше солёность. В первые один-два месяца солёность понижается примерно в два раза, затем изменения не столь значительные. Быстрое падение уровня солёности также наблюдается в начале периода таяния льда.

Прочность льда, то есть отношение минимальной нагрузки, вызывающей разрушение образца льда, к площади его поперечного сечения, определяются его температурой и солёностью. Различают прочность льда на смятие, срез, изгиб, растяжение, удар и др., которые не являются постоянными и в зависимости от времени года и типа льда изменяются.

Также важной характеристикой льда является степень его сжатия, то есть дальнейшее уплотнение льда под действием ветра и течений после достижения им сплочённости 9-10 баллов. Сжатие льда достаточно часто сопровождается его наслоением или торошением. Одними из типов сжатия являются ледовые реки и дрейфоразделы. Ледовые реки – поверхностные временные и локальные потоки льда, дрейфующего с большой скоростью. Дрейфораздел – граница между зонами или массивами льда, дрейфующими в разных направлениях или с разной скоростью, часто наблюдается вращение льдин. Сжатие способно не только затруднить движение судна или полностью остановить его, но и привести к поломке судна. [16]

Сплочённость и толщина льда являются основными характеристиками, определяющими выбор маршрута движения судна. Таким образом выбирается сначала участок с наименьшей сплочённостью, и в этой зоне выбираются участки с минимальной толщиной льда, отсутствием торосов и стамух и максимальной раздробленностью ледовых образований.

Также форма, заснеженность, разрушенность льда и ледовые сжатия влияют на выбор маршрута плавания. При таянии льда повышается степень его

разрушенности, и проходимость судна увеличивается. При увеличении высоты снежного покрова, особенно при низких температурах окружающего воздуха, преодоление льда, покрытого снегом, усложняется. [16]

По причине воздействия ветра и течений или продолжительных положительных температур в ледяном покрове способны возникать полыньи — устойчивые пространства чистой воды на границе или среди льдов. Достаточно часто полынья может быть заполнена ледяной кашей или льдом толщиной до 30 см. Стационарными считаются полыньи, имеющие повторяемость больше 75%, к ним относятся Амдерминская и Обь-Енисейская. Устойчивыми, с повторяемостью от 50 до 74%, являются Ямальская, Северная и Южная Новоземельские. Также существуют эпизодические полыньи, которые наблюдаются менее чем в половине случаев, в юго-западной части Карского моря полыньи данного типа отсутствуют. [16, 17, 18]

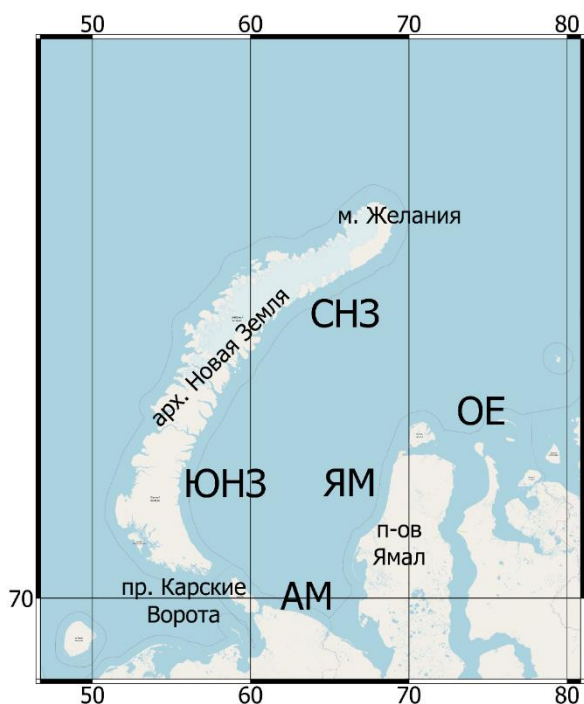


Рисунок 1.6. Карта расположения полыней в юго-западной части Карского моря (СНЗ — Северная Новоземельская, ЮНЗ — Южная Новоземельская, АМ — Амдерминская, ЯМ — Ямальская, ОЕ — Обь-Енисейская) [17]

1.4 Судоходство в юго-западной части Карского моря.

Началом глобального освоения Арктики и, в частности, Карского моря можно считать конец XIX в., когда ледокол «Ермак», первый в мире предназначенный для плавания в арктических водах, был введён в эксплуатацию. Во второй половине XX в. К ледокольному флоту добавились атомный ледокол «Ленин» и дизель-электрический ледокол «Москва». В дальнейшем появились ледоколы способные заходить в устья рек, что позволило обеспечивать проводку до порта Дудинка. Данный международный порт, являющийся одновременно и морским, и речным, обеспечивает круглогодичную, за исключением периода паводков, перевозку грузов из Сибири.

С момента начала круглогодичной навигации в Карском море в зимне-весенний период торговым компаниям приходилось отправлять суда под ледокольной проводкой, что естественно дороже, чем если бы судно, перевозящее грузы, имело высокий ледовый класс и было бы способно к самостоятельному плаванию в тяжёлых ледовых условиях. Данная идея впервые была осуществлена ОАО «ГМК Норильский Никель». Данная компания в 2005 году приступило к строительству собственного грузового флота с ледовым классом, подходящем для юго-западной части Карского моря.

В 2006 году на Финской верфи в городе Хельсинки судостроительной компанией Aker Finnyards Inc. было построено головное судно проекта Aker ACS 650, тип Норильский никель — дизель-электроход «Норильский никель». В 2008 году флот пополнился дизель-электроходами «Мончегорск», «Заполярный» и «Талнах», в 2009 году — «Надежда», которые были созданы на верфи Wadan Yards MTW GmbH, на данный момент переименована в MV Werften Wismar GmbH, в Германии в городе Висмар.

В данном проекте можно выделить 2 различных варианта строения: крановые суда, к которым относятся дизель-электроходы «Норильский никель»,

«Талнах» и «Надежда», и бескрановые, к которым принадлежат, соответственно, дизель-электроходы «Мончегорск» и «Заполярный». Основные характеристики у данных конфигураций одинаковые, но есть некоторые различия, например, в валовой вместимости, контейнерной вместимости, водоизмещении и дедвейте (табл. 1).

В 2011 году на вышеупомянутой верфи по проекту Nordic AT 19, тип Енисей был построен нефтеналивной универсальный танкер «Енисей», основные характеристики данного судна совпадают с судами проекта «Норильский никель». Данное судно также принадлежит ОАО «ГМК Норильский Никель».

Все суда обладают усиленным ледовым классом Arc7, что позволяет самостоятельно плавать в сплочённых однолетних льдах толщиной до 1.4 м в зимне-весеннюю и до 1.7 м в летне-осеннюю навигацию при эпизодическом преодолении ледяных перемычек набегам. При плавании под проводкой ледокола в однолетних льдах ледопроездимость, то есть способность судна двигаться во льдах при работе главных двигателей на полную мощность, повышается до 2.0 м в зимне-весеннюю, до 3.2 м в летне-осеннюю навигацию. Согласно правилам Администрации Северного морского пути, плавание судов данного ледового класса возможно весь год в юго-западной части Карского моря без сопровождения ледокола при любых ледовых условиях.

Данные контейнерные суда построены по концепции судов двойного действия (Double Acting Ship). То есть, при плавании по чистой воде или в лёгких ледовых условиях судно движется носом вперёд, а при перемещении в сложной ледовой обстановке может двигаться кормой вперёд. Данное изменение возможно благодаря использованию движительной установки типа Azipod — безредукторной системы с электродвигателем, расположенным снаружи корпуса

судна в специальной гондоле, способной существенно повысить маневренность судна благодаря возможности вращения на 360° вокруг вертикальной оси.

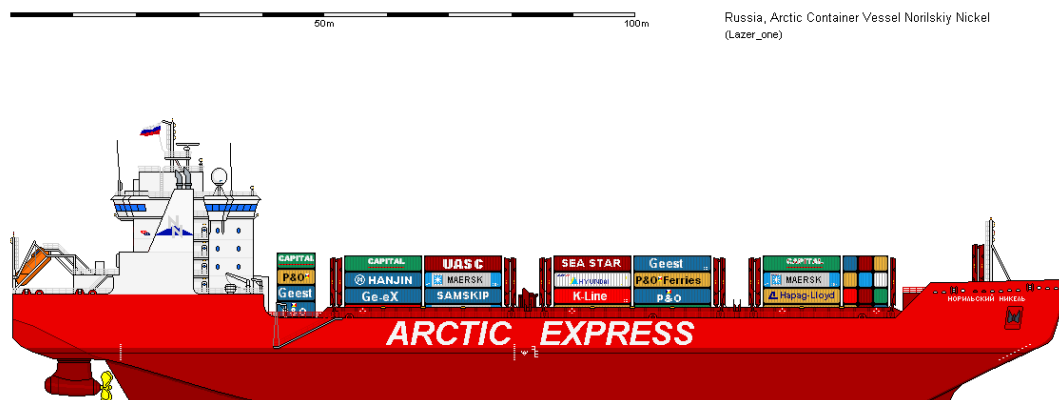


Рисунок 1.7. Схематичное изображение дизель-электрохода «Норильский никель»

Таблица 1. Характеристики судов типа "Норильский Никель"[20, 21]

Характеристика	Значение		
	Крановые суда	Бескрановые	Танкер
Длина габаритная, м	169.04		
Длина расчётная, м	157.74		
Ширина габаритная, м	26.45		
Ширина расчётная, м	23.10		
Высота борта, м	14.20		
Осадка по летнюю грузовую марку, м	10.0		
Осадка арктическая, м	9.0		
Максимальная скорость, узлы	15.5		
Валовая вместимость, т	17031/17029(д/э «Надежда»)	16994	17031
Чистая вместимость, т	5257		
Дедвейт по летнюю грузовую марку, т	18095	18486	18 888
Дедвейт по арктическую осадку, т	14538	14020	15 330
Водоизмещение, т	29137	29136	29137
Вместимость трюмов, м3	18500		-
Контейнерная вместимость (20') с закрытыми твиндечными крышками, шт	637	641	-

Контейнерная вместимость (20') с поднятыми твиндечными крышками, шт	714	718	-
Вместимость танков, м3	-	-	19 513
Тип силовой установки	Дизель-электрическая		
Тип топлива	Дизельное Мазут		
Тип главного двигателя	Wartsila 12V32		
Количество главных двигателей, шт	3		
Тип главного генератора	AMG1120LSO8LSE		
Количество главных генераторов, шт	3		
Номинальная мощность, кВА	8314		
Мощность, кВт	5820		
Тип пропульсивной установки	Азимутальный		
Мощность пропульсивной установки, кВт	13000		

Суда проекта «Норильский никель» и танкер «Енисей» обладают винторулевым комплексом Azipod, и являются судами двойного действия (Double Acting Ship), предназначенными для самостоятельного (безледокольного) плавания в условиях Арктики.

1.5 Характеристика стандартных маршрутов плавания в юго-западной части Карского моря.

На берегу реки Енисей, в устье притока реки Дудинка расположен порт Дудинка, через который ГМК «Норильский никель» транспортирует грузы в западную часть России и дальше. За всё время существования данного маршрута образовалось четыре основных варианта плавания в юго-западной части Карского моря. [22]

Учитывается путь от района острова Диксон до границы Карского и Баренцева морей, то есть до мыса Желания или до проливов Карские ворота или Югорский шар. Одним из маршрутов маршрутом считается движение от мыса Желания до района указанного острова. Данный вариант не имеет существенных вариаций, в отличие от пути от острова Диксон до проливов, на данном участке пути существует три варианта плавания. Движении ближе к острову Северный архипелага Новая Земля, с использованием Северной и Южной Новоземельских полыней при наличии льда, считается мористым маршрутом плавания, движении ближе к побережью полуострова Ямал, в зимне-весенний сезон — с использованием Ямальской или Амдерминской полыней, является прибрежным маршрутом, в случае выбора наиболее короткого пути от острова Белый до проливов — центральным вариантом плавания. [22]

Следует учитывать, что представленные маршруты плавания являются осреднёнными за многолетние наблюдения. Так как в зависимости от условий в данном регионе фактическая траектория движения может отклоняться от представленных вариантов.



Рисунок 1.8. Варианты плавания в юго-западной части Карского моря (1 — прибрежный, 2 — центральный, 3 — мористый, 4 — через мыс Желания) [22]

Выбор оптимального варианта плавания обуславливается выбором наиболее короткого пути через зоны, в которых:

- преобладающее направление разрывов, трещин или каналов должно примерно соответствовать генеральному курсу движения судна;
- выбранный путь должен соответствовать навигационным ограничениям, то есть данный район должен быть открыт для мореплавания, на всём протяжении маршрута должна быть достаточная для судна глубина и т. п.;
- общая сплочённость льда должна быть наименьшей;
- в осенне-зимний период количество молодых льдов наибольшее, а в весенне-летний период максимальная разрушенность льда;

- наблюдается повышенная раздробленность льда и минимальное количество торосов. [22]

Также для выбора оптимального маршрута плавания принимают во внимание метеорологические условия (преимущественно дальность видимости, а также скорость и направление ветра) и явления в ледовой обстановке, которые способны повлиять на эффективность плавания судов, например, сжатия, обледенение корпуса и т. п. [22]

2 Данные и методы

2.1 Диспетчерские сообщения с судов.

С момента начала работы дизель-электрохода «Норильский никель», то есть с 2006 года, с судов данного типа в лабораторию изучения ледового плавания отдела ледового режима и прогнозов ФГБУ «ААНИИ» поступают регулярные диспетчерские сообщения с периодичностью каждые 12 часов, в 12 и 24 часов МСК. В данных сообщениях содержится информация о координатах положения судна, времени, ледовых и гидрометеорологических условиях. Диспетчерские сообщения с 2006 по 2022 гг. с судов «Норильский никель», «Талнах», «Надежда», «Мончегорск», «Заполярный» и «Енисей» использовались в качестве исходной информации.

Для дальнейшего анализа диспетчерские сообщения были объединены в единые массивы данных по годам и судам. На языке программирования Python 3, была написана программа для облегчения расчёта расстояния между известными координатами и добавления в маршруты ключевых точек, таких как порты Мурманск, Архангельск и Дудинка, проливы Карские Ворота и Югорский Шар, мыс Желания и остров Диксон. Данная программа также из единого массива за год по одному судну записывала каждый рейс в отдельный текстовый файл. Далее маршруты с помощью программного обеспечения, созданного в ФГБУ «ААНИИ» в отделе ледового режима и прогнозов, для рейсов рассчитывалась средняя скорость по данным о времени и координатах. С помощью этого же программного обеспечения файлы переводились из текстового формата в формат, пригодный для обработки в геоинформационной системе. Созданные файлы вносились в географическую информационную систему QGIS, находящуюся в открытом доступе, для более наглядного представления маршрута плавания судна. Также траектория маршрутов раскрашивалась в зависимости от скорости движения. После определения характеристик рейсов

(дата и время начала и конца рейса, общее время движения, время движения в Карском море, вариант плавания) они заносились в единую таблицу и составлялись таблицы и графики количества маршрутов, полного времени от Архангельска/Мурманска до Дудинки, времени, затраченного на путь в Карском море. Все характеристики проанализированы по повторяемости по декадам, месяцам и годам, для времени прохождения участков найдено среднее время, для отрезков маршрутов только в Карском море анализ проводился отдельно для различных вариантов плавания.

За некоторые года доступны данные автоматической идентификационной системы, которые использовались вместо данных из диспетчерских сообщений. Данная система передаёт координаты, направление и скорость движения и иные характеристики с периодичностью несколько раз в час. Данные бесплатно загружаются с сайта <https://www.marinetraffic.com>. Методика обработки аналогична методике обработки диспетчерских сообщений, с момента добавления ключевых точек и расчёта расстояния между известными координатами.

2.2 Спутниковые снимки и карты

В диспетчерские сообщения включена информация о ледовых условиях на пути судна и по району плавания, но данные наблюдения не охватывают глобальную картину распределения льда. Для полного анализа ледовых характеристик в юго-западной части Карского моря, а также для получения более детальной информации о ледовой обстановке при построении маршрутов по данным АИС использовались материалы, способные дать архивную информацию по состоянию Карского моря за конкретный день.

В качестве одного из источников архивной информации в юго-западной части Карского моря использовались спутниковые снимки ИСЗ NOAA (AVHRR), находящиеся в свободном доступе на сайте

<http://www.nsof.class.noaa.gov/saa/products/welcome>, также были использованы снимки Terra (MODIS), находящиеся в свободном доступе на сайте <https://earthdata.nasa.gov/>. Помимо снимков использовались ледовые карты из архива Центра ледовой и гидрометеорологической информации ААНИИ (еженедельные обзорные карты представлены на сайте <http://aari.ru>).

При обнаружении нетипичного для данного времени маршрута, с одного из указанных сайтов загружался снимок ИСЗ за интересующую нас дату, при необходимости проводилась его первичная обработка. Далее снимок с привязанными координатами добавлялся в QGIS и накладывался на карту с маршрутом и проводился анализ причин, вызвавших отклонение от обычного маршрута.

3 Результаты исследования

3.1 Повторяемость выбора основных маршрутов плавания в юго-западной части Карского моря (через пролив Карские Ворота: прибрежный, центральный и мористый; через мыс Желания).

Несмотря на рекомендации пути, передаваемые на борт судна научными сотрудниками, решение о выборе маршрута остаётся за капитаном. В зависимости от ледовой обстановки фактический выбор может существенно отличаться от прогностического. Для повышения точности прогнозов необходимо проводить анализ пути, выбранного судном.

Вероятность выбора пути через мыс Желания или через проливы Карские Ворота или Югорский Шар приведена на рисунке 3.1, на рисунке 3.2 приведено общее количество рейсов в данной акватории. Маршрут через пролив Югорский Шар выбирается наименее часто, с апреля по июнь за весь рассматриваемый период времени не совершено ни одного рейса, в остальные месяцы — выбирался максимум 2 раза. Низкая вероятность выбора данного пролива связана с близкой расположенностью более удобного для судоходства пролива Карские Ворота. С апреля по июнь значительно возрастает частота выбора маршрута через мыс Желания, в среднем, выбирается два из пяти рейсов, в марте и июне — около 7% и 16%, соответственно. В остальные месяцы частота выбора составляет меньше 2.5%. Основное количество рейсов проходит через пролив Карские Ворота.



Рисунок 3.1. Вероятность использования различных вариантов плавания в юго-западной части Карского моря в период 2006-2022 гг. по маршрутам Мурманск (Архангельск) — Дудинка

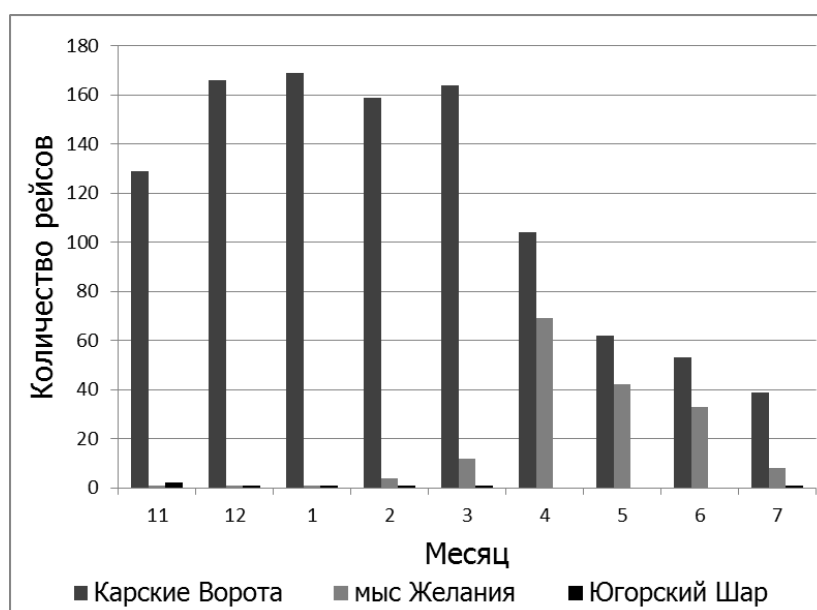


Рисунок 3.2. Суммарное количество рейсов, использовавших различные варианты плавания в юго-западной части Карского моря, в период 2006-2022 гг. по маршрутам Мурманск (Архангельск) — Дудинка

В октябре юго-западная часть Карского моря начинает покрываться льдом и к ноябрю возникает необходимость использования судов, имеющих ледовый класс. К февралю на пути от пролива Карские Ворота до острова Диксон наблюдается ухудшение ледовой обстановки, что немного повышает вероятность выбора пути через мыс Желания. В апреле вследствие разделения Новоземельского и Североземельского массивов появляется зона пониженной

сплочённости и повышенной раздробленности от острова Диксон до мыса Желания, что способствует повышению вероятности выбора маршрута через мыс Желания. Пример данного явления представлен на рисунке 3.3.

В июне-июле Новоземельский ледяной массив может прижиматься к архипелагу Новая Земля под действием ветра и препятствовать движению судов через пролив Карские Ворота (Рис. 3.4). В августе данный массив в 80% случаев полностью разрушается. [23]

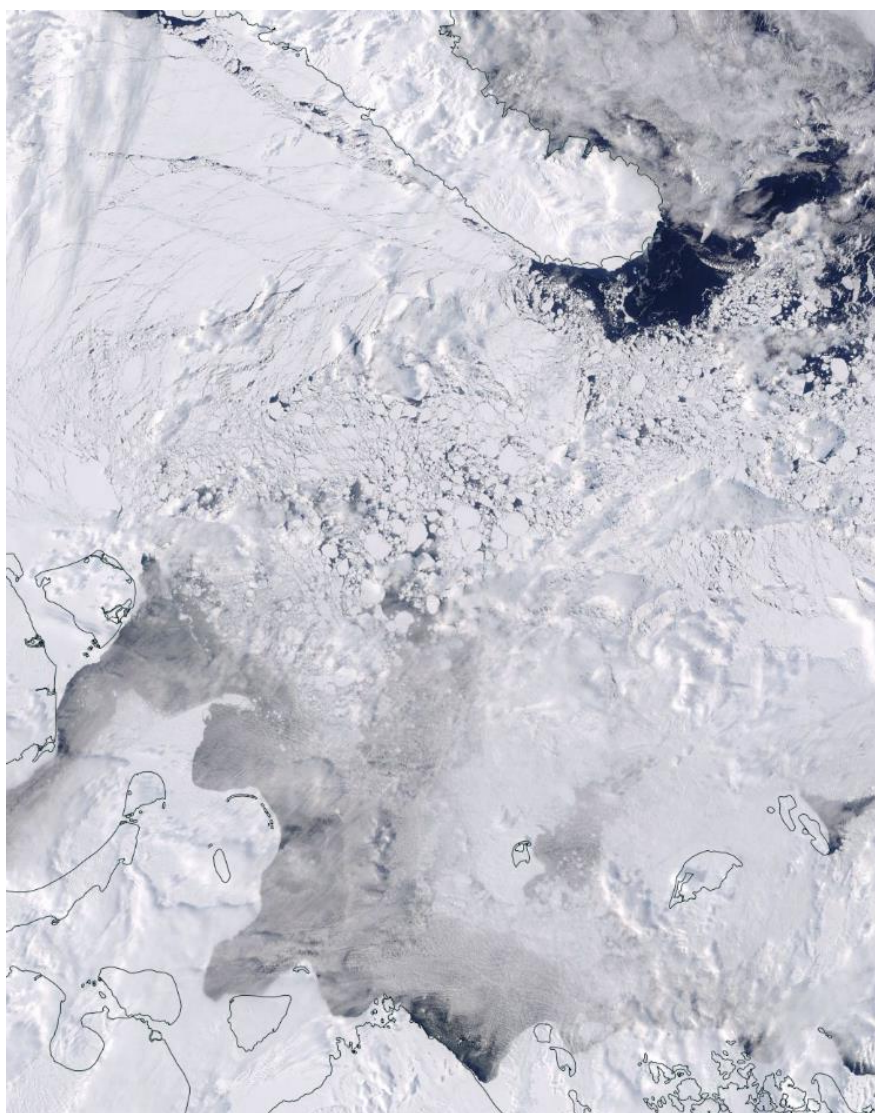


Рисунок 3.3. Спутниковый снимок зоны раздробленности на границе Новоземельского и Североземельского ледяных массивов в Карском море, 04.04.2019 [24]

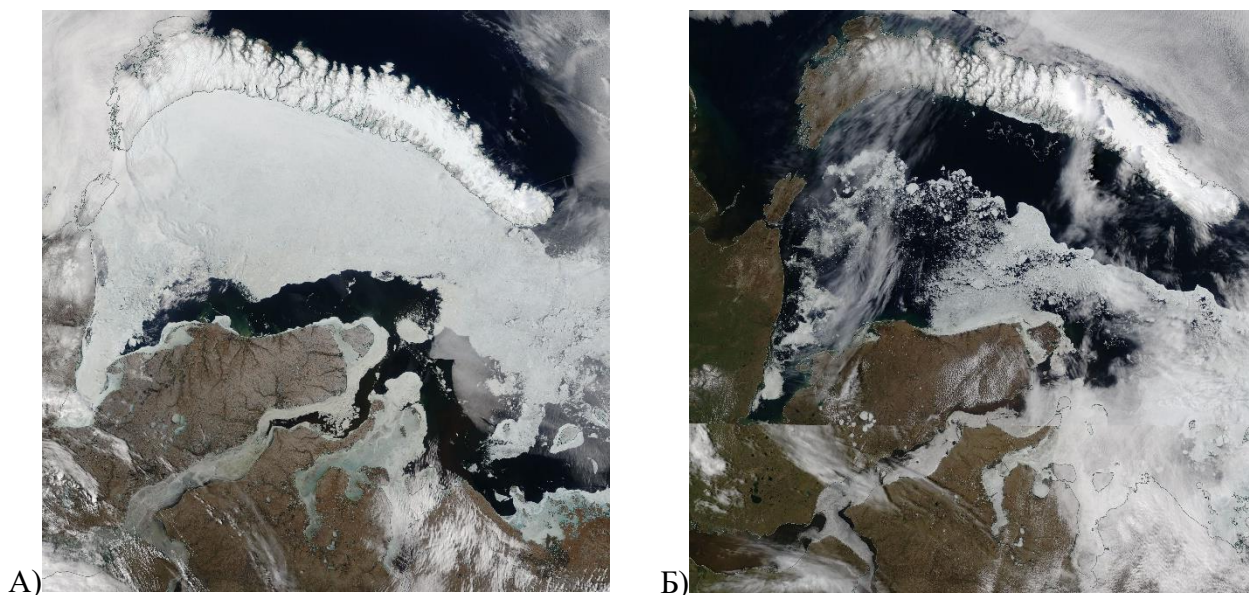


Рисунок 3.4. Спутниковые снимки обстановки в июне-июле в юго-западной части Карского моря (А — 22.06.2018, Б — 25.06.2021) [24]

При выборе маршрута от пролива Карские Ворота до входа в Енисейский залив существуют три основных варианта при движении в Карском море. Вероятность выбора центрального, прибрежного или мористого варианта пути приведена на рисунке 3.5. Из-за циклонической системы течений и преобладанием в весенне-летний период ветров северных направлений в юго-западной части Карского моря формируется Новоземельский ледяной массив, который достаточно часто прижат к архипелагу Новая Земля (рис. 3.4 А). [25] По этой причине мористый маршрут выбирался наиболее редко. Но при воздействии ветров южных или западных направлений образовывались Северная Новоземельская и Южная Новоземельская полыньи, что существенно облегчало проводку судов при отсутствии альтернативы. На рисунке 3.7 представлен пример ледовой обстановки при наличии указанных полыней. Данный вариант плавания выбирался в основном с марта по июнь, но также использовался в декабре и январе.

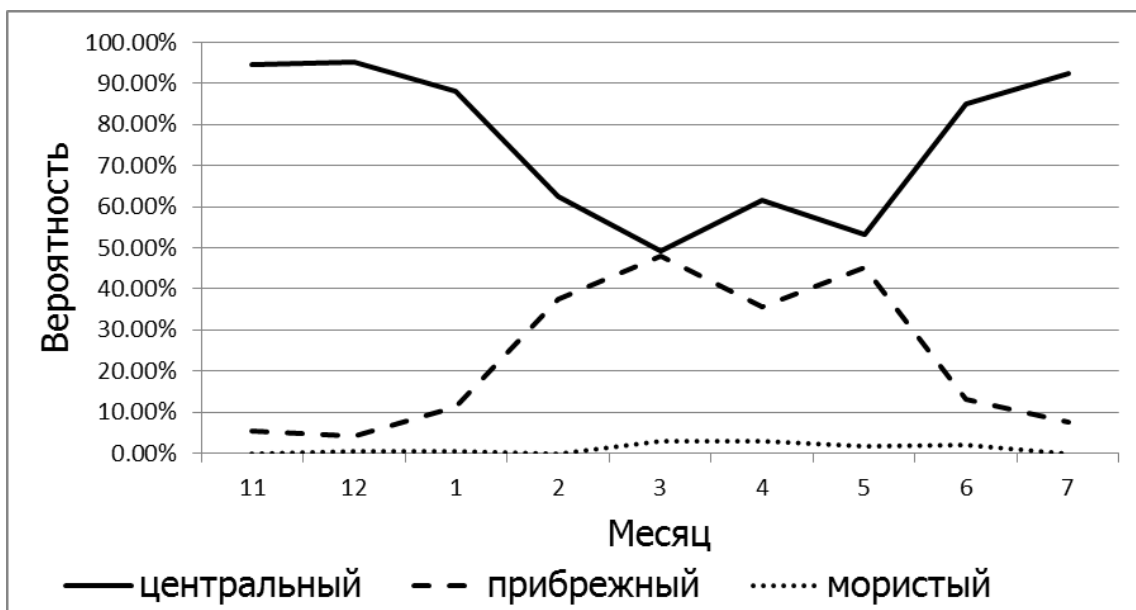


Рисунок 3.5. Вероятность использования различных вариантов плавания в юго-западной части Карского моря в период 2006-2022 гг. по маршруту Новоземельские проливы — остров Диксон

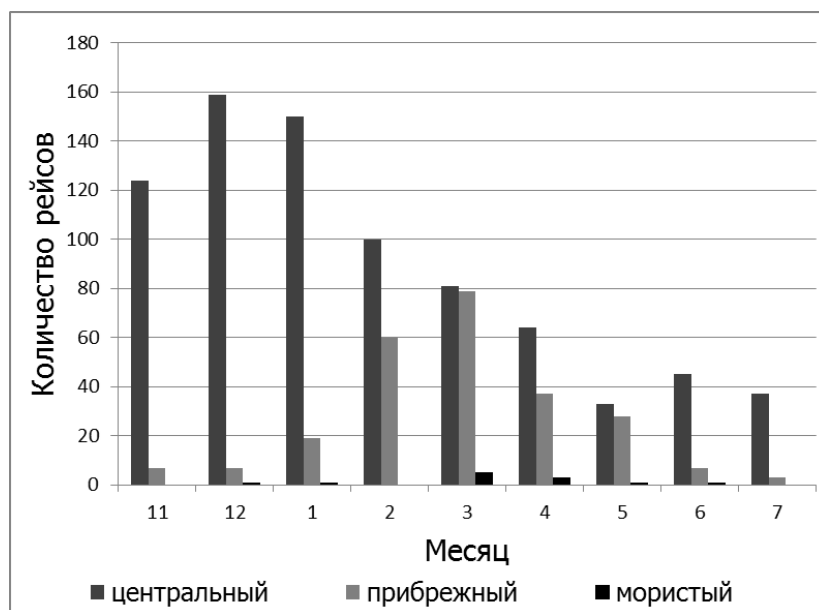


Рисунок 3.6. Суммарное количество рейсов, использовавших различные варианты плавания в юго-западной части Карского моря в период 2006-2022 гг. по маршруту Новоземельские проливы — остров Диксон

В зимне-весенний период в юго-западной части Карского моря при воздействии ветров южного направления возникают Амдерминская и Ямальская

полюньи. Также разрывы часто ориентированы по ходу движения судна. На рисунке 3.8 представлен пример данных явлений. Данные факторы определяют возрастание вероятности выбора прибрежного варианта плавания особенно в весенний период — с 11 % в январе до 48 % в марте. Но к июню прибрежный вариант плавания становится неактуальным из-за облегчения ледовой обстановки на наиболее коротком варианте плавания — центральном. В летне-осенней период прибрежным маршрутом пользуются с частотой менее 10%. Поскольку в данное время акватория или свободна ото льда, или покрыта льдом толщиной до 30 см, то центральный маршрут плавания является оптимальным. Данный вариант плавания суда выбирали в наибольшем количестве случаев в течении всего года.

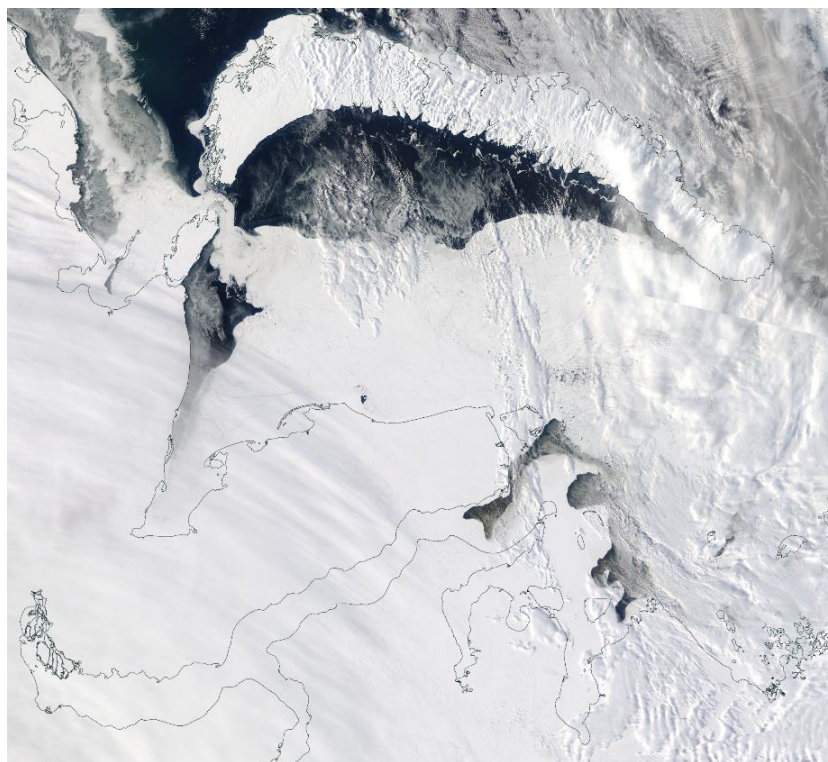


Рисунок 3.7. Спутниковый снимок Новоземельских полыней в Юго-западной части Карского моря, 25.03.2011 [24]

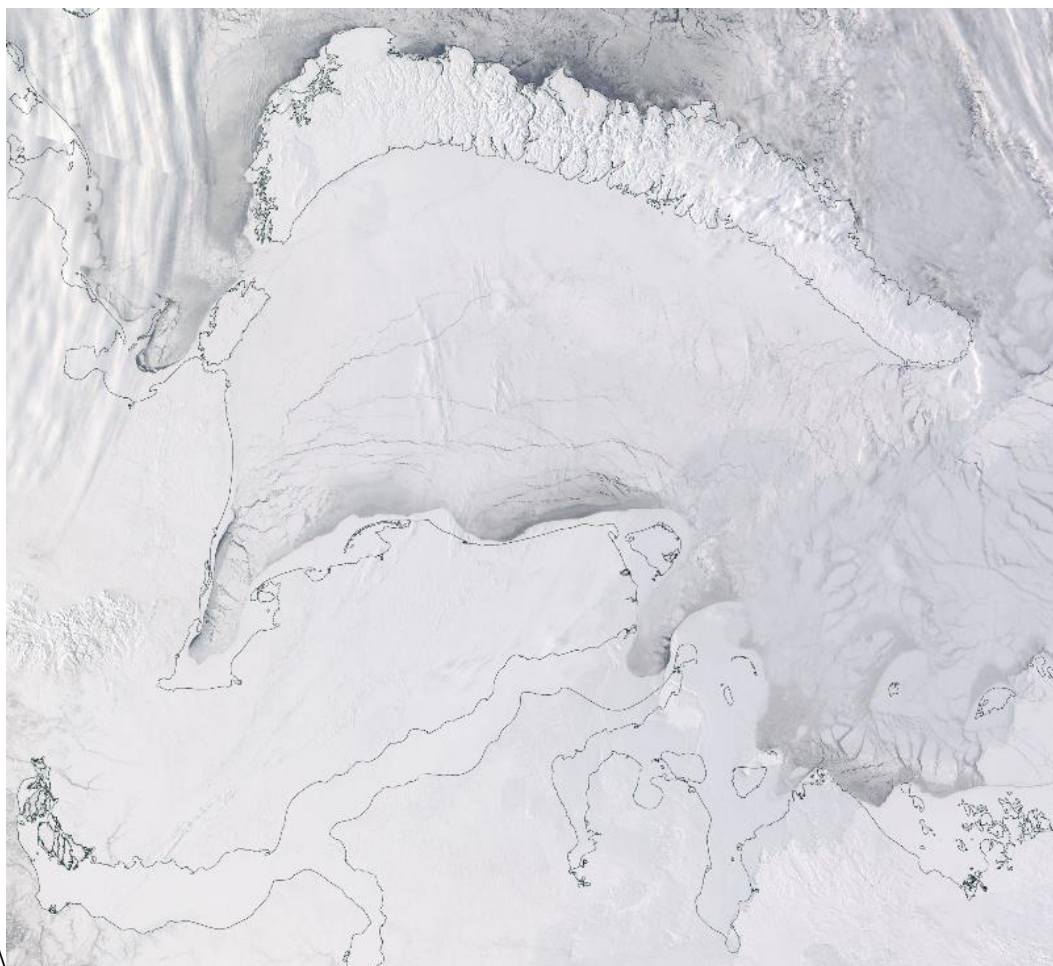


Рисунок 3.8. Спутниковый снимок Ямальной полыньи и системы разрывов в районе прибрежного варианта плавания в юго-западной части Карского моря, 29.03.2010 [24]

3.2 Среднее время движения судов класса Arc7 по основным маршрутам плавания.

Время, затраченное на маршрут плавания, является одним из основных косвенных показателей тяжести ледовой обстановки. При подсчёте данной характеристики учитывается движение от порта до порта, без учёта времени, затраченного на технические остановки. Также производится осреднение времени всех рейсов за заданный интервал. Следует учитывать, что по причине того, что маршрут через Югорский Шар выбирался крайне редко, то чаще всего время, затраченное на данный путь, дано для единственного рейса.

Среднее время при выборе различного варианта плавания на маршруте Мурманск — Дудинка в зависимости от года приведено на рисунке 3.9. Наибольшее время пути через Югорский Шар или мыс Желания было в 2008 г. Наименьшее среднее время при выборе любого основного маршрута плавания было в 2007 году при плавании через Югорский Шар. Примечательно, что в этом же году было отмечено максимальное время при плавании через Карские Ворота или мыс Желания. Минимальные затраты времени через Карские Ворота были в 2006 году, через мыс Желания — в 2015 году. В 2008 году через Югорский шар было затрачено максимальное время, как для данного варианта, так и в общем. Среднее время через Карские Ворота составляет 130 часов, через мыс Желания — 141 час, через Югорский Шар — 131 час, таким образом в среднем выбор пути через Карские Ворота при следовании на маршруте Мурманск — Дудинка является наименее затратным по времени.

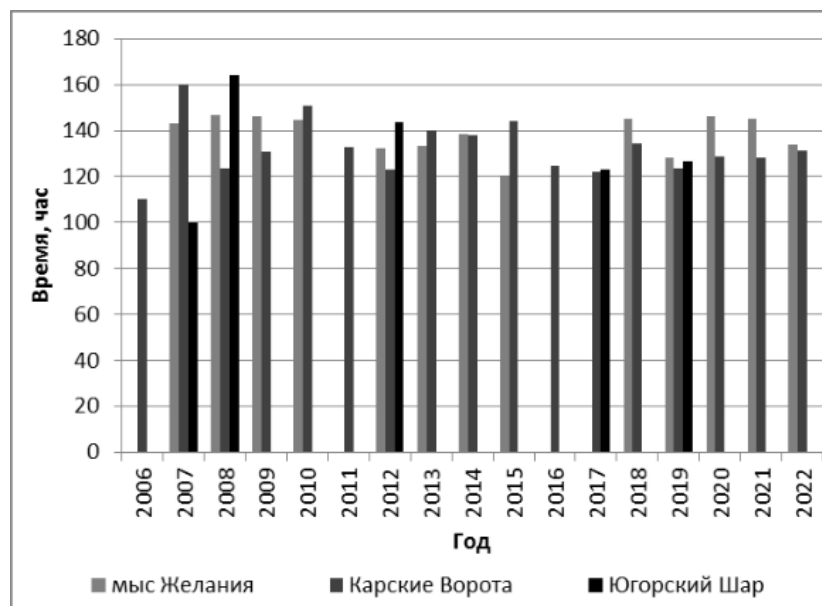


Рисунок 3.9. Среднее время пути на маршруте Мурманск — Дудинка по годам за 2006-2022 гг.

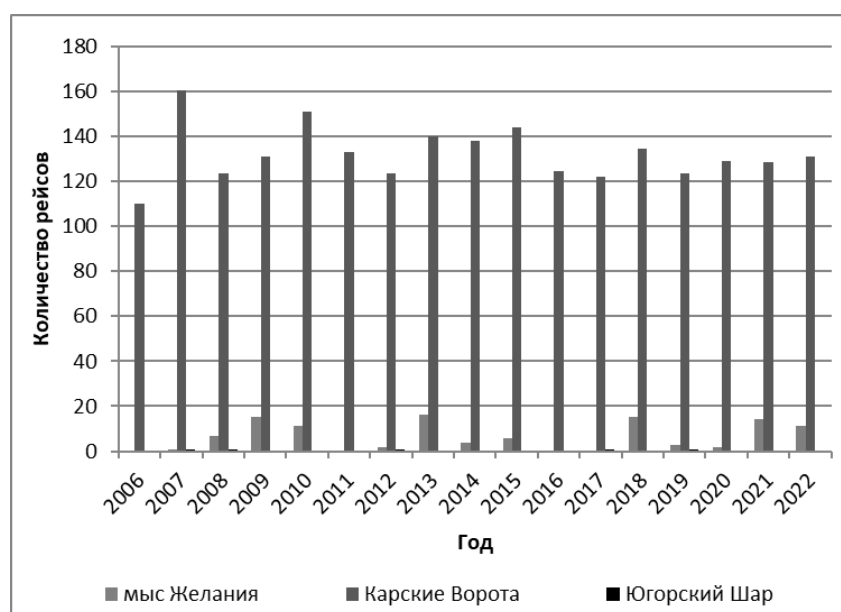


Рисунок 3.10. Количество учитываемых рейсов, следовавших по маршруту Мурманск — Дудинка по годам за 2006-2022 гг.

Среднее время при выборе различного варианта плавания на маршруте Архангельск — Дудинка в зависимости от года приведено на рисунке 3.11. Минимальное время при выборе пути через Карские Ворота и Югорский Шар отмечено в 2008 году, максимальное — в 2009 году. Наиболее быстро плавание через мыс Желания происходило в 2017 году, а наибольшее время затрачивалось

в 2009 году. Среднее время через Карские Ворота за весь период составило 137 часов, через мыс Желания — 153 часа, через Югорский Шар — 138 часов. Таким образом, на маршруте Архангельск — Дудинка, наиболее быстрым маршрутом, так же как и на маршруте Мурманск — Дудинка, остаётся путь через Карские Ворота, так же без существенного увеличения среднего времени можно выбрать путь через Югорский Шар.

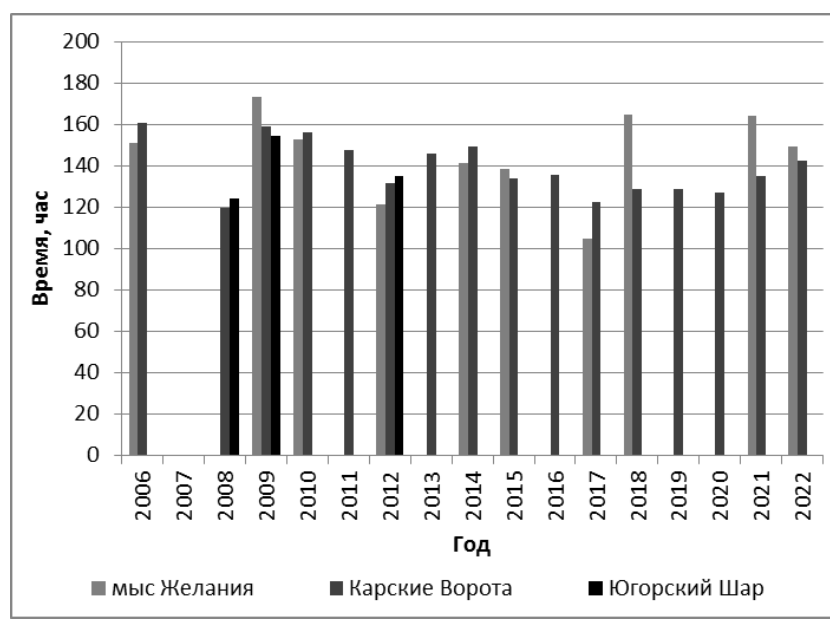


Рисунок 3.11. Среднее время пути на маршруте Архангельск — Дудинка по годам за 2006-2022 гг.

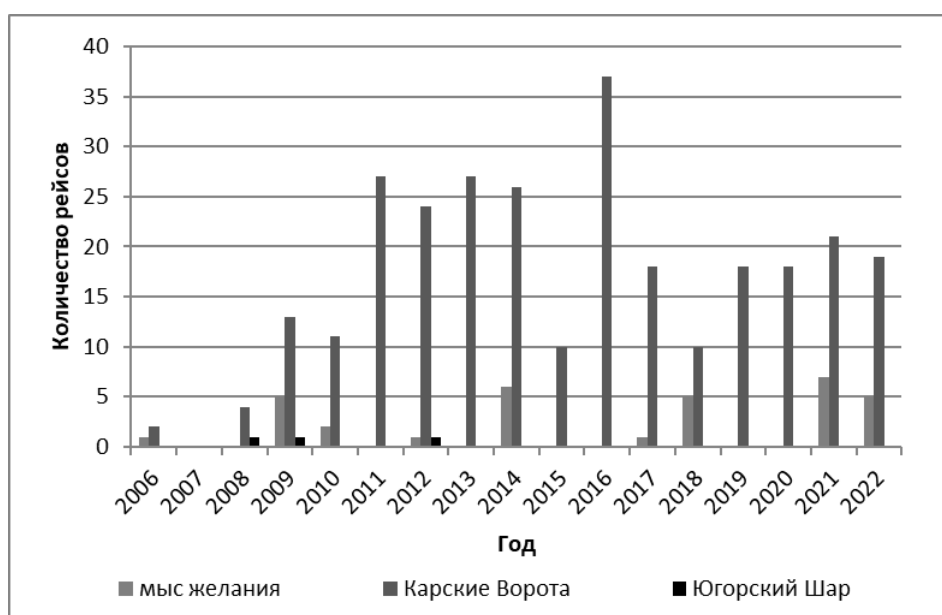


Рисунок 3.12. Количество учитываемых рейсов, следовавших по маршруту Архангельск — Дудинка по годам за 2006-2022 гг.

Таким образом, путь через Новоземельские проливы, в среднем оказывается наиболее быстрым, что связано с тем, что данный вариант более короткий и используется в основном в осенне-зимний период, а через мыс Желания более длинный и используется весной, когда ледовые условия наиболее тяжёлые. Также следует отметить, что в 2007-2010 гг. на прохождение маршрута

тратилось больше времени, чем в последующие годы, что связано с более тяжёлыми ледовыми условиями.

Более подробную информацию дало рассмотрение времени пути по месяцам и декадам. На маршруте Мурманск— Дудинка наибольшее время затрачивалось в январе при пути через мыс Желания, что связано с нестабильностью ледовых условий в данном районе. В декабре был всего один рейс через Югорский шар, по этой причине нельзя утверждать, что действительно затрачивается более 160 часов. В остальном, в среднем, наблюдается максимальная длительность пути в марте, когда ледовая обстановка наиболее сложная, а минимум в июле, когда лёд присутствует только на севере Карского моря, а в рассматриваемой акватории только чистая вода.

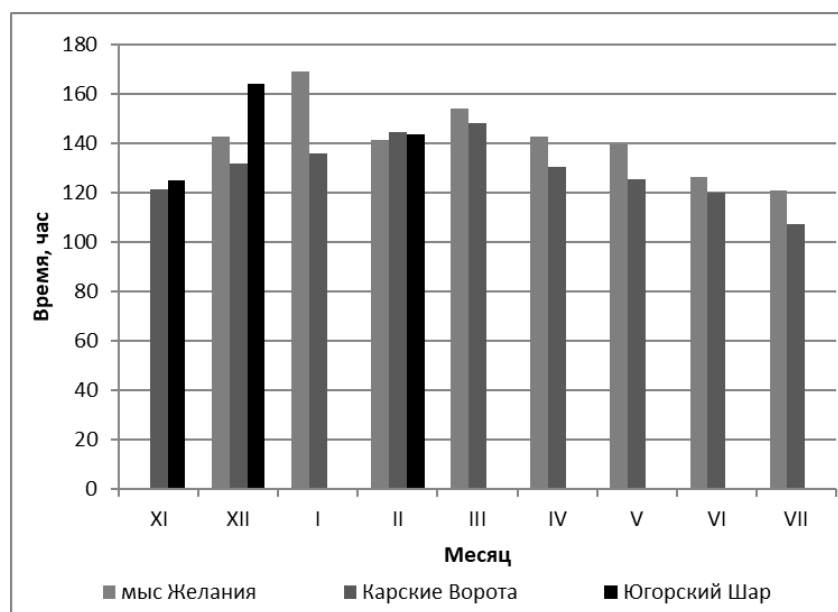


Рисунок 3.13. Среднее время пути на маршруте Мурманск — Дудинка по месяцам за 2006-2022 гг.

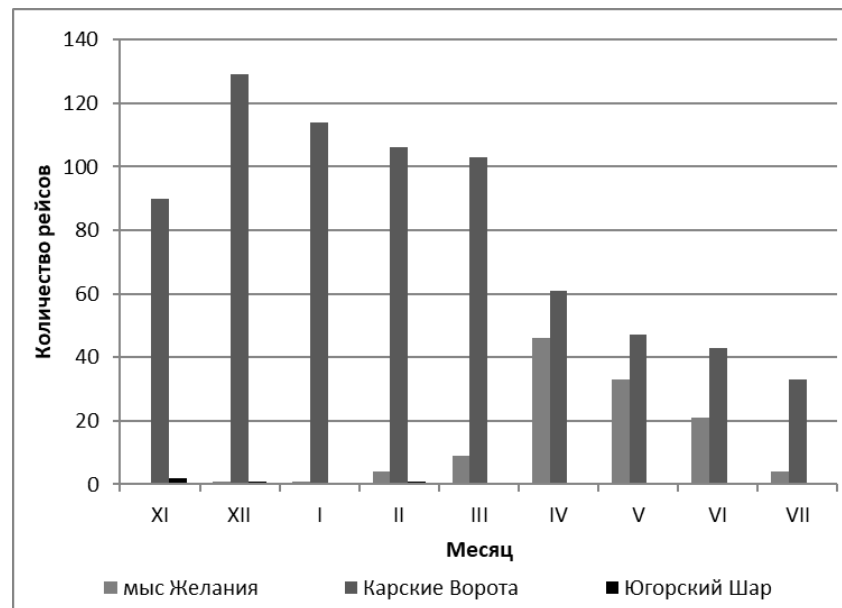


Рисунок 3.14. Количество учитываемых рейсов, следовавших по маршруту Мурманск — Дудинка по месяцам за 2006-2022 гг.

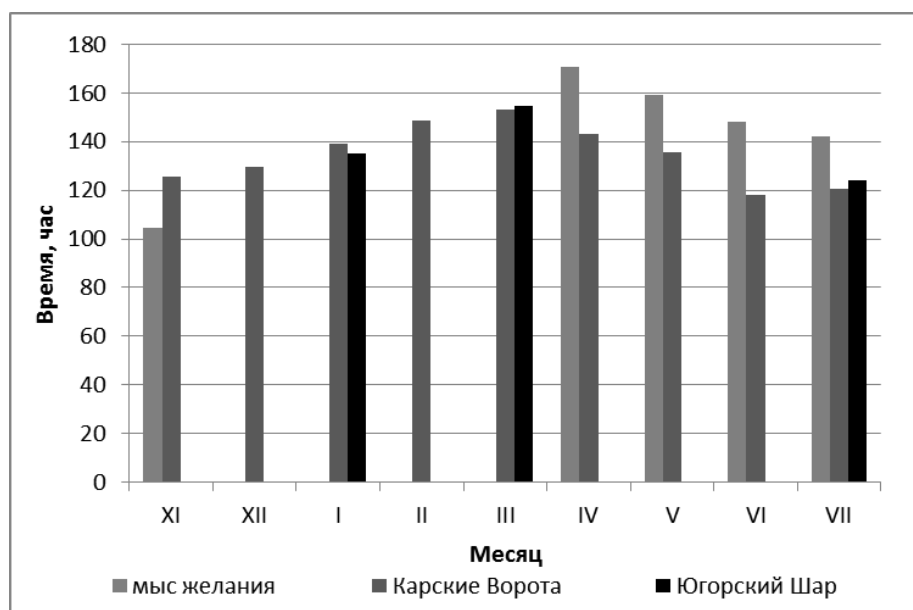


Рисунок 3.15. Среднее время пути на маршруте Архангельск — Дудинка по месяцам за 2006-2022 гг.

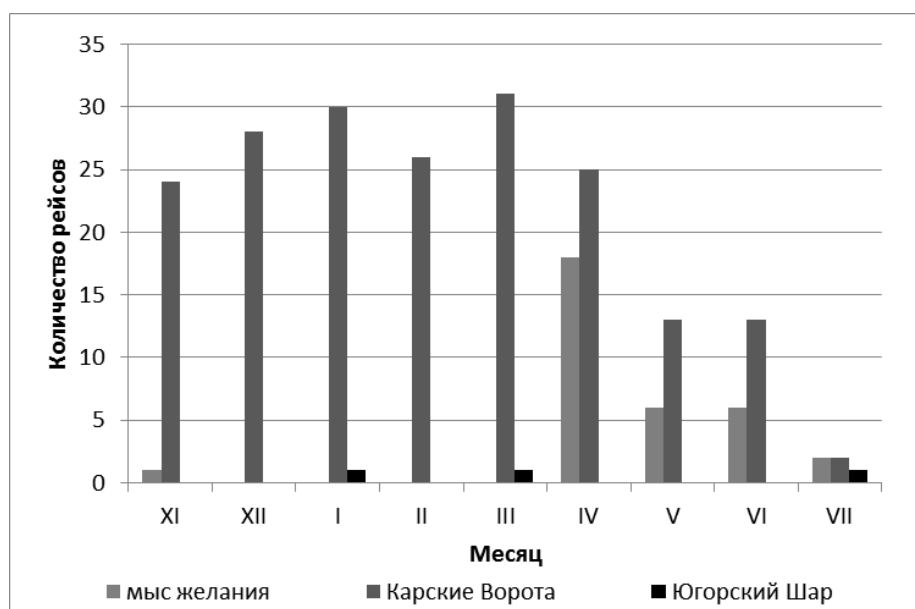


Рисунок 3.16. Количество учитываемых рейсов, следовавших по маршруту Архангельск — Дудинка по месяцам за 2006-2022 гг.

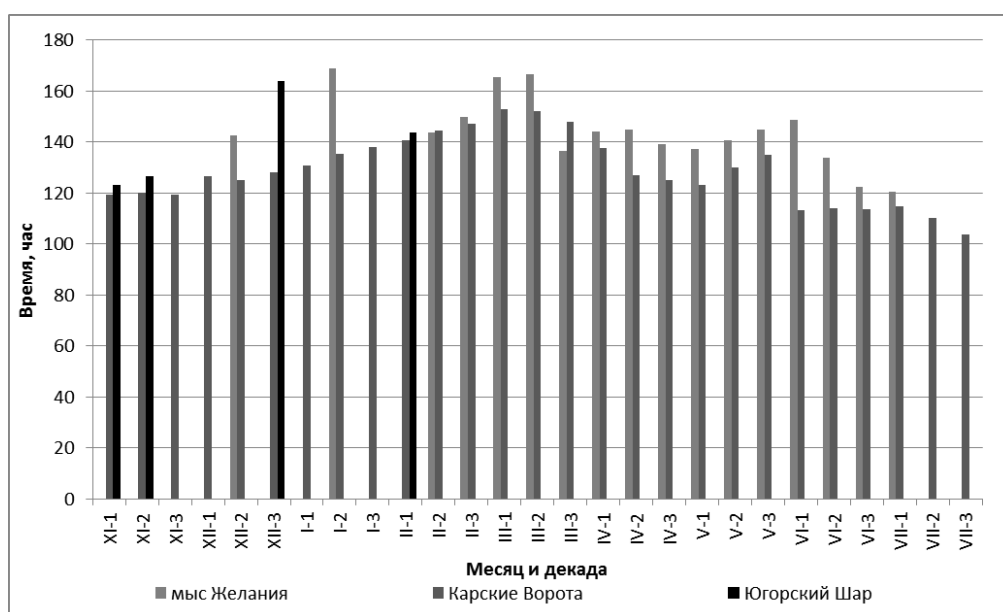


Рисунок 3.17. Среднее время пути на маршруте Мурманск — Дудинка по декадам за 2006-2022 гг.

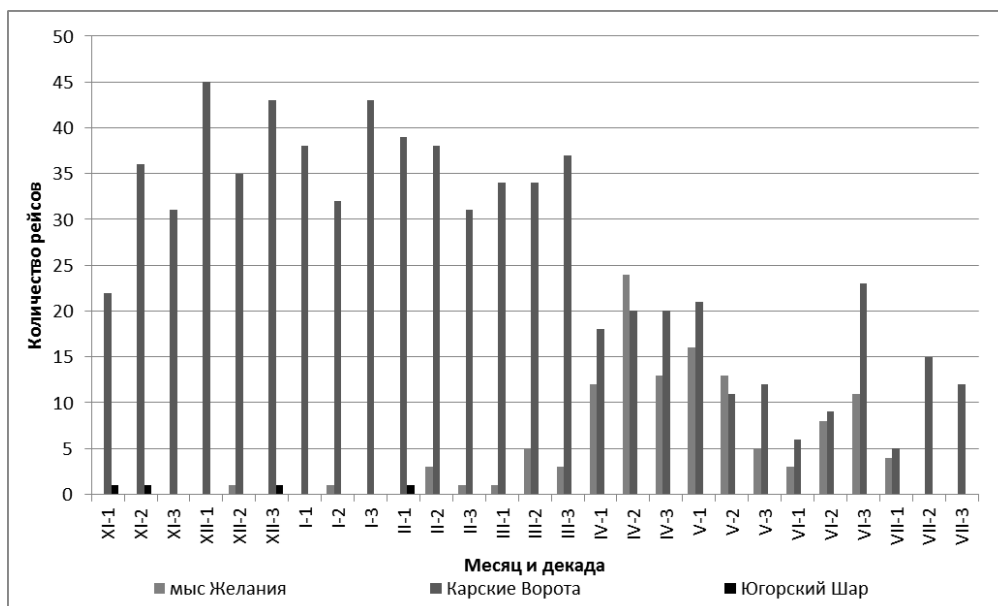


Рисунок 3.18. Количество учитываемых рейсов, следовавших по маршруту Мурманск — Дудинка по декадам за 2006-2022 гг.

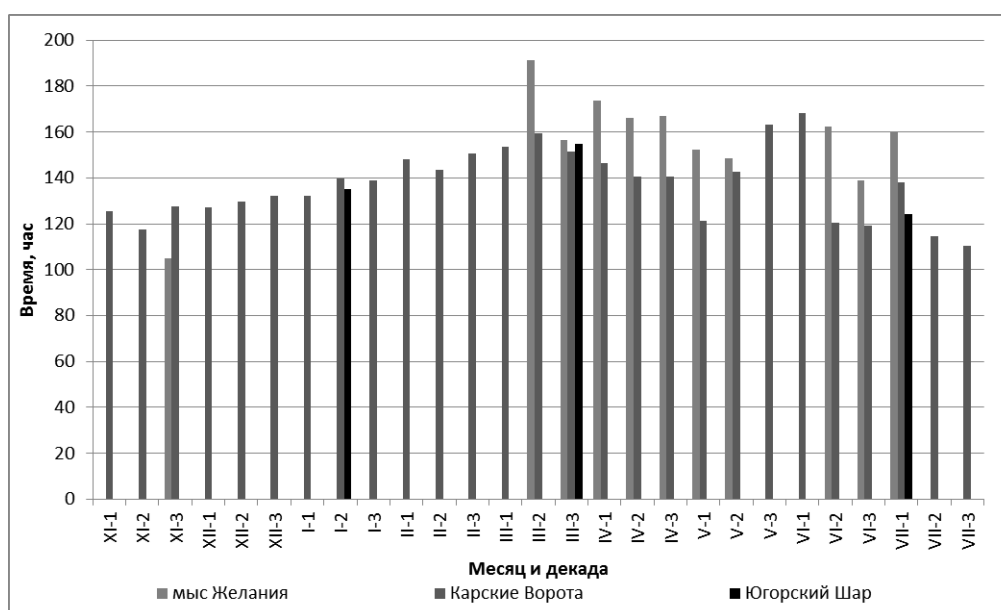


Рисунок 3.19. Среднее время пути на маршруте Архангельск— Дудинка по декадам за 2006-2022 гг.

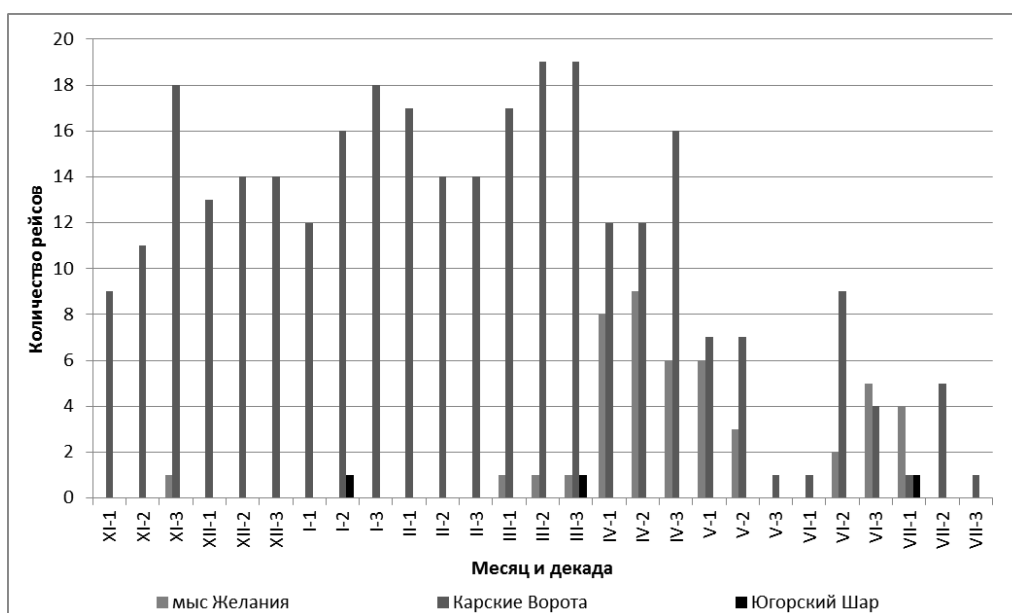


Рисунок 3.20. Количество учитываемых рейсов, следовавших по маршруту Архангельск — Дудинка по декадам за 2006-2022 гг.

Также было проанализировано время только в юго-западной части Карского моря, то есть от Новоземельских проливов или мыса Желания до Енисейского залива. Данный выбор отрезка пути позволяет объединить рейсы Мурманска и Архангельска и учитывать ледовые условия только в нужной нам акватории.

Минимальное время пути в юго-западной части Карского моря в любой год наблюдалось при пути через мыс Желания, что объясняется тем, что данный маршрут является более коротким по сравнению с маршрутами через Новоземельские проливы. Минимум был достигнут в 2011 г. — почти в 2 раза быстрее, чем при выборе центрального варианта плавания. А максимум в 2018 г. — сравнялся с центральным вариантом. Также достаточно малое время затрачивалось на мористый путь, в 2022 г. всего 29 часов, при центральном варианте было 52 часа. Максимум наблюдался в 2010 г. — 70 часов, при выборе центрального всего 41 час. Прибрежный вариант, чаще всего был дольше чем центральный, но он выбирался при условии, когда на кратчайший вариант было

бы затрачено больше времени из-за ледовой обстановки. Максимум в 2018 году — 69 часов, а минимум в 2014 г. — 37 часов, что было даже быстрее чем по центральному пути.

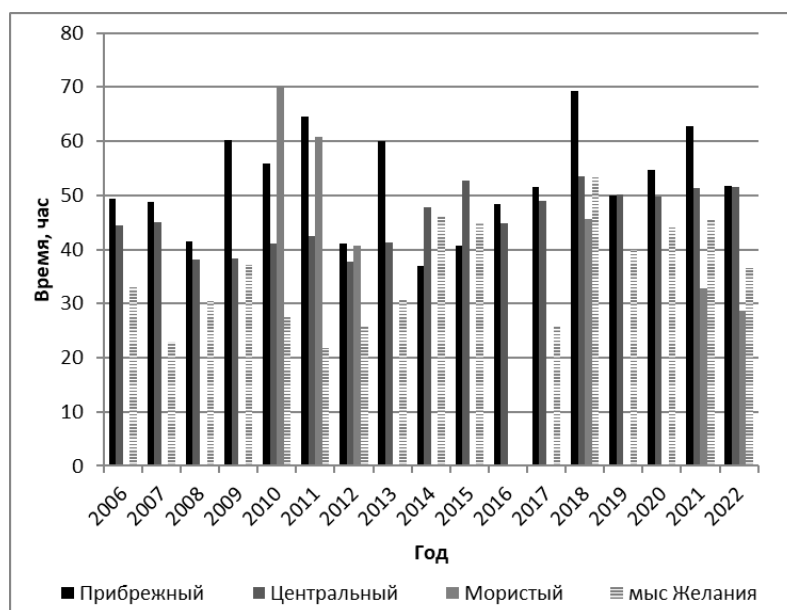


Рисунок 3.21. Среднее время пути в юго-западной части Карского моря по годам за 2006-2022 гг. по маршруту Новоземельские проливы — остров Диксон

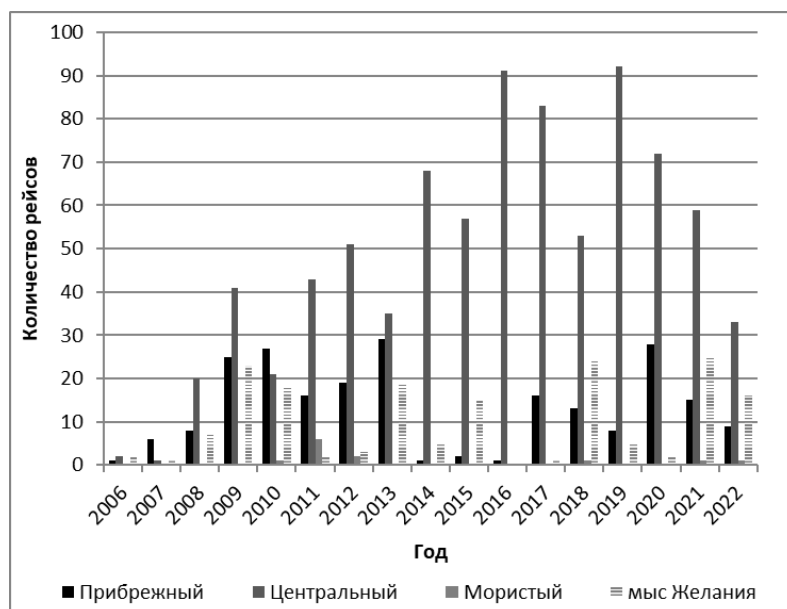


Рисунок 3.22. Количество учитываемых рейсов в юго-западной части Карского моря по годам за 2006-2022 гг. по маршруту Новоземельские проливы — остров Диксон

График среднего времени в зависимости от месяца с использованием центрального варианта плавания в Карском море аналогичен общему затраченному на маршрут времени, причём без разницы через Мурманск или Архангельск. Максимальное время тратилось в марте, а минимальное в июле. При выборе прибрежного варианта затрачивалось несколько больше времени, но в апреле время, наоборот меньше, чем на центральный вариант, что связано с образованием Ямальской полыньи, облегчающей маршрут в данной акватории. Мористый, хоть и использовался гораздо реже указанных вариантов, но был быстрее, что как в основном проходил с использованием Северной и Южной Новоземельских полыней. Вариант плавания через мыс Желания в большинстве случаев быстрее чем через новоземельские проливы. Минимум затраченного времени в ноябре, когда на данном маршруте почти отсутствует лёд, максимум наблюдается в марте, как и в случае выбора других вариантов плавания. Также наблюдается уменьшение среднего времени в феврале, что вызвано использованием естественных разрывов в ледяном покрове.

Таким образом, если рассматривать путь только в юго-западной части Карского моря, то вариант плавания через мыс Желания является наиболее быстрым, но при этом, если рассматривать весь путь, он часто оказывается более длительным, чем через Новоземельские проливы. При пути через Карские Ворота или Югорский шар наиболее стабильным является центральный вариант плавания, но в некоторые месяцы из-за ледовой обстановки более эффективно использовать прибрежный или даже мористый вариант.

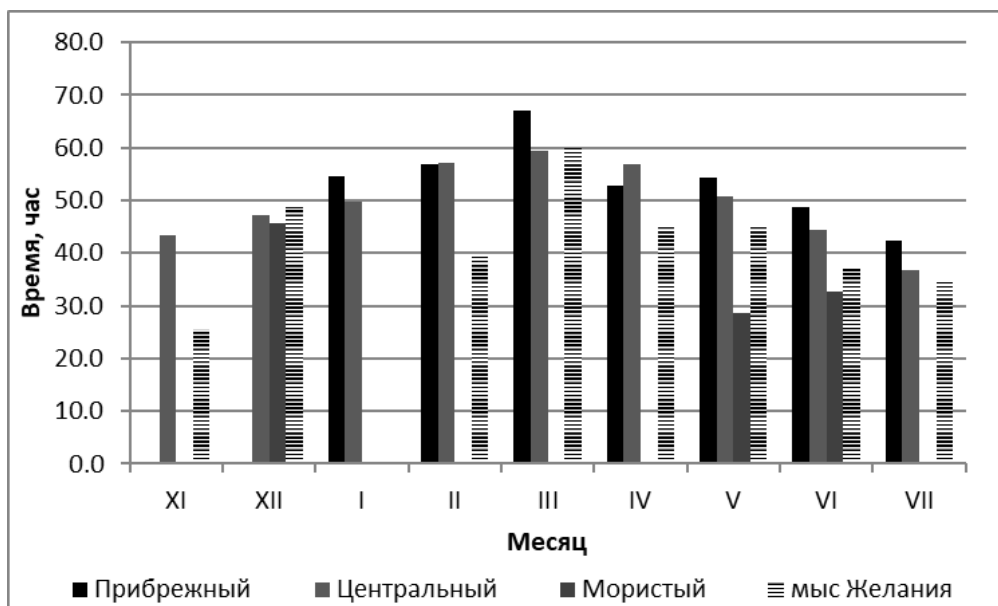


Рисунок 3.23. Среднее время пути в юго-западной части Карского моря по месяцам за 2006-2022 гг. по маршруту Новоземельские проливы — остров Диксон

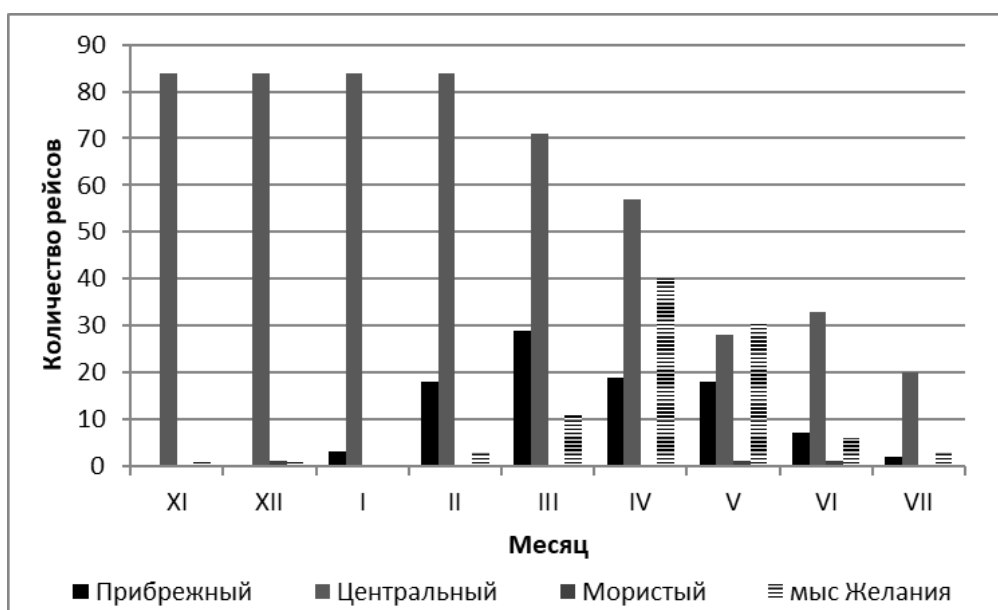


Рисунок 3.24. Количество учитываемых рейсов в юго-западной части Карского моря по месяцам за 2006-2022 гг. по маршруту Новоземельские проливы — остров Диксон

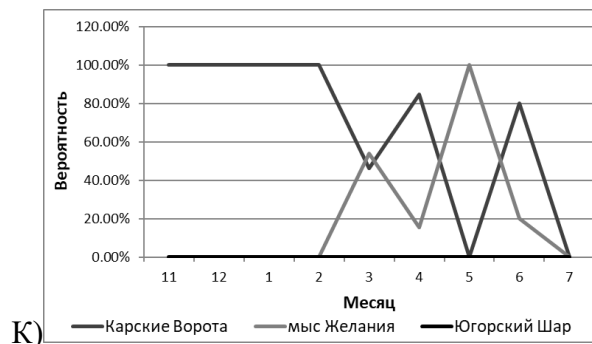
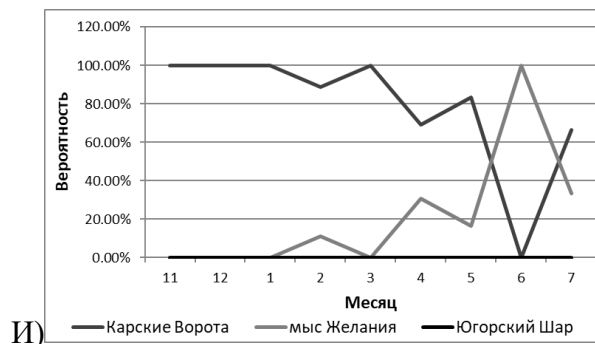
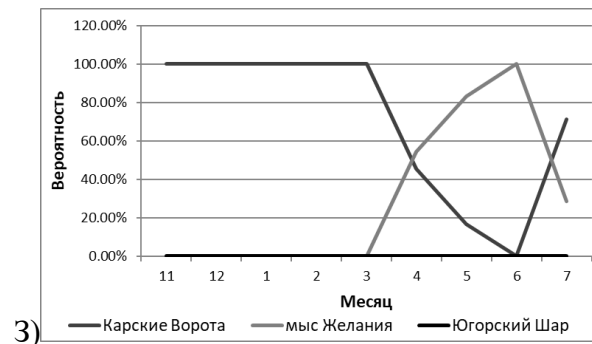
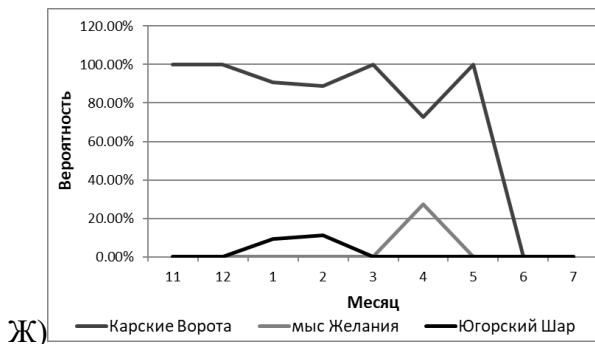
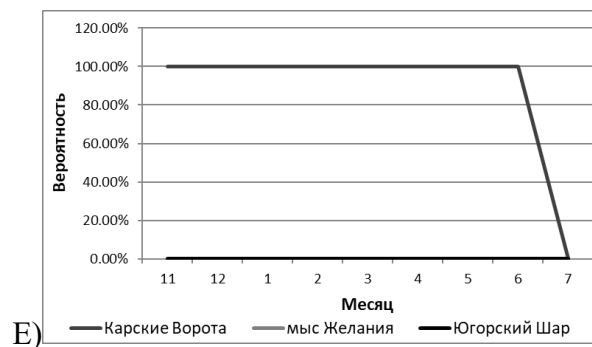
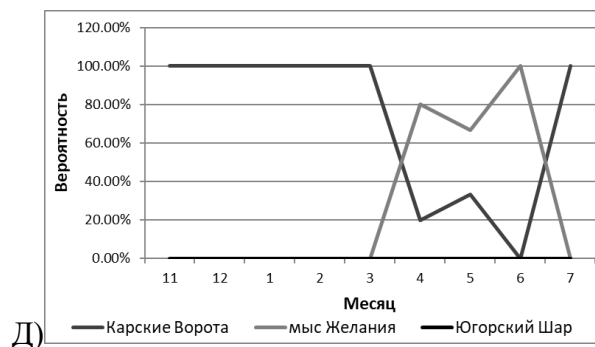
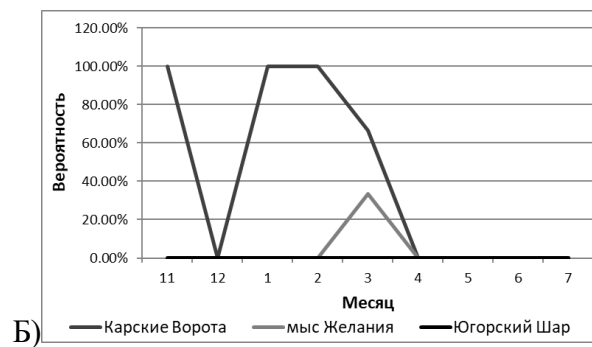
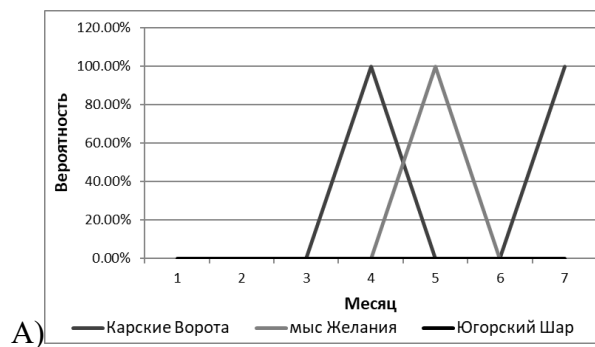
3.3 Межгодовая изменчивость выбора маршрутов плавания.

Для максимально полного анализа необходимо проанализировать межгодовую изменчивость пути как в юго-западной части Карского моря, так и варианты выбора маршрута от Новоземельских проливов.

Несмотря на межгодовую изменчивость выбора вариантов плавания, можно подтвердить общие тенденции. Вероятность выбора маршрута через мыс Желания возрастает с марта, максимальное значение, превышающее вероятность пути через Карские Ворота, наблюдается в апреле-мае, иногда даже в июле (рис. 3.25 А, В, Г, Д, З, И, К, Н, Р, С), также наблюдаются годы, когда движение осуществлялось только через Карские Ворота, что говорит о лёгких ледовых условиях на данном участке пути. (рис. 3.25 Е, Л, М). До марта преобладает маршрут через Новоземельские проливы, через мыс Желания в это время рейсы были лишь в отдельные года.

В общем случае нельзя говорить о какой-либо закономерности выбора маршрута плавания, особенно это видно после 2009 г., когда благодаря введению в строй новых судов количество рейсов выросло. Можно выделить зимние навигации с 2010 г. по 2012 г., с 2015 г. по 2017 г. и с 2018 г. по 2020 г., в которые выбирался в основном путь через Новоземельские проливы на всём рассматриваемом времени. Следует учитывать, что расчеты проводились для периода с ноября по июль следующего года. Также примечательно, что данное облегчение ледовой обстановки в юго-западной части Карского моря происходило 2 года.

Заметно, что за рассматриваемый период произошёл сдвиг пика выбора пути через мыс Желания, если в 2006 г. он наблюдался в мае-июне, то в последние два года наблюдается в апреле.



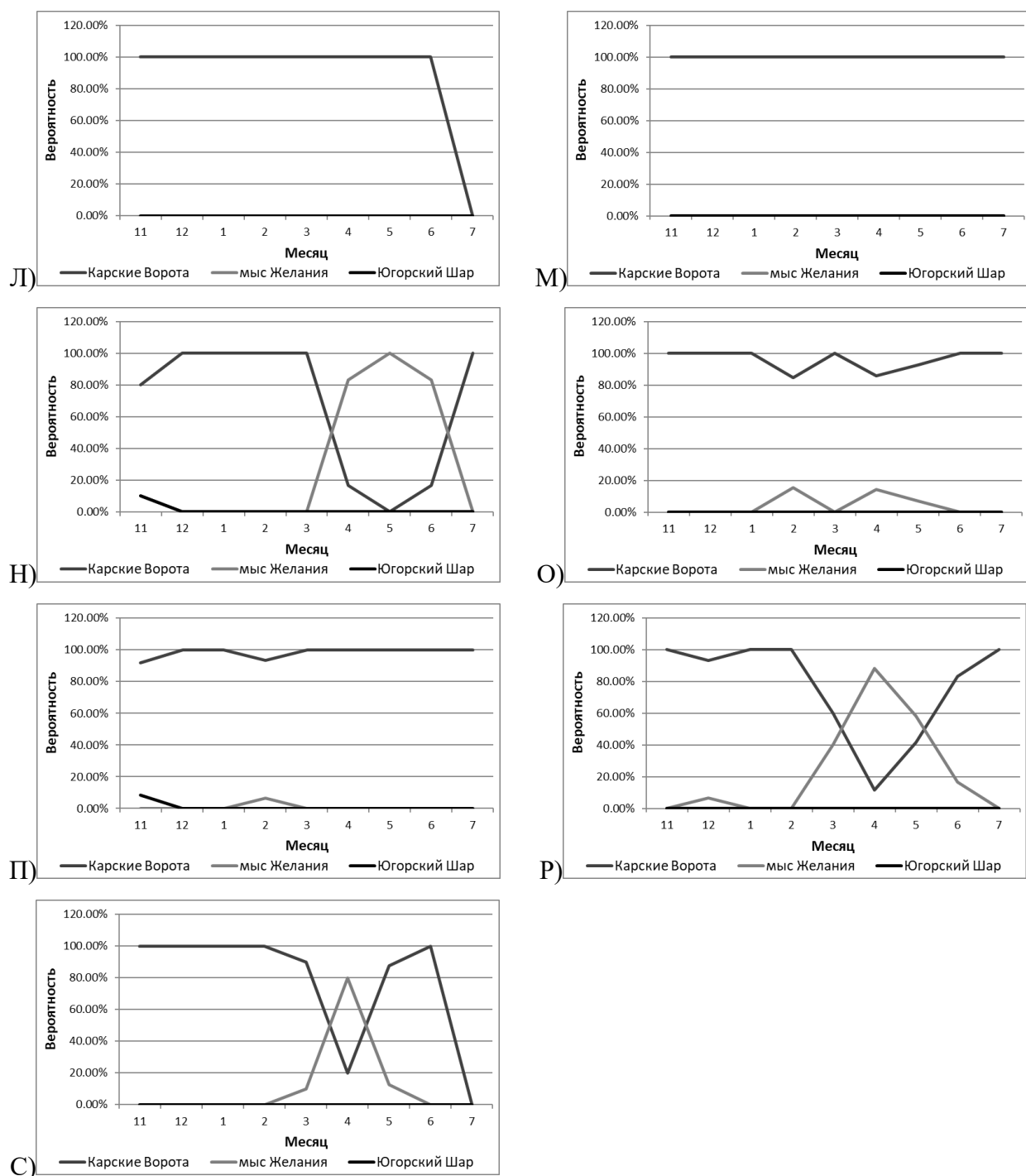


Рисунок 3.25. Межгодовая изменчивость вероятности использования различных вариантов плавания в юго-западной части Карского моря в период 2006-2022 гг. по маршрутам Мурманск (Архангельск) — Дудинка (А — 2006 г., Б — 2006-2007 г., В — 2007-2008 г., Г — 2008-2009 г., Д — 2009-2010 г., Е — 2010-2011 г., Ж — 2011-2012 г., З — 2012-2013 г., И — 2013-2014 г., К — 2014-

2015 г., Л — 2015-2016 г., М — 2016-2017 г., Н — 2017-2018 г., О — 2018-2019 г., П — 2019-2020 г., Р — 2020-2021 г., С — 2021-2022 г.)

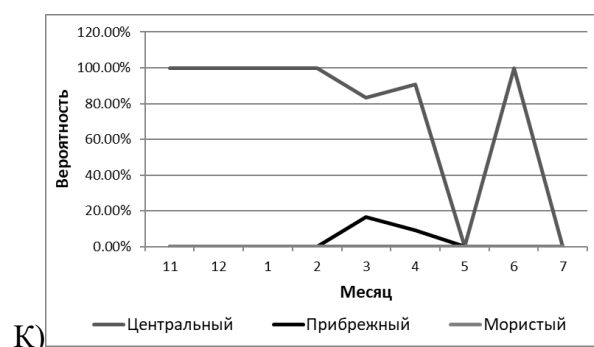
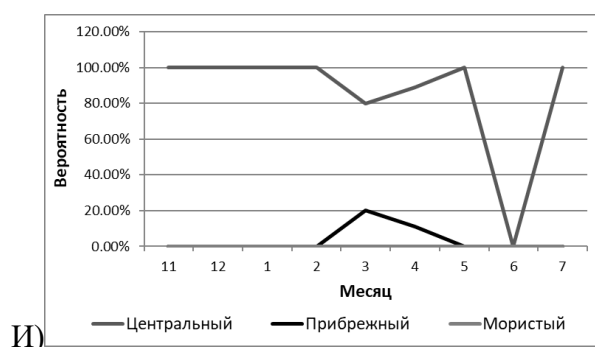
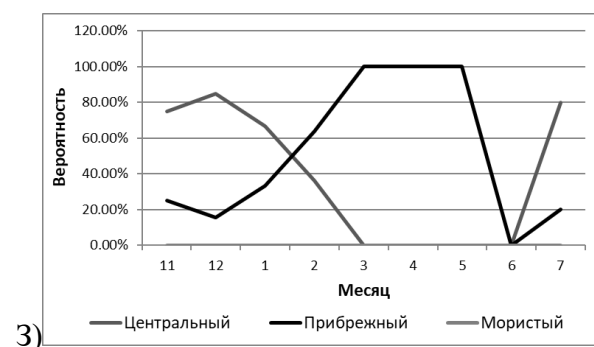
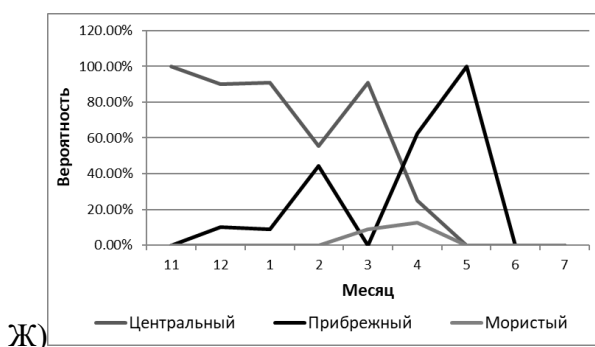
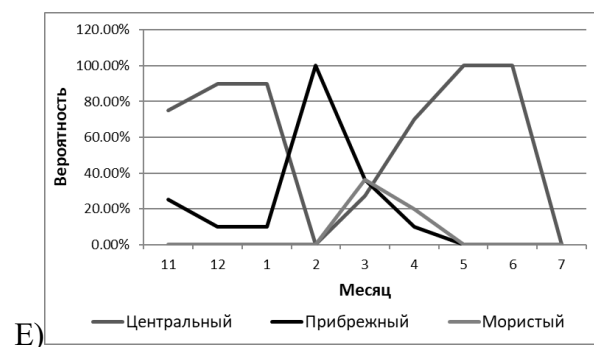
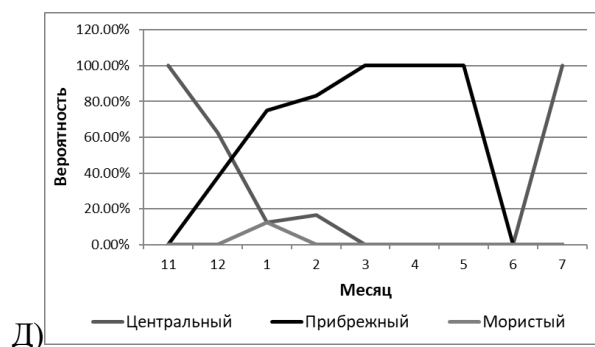
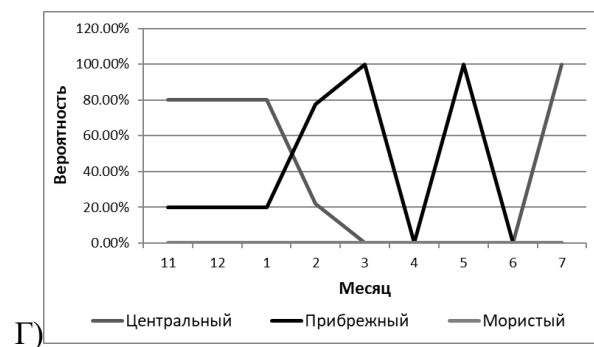
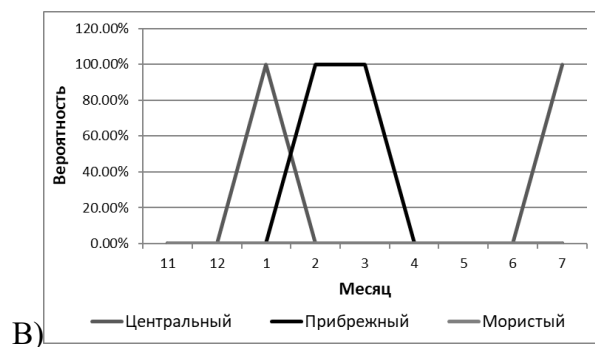
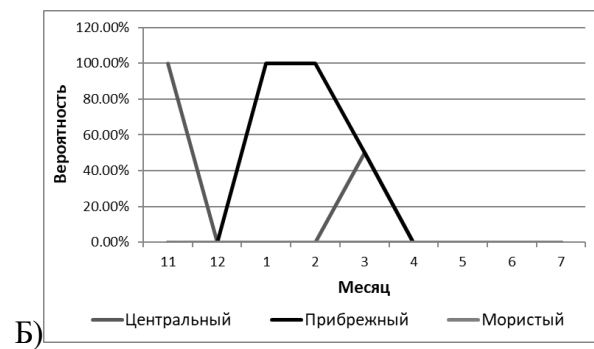
Была проанализирована вероятность выбора пути в Карском море на маршруте Новоземельские проливы — остров Диксон. Можно выделить, что до февраля преобладает центральный вариант плавания, начиная с февраля в некоторые годы преобладание прибрежного варианта, что связано с регулярным появлением Ямальной и Амдерминской полыней и разрывов, направленных вдоль генерального курса судна. Наблюдалось лишь 6 навигаций, в которых было преобладание центрального варианта плавания. (рис. 3.26. И, К, Л, М, О, С) Примечательно, что все они были с 2013 года, до этого был минимум один месяц с преобладанием прибрежного варианта.

В последние 2 года участилось использование мористого варианта плавания, в навигацию 2020-2021 гг. вероятность достигала 20 % в июне.

С 2013 года в ноябре-январе вероятность выбора центрального маршрута плавания составляет как минимум 95 %, хотя с 2008 г. в данное время вклад прибрежного варианта достаточно постоянен.

Максимальная частота выбора прибрежного маршрута была в навигациях 2019-2021 гг.

Таким образом основной закономерностью в изменчивости плавания в юго-западной части Карского моря по маршруту Новоземельские проливы — остров Диксон является преобладание центрального варианта пути в большинстве случаев и возрастание вероятности выбора прибрежного варианта плавания с февраля по июнь.



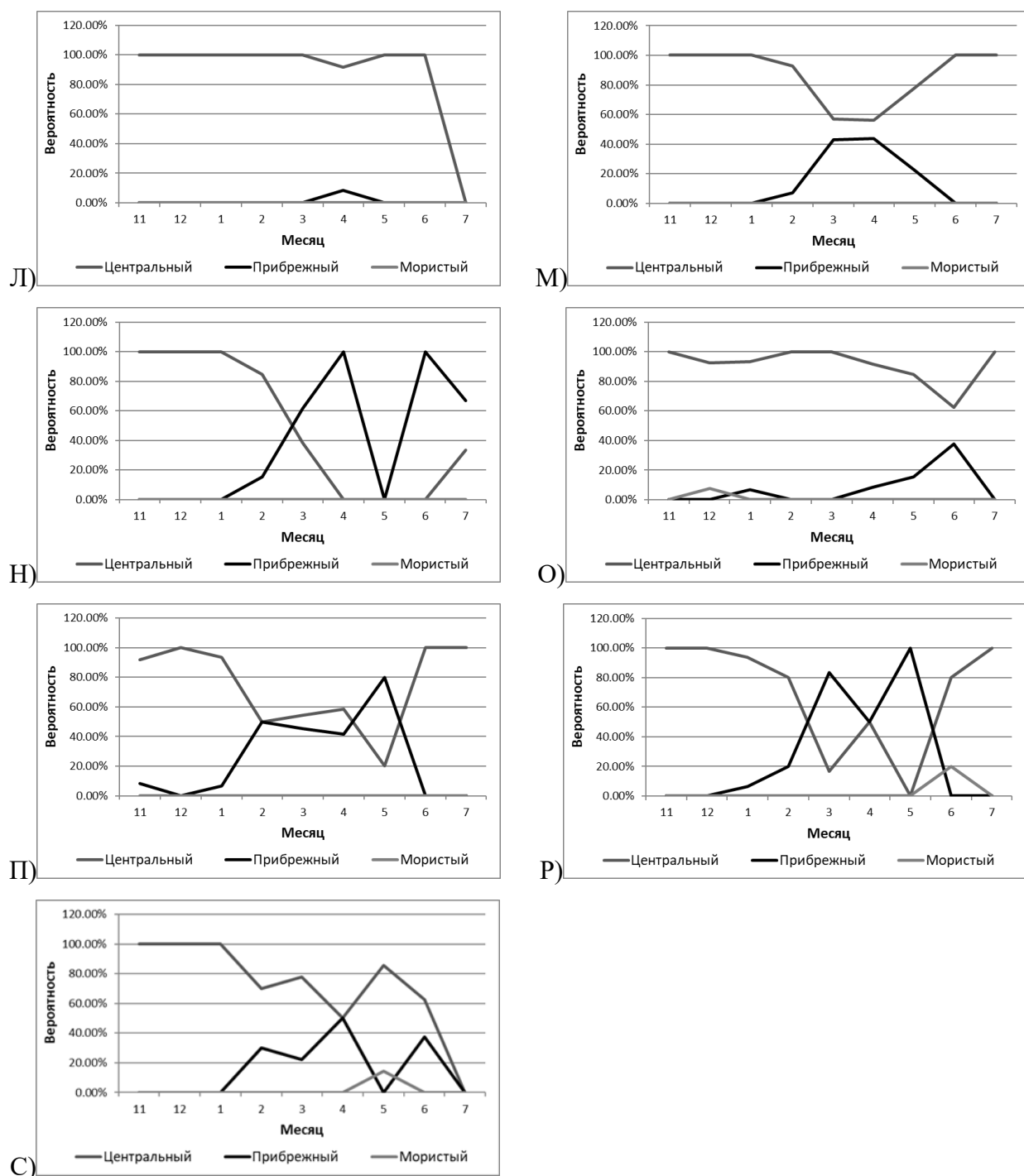


Рисунок 3.26. Межгодовая изменчивость вероятности использования различных вариантов плавания в юго-западной части Карского моря по маршруту Новоземельские проливы — остров Диксон в период 2006-2022 гг. (А — 2006 г., Б — 2006-2007 г., В — 2007-2008 г., Г — 2008-2009 г., Д — 2009-2010 г., Е — 2010-2011 г., Ж — 2011-2012 г., З — 2012-2013 г., И — 2013-2014 г., К — 2014-2015 г., Л — 2015-2016 г., М — 2016-2017 г., Н — 2017-2018 г., О — 2018-2019 г., П — 2019-2020 г., Р — 2020-2021 г., С — 2021-2022 г.)

3.4 Анализ ледовых условий плавания, обуславливающих выбор основных маршрутов плавания в различные сезоны года.

Анализ маршрутов плавания судов в замерзающих акваториях невозможен без анализа ледовой обстановки. Так как область исследования привязана к ледовой обстановке, то осенний сезон представлен только ноябрём, летний — июнем и июлем, зимний и весенний — стандартные календарные месяцы.

Осенний сезон является лёгким, так как в данное время идёт образование льда. В Енисейском заливе встаёт припай, в Обь-Енисейском районе уже образовывается тонкий лёд, остальная часть исследуемой акватории в основном покрыта молодым льдом, ближе к Карским Воротам и возле Мыса желания наблюдаются начальные виды льда. Примерное распределение льда изображено на рисунке 3.27. В тёплые годы площадь припая уменьшается, большая часть Енисейского залива покрыта серо-белым льдом. Лёд присутствует только в Обь-Енисейском районе, но его толщина не превышает 30 см. Остальная акватория свободна ото льда. По причине частых ухудшений погодных условий в Баренцевом море и наличии, преимущественно, молодых льдов в Карском море, очевидно, что центральный путь через Карские Ворота будет оптимальным.

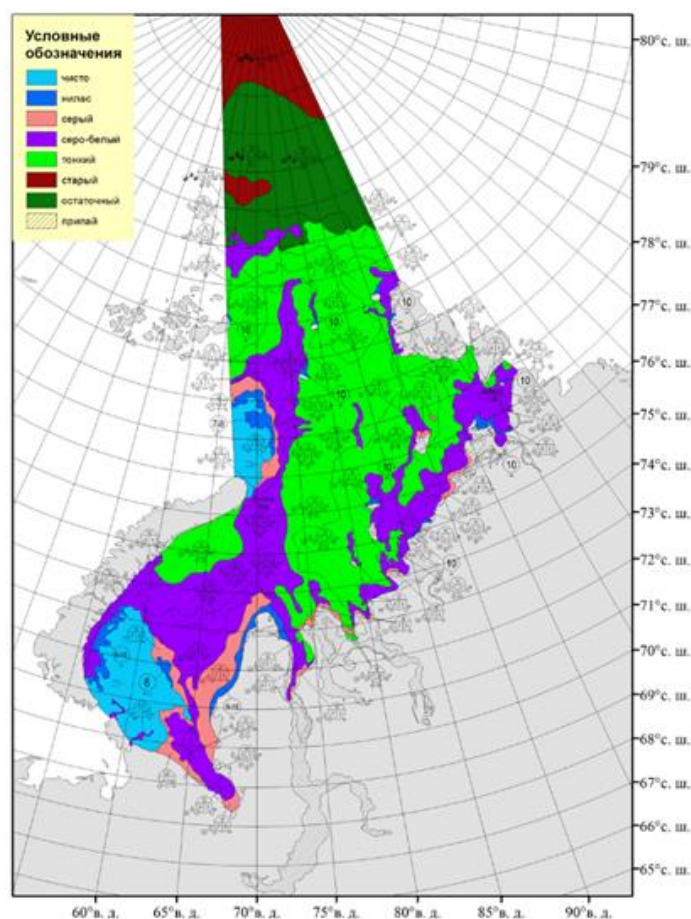


Рисунок 3.27. Генерализированная карта состояния ледового покрова Карского моря ААНИИ, 04.12.2018

В зимние месяцы происходит дальнейшее образование льда вплоть до полного покрытия акватории. Также происходит нарастание льда до 70 см на большей части акватории. Периодически встречаются области, занятые средним льдом. Енисейский залив весь закрыт припаем. Участки молодого льда наблюдаются в местах впадения тёплых баренцевоморских или Атлантических вод. Также лёд с толщиной до 30 см наблюдается при образовании полыней, но при устойчивых ветрах подходящих направлений и течениях, а также в районе основных судоходных маршрутов нилас наслаивается и, следовательно, происходит утолщение. Примерное распределение льда изображено на рисунке 3.28. По причине того, что лёд почти на всей акватории тонкий, в основном выбирается путь через Карские Ворота. Появления Ямальской и

Амдерминской полыней облегчают использование прибрежного варианта плавания, из-за чего возрастает вероятность его выбора.

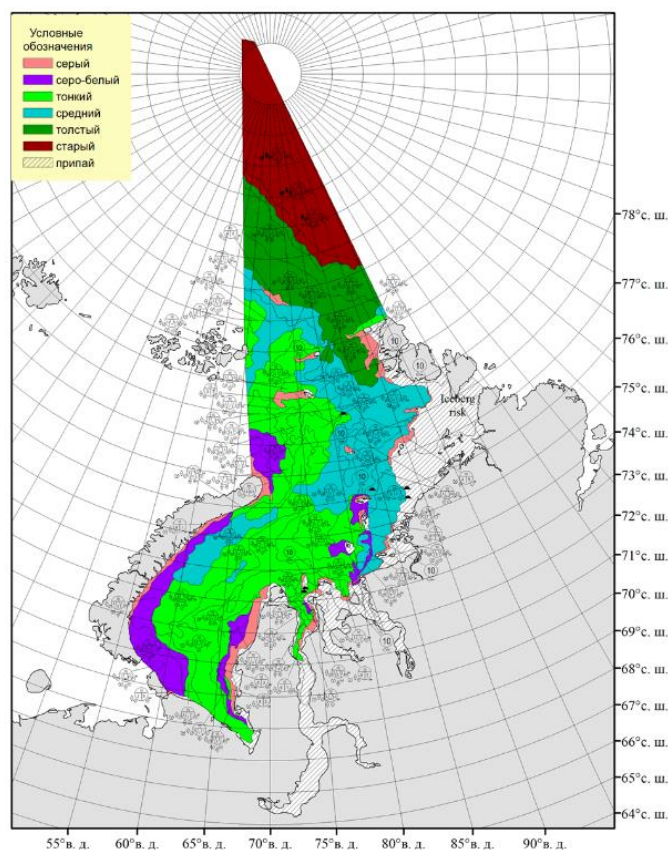


Рисунок 3.28. Генерализованная карта состояния ледового покрова Карского моря ААНИИ, 06.03.2018

Весна является наиболее трудным для плавания временем года. Почти вся акватория покрыта средним льдом, а иногда и толстым однолетним льдом. Также, как и зимой, начальные и молодые льды наблюдаются или около Карских ворот и мыса Желания, или при образовании полыней. В данные месяцы происходит разделение Новоземельского и Североземельского ледяных массивов, что способствует появлению разрывов, направление которых совпадает с генеральным курсом движения судна. [27] По этой причине в

весенние месяцы более лёгким является путь через мыс Желания. Но данный вариант выбирают только если в Баренцевом море нет штормов.

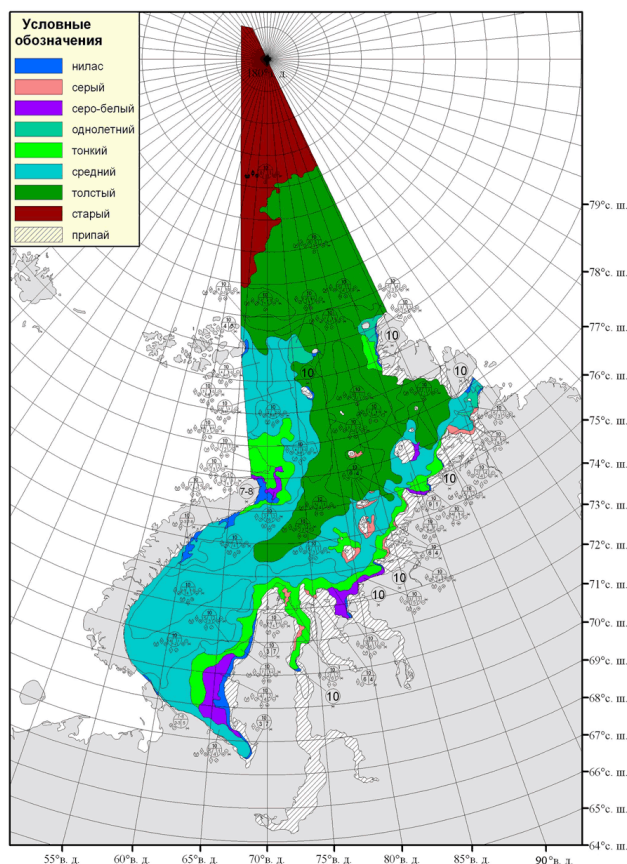


Рисунок 3.29. Генерализированные карты состояния ледового покрова Карского моря ААНИИ за 02.05.2017

В летнее время ледяной покров активно разрушается. Наиболее активно, естественно, в более южных широтах. Наиболее долго лёд остаётся у берегов и в районе острова Диксон, причём южнее в Енисейском заливе располагается пространство чистой воды. Из-за притока тёплых баренцевоморских вод первыми освобождаются мыс Желания и Карские Ворота, затем вся остальная акватория. Поэтому наиболее оптимальным вариантом снова является центральный вариант плавания через Новоземельские проливы.

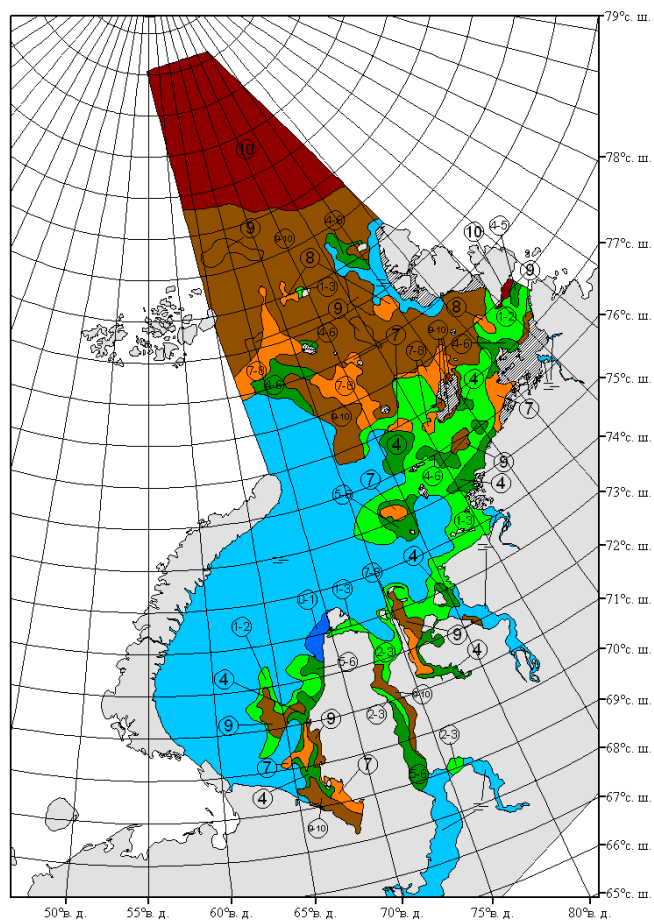


Рисунок 3.30. Генерализированная карта состояния ледового покрова Карского моря ААНИИ за 05.07.2011

Заключение

В настоящее время всё более усиливается интерес к изучению Арктики и возможностям круглогодичного плавания в данном регионе. Данная работа позволяет получить представление об основных вариантах плавания в юго-западной части Карского моря по данным с судов с ледовым классом Arc7 за 2006-2022 гг. А также о причинах, почему в конкретный месяц или год один из маршрутов был более предпочтительным.

Использование данных диспетчерских сообщений с рассматриваемых судов и данных автоматической идентификационной системы, предоставленных лабораторией изучения ледового плавания отдела ледового режима и прогнозов ФГБУ «ААНИИ», позволило составить маршруты судов, а использование ледовых архивных карт ФГБУ «ААНИИ» позволило уточнить ледовую обстановку на момент плавания.

Анализ данных показал, что при отсутствии льда и при наличии льда толщиной менее 70 см наиболее часто выбирают центральный вариант плавания через Карские Ворота. Но в марте-мае лёд толще указанного значения и поэтому периодически более оптимальным вариантом является прибрежный путь, так как используются Амдерминская и Ямальская полыньи или разрывы, направленные вдоль генерального курса судна, или используется путь через мыс Желания, так как он короче по сложной ледовой обстановке или также присутствуют разрывы. Путь через пролив Югорский шар выбирался реже остальных, так как данный пролив менее удобен для прохождения судов, чем пролив Карские Ворота. Мористый вариант плавания также выбирался реже всех, причина заключается в существенном увеличении времени плавания и в нечастом удобном расположении Новоземельских полыней.

Данная работа позволила сделать выводы о зависимости оптимального маршрута плавания от ледовой обстановки.

Список использованных источников

1. Добровольский А. Д., Залогин Б. С. Моря СССР. М., Изд-во МГУ, 192 с. – 1982.
2. Добровольский А. Д. и др. Моря СССР: природа, хозяйство. – Мысль, 1965.
3. Шамраев Ю. И., Шишкина Л. А. Океанология. – Гидрометеиздат, 1980.
4. Фирсов Ю. Г., Иванов М. В., Колосков Е. Н. Новый этап батиметрических исследований северных акваторий России на примере Карского моря //Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала СО Макарова. – 2014. – №. 6 (28). – С. 115-124.
5. Горшков С. Г., Алексеев В. Н., Фалеев В. И. Атлас океанов. Северный Ледовитый океан. – 1980.
6. Карклин В.П. Сезонные изменения возрастного состава льдов в Северо-Восточной части Карского моря в осенне-зимний период. // В.П. Карклин, С.В. Хотченков, А.В. Юлин, В.М. Смоляницкий - Проблемы Арктики и Антарктики – 2016 г. С. 41-50
7. Никифоров Е. Г., Шпайхер А. О. Закономерности формирования крупномасштабных колебаний гидрологического режима Северного Ледовитого океана. – Гидрометеиздат, 1980.
8. Воробьев В.И. Карское море. // Издательство Главсевморпути Ленинграда. – Москва, 1940г. 3.
9. Schauer U. et al. Atlantic water flow through the Barents and Kara Seas //Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers. – 2002. – Т. 49. – №. 12. – С. 2281-2298.
10. Pavlov V. K., Pfirman S. L. Hydrographic structure and variability of the Kara Sea: Implications for pollutant distribution //Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography. – 1995. – Т. 42. – №. 6. – С. 1369-1390.
11. Степанов В. Н. Океаносфера. – Мысль, 1983.

12. Степанов С. И. Особенности циркуляции вод Карского моря в навигационный период //Тр. ААНИИ. – 1985. – Т. 389. – С. 43.
13. ЕСИМО- офиц. сайт URL: <http://www.esimo.ru/> (дата обращения 27.04.2023)
14. Бардин М. Ю., Платова Т. В., Самохина О. Ф. Изменчивость антициклонической активности в умеренных широтах Северного полушария //Фундаментальная и прикладная климатология. – 2019. – Т. 3. – С. 32-58.
15. Географический энциклопедический словарь: Понятия и термины, Трешников, А.Ф., Алаев, Э.Б., Алампиев, П.М. и др., Советская Энциклопедия, 1988
16. Хрусталева Н. К. Международная символика для морских ледовых карт и номенклатура морских льдов //Л.: Гидрометеоиздат. – 1984. – Т. 56.
17. Карелин И.Д. Припай и заприпайные полыньи Арктических морей сибирского шельфа в конце XX-начале XXI века. // И.Д. Карелин, В.П. Карклин - ГНЦ РФ ААНИИ – Санкт-Петербург, 2012
18. Карклин В. П. и др. Сезонные изменения возрастного состава льдов в северо-восточной части Карского моря в осенне-зимний период //Проблемы Арктики и Антарктики. – 2016. – №. 4. – С. 41-50.
19. Путырский В. Е. и др. Исследование динамики заприпайных полыньей Карского моря в зимний период //Природообустройство. – 2021. – №. 4. – С. 110-115.
20. Портал “Корабел.ру”: офиц. сайт. URL: <https://www.korabel.ru/> (дата обращения 13.05.2023)
21. Мурманский транспортный филиал ПАО «ГМК «Норильский никель»: офиц. сайт URL: <https://mtf-nn.ru/fleet.html> (дата обращения 14.05.2023)
22. Алексеева Т. А. и др. Анализ ледовых условий круглогодичного плавания судов ледового класса Arc7 в юго-западной части Карского моря //Проблемы Арктики и Антарктики. – 2021. – Т. 67. – №. 3. – С. 236-248.
23. Гудкович З. М. и др. Основы методики долгосрочных ледовых прогнозов для арктических морей //Л.: Гидрометеиздат. – 1972.

24. NASA's EOSDIS: офиц. сайт, URL <https://worldview.earthdata.nasa.gov> (дата обращения 07.06.2023)
25. Карклин В. П. и др. Климатическая изменчивость ледяных массивов Карского моря // Проблемы Арктики и Антарктики. – 2017. – №. 4. – С. 37-46.
26. ААНИИ: офиц. сайт URL: <https://www.aari.ru/> (дата обращения 30.05.2023)
27. Карклин В. П. и др. Климатическая изменчивость ледяных массивов Карского моря // Проблемы Арктики и Антарктики. – 2017. – №. 4. – С. 37-46.