



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра информационных технологий и систем безопасности
ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(магистерская работа)

На тему Оценка изменчивости площади льда Карского моря

Исполнитель Степина Анастасия Александровна

(фамилия, имя, отчество)

Руководитель канд. физ.-мат. наук

(ученая степень, ученое звание)

Подrezова Надежда Алексеевна

(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой

(подпись)

доктор технических наук

(ученая степень, ученое звание)

Бурлов Вячеслав Георгиевич

(фамилия, имя, отчество)

«__» _____ 2023 г.

Санкт-Петербург

2023

Оглавление

Введение.....	3
Глава 1. Физико-географические характеристики Карского моря	5
1.1 Физико-географическое положение.....	5
1.2 Общие сведения о гидрометеорологическом режиме.....	7
1.2.1 Распределение солености	12
1.2.2 Циркуляция вод.....	16
1.2.3 Уровень, приливы, приливные течения.....	18
1.3 Ледовые условия	19
1.3.1 Ледообразование в юго-западной части Карского моря.....	19
1.3.2 Очищение ото льда юго-западной части Карского моря.....	21
1.3.3 Влияние ледовых процессов на судоходство и добычу углеводородов в юго-западной части Карского моря.....	25
1.3.4 Ледовые условия в портах юго-западной части Карского моря на примере порта Диксон.....	32
Глава 2. Исходные данные и методы их статистического анализа	34
2.1 Исходные данные	34
2.2 Методы анализа исходных данных	35
2.2.1 Анализ тренда временного ряда и его расчет	36
2.2.2 Кластерный анализ.....	38
2.2.3 Расчет СГДМ	39
Глава 3. Результаты расчетов.....	40
3.1 Расчет трендовой составляющей Карского моря	40
3.2 Анализ среднегодовых температур воздуха	43
3.3 Расчет СГДМ	55
3.4 Расчет кластерного анализа	56
3.5 Сравнение ледовых карт.....	66
3.6 Анализ трендов площади льда по месяцам	75
Заключение	82
Список литературы	84

Введение

Развитие Арктической зоны является важной задачей для Российской Федерации. Горючий природный газ и нефть, содержащиеся в континентальном шельфе; Северный морской путь, как транспортный коридор мирового значения; объекты стратегических сил сдерживания в целях недопущения агрессии против РФ и ее союзников – это и многое другое обуславливает значимость Арктической зоны для нашей страны. Интенсивное потепление климата в Арктике, происходящее быстрее, чем в целом на планете, с одной стороны, является проблемой, а с другой стороны открывает широкие возможности для освоения данного региона. Для планирования работ в Арктической зоне необходимы знания ледового режима Арктических морей, а также долговременный прогноз ледовых условий.

В данной работе для исследования было выбрано Карское море, которое является окраинным морем Северного Ледовитого океана. Его акватория используется для множества целей, таких как: судоходство (транспортировка леса и нефтепродуктов, в том числе и по Северному морскому пути); рыболовецкий промысел (вылавливание тресковых, осетровых и др.); добыча полезных ископаемых.

Изучение межгодового и межсезонного изменения ледового режима является важным исследованием, которое представляет большой интерес для всего региона. Поэтому, на мой взгляд, это одна из ключевых задач, которые нужно решить.

Цель работы: ознакомление с физико-географическими особенностями Карского моря; формирование собственного архива ледовитости, используя открытые данные о площади льда и температуре воздуха в данном регионе; выполнение статистических расчетов и комплексный анализ пространственно-временной изменчивости ледовитости.

В работе были поставлены следующие задачи:

- Определить межгодовую изменчивость площади льда Карского моря
- Выявить причины снижения/увеличения площади льда Карского моря, проанализировав среднегодовые значения температуры воздуха
- Произвести кластерный анализ по данным суммы градусо-дней мороза (СГДМ) с целью определения трех классов суровости зим
- Сравнить ледовые карты за выбранные три зимы
- Проанализировать тренды графиков площади льда по месяцам за выбранный промежуток времени

Глава 1. Физико-географические характеристики Карского моря

1.1 Физико-географическое положение

Карское море – является окраинным морем Северного Ледовитого океана, омывающее берега северо-восточной части Европы, Западной Сибири и полуострова Таймыр (рис.1.1). На западе море ограничивается островом Вайгач и островами архипелага Новая Земля и соединяется с Баренцевым морем проливами Югорский Шар, Карские Ворота и Маточкин Шар. На востоке море ограничивает архипелаг Северная Земля. На северо-западе Карское море смыкается с Баренцевым морем, граница моря идет от м. Желания, который находится на архипелаге Новая Земля, на м. Кользат, расположенном на архипелаге Земля Франца-Иосифа на восточном берегу острова Грэм-Белл. С севера Карское море имеет выход к Арктическому бассейну Северного Ледовитого океана, граница – от м. Кользат до м. Арктический на архипелаге Северная Земля.

Одно из самых больших по площади морей в России - Карское море, имеет площадь в 883 тыс. км². Средняя глубина этого моря находится в диапазоне от 50 до 100 метров. Новоземельская впадина расположена вдоль островов Новой Земли и острова Вайгач на западе моря, где средняя глубина достигает 200-400 метров. На северо-востоке моря в желобе Святой Анны находятся максимальные глубины, достигающие до 600 метров.

Населенный край Арктики - Карское море, имеет особый климат за счет своего расположения в высоких широтах. Территория примыкает к Северному ледовитому океану, что оказывает сильное влияние на погоду. Несмотря на небольшую близость к Атлантическому океану, острова Новой земли заграждают теплые воздушные массы, что делает климат еще более суровым и причудливым.



Рис. 1.1 Географическое положение Карского моря

Карское море принято разделять на две части (рис.1.2):

- юго-западную, площадь которой 335 тыс. км²
- северо-восточную с площадью 548 тыс. км².

Граница между ними проходит от о. Диксон до м. Желания.

К европейской части России относится лишь часть побережья юго-западной части Карского моря до меридиана 67°20' в.д. (граница между Европой и Азией проходит в районе Байдарацкой губы). К Европе относится также архипелаг Новая Земля. Восточные берега Новой Земли изрезаны многочисленными фьордами. Особенно расчленено материковое побережье юго-западной части Карского моря, где глубоко вдаются в сушу Байдарацкая, Обская, Гыданская губы, а также Енисейский залив. Из многочисленных рек,

впадающих в западную часть Карского моря, навигационное значение имеют реки Обь и Енисей. [1]



Рис. 1.2 Районирование Карского моря

1.2 Общие сведения о гидрометеорологическом режиме

Термический режим моря является очень неоднородным, что связано с географическим положением и атмосферной циркуляцией. Они создают различия в температурном режиме воздуха над разными частями Карского

моря. Воды моря практически не прогреваются из-за суровых климатических условий. Так, зимой, когда море покрывается льдом, температура воды под ним близка к температуре замерзания равной $-1,7^{\circ}\text{C}$; $-1,9^{\circ}\text{C}$ (см. рис. 1.3).

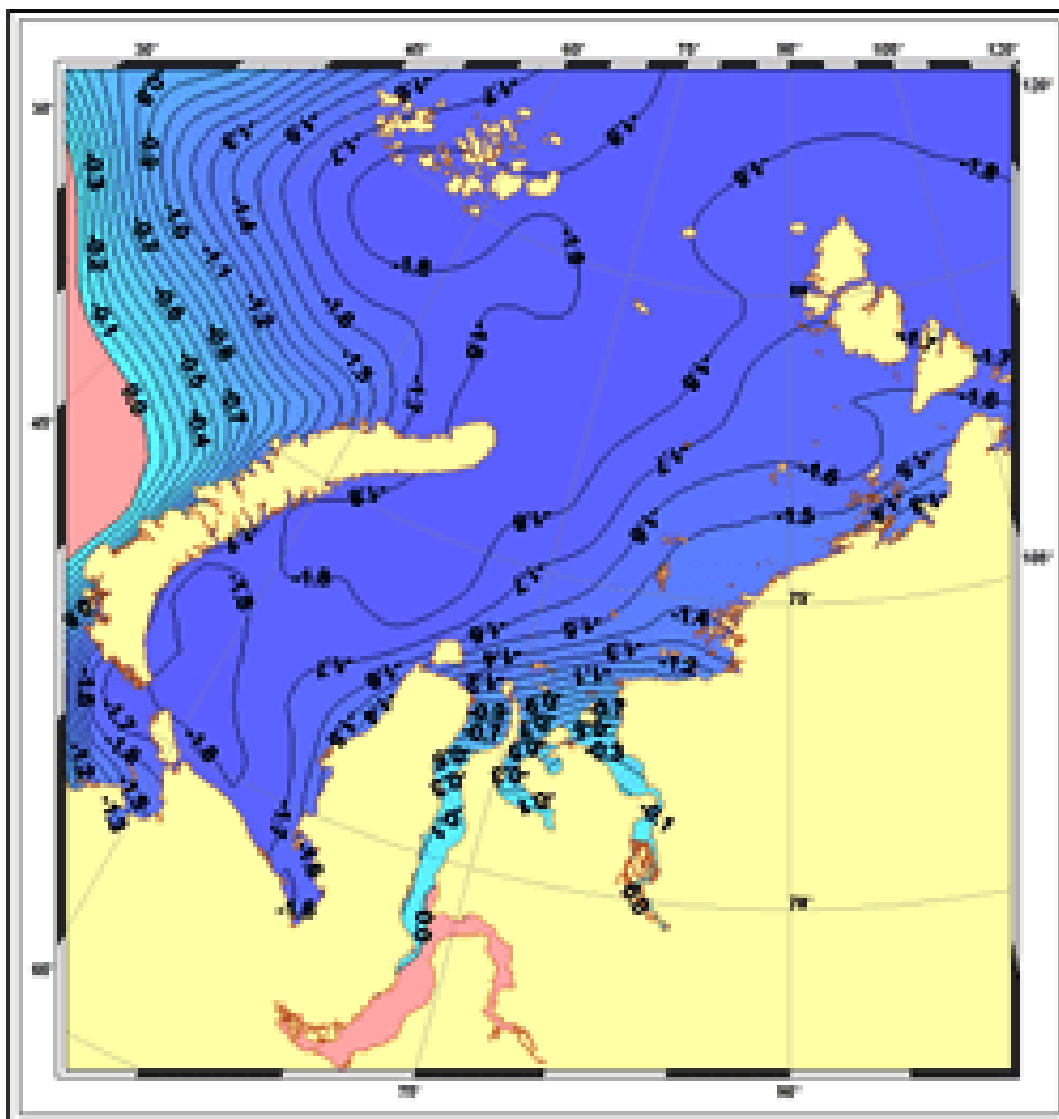


Рис. 1.3 Термический режим Карского моря зимой

В местах, где реки впадают в море, температура воды наиболее высокая, в то время как в местах, где водные массы происходят из Баренцева моря, температура наиболее низкая. В мелководных зонах Карского моря температура воды от поверхности до дна практически одинаковая и отрицательная. В желобах Воронина и Святой Анны встречаются положительные значения температуры воды, которые достигают $1,0-1,5^{\circ}\text{C}$

благодаря поступлению теплых глубинных атлантических вод. Однако на южных границах этих желобов температура охлаждается до 0°C и ниже.

Весной Карское море претерпевает особое изменение температуры на его поверхности. Благодаря влиянию лучистого теплообмена и термического взаимодействия с нижними слоями воздуха, вода может значительно прогреваться. Традиционно, солнечное тепло тратится на таяние льда, но в южных районах моря, где лед уже растаял, происходит своеобразный переполусовочный процесс. Температура воды может достигать толщины 10-12 метров в юго-восточной части моря и 15-20 метров в юго-западной. Кроме того, специалисты отмечают, что данным явлением может воздействовать особое взаимодействие различных слоев воздуха.

Стоит отметить, что есть места на Карском море, где температура воды даже на глубине 40-50 метров может быть положительной. Однако, на большей глубине температура резко падает, что связано с общим климатическим характером региона. Также интересно отметить, что распределение температур на Карском море может сильно меняться из-за воздействия множества климатических факторов, что дает стимул для дальнейшего изучения морских вод.

Летом, изменение температуры поверхностных вод зависит от нескольких факторов, включая не только ледовые условия, речной сток и водообмен с соседними водоемами, но и ветер, течения и солнечная радиация. Распределение температур воды в северной области, где зимой преобладают дрейфующие льды, имеет свою специфику, где значения на поверхности слабо превышают точку замерзания.

Важно отметить, что внешний океан имеет различное распределение температур воды, в зависимости от географического положения. На севере и востоке значения температур поверхности вод прогреваются до 2°C на глубинах 10-15 метров, тогда как на юго-западе поверхностная вода прогревается до 6°C на глубинах 60-70 метров.

Необычное распределение температуры восточной части океана связано с уменьшением температуры воды от положительных значений на поверхности ($1,7^{\circ}\text{C}$) к глубине. На глубине 10 метров температура достигает $-1,2^{\circ}\text{C}$, а на дне $-1,5^{\circ}\text{C}$. Характеристика восточной части океана связана с влиянием холодной воды из Арктики и стремительным течением Берингова пролива.

Таким образом, факторы, влияющие на температуру воды в океане, могут быть разнообразными и зависят от географического положения и климатических условий в конкретном регионе.

Население прибрежных районов часто сталкивается с вопросом о температуре воды в море. В различных районах она может сильно отличаться. Например, в районах с высоким речным стоком, таких как реки Енисей и Обь, температура поверхностных вод может достигать $8-10^{\circ}\text{C}$ в теплую погоду и еще больше летом.

Однако, каждый район имеет свои особенности. В юго-западной части моря, в районе Карских Ворот, температура воды может достигать 8°C , особенно когда усиливается приток теплых вод из Баренцева моря. Но в районе пролива Маточкин шар температура воды может опускаться до $3-4^{\circ}\text{C}$. Это объясняется притоком холодных вод с Севера.

На северо-востоке, где преобладает Арктический бассейн, температура воды значительно ниже и редко превышает 0°C . Это связано с тем, что Арктика является одним из самых холодных регионов на Земле. Однако, здесь вода всегда привлекает людей, так как Арктика является уникальной экосистемой и является домом для многих видов животных. (см. Рис.1.4). [3]

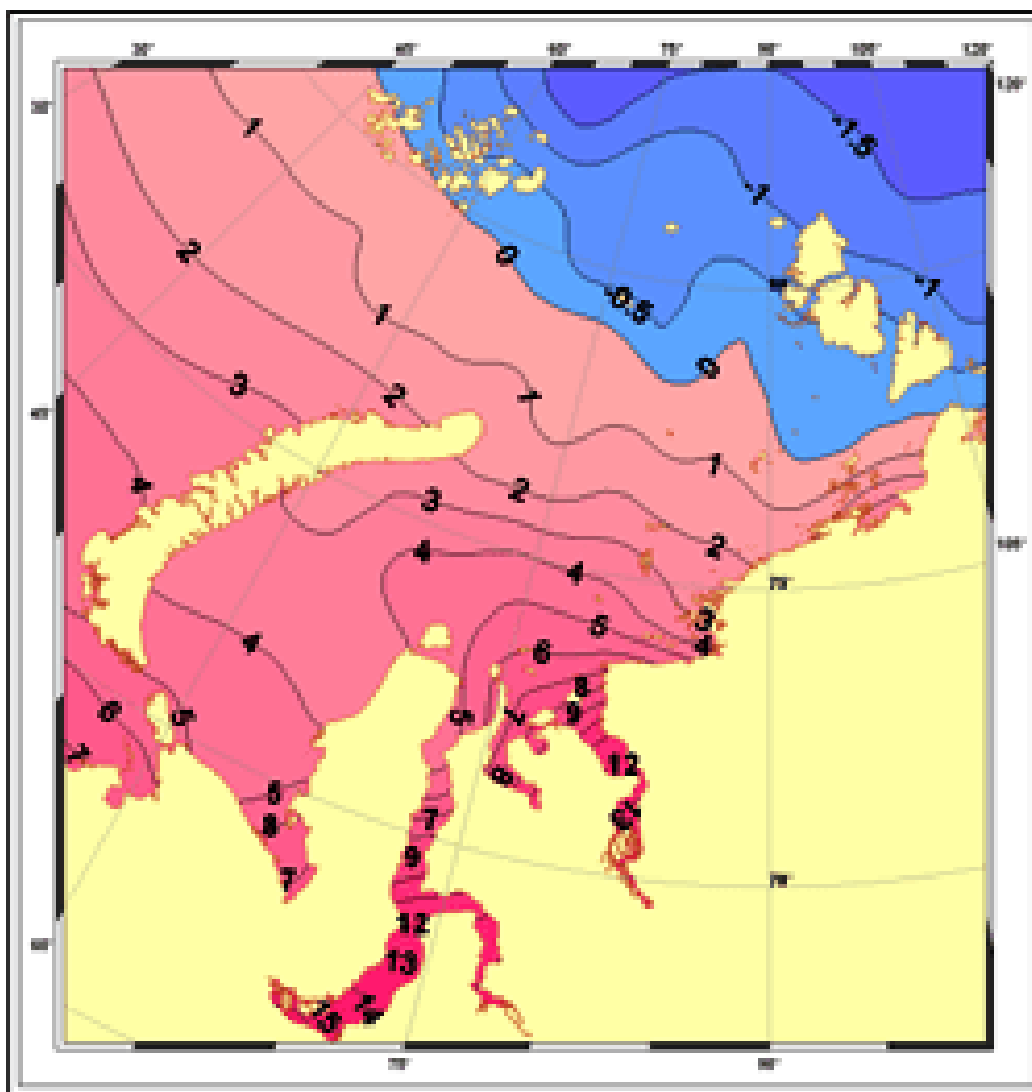


Рис. 1.4 Термический режим Карского моря летом

Каждый год в осенний период температура Карского моря начинает постепенно опускаться, и если летний прогрев был достаточно сильным, то зимой она может удерживаться на относительно высоком уровне. Однако, процесс выхолаживания быстро уничтожает этот прогрев, и температура воды начинает выравниваться по всей толще моря. Но эта тенденция имеет свои исключения - районы распространения глубинных атлантических вод все еще могут быть теплее, чем окружающая их вода.

Данная информация говорит о том, что Карское море является очень динамичным водным пространством, где происходят значительные сезонные изменения температуры. Распределение льда, величина речного стока и

количество притока теплой воды из других регионов имеют прямое влияние на состояние поверхностного слоя Карского моря.

В зимнее время температура поверхностных вод не сильно колеблется, однако, значительная изменчивость наблюдается в глубоководных термических условиях. В Карском море среднегодовые колебания температуры воды достигают в среднем $1,5^{\circ}\text{C}$, причем наибольшая устойчивость температур наблюдается в северных районах моря (за исключением областей с начинающимся распадом ледяного покрова), где колебания особенно высоки. Кроме того, в районах, где влияние тепла из Баренцева моря и Арктического бассейна на температуру наиболее заметно, также наблюдаются значительные колебания. [4]

1.2.1 Распределение солености

Соленость Карского моря зависит от множества факторов, в том числе от его сообщения с океаном и величины стока рек, которые воздействуют на него. Но не только это влияет на распределение солености в водной толще моря. Ледовый покров, который образуется и тает сезонно, также оказывает влияние на соленость, причем далеко не малое.

На севере морской поверхности соленость достигает 33-34‰, в то время как в южной части она колеблется в пределах от 3-5‰. Кроме того, изменения солености, так же как и изменения температуры, происходят в сезонном порядке. Повышенные значения в холодное время года (соленость на поверхности равна 25-30‰ и увеличивается с юга на север) характеризуются малым речным стоком и интенсивным ледообразованием, исключая устьевые области. Поверхностная соленость уменьшается в приустьевых участках и в прибрежной полосе в теплые сезоны года из-за притока речных вод. Далее летом распресняют поверхностный слой таяние льдов и максимальное

распространение речных вод. Наиболее низкая соленость наблюдается в районах устьев наиболее крупных рек, таких как Обь и Енисей, около 5-10‰. На Обь-Енисейском пространстве наблюдается резкий рост солености поверхностных вод до 15-20‰. В то же время, юго-западная часть моря также характеризуется аналогичным уровнем солености. Однако, в направлении севера и северо-востока от места Желания выявляется быстрый рост солености на поверхностных слоях с юга на север. Территории в этом направлении обладают самыми высокими показателями солености в 33,8-34,0‰. Когда лед тает, происходит изменение распределения солености. На площадках, где нет льда, на поверхности моря соленость гораздо выше, на 7-8‰, чем между плавающими льдами. Воды в море можно разделить на разные уровни, и соленость здесь тоже будет меняться. Например, соленость воды на дне моря будет выше, чем на поверхности.

Во время зимнего периода, на подавляющих частях моря, происходит равномерное повышение солености, достигая отметки 30‰ на поверхности и почти 35‰ на дне. Наиболее явный переход от менее соленых поверхностных вод к соленым водам, лежащим под ними, наблюдается вблизи устьев рек. (Рис. 1.5).

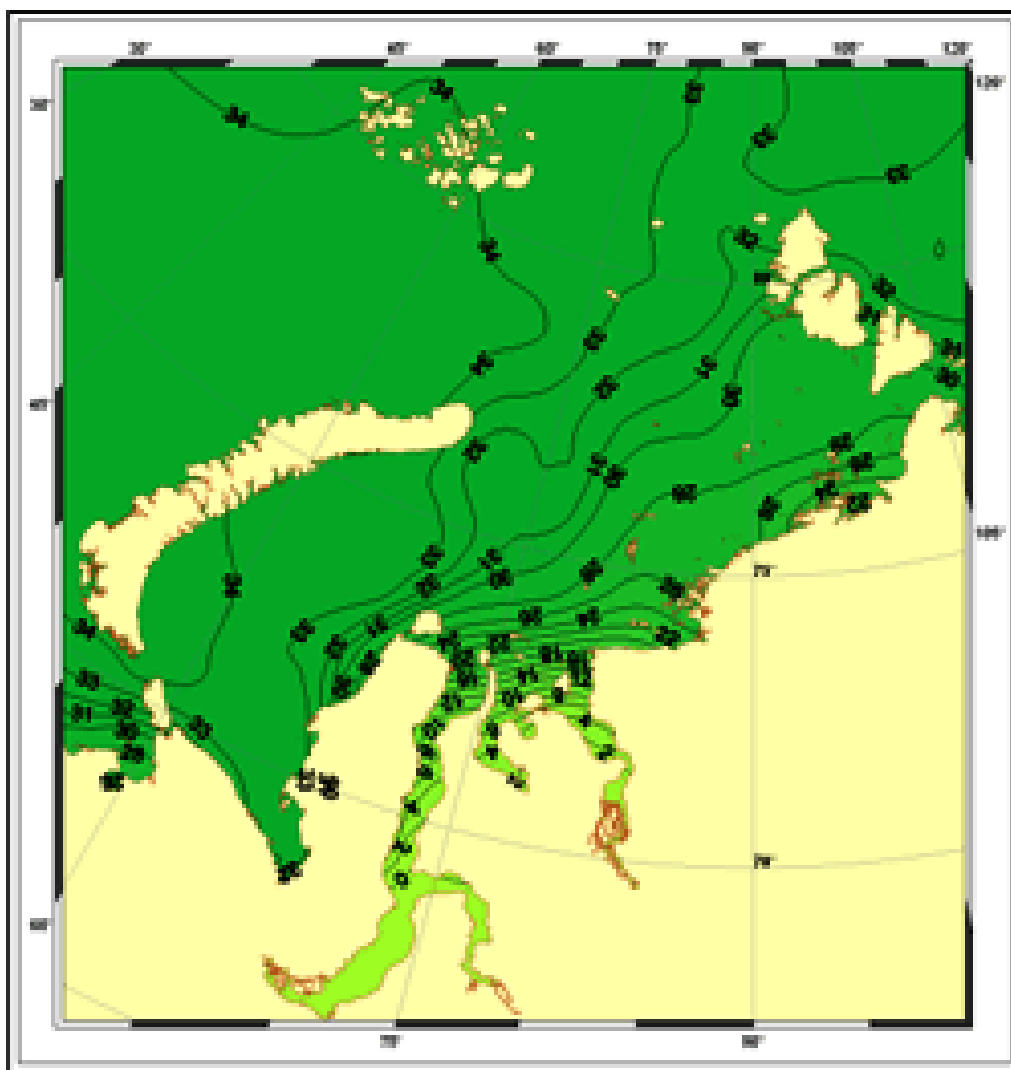


Рис. 1.5 Распределение солености Карского моря зимой

Как только начинается весенний сезон, соленость в море распределяется по вертикали также, как и зимой. Стоит отметить, что увеличившаяся концентрация вод материков берегов приводит к уменьшению солености только на поверхности моря, а с глубиной ситуация резко меняется и соленость начинает расти.

В летний период соленость воды резко изменяется при движении от поверхности к глубине. На поверхности она держится на низком уровне, около 10-20‰, но к моменту погружения на глубину в 10-15 метров, она повышается до 29-30‰. Если спуститься еще ниже, то ее значения плавно возрастут и достигнут отметки 34-35‰ на уровне дна. В северных районах среди дрейфующих льдов, а также в восточной половине моря, вблизи устьев рек,

этот характер распределения солености наиболее ярко выражен. Во время шторма верхний слой воды на 5 метров перемешивается ветром, за счёт чего его соленость становится немного выше, чем до этого и однородной. Глубоко под этим слоем содержание солей значительно возрастает, увеличиваясь по мере углубления. В западной части моря соленость выше, чем на востоке, где наблюдается резкий прыжок содержания солей в глубине вследствие притока однородных и соленых вод из Баренцева моря. (Рис. 1.6)

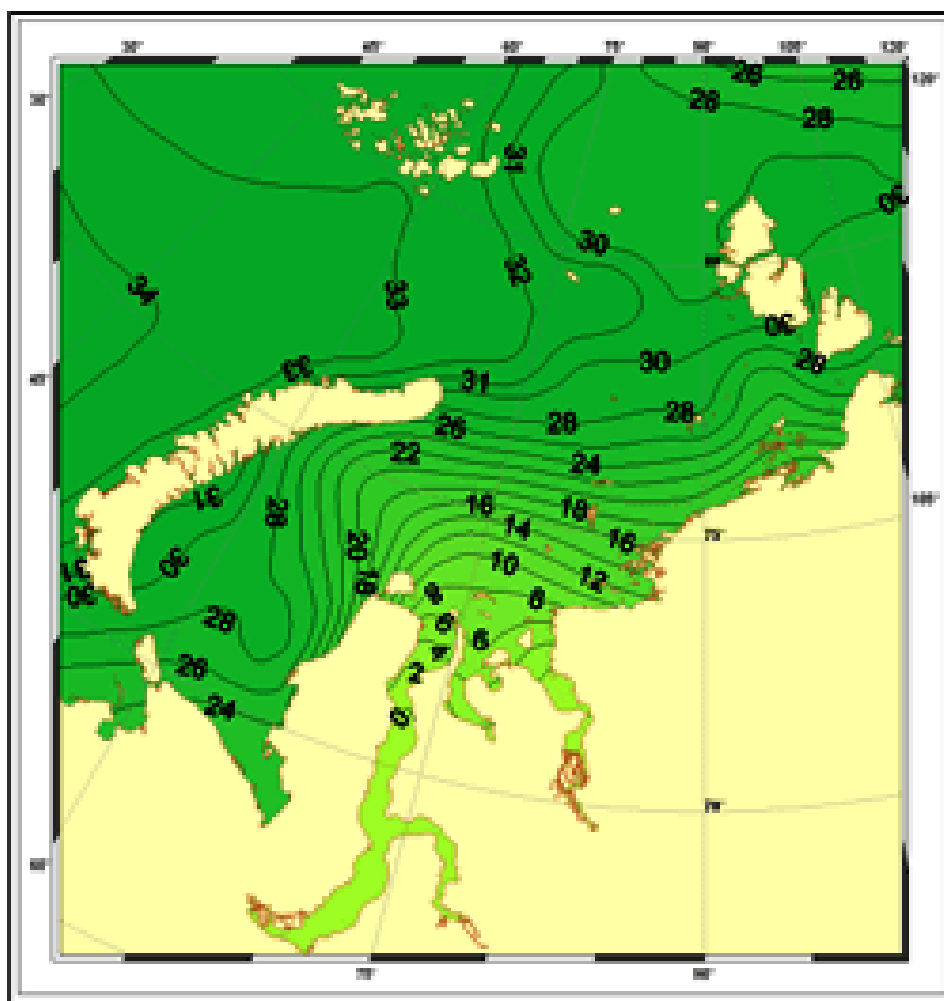


Рис. 1.6 Распределение солености Карского моря летом

Большая часть материковых рек в период осени уменьшает свой поток, а в море начинает замерзать вода. Этот процесс приводит к увеличению солености на поверхности воды, что способствует более равномерному изменению ее солености по вертикали. Также сглаживается перепад солености, что положительно сказывается на общей обстановке в море.

1.2.2 Циркуляция вод

На просторах Карского моря наиболее детально изучены постоянные поверхностные течения. В процессе их формирования играющую ведущую роль играют речной сток и водообмен с другими водоемами, главным образом с Баренцевым морем. Однако, не только эти факторы влияют на циркуляцию вод. Еще одним важным аспектом являются зоны столкновения морских течений, там происходит перемешивание и перераспределение масс воды.

Циркуляция вод Карского моря образуется при взаимодействии различных водных масс, таких как речные стоки и течения Баренцева моря, и имеет против часовой стрелки направление. На юго-западе эта циркуляция ярко выражена, а на севере - менее. Одним из результатов такой циркуляции является образование южного вихря, который возникает в результате воздействия вод западных ветвей Обь-Енисейского течения и Баренцева моря на Карское море через Карские ворота и Югорский Шар.

Течение Обь-Енисея, двигаясь на север, делится на три различные ветви - западную, северную и восточную. Западная ветвь, достигнув северо-восточного побережья Новой Земли, дробится на две ветви. Одна из этих ветвей движется на северо-восток, а другая направляется в сторону юга - это Новоземельское течение. Это течение отделяется от Обь-Енисейского течения в районе Карских ворот, а Литковское течение, которое идет в Баренцево море, выделяется от него. Главный поток поворачивает на восток и сливается с течением из Баренцева моря. Он движется в сторону побережья Ямала, идя по названию Ямальского течения на север, пока не встретит западную ветвь Обь-Енисейского течения. Это замыкает кругооборот поверхностных вод в юго-западной части моря. Северная струя Обь-Енисейских вод движется на северо-восток к островам Северная Земля, а восточная - вдоль Таймырского берега к проливу Вилькицкого. У острова Русский часть этого течения делает поворот на север и направляется вдоль берегов Северной Земли, а затем, несколько

отклоняясь к северо-западу, замыкает северо-восточный круговорот. Скорости постоянных течений изменяются от 5 до 15 см/с. Однако, если они совпадают по направлению с ветровыми течениями, то их скорости увеличиваются до 70-90 см/с. [17]

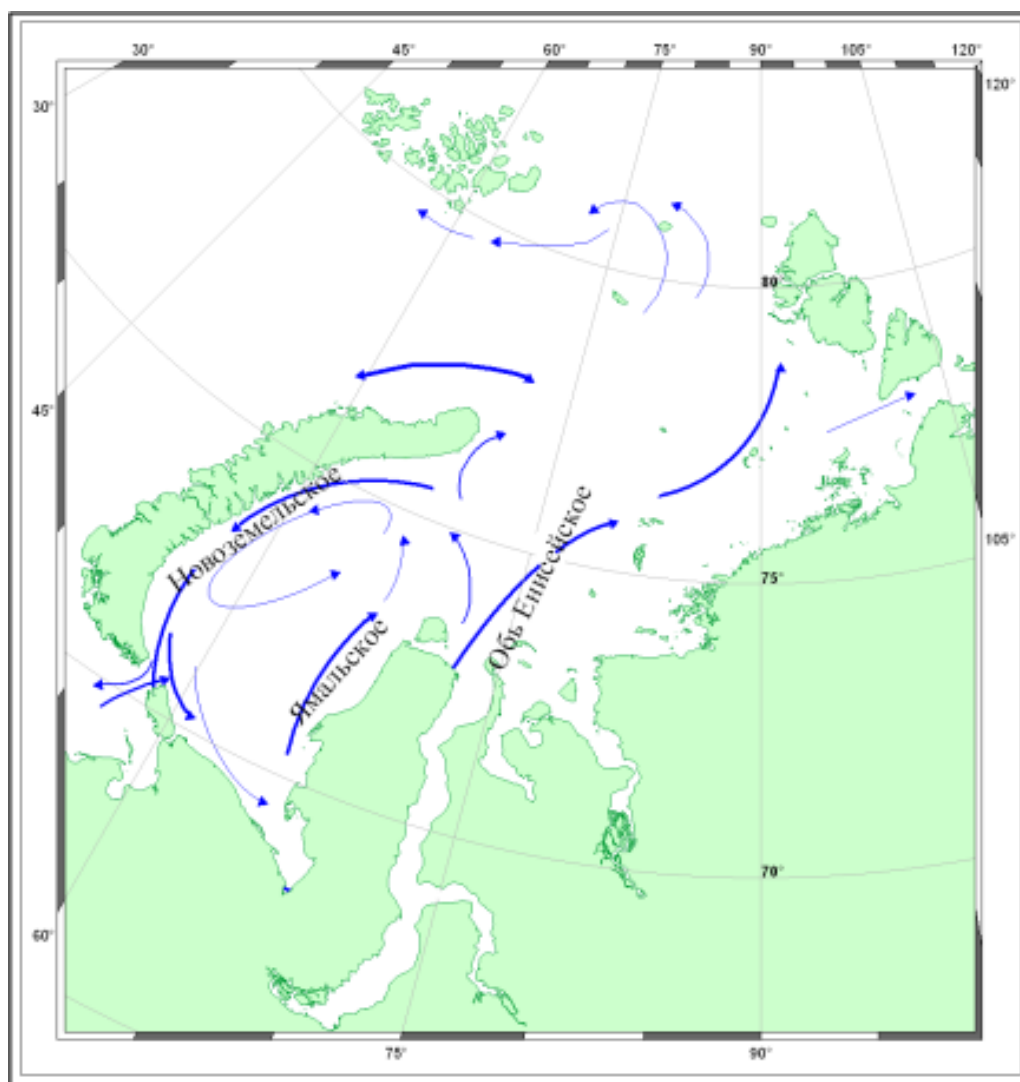


Рис. 1.7 Схема постоянных течений в поверхностном слое моря

Настоящие изменения системы течений вод определяются типом атмосферной циркуляции. Вероятным результатом является либо уменьшение, либо увеличение циклонических круговоротов, а также изменение направления потоков вод из Баренцева моря у мыса Желания на противоположное.

1.2.3 Уровень, приливы, приливные течения.

Причины изменения уровня воды в Карском море – это приливы, атмосферная циркуляция и температурный режим, дающие свои колебания. За счет сезонных изменений давления воздуха в море и соответствующих ветровых потоков, изменение уровня воды в году составляет от 10 до 50 см. Колебания уровня воды, вызванные приливами и отливами, в целом не сильны, составляя от 50 до 80 см в море и еще меньше в зоне ледяного покрова.

Колебания уровня на берегах Новой Земли и Северной Земли достигают примерно 50 см из-за гонно-нагонных воздействий. Однако на прибрежной части Карского моря, значения повышаются до 1 м, а в Енисейском заливе и Обской губе достигают 2 м. Обычно приливы имеют регулярный полусуточный характер, но на крайнем северо-востоке отмечаются и суточные колебания уровня.

Сложность общей картины приливоотливных явлений в Карском море происходит из-за различных направлений приливных волн, поступающих в море. Их источники находятся как на западе - между Новой Землей и Землей Франца-Иосифа, так и через Новоземельские проливы, и из Баренцева моря. На севере они приходят из Арктического бассейна, а на востоке - из моря Лаптевых. Прибывающие через Новоземельские и Североземельские проливы приливные волны имеют ограниченное воздействие на море из-за ограниченного района влияния. Главную роль играют приливные волны, которые распространяются на юг от севера вдоль восточного побережья Новой Земли и западного побережья Северной Земли. К северу от острова Уединения эти волны соединяются в единую волну, которая отражается от юго-западных берегов, образуя поступательно-стоячую волну. Движение приливной волны возбуждает приливные течения, которые во многих местах Карского моря достигают значительных величин. Например, у острова Белого и в Карских Воротах скорости приливных течений достигают 1,5 м/с.

1.3 Ледовые условия

Географическое положение Карского моря вызывает ежегодное замерзание. Не только само море покрывается льдом, но и лед поступает из Центрального Арктического бассейна. Льдовый покров сохраняется на протяжении большей части года, за исключением юго-западной части, где он присутствует лишь 8-9 месяцев в году - с ноября по июнь-июль.

В летний период на северо-восточной части моря сохранился лед, который не полностью уступает место. Начало льдообразования разное для разных мест: северные районы - в сентябре, а южные - в октябре-ноябре. Зимой можно увидеть неподвижные припай льда на берегах, за которыми располагаются плавучие льды. В основном это обширные ледяные поля. Толщина льда нарастает зимой и в летний период может достигать от 0,5 до 1,5 метров.

Таяние ледяного покрова начинается в его юго-западной части в среднем лишь в конце мая. В июне вытаивают молодые и однолетние тонкие льды в полыньях и в разводьях и частично однолетние средние льды. В процессе таяния ледяного покрова образуются обширные дрейфующие поля вследствие взлома и постепенного разрушения припая. Раньше всего припай начинает разрушаться в Амдерминском районе, где он в 80 % случаев окончательно разрушается уже в июне. [5], [7], [8]

1.3.1 Ледообразование в юго-западной части Карского моря

Описание ледового режима юго-западной части Карского моря включено в данную работу исходя из того, что почти вся хозяйственная деятельность этого региона осуществляется в интересах развития европейской экономики. Морские транспортные перевозки являются главным

направлением этой деятельности. Они включают в себя круглогодичный обмен грузами между пунктами на побережье моря и пунктами европейской части России. Освоение огромных запасов газа на Ямале, и транспортировка их в Европу, поставка в районы месторождений оборудования, материалов для нефтегазовых промыслов осуществляется морским путем.

Думанская И.О. отметила, что интенсивное ледообразование в южных и северных районах Обской губы обычно начинается во второй декаде октября (в районе Тамбея устойчивое ледообразование начинается в среднем 13 октября, в районе Нового Порта – 12 октября). Распространяясь навстречу друг другу, обе волны ледообразования к концу второй декады октября смыкаются. Вся Обская губа к этому времени покрывается дрейфующим льдом.

В Енисейском заливе устойчивое ледообразование в районе Сопочной Карги начинается в среднем 11 октября (раннее – 15 сентября 1956 г., позднее – 28 октября 1951 г.). На Енисее в районе Игарки и Дудинки устойчивое ледообразование начинается в среднем 17 октября. При этом наиболее раннее ледообразование наблюдалось в Игарке 7 октября 1981 г., в Дудинке – 3 октября 1984 года. Позднее ледообразование наблюдалось в Игарке 3 ноября 1983 г., в Дудинке – 1 ноября 1947 года. [1]

В открытой части Карского моря волна ледообразования движется с северо-востока на юго-запад. К середине октября (в среднем 16 октября) фронт устойчивого ледообразования достигает о. Белый. [1]

Одним из интересных явлений, фиксируемых в районе мыса Желания, является устойчивое ледообразование, которое начинается в конце октября. Но не только там образуется лед - Байдарацкая губа также попадает под его влияние. В середине ноября процесс распространяется на всю юго-западную часть моря, однако в проливе Карские Ворота он может замедляться из-за прогрева воды и приближения баренцевоморских потоков относительно теплых. [1]

С сентября уже начинают появляться первые формы льда в районе мыса Желания, а к началу октября ледообразование охватывает все море, кроме крайнего юго-западного участка на восточных подходах к проливу Карские Ворота. К 10 октября появляется дрейфующий лед в виде ниласа, а также начальные формы льда в проливе Карские Ворота.

Однако, из-за раннего очищения моря в предыдущем ледовом периоде и большого теплосодержания поверхностного слоя воды, ледообразование может происходить в поздние сроки осени. Например, в районе западнее острова Белый ледообразование может начаться только после 10 ноября. А в районе мыса Желания и на восточных подходах к проливу Карские Ворота при таких условиях ледообразование может начаться лишь в конце декабря. [1]

Проанализировав полученные результаты, Думанская пришла к выводу, что за последнее 30-летие (1980-2012гг.) средние даты первого и устойчивого ледообразования в юго-западной части Карского моря сдвинулись в сторону более поздних сроков на 3–4 дня. Средние даты очищения моря ото льда сдвинулись в сторону более ранних сроков на крайнем юго-западе (к западу от о. Белый) на 1–2 недели, на востоке юго-западного района (к востоку от о. Белый) – на 1–5 дней. Продолжительность ледового периода сократилась в среднем на крайнем юго-западе (к западу от о. Белый) на 1,5–2,5 недели, на востоке юго-западного района (к востоку от о. Белый) – на 5–8 дней.

1.3.2 Очищение ото льда юго-западной части Карского моря

В среднем юго-западный ледниковый покров начинает таять в конце мая. В июне вытаивают молодые и однолетние тонкие льды в полыньях и в разводьях и частично однолетние средние льды. В процессе таяния ледяного покрова образуются обширные дрейфующие поля вследствие взлома и постепенного разрушения припая. Раньше всего припай начинает разрушаться

в Амдерминском районе, где он в 80 % случаев окончательно разрушается уже в июне.

В середине июля происходит разрушение льда вдоль Ямальского побережья и в Обь-Енисейском районе, что обусловлено динамическими и тепловыми процессами. Этот процесс открывает половину юго-западной части моря, что очень быстро приводит к таянию льда вблизи берегов. Однако пока еще остаются центральные районы юго-западной части моря, где лед еще держится в июне-июле. Вплоть до конца августа - начала сентября происходит полное очищение территории от льда. Стоит отметить, что на северо-восточной части происходит медленное таяние льда, в отличие от юго-запада.

Период взлома припая обычно начинается в начале июня, но его края на этом этапе еще неустойчивы. В июле обычно наблюдаются наибольшие повреждения. К началу августа припай сохраняется только на узкой полосе прибрежной зоны между южной частью архипелага Норденшельда и шхерами Минина. Конец сентября характеризуется окончанием таяния льда, и только половина района все еще занята льдами. Летом, особенно в июле и августе, происходит интенсивная очистка моря, и к концу августа примерно 60% акватории уже освобождено ото льда благодаря юго-западной части моря.

С приближением сентября и началом осени процессы таяния на морской поверхности постепенно уменьшаются, в связи с приближением конца летнего периода. Тем не менее, около 10-15% поверхности моря освобождаются ото льда благодаря дрейфу и таянию. В то же время в северных районах моря начинает формироваться лед, указывая на приближение холодного времени года. При таянии ледового покрова моря, с показателем сплоченности около 7-10 баллов, ледяные массивы становятся локализованными. Новоземельский

массив находится в юго-западной части моря, а Североземельский и Северный Карский массивы находятся в северо-восточной части. (Рис. 1.8).



Рис. 1.8 Положение ледяных массивов Карского моря: 1 – Новоземельский массив; 2 – Северный Карский массив; 3 – Североземельский массив.

Обособление Новоземельского массива обычно начинается в начале июня, однако скорость уменьшения площади массива в июне достаточно низкая и он часто блокирует пролив Карские Ворота. В июле активизируется поступление теплой баренцевоморской воды через пролив Карские Ворота, прогреваются воды Обь-Енисейской полыньи, распространяющейся как на север, так и на запад в направлении Новоземельского массива, активно

увеличивается разрушенность льда в массиве, происходит резкий скачок в скорости разрушения массива. В это время формируется зона редких льдов и чистой воды вдоль линии, соединяющей о. Диксон и м. Желания.

В августе в 80% случаев ледяной покров северной части моря тает. Однако, западные подходы к Североземельскому архипелагу и проливу Вилькицкого блокирует более чем половину летнего периода Североземельский массив, и до начала ледообразования до 20-25% его площади остается покрыто льдом. В середине августа происходит разделение сплоченных льдов северо-восточной части моря на два массива, при этом северо-западные районы занимает Северный Карский массив. Его ледяные формации разрушаются медленнее других ледяных массивов моря, и до 40% его площади остается не вытаявает в летний период. Важно отметить, что эти особенности ледового покрова могут повлиять на планирование навигации в этих регионах в летний период. [1]

В западном, центральном или восточном положении может находиться Новоземельский ледяной массив в летний период. Наиболее часто встречается западное положение (60% случаев), при котором льды прижаты к Новой Земле. Это положение способствует развитию Ямальской полыни, а также очищению района западнее острова Белый, которое распространяется с востока на запад. При центральном положении Новоземельского ледяного массива ядро сплоченных льдов располагается в центральной части акватории. В этом случае и Новоземельская, и Ямальская полынь получают активное развитие, и очищение происходит с востока и запада к центру акватории. [1]

Сроки очищения моря ото льда зависят, помимо суровости зимы и наступления дат перехода среднесуточной температуры воздуха через 0 °С, от развития заприпайных полыней, поступления теплых баренцевоморских и речных вод. [1]

1.3.3 Влияние ледовых процессов на судоходство и добычу углеводородов в юго-западной части Карского моря

При решении навигационных вопросов важно учитывать ледовые и гидрометеорологические условия. Это позволяет планировать морские операции в ледовый период, определять сроки начала и конца навигации и прокладывать оптимальные курсы плавания с учетом технических возможностей судов и ледоколов. Такой учет играет значительную роль в обеспечении безопасности при морских перевозках.

В начале летней навигации на трассе Северного морского пути (в конце июня – начале июля), как на западных подходах к проливам Карские Ворота и Югорский Шар, так и у м. Желания, можно встретить лед. Обычно лед затрудняет подход к проливам Карские Ворота и Югорский Шар с востока и запада только до первой декады июля. [1]

От ледовых условий в юго-западной части Карского моря зависит выбор пролива для входа в него из Баренцева моря, а также дальнейшее следование к о. Диксон. Лед можно встретить на трассе Северного морского пути в начале летней навигации, то есть в конце июня или начале июля. Он присутствует как на западных подходах к проливам Карские Ворота и Югорский Шар, так и у м. Желания. Обычно лед затрудняет подход к проливам Карские Ворота и Югорский Шар с востока и запада только до первой декады июля. В отдельные годы Новоземельский ледяной массив, выносимый из Карского моря, может блокировать подход с запада к проливу Карские Ворота до конца июля. Тогда более удобным может оказаться выход в Карское море через пролив Югорский Шар. Повторяемость такой ситуации составляет 20%. Если же неблагоприятные ледовые условия на подходах к проливам Карские Ворота и Югорский Шар сочетаются с трудной ледовой обстановкой в юго-западной части Карского моря, рекомендуется следовать к о. Диксон, обходя острова архипелага Новая Земля с севера. (Рис.1.9)



Рис. 1.9 Основные традиционные плавания судов в юго-западной части Карского моря:

Сплошная линия я – изобата 20 м; пунктир – традиционные трассы;

1 – Карские Ворота – Харасавей – о. Белый – о. Диксон; 2 – Карские Ворота – о. Белый – о. Диксон; 3 – Карские Ворота – восточное побережье Новой Земли – о. Диксон; 4 – м. Желания – о. Диксон.

Выбор пути в Карском море от м. Желания к о. Диксон определяется взаиморасположением Новоземельского и Северного Карского ледяных массивов. Маршрут № 1 в период летней навигации используется при западном положении Новоземельского ледяного массива и хорошо развитой Ямальской полынье. При плавании по маршруту № 1 вдоль западного побережья п-ова Ямал рекомендуется следовать западнее 20-метровой

изобаты. При наличии под берегом сплоченного льда судам приходится двигаться через разреженный лед по кромке Новоземельского массива, а если лед дрейфует на восток под действием ветров западной четверти, то даже углубляться в массив. Такие условия могут значительно увеличить продолжительность ледокольной проводки судов на пути от пролива Карские Ворота до о. Диксон, хотя лед Новоземельского массива в первой половине июля обычно ослаблен таянием. [1]

Маршрут № 3 оптимален при восточном положении Новоземельского ледяного массива. В этом случае Новоземельская полынья хорошо развита и может быть использована для безопасного судоходства. [1]

Судам усиленного ледового класса, плавающим от пролива Карские Ворота и пролива Югорский Шар к о. Диксон, удаётся осуществлять безледокольное плавание в среднем с конца июля, а в наиболее благоприятные годы – с середины июня. При отсутствии затруднений со стороны льда и возможности выбора пути, судам рекомендуется следовать трассам, проходящим по кратчайшим путям с учётом глубин. Маршрут № 2 является кратчайшим путём при движении из Карских Ворот в Енисейский залив.

Плавание судов в зимний период по трассам Северного морского пути (СМП) осуществляется под проводкой ледоколов. Капитаны ледоколов должны определить маршрут движения и проводки судов, который зависит от навигационных особенностей района, технических характеристик судов, метеорологической и ледовой обстановки на акватории. Перед началом движения капитаны ледоколов должны согласовать маршрут движения с капитанами проводимых судов. Проводка судов по трассам СМП осуществляется в период навигации, сроки которой (а также типы ледоколов, допущенных к плаванию по СМП) определяются администрацией Северного морского пути (АСМП) с учетом состояния ледовых условий. [1]

В течение 5 месяцев трасса полностью покрыта льдом как в мягкие, так и в суровые зимы. Однако, в суровые зимы ледовое покрытие сохраняется на

трассе дольше - от 7 до 9 месяцев. В середине июня после мягкой зимы общая протяженность ледовых зон составляет примерно 300 миль, после умеренной зимы - 660 миль, а после суровой зимы - 700 миль, что означает покрытие льдом всей трассы. Однако, после мягкой зимы в середине июля общая протяженность ледовых зон составляет всего 90 миль с ледяной сплоченностью от 1 до 4 баллов. После умеренной зимы длина ледовых зон увеличивается до 250 миль, а после суровой зимы - до 620 миль. После самой суровой зимы вся трасса снова покрыта льдом на 700 миль. [1]

Удачное планирование морских операций в ледовый период и выбор оптимальных курсов плавания зависят от учета многих факторов. Среди самых значимых - ледовые и гидрометеорологические условия. Именно они позволяют определить сроки начала и конца навигации, а также выбрать оптимальные маршруты для судов и ледоколов. Например, современные ИСЗ и гидрометеорологические станции позволяют получать ценные данные, необходимые для составления рекомендаций по прокладке маршрутов во льдах Карского моря. Кроме того, для принятия правильного решения важно учитывать прогнозы погоды и ледовой обстановки в море. Все эти факторы помогают определить оптимальный путь движения судна, учитывая его технические характеристики и способности ледоколов. Именно поэтому учет ледовых и гидрометеорологических условий так важен для решения навигационных вопросов и обеспечения безопасности плавания в условиях сурового северного климата.

Одной из основных составляющих развития нефтегазовой промышленности в юго-западной части Карского моря являются морские транспортные перевозки. Их организация и проведение тесно связаны с освоением месторождений углеводородов Южно-Карского комплекса. Особое внимание при этом уделяется крупнейшим газоконденсатным месторождениям – Русановскому и Ленинградскому.

Несмотря на значительные сложности транспортировки и хранения нефти и газа на морском пути, использование морских перевозок позволяет оптимизировать транспортную логистику и существенно уменьшить эксплуатационные затраты. Также этот вид перевозок является наиболее экологически безопасным и экономически эффективным способом доставки ресурсов на материковую часть.

Для обеспечения безопасности и эффективности морских транспортных перевозок необходимы высококвалифицированные специалисты и современное оборудование, включая специализированные суда, порты, терминалы и системы мониторинга. Кроме того, необходимо учитывать особенности морского транспорта в условиях арктической зоны, где экстремальные погодные условия и наличие льда могут создавать проблемы и вызывать опасность для перевозок и работников на объектах Южно-Карского комплекса.

Тем не менее, с учетом перспектив развития арктических нефтегазовых месторождений и растущих потребностей рынка, морские транспортные перевозки в юго-западной части Карского моря приобретают все большую значимость и востребованность. (Рис. 1.10).[1]



Рис. 1.10 Расположение крупных месторождений углеводородов Южно-Карского нефтегазового комплекса

В этот комплекс входят также:

– крупные месторождения п-ова Ямал (Харасавейское газоконденсатное, Бованенковское нефтегазоконденсатное, Арктическое нефтегазоконденсатное, Северо-Тамбейское газоконденсатное, Южно-Тамбейское нефтегазоконденсатное и др.);

– газоконденсатные месторождения южно-карского мелководья (Харасавейское-море, Крузенштерновское, Западно-Шараповское);

– месторождения, открытые на побережье и на мелководной акватории южной части Обской губы (газоконденсатные – Каменномысское, СевероКаменномысское, Обское, Ямбургское, а также нефтегазоконденсатные – Парусное, Новопортовское и др.);

– месторождения, открытые на побережье и на акватории Тазовской губы (газоконденсатные – Юрхаровское, Семаковское, Антипаютинское, Тота-Яхинское, Чугорь-Яхинское и др.). [1]

Сырьевая база акваторий Обской и Тазовской губ составляют по предварительным оценкам 22 % ресурсов газа всего Карского бассейна. На шельфе у побережья п-ова Ямал сырьевая база формируется за счет уникальных по запасам газоконденсатных месторождений Ленинградского и Русановского, шельфовых участков Харасавейского и Крузенштерновского месторождений и других перспективных объектов. Ресурсы газа этого района составляют 48 % суммарных ресурсов газа Карского моря. Работы на морском шельфе значительно дороже аналогичных работ на суше. [1]

Лед представляет большую опасность для буровых платформ. Особенно опасны ледяные образования в виде торосов и стамух, которые располагаются в непосредственной близости от платформ и трубопроводов. Механическое воздействия льда на дно моря, а также на гидротехнические сооружения, расположенные на шельфе, начинается с момента его образования. Осенью в период ветровых нагонов молодые льды могут выдавливаться на сушу. На берегах и на дне вблизи уреза воды в результате надвигов и навалов формируются борозды, ямы, напорные валы, представляющие из себя груды грунта и льда. Подводные валы становятся ядрами торосения.

Наиболее интенсивно лед воздействует на дно на кромке припая, где в течение всего зимнего периода формируются гряды и барьеры торосов, кили

которых могут достигать дна. Борозды ледовой пропашки, образующиеся при движении ледовых образований, в прибрежной зоне (до глубин 3–6 м) ориентированы преимущественно по нормали к берегу, далее в море борозды выпахивания располагаются хаотично. Характерная длина борозд пропашки 100–1000 м. Самые крупные борозды, измеренные в Байдарацкой губе на участке исследования дна от уреза воды до глубины 23 м, достигают 2,5 м в глубину и 60–75 м в ширину. [1]

1.3.4 Ледовые условия в портах юго-западной части Карского моря на примере порта Диксон.

Расположенный на побережье Карского моря у входа в Енисейский залив, Диксон является российским арктическим морским портом. Он находится на территории поселка Диксон Красноярского края. Порт играет важную роль в обеспечении жизнедеятельности поселка Диксон, арктических экспедиций и полярных станций, а также для гидрометеорологического и гидрографического обслуживания трассы Севморпути и военных объектов. [17]

Перегрузочный комплекс порта включает главный причал с причальными стенками, три портовых крана, автопогрузчики, крытые склады и открытые складские площадки. Длина главного причала – 100 м, глубина у причальной стенки – 14 м, что дает возможность принимать довольно крупные суда. К недостаткам относится устаревшая материальная база – причал работает с 1941 года. Развитие порта в будущем предположительно будет связано с добычей угля на материке и углеводородов – на шельфе. [1]

Первое появление льда в районе порта происходит в среднем в первой пятидневке октября. Самое раннее появление льда в районе порта отмечено 17 сентября 1958 г., а самое позднее – 25 октября 1985 года. Сроки устойчивого

ледообразования, как правило, совпадают со сроками первого появления льда. В среднем в середине октября происходит полное замерзание порта.

Наибольшей за зиму толщины лед достигает в середине мая (в среднем 150–160 см). Максимальная толщина льда в районе порта – 213 см (1969 г.).

Средняя дата взлома припайного льда в районе порта Диксон – 17 июля. Окончательное очищение акватории порта происходит в среднем 25 июля, при экстремальных сроках: раннее очищение – 4 июля 2012 г.; позднее – 31 августа 1966 года.

Продолжительность ледового периода на акватории порта от первого появления льда до окончательного очищения в среднем составляет 293 дня, изменяясь от 262 дней (1944/1945 гг.) до 324 дней (1965/1966 гг.). В 1974 г. район Диксона не очищался ото льда в течение всей летней навигации.

За последнее 30-летие сроки ледообразования и замерзания в порту Диксон сдвинулись на 2–3 дня в сторону более поздних дат, по сравнению со средними многолетними данными. Сроки полного очищения акватории порта ото льда сдвинулись на 5 дней в сторону более ранних дат. Средняя продолжительность ледового периода составила 287 дней, сократившись, по сравнению со средней многолетней продолжительностью, на 6 дней.

Глава 2. Исходные данные и методы их статистического анализа

2.1 Исходные данные

В работе исследуется межгодовая изменчивость площади льда Карского моря. Исходными данными послужили среднемесячные значения площади льда Карского моря с 1978 по 2022 года (National Centers for Environmental Information), а также ежедневные значения температуры атмосферы – п.Диксон, г.Амдерма, м.Голомянный, м.Болванский нос, м.Стерлегова и о.Визе за тот же период (Специализированные массивы для климатических исследований) для расчета суммы градусо-дней мороза (СГДМ).

Таблица 2.1 Выбранные метеорологические станции на Карском море.

Номер п/п	Индекс	Название
1	20674	Диксон
2	23022	Амдерма
3	20087	м. Голомянный
4	20946	м. Болванский нос
5	20476	м. Стерлегова
6	20069	о. Визе



Рис.2.1 Выбранные метеорологические станции на Карском море

2.2 Методы анализа исходных данных

Для исследования межгодовой изменчивости площади льда Карского моря в данной работе были использованы следующие методы исследования:

- Анализ тренда временного ряда
- Расчет трендовой составляющей
- Анализ среднегодовых температур воздуха

- Кластерный анализ
- Расчет СГДМ

2.2.1 Анализ тренда временного ряда и его расчет

Для применения большинства методов анализа временного ряда одним из основных требований к ряду является его стационарность.

Стационарность - неизменность его основных статистических характеристик во времени. Процессы, которые протекают во времени практически однородно, описывают стационарные случайные процессы. В частности, это касается его среднего значения и дисперсии. Поэтому на первом этапе анализа временного ряда оценивается его стационарность, и, если она не проявляется, ряд преобразовывают к стационарному виду.

В случае нестационарности ряда среднее значение и/или дисперсия для частей выборки могут иметь непрерывный характер изменения, или же меняться скачкообразно. В первом случае говорят, что ряд имеет тренд (по математическому ожиданию или по дисперсии).

С другой стороны, в генеральной совокупности (ГС) могут происходить некоторое колебание, и, выбирая выборку из ГС, мы можем не захватить это колебание по всей длине выборки. Тогда оно будет отражено в нашей выборке как тренд.

Исходя из вышесказанного, тренд отражает наличие во временной изменчивости исследуемой характеристики длиннопериодного колебания с периодом, существенно превышающим длину выборки.

Благодаря этому можно сделать вывод, что тренд может быть линейным или квадратичным, в зависимости от того, на какую часть длиннопериодного колебания попала выборка.

Сформулируем уравнение линейного тренда:

$$y = a_1 t + a_0 + \varepsilon \quad (2.1)$$

и уравнение нелинейного (квадратичного) тренда:

$$y = a_2 t^2 + a_1 t + a_0 + \varepsilon \quad (2.2)$$

где t - время.

Основными характеристиками тренда являются:

1. Коэффициент детерминации r^2 (для линейного тренда) или его нелинейный аналог η^2 , характеризующий вклад тренда в общую дисперсию ряда. Вклад может являться значительным или незначимым. Определяется это на основании проверки коэффициента корреляции r или η на значимость.

В случае незначимости коэффициента корреляции считается, что тренда нет.

2. Величина тренда - изменение характеристики по линейному тренду за определенный промежуток времени. Для среднегодовых рядов, как правило, величина тренда рассчитывается за 10 лет, для среднемесячных - за год.

Чтобы оценить тренд на значимость проводится его проверка на сколько существенен его вклад в изменчивость случайного процесса. Для этого используют критерий Стьюдента и записывается нулевая гипотеза по отношению к коэффициенту регрессии a_1 и коэффициенту корреляции r :

$$H_0: |a_1| = 0, \quad H_0: |r| = 0 \quad (2.3)$$

Далее рассчитывается выборочный критерий Стьюдента, причем, чтобы облегчить оценку значимости тренда, можно показать, что $t_r = t_{a_1}$. Критерий Стьюдента для проверки гипотезы используется в виде:

$$t = \frac{|r|\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} \quad (2.4)$$

Далее осуществляется проверка неравенства:

$$t > t_{кр}(\alpha, v = n - 2) \quad (2.5)$$

Если его оценка больше его критического значения при заданном уровне значимости, то тренд считается значимым.

Отметим, что формулы (2.1) и (2.2) описывают тренд по среднему арифметическому. Такой вид трендов наиболее часто встречается в природных процессах.

Если окажется так, что в исследуемой выборке и линейный, и нелинейный тренды значимы, тогда при анализе предпочтение отдадут нелинейному тренду, если он вносит больший вклад (более чем на 5%) в дисперсию выборки, или линейному - в обратном случае.

2.2.2 Кластерный анализ

Кластерный анализ – это совокупность методов и алгоритмов теории распознавания образов, направленных на решение процедуры классификации множества объектов в многомерном пространстве признаков посредством процедуры самообучения.

Классификация – это разбиение множества объектов (явлений, процессов и т.п.) на ряд однородных подмножеств (классов, групп, таксонов и т.п.) по наиболее существенным признакам их сходства. Ясно, что объекты, отнесенные к одному классу, должны быть сходны между собой и отличаться от объектов других классов. Поэтому можно считать, что классификация – это эффективное средство выделения наиболее важных особенностей исходных объектов и обобщение наших представлений о них. [16]

В этой работе я воспользовалась пакетом анализа PAST4 для расчета КА.

2.2.3 Расчет СГДМ

Сумма градусо-дней мороза за зимний период рассчитывается как сумма отрицательных температур воздуха:

$$\sum(-T)_a = \text{СГДМ} \quad (2.9)$$

где T_a – среднесуточная температура атмосферы

СГДМ выполняется с целью определения трех классов суровости зим (суровая, умеренная и мягкая) по всем станциям.

Глава 3. Результаты расчетов

3.1 Расчет трендовой составляющей Карского моря

В ходе исследования изменчивости ледовитости Карского моря использовался анализ временного тренда. Основные характеристики - коэффициент детерминации (R^2) и коэффициенты регрессии (a и b).

Уравнение линейного тренда для ледовитости (K) и времени (t):

$$K = -5717,8x + 1E + 07$$

Далее была проведена проверка коэффициентов регрессии (a и b).

Таблица 3.1. Характеристики линейного тренда среднегодового ряда

<i>Регрессионная статистика</i>					
Множественный R	0,810961253				
R-квадрат	0,657658154				
Нормированный R-квадрат	0,649507158				
Стандартная ошибка	53618,19073				
Наблюдения	44				
<i>Дисперсионная статистика</i>					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Значимость F</i>
Регрессия	1	2,3196E+11	2,3196E+11	80,68	2,49683E-11
Остаток	42	1,20746E+11	2874910378		
Итого	43	3,52707E+11			
	<i>Коэффициенты</i>		<i>Стандартная ошибка</i>		<i>t-статистика</i>
Y-пересечение	12095987,8		1273453,995		9,498566764
Переменная X 1	-5717,82		636,56		-8,982448911
t*a	t*b	t _{кр}			

8,98	9,5	2,02
------	-----	------

При проверке коэффициента корреляции на значимость была сформулирована нулевая гипотеза $H_0: r = 0$; альтернативная $H_1: r \neq 0$ и выбраны критерий Стьюдента и его критическое значение ($t_{кр}=2,02$).

$$t * a > t_{кр}$$

$$t * b > t_{кр}$$

$$8,98 > 2,02$$

$$9,5 > 2,02$$

По результатам проверки оба коэффициента регрессии оказались статистически значимыми, т.к. $t * a = 8,98$, $t * b = 9,5$, критерий Стьюдента при a и b оказался больше критического.

Уравнение нелинейного тренда для ледовитости (K) и времени (t):

$$K = -80,672x^2 + 317053x - 3E + 08$$

Таблица 3.2. Характеристики нелинейного тренда среднегодового ряда

<i>Регрессионная статистика</i>					
Множественный R	0,821291659				
R-квадрат	0,674519989				
Нормированный R-квадрат	0,658642916				
Стандартная ошибка	52914,78536				
Наблюдения	44				
<i>Дисперсионная статистика</i>					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Значимость F</i>
Регрессия	2	2,37908E+11	1,18954E+11	42,48389866	1,01566E-10
Остаток	41	1,14799E+11	2799974509		
Итого	43	3,52707E+11			

		Коэффициенты	Стандартная ошибка	t- статистика	P-значение
Y-пересечение		-310742057,7	221518248,6	-1,40278311	0,168208966
Переменная X 1		-5717,82	636,56	-8,982	0,159841159
Переменная X 2		-80,67242222	55,35322226	-1,457	0,152620111
t*a	t*a2	t*b	t _{кр}		
1,46	8,98	1,4	2,02		

При проверке коэффициента корреляции на значимость была сформулирована нулевая гипотеза $H_0: r = 0$; альтернативная $H_1: r \neq 0$ и выбраны критерий Стьюдента и его критическое значение ($t_{кр} = 2,02$).

$$t * a > t_{кр} \qquad t * a_2 > t_{кр} \qquad t * b > t_{кр}$$

$$1,46 < 2,02 \qquad 8,98 > 2,02 \qquad 1,4 < 2,02$$

По результатам проверки коэффициенты a и b оказались незначимы, т.к. $t * a = 1,46$, $t * b = 1,4$, а $t_{кр} = 2,02$. Только один коэффициент регрессии оказался статистически значимым, т.к. критерий Стьюдента при $a_2 = 8,98$ оказался больше критического. Следовательно, тренда нет.

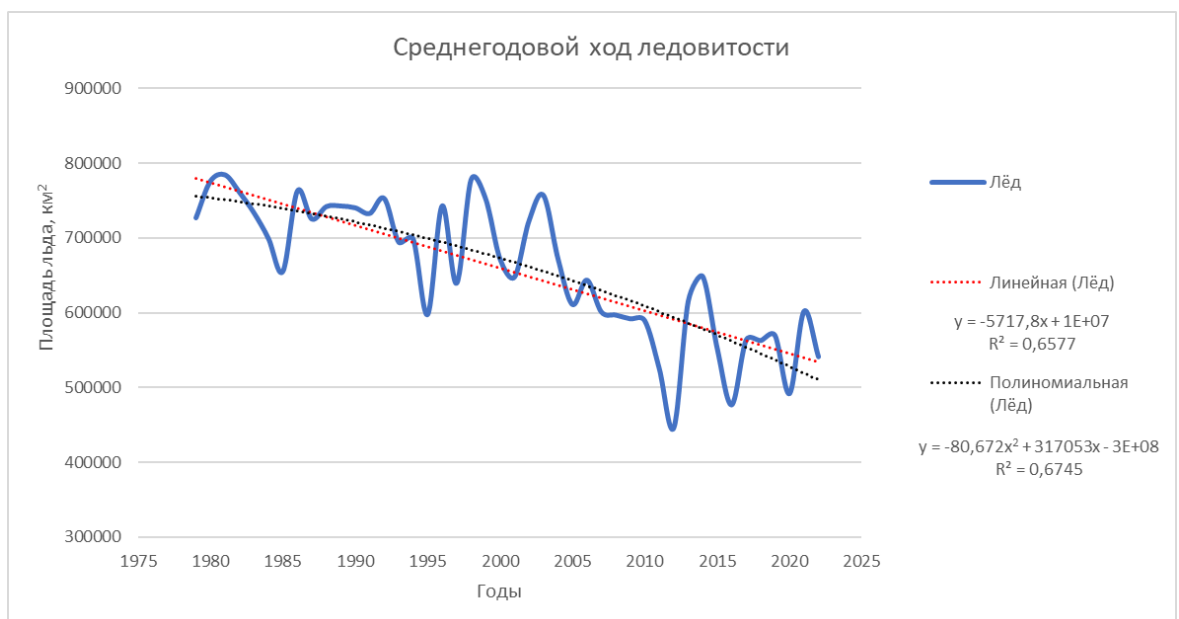


Рис. 3.1. График среднегодового хода ледовитости и его линейный и нелинейный тренды

График среднегодовой ледовитости Карского моря показывает отрицательный тренд - сокращение льда составляет 57 тыс. км² за 10 лет. Максимальная площадь льда 784тыс.км² наблюдалась в 1981 году. Минимальная площадь льда – чуть более 445тыс.км² наблюдалась в 2012 году. Следует отметить, что с 2003 по 2012 год площадь льда уменьшалась с 757тыс.км² до 445тыс.км², однако, с 2015 года наблюдается некоторое колебание площади льда около среднего значения – 560тыс.км².

3.2 Анализ среднегодовых температур воздуха

Анализ среднегодовых температур воздуха на всех выбранных станциях начинается со скачивания данных среднемесячных температур воздуха за период с 1977 г. по 2021 г. с сайта библиотеки климатических данных aisoru.meteo.ru. По полученным данным были сформированы таблицы среднемесячных температур воздуха для каждой станции, затем, были найдены среднегодовые температуры атмосферы, а также построен график.

Таблица 3.3 Среднегодовые температуры воздуха на станции Диксон с 1977 по 2021 гг.

	<i>январь</i>	<i>февраль</i>	<i>март</i>	<i>апрель</i>	<i>май</i>	<i>июнь</i>	<i>июль</i>	<i>август</i>	<i>сентябрь</i>	<i>октябрь</i>	<i>ноябрь</i>	<i>декабрь</i>	<i>Средн.</i>
1977	-24,7	-31,5	-27,5	-15,1	-6,4	1,5	4,5	2,6	0,7	-13,2	-12,5	-22,9	-12,0
1978	-28,5	-28,1	-26,3	-22,3	-8,2	-0,3	5,6	3,6	1,2	-5,4	-14,1	-30,1	-12,7
1979	-32,2	-36,1	-29,8	-19,6	-11,5	0,3	6,3	4,2	1,6	-8,8	-18,3	-22,0	-13,8
1980	-26,0	-23,0	-23,7	-15,0	-7,1	-0,4	2,0	3,3	0,1	-3,5	-24,9	-21,4	-11,6
1981	-16,9	-24,4	-28,1	-15,5	-11,2	-0,8	2,7	6,7	0,2	-9,7	-10,8	-21,2	-10,8
1982	-27,3	-26,6	-23,9	-13,7	-8,3	0,4	5,6	6,1	1,0	-11,1	-21,7	-19,7	-11,6
1983	-20,4	-23,9	-21,9	-19,6	-8,9	-1,2	3,3	6,5	2,7	-5,5	-15,6	-22,3	-10,6
1984	-17,0	-19,4	-20,9	-24,2	-8,9	0,2	7,0	4,7	3,5	-8,8	-21,9	-19,6	-10,4
1985	-29,4	-26,5	-21,7	-19,2	-10,2	2,7	3,7	6,9	2,5	-3,5	-14,4	-20,7	-10,8
1986	-24,8	-27,5	-21,8	-20,3	-8,2	-0,9	6,4	1,9	0,3	-5,1	-10,7	-28,1	-11,6
1987	-31,4	-25,7	-25,0	-17,8	-7,0	-1,5	5,6	4,4	1,3	-5,6	-18,4	-24,5	-12,1
1988	-22,1	-26,0	-22,0	-23,5	-6,2	0,8	3,3	3,8	1,0	-9,6	-21,6	-18,4	-11,7
1989	-29,0	-24,4	-22,2	-18,8	-5,1	-1,0	3,5	3,8	0,2	-8,0	-23,2	-23,4	-12,3
1990	-28,5	-24,8	-19,6	-11,3	-7,8	1,2	5,3	3,5	0,7	-10,4	-25,3	-27,4	-12,0

1991	-26,8	-30,9	-24,2	-17,9	-7,9	0,3	4,6	3,4	5,3	-8,5	-18,0	-24,4	-12,1
1992	-26,3	-23,9	-22,5	-21,8	-5,6	-1,8	3,2	3,4	-1,6	-14,9	-21,2	-24,2	-13,1
1993	-21,7	-24,1	-20,3	-18,5	-7,3	1,2	2,4	3,7	2,1	-8,0	-10,8	-23,2	-10,4
1994	-29,3	-21,0	-18,4	-13,2	-7,8	0,8	3,4	3,9	-0,2	-4,6	-18,8	-24,0	-10,8
1995	-20,8	-17,9	-16,4	-7,8	-8,3	0,3	4,3	3,9	-0,4	-7,9	-19,3	-25,6	-9,7
1996	-24,5	-19,0	-18,0	-18,4	-9,3	-0,6	6,2	4,1	-2,8	-7,8	-11,8	-25,3	-10,6
1997	-29,4	-26,7	-18,5	-11,7	-6,1	-0,4	4,9	5,3	4,8	-12,1	-19,7	-27,0	-11,4
1998	-24,4	-32,8	-20,5	-18,8	-8,8	-0,1	5,7	6,5	-1,9	-16,3	-23,1	-26,5	-13,4
1999	-27,3	-21,5	-26,6	-18,8	-7,8	-0,4	3,6	4,8	1,6	-7,1	-15,6	-15,8	-10,9
2000	-27,7	-22,4	-18,0	-15,4	-5,3	-0,2	4,0	7,6	0,5	-9,1	-19,4	-28,3	-11,1
2001	-30,7	-25,5	-27,6	-21,2	-7,6	1,6	6,6	7,7	3,1	-7,3	-12,6	-17,6	-10,9
2002	-29,2	-26,8	-19,7	-16,5	-10,6	0,0	5,5	7,4	0,0	-6,3	-16,1	-26,1	-11,5
2003	-25,8	-27,8	-24,3	-16,7	-5,7	3,1	2,1	8,1	2,5	-8,2	-20,8	-21,9	-11,3
2004	-28,1	-27,4	-25,2	-19,3	-9,1	1,6	6,0	4,2	1,2	-6,9	-15,8	-23,4	-11,9
2005	-20,4	-21,8	-25,8	-18,2	-5,5	1,7	5,0	5,6	4,5	-5,2	-15,5	-20,4	-9,7
2006	-23,8	-21,5	-24,3	-21,1	-7,0	1,0	8,8	6,1	1,1	-11,0	-16,2	-18,6	-10,5
2007	-19,0	-28,0	-18,6	-9,3	-7,9	0,9	5,8	4,4	2,9	-2,9	-17,6	-22,6	-9,3
2008	-18,6	-23,7	-23,4	-14,5	-7,5	-0,1	5,7	7,8	4,4	-5,2	-14,6	-17,4	-8,9
2009	-20,2	-28,4	-24,0	-15,6	-7,3	0,5	7,3	6,9	3,9	-4,2	-17,4	-24,7	-10,3
2010	-21,9	-30,3	-19,4	-12,6	-6,3	1,0	3,6	5,5	1,6	-4,2	-15,9	-23,6	-10,2
2011	-22,3	-24,3	-14,3	-11,0	-4,9	3,6	5,9	4,2	4,5	-2,9	-13,7	-12,5	-7,3
2012	-17,4	-13,3	-18,8	-12,8	-6,5	3,7	8,7	6,3	4,2	-5,3	-14,5	-17,1	-6,9
2013	-26,2	-23,0	-28,3	-14,6	-5,1	0,3	7,3	6,3	2,2	-6,3	-16,8	-23,1	-10,6
2014	-29,5	-24,0	-14,3	-13,8	-5,6	0,5	2,8	3,5	1,3	-6,4	-19,5	-18,4	-10,3
2015	-27,8	-26,4	-19,0	-9,5	-4,7	3,9	7,9	4,0	3,2	-6,2	-14,0	-17,2	-8,8
2016	-17,5	-16,3	-17,3	-9,2	-5,5	3,7	10,0	8,0	7,2	-0,8	-18,5	-30,6	-7,2
2017	-19,3	-23,7	-11,1	-14,2	-8,2	0,8	7,4	4,4	1,4	-3,9	-15,0	-17,6	-8,3
2018	-19,1	-20,8	-26,1	-16,4	-8,8	2,2	4,9	7,5	3,5	-2,2	-15,9	-17,8	-9,1
2019	-23,9	-24,3	-15,7	-13,9	-6,3	1,0	5,8	9,3	3,5	-5,3	-16,6	-19,7	-8,8
2020	-20,9	-13,5	-17,2	-9,0	-2,4	3,1	9,9	10,3	7,1	-4,0	-8,8	-19,9	-5,4
2021	-23,3	-29,0	-28,0	-12,1	-3,8	1,4	4,7	8,5	3,3	-4,6	-17,8	-23,6	-10,4

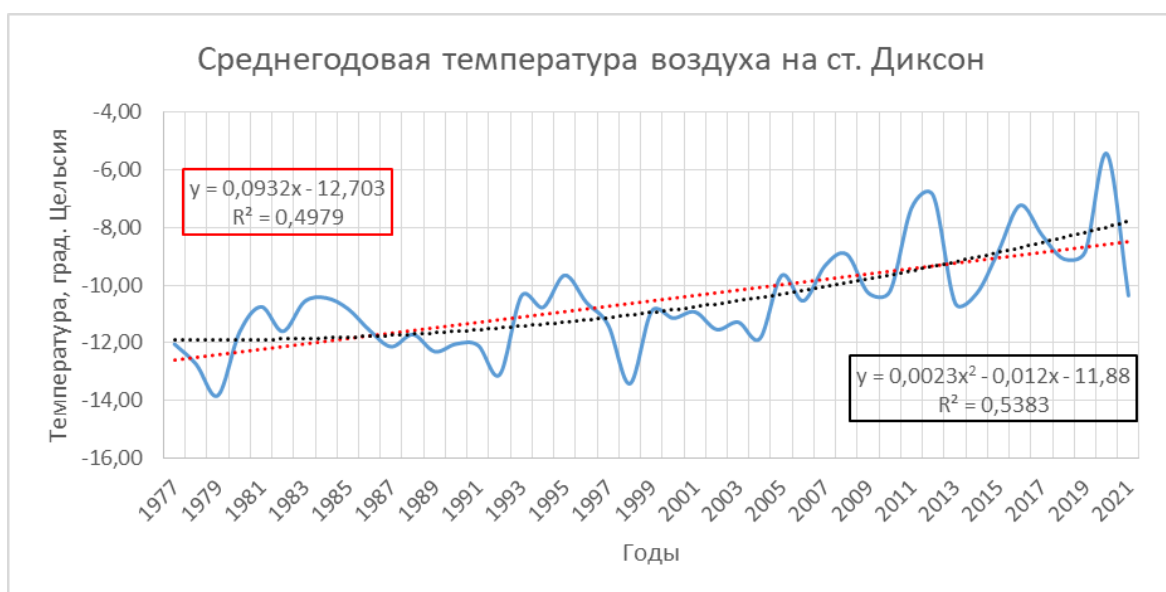


Рис. 3.2 График среднегодовой температуры воздуха на ст. Диксон с 1977 по 2021

гг.

Таблица 3.4 Среднегодовые температуры воздуха на станции о. Визе с 1977 по 2021 гг.

	<i>январь</i>	<i>февраль</i>	<i>март</i>	<i>апрель</i>	<i>май</i>	<i>июнь</i>	<i>июль</i>	<i>август</i>	<i>сентябрь</i>	<i>октябрь</i>	<i>ноябрь</i>	<i>декабрь</i>	Средн.
1977	-24,1	-32,0	-30,1	-22,4	-8,9	-1,5	0,7	-0,6	-4,1	-14,9	-21,4	-19,9	-14,93
1978	-28,5	-31,2	-27,6	-21,7	-9,9	-1,3	0,3	-0,4	-3,2	-6,6	-16,5	-27,7	-14,53
1979	-31,5	-35,6	-29,7	-24,7	-12,7	-1,2	0,9	0,0	-1,0	-7,2	-18,3	-21,3	-15,19
1980	-28,0	-24,5	-23,7	-19,0	-8,1	-2,2	0,4	-1,3	-4,1	-12,0	-28,0	-27,3	-14,82
1981	-24,8	-26,5	-30,0	-20,7	-10,0	-1,4	0,0	-0,4	-5,3	-12,2	-17,0	-30,3	-14,88
1982	-29,9	-28,9	-27,0	-19,1	-10,7	-2,9	-0,4	-0,5	-4,9	-16,4	-22,6	-22,4	-15,48
1983	-23,7	-29,7	-22,6	-22,5	-9,8	-2,1	0,6	0,2	-1,8	-6,2	-19,4	-26,2	-13,60
1984	-18,2	-19,8	-26,2	-23,9	-9,8	-1,3	1,1	-0,1	-1,0	-5,6	-17,1	-18,5	-11,70
1985	-25,8	-22,1	-24,9	-21,0	-11,6	-0,9	1,2	0,2	-0,6	-4,6	-13,5	-22,0	-12,13
1986	-27,4	-30,8	-25,3	-21,9	-8,8	-2,0	0,9	-0,4	-5,9	-9,6	-18,8	-29,2	-14,93
1987	-27,6	-28,6	-28,5	-18,0	-8,6	-1,8	0,3	-0,4	-3,7	-15,3	-22,5	-28,3	-15,25
1988	-27,9	-20,7	-30,7	-26,5	-7,8	-0,6	0,2	-0,2	-5,4	-16,3	-25,3	-23,9	-15,43
1989	-27,2	-27,6	-27,8	-20,7	-7,5	-1,9	0,0	-0,7	-3,8	-15,2	-26,1	-26,3	-15,40
1990	-25,1	-23,5	-23,8	-14,3	-9,5	-1,0	0,4	-0,3	-2,9	-13,8	-25,2	-31,3	-14,19
1991	-24,7	-30,1	-21,7	-25,8	-9,5	-2,4	0,6	0,1	-1,6	-16,6	-22,0	-18,4	-14,34
1992	-28,8	-26,4	-23,1	-21,5	-6,8	-2,8	0,0	-1,5	-4,0	-19,7	-23,0	-27,6	-15,43
1993	-28,9	-29,2	-29,9	-17,5	-8,1	-0,5	0,0	-0,4	-2,9	-14,9	-12,2	-25,7	-14,18
1994	-28,6	-30,5	-24,3	-20,7	-12,1	-1,7	0,2	-0,4	-3,0	-8,4	-22,1	-20,4	-14,33
1995	-27,9	-21,0	-21,9	-11,1	-8,7	-2,2	0,6	0,8	-1,4	-7,5	-20,2	-25,8	-12,19
1996	-24,4	-27,0	-21,5	-18,9	-11,2	-3,2	0,2	-0,1	-6,3	-15,8	-11,8	-27,6	-13,97
1997	-31,2	-28,7	-17,6	-18,7	-8,5	-1,2	0,9	-0,6	-1,2	-8,6	-22,0	-27,6	-13,75
1998	-25,2	-27,9	-19,6	-18,8	-9,9	-2,2	0,6	-0,4	-3,8	-12,2	-16,9	-27,6	-13,64

1999	-24,7	-24,7	-20,4	-18,8	-9,4	-2,0	0,5	0,3	-3,2	-11,5	-17,2	-17,4	-12,37
2000	-24,2	-21,6	-21,2	-18,8	-8,9	-1,7	0,4	1,0	-2,6	-8,1	-14,5	-20,7	-11,74
2001	-21,4	-21,4	-25,4	-24,1	-9,8	-1,3	0,7	0,6	-1,1	-9,4	-14,1	-16,9	-11,97
2002	-28,1	-28,7	-21,9	-19,2	-10,6	-1,2	0,2	0,2	-6,3	-11,5	-21,6	-26,8	-14,63
2003	-28,9	-30,6	-31,2	-19,6	-8,1	-1,4	-0,2	0,1	-4,1	-13,6	-21,8	-26,6	-15,50
2004	-29,9	-29,6	-25,4	-19,5	-8,7	-2,4	1,2	-0,4	-1,2	-9,9	-21,0	-15,3	-13,51
2005	-17,1	-14,4	-28,0	-20,5	-8,1	-0,5	0,4	0,8	-0,3	-7,5	-19,0	-13,9	-10,68
2006	-13,4	-20,8	-23,4	-17,1	-7,8	-0,8	0,6	-0,1	-2,7	-10,4	-13,6	-20,6	-10,84
2007	-22,0	-24,5	-18,6	-12,5	-8,6	-2,0	0,7	0,4	-0,5	-4,1	-16,0	-21,9	-10,80
2008	-18,4	-24,0	-25,2	-17,4	-10,3	-2,6	0,4	1,7	0,3	-5,4	-14,2	-20,3	-11,28
2009	-20,7	-25,3	-26,2	-21,0	-9,3	-1,2	0,9	0,7	-0,7	-1,8	-8,8	-18,5	-10,99
2010	-18,9	-19,9	-21,4	-15,3	-6,7	-1,0	0,2	0,5	-1,8	-4,1	-16,4	-25,5	-10,86
2011	-21,3	-21,3	-16,6	-13,7	-6,9	0,0	0,8	0,3	-0,2	-3,7	-11,9	-8,7	-8,60
2012	-11,2	-11,3	-13,0	-12,3	-7,6	-0,7	2,1	2,2	1,7	-1,8	-6,8	-14,1	-6,07
2013	-23,3	-24,8	-25,9	-16,9	-6,3	-2,0	0,5	2,2	0,1	-6,6	-11,4	-19,7	-11,18
2014	-24,4	-16,5	-15,9	-18,1	-7,2	-2,1	0,1	0,2	-0,9	-6,1	-19,1	-18,0	-10,67
2015	-25,2	-22,8	-20,0	-11,3	-9,5	-0,2	1,1	2,0	-0,2	-4,7	-6,1	-15,5	-9,37
2016	-10,1	-15,8	-15,9	-13,3	-7,3	-0,7	2,4	1,5	1,5	-1,8	-4,2	-12,6	-6,36
2017	-11,9	-17,3	-19,3	-15,1	-10,3	-1,7	-0,1	0,3	-1,0	-5,6	-12,4	-19,2	-9,47
2018	-18,9	-17,5	-27,3	-19,3	-7,8	-0,8	0,2	2,0	0,3	-2,8	-14,0	-12,9	-9,90
2019	-24,1	-23,3	-19,4	-16,3	-6,9	-0,6	0,6	1,2	-0,3	-3,2	-13,6	-21,0	-10,58
2020	-24,2	-16,7	-22,0	-12,8	-5,8	-0,7	2,0	4,5	0,0	-3,0	-13,8	-17,0	-9,12
2021	-18,3	-22,6	-26,4	-14,1	-7,8	-0,7	1,3	2,9	-0,2	-3,1	-13,7	-19,0	-10,14

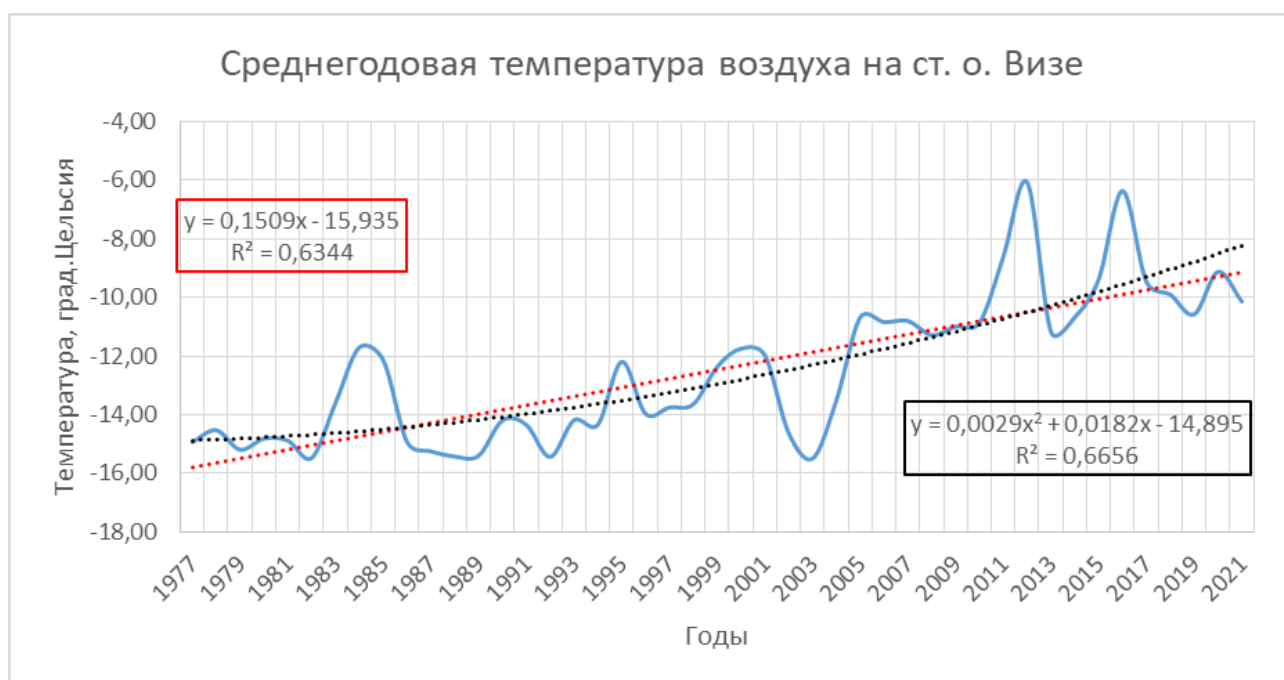


Рис. 3.3 График среднегодовой температуры воздуха на ст. о. Визе с 1977 по 2021

гг.

Таблица 3.5 Среднегодовые температуры воздуха на станции Амдерма с
1977 по 2021 гг.

	<i>январь</i>	<i>февраль</i>	<i>март</i>	<i>апрель</i>	<i>май</i>	<i>июнь</i>	<i>июль</i>	<i>август</i>	<i>сентябрь</i>	<i>октябрь</i>	<i>ноябрь</i>	<i>декабрь</i>	Средн.
1977	-19,1	-28,7	-21,7	-7,2	-1,7	5,2	8,7	7,1	3,8	-8,1	-6,8	-13,1	-6,80
1978	-19,0	-21,7	-16,9	-17,8	-6,0	-0,6	4,6	4,1	1,1	-3,3	-10,0	-23,3	-9,07
1979	-24,2	-27,6	-24,7	-17,6	-4,1	0,5	3,0	3,5	5,4	-5,3	-9,3	-15,0	-9,62
1980	-20,7	-15,7	-15,6	-10,0	-4,4	0,7	3,5	3,3	2,7	-1,0	-13,4	-14,7	-7,11
1981	-11,4	-14,5	-23,4	-14,1	-7,4	2,8	4,3	9,9	3,6	0,1	-5,2	-11,1	-5,53
1982	-24,3	-20,2	-18,6	-9,1	-2,8	0,8	8,2	4,4	3,1	-7,6	-8,8	-10,6	-7,13
1983	-16,3	-19,5	-17,2	-13,6	-6,6	1,8	7,8	7,1	4,0	-1,9	-10,3	-14,8	-6,63
1984	-11,1	-10,5	-10,4	-17,2	-4,5	1,7	10,1	8,5	3,9	-5,5	-16,1	-13,0	-5,34
1985	-25,1	-25,1	-13,5	-14,5	-6,6	2,6	4,1	5,3	5,2	-2,7	-9,3	-20,1	-8,31
1986	-20,0	-22,9	-9,9	-11,7	-6,4	1,0	1,6	1,6	0,2	-1,8	-4,6	-20,8	-7,81
1987	-22,8	-22,4	-14,7	-16,6	-3,4	-0,2	7,8	3,4	3,1	0,7	-11,4	-17,8	-7,86
1988	-14,9	-18,4	-11,0	-16,6	-4,2	2,0	7,4	8,7	4,3	-3,2	-12,1	-13,4	-5,95
1989	-22,9	-17,0	-8,3	-13,0	-0,5	5,1	11,2	9,6	5,8	-1,2	-8,8	-16,4	-4,70
1990	-23,4	-17,8	-14,7	-5,5	-2,9	3,1	11,9	7,3	3,0	-3,4	-17,6	-16,1	-6,34
1991	-21,4	-19,0	-18,4	-7,2	-2,3	3,6	5,5	6,8	5,3	-1,5	-8,3	-17,4	-6,19
1992	-19,9	-14,7	-11,9	-18,3	-1,6	0,5	7,1	7,1	3,4	-9,5	-16,2	-12,5	-7,21
1993	-14,3	-15,9	-13,9	-10,3	-5,0	6,6	8,3	6,7	3,5	-4,4	-6,6	-14,9	-5,02
1994	-20,0	-27,6	-12,1	-9,8	-8,3	3,8	5,6	7,6	3,5	-2,0	-13,5	-12,7	-7,13
1995	-10,6	-10,6	-11,7	-1,9	-1,4	3,0	9,7	9,8	5,3	-2,1	-12,0	-16,7	-3,27
1996	-13,1	-15,3	-9,7	-10,9	-4,4	1,6	7,7	5,1	1,2	-0,8	-2,8	-13,0	-4,53
1997	-21,4	-24,4	-13,1	-7,9	-3,6	0,2	3,6	5,0	6,2	-1,3	-11,4	-20,1	-7,35
1998	-18,8	-31,0	-15,1	-15,8	-5,7	0,4	6,6	5,5	0,2	-8,9	-18,6	-17,6	-9,90
1999	-27,3	-17,5	-20,0	-15,4	-7,9	1,4	6,4	5,0	3,2	-1,5	-11,2	-10,4	-7,93
2000	-21,4	-15,3	-11,7	-8,6	-3,6	2,9	8,8	8,3	3,9	-0,8	-9,0	-18,6	-5,43
2001	-18,9	-23,9	-21,3	-10,4	-2,9	1,7	5,1	8,4	5,3	-3,0	-11,1	-13,0	-7,00
2002	-24,6	-20,4	-16,7	-9,1	-4,5	1,5	7,1	6,5	1,5	-2,0	-10,6	-18,8	-7,51
2003	-22,0	-19,9	-17,7	-9,4	-2,5	3,0	5,8	10,7	4,2	-1,2	-9,1	-12,7	-5,90
2004	-15,2	-18,3	-19,2	-16,4	-5,4	2,6	8,4	6,9	3,6	-1,9	-7,6	-15,4	-6,49
2005	-12,4	-13,7	-20,3	-14,2	-2,3	1,8	7,9	9,0	6,0	-0,2	-3,4	-11,3	-4,43
2006	-20,3	-15,7	-15,5	-16,6	-2,1	4,8	7,8	6,9	3,4	-5,0	-13,0	-12,3	-6,47
2007	-10,9	-22,2	-8,6	-5,3	-5,2	0,9	7,5	7,0	4,9	2,4	-8,1	-9,9	-3,96
2008	-8,9	-14,0	-16,2	-9,8	-5,7	1,7	9,8	8,4	4,8	-0,1	-6,9	-7,0	-3,66
2009	-16,6	-21,0	-12,9	-11,8	-5,9	2,7	7,6	8,8	6,1	-1,6	-9,7	-21,1	-6,28
2010	-16,1	-25,1	-16,2	-8,4	-2,7	2,2	6,9	6,8	2,5	0,6	-9,9	-15,2	-6,22
2011	-17,8	-21,3	-7,9	-5,4	-0,6	5,0	6,6	7,1	6,8	0,2	-7,3	-6,1	-3,39
2012	-12,6	-12,5	-14,8	-6,8	-1,6	8,1	10,8	7,8	5,8	0,2	-8,1	-12,6	-3,03
2013	-19,7	-12,7	-23,2	-6,3	-3,9	3,0	12,3	9,3	4,2	-3,8	-6,6	-16,9	-5,36
2014	-23,8	-19,5	-9,7	-8,2	-3,4	2,0	3,7	7,3	3,5	-5,0	-7,6	-11,9	-6,05
2015	-24,1	-16,3	-7,6	-6,2	0,2	7,2	7,1	7,1	4,8	-3,0	-8,3	-10,1	-4,10
2016	-14,9	-6,7	-12,7	-5,2	-2,3	6,4	15,1	11,3	8,6	2,1	-9,4	-17,6	-2,11

2017	-14,0	-15,3	-5,8	-11,1	-5,9	1,9	12,9	7,7	4,1	-0,4	-6,7	-6,9	-3,29
2018	-9,2	-14,2	-21,9	-10,5	-5,0	1,9	8,5	8,6	6,3	-0,4	-8,2	-7,9	-4,33
2019	-16,1	-16,2	-10,1	-7,0	-2,5	2,4	7,1	8,1	5,1	-1,5	-10,3	-10,4	-4,28
2020	-13,5	-9,9	-8,5	-5,7	0,1	4,8	11,5	10,7	7,8	-0,2	-4,0	-12,2	-1,59
2021	-20,6	-24,7	-16,8	-4,1	-0,8	5,0	8,6	10,4	5,2	-0,6	-9,4	-16,1	-5,33

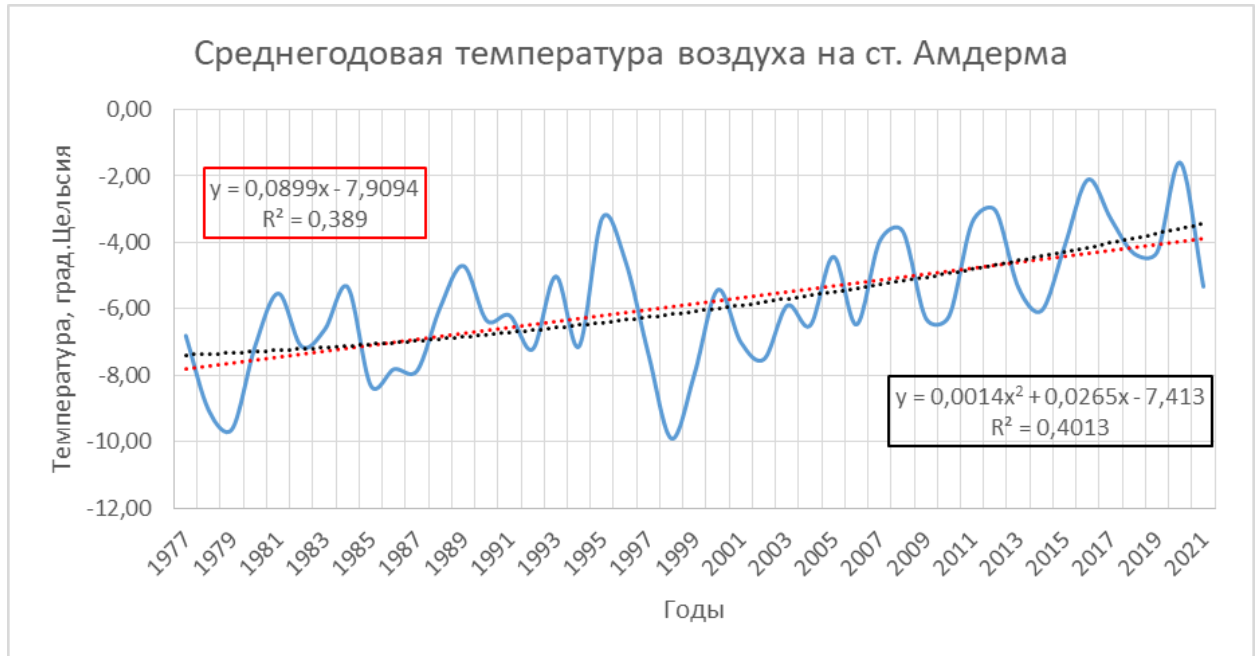


Рис. 3.4 График среднегодовой температуры воздуха на ст. Амдерма с 1977 по 2021 гг.

Таблица 3.6 Среднегодовые температуры воздуха на станции Болванский нос с 1977 по 2021 гг.

	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	Средн.
1977	-15,2	-26,1	-22,1	-8,2	-2,3	2,9	7,0	7,0	4,2	-4,6	-5,2	-9,9	-6,0
1978	-18,4	-21,0	-16,2	-17,4	-5,8	-0,8	2,2	1,7	1,0	-2,3	-7,3	-21,1	-8,8
1979	-23,4	-25,5	-24,5	-17,7	-4,3	-0,4	2,0	2,3	3,2	-4,1	-7,8	-13,4	-9,5
1980	-19,7	-14,9	-15,5	-10,6	-5,1	-0,1	2,4	2,0	2,6	0,3	-9,6	-13,2	-6,8
1981	-10,9	-13,9	-22,8	-14,6	-7,7	0,6	2,1	8,5	3,7	1,3	-3,1	-9,2	-5,5
1982	-23,2	-20,2	-17,8	-10,0	-3,0	-0,5	5,0	2,4	3,4	-4,7	-8,1	-9,0	-7,1
1983	-14,5	-18,8	-16,6	-13,4	-6,4	0,4	6,3	6,2	3,7	-0,3	-6,9	-12,1	-6,0
1984	-9,9	-7,8	-9,3	-16,5	-4,5	0,6	7,5	8,1	4,7	-2,7	-11,6	-10,5	-4,3
1985	-22,8	-23,9	-12,5	-14,7	-6,3	1,2	2,8	3,3	4,5	-0,3	-5,0	-18,1	-7,7
1986	-20,3	-21,2	-8,6	-11,8	-6,6	0,1	1,0	1,3	0,3	-0,8	-2,0	-16,5	-7,1
1987	-21,0	-24,0	-14,8	-16,4	-3,8	-1,0	4,1	2,2	2,8	1,4	-5,7	-15,6	-7,7
1988	-13,4	-17,6	-10,7	-16,8	-4,2	1,1	5,5	7,8	4,5	-1,3	-8,8	-12,2	-5,5
1989	-22,0	-17,1	-8,4	-11,5	-1,1	3,9	8,5	8,4	6,2	0,4	-4,8	-12,9	-4,2
1990	-22,0	-17,9	-14,8	-5,6	-3,2	2,1	8,9	7,3	3,7	-1,6	-13,8	-13,7	-5,9

1991	-20,2	-17,0	-17,4	-7,9	-2,7	1,4	3,3	6,2	5,6	-0,3	-4,7	-13,0	-5,6
1992	-17,4	-13,7	-11,9	-17,4	-1,2	0,6	5,5	6,0	3,0	-5,1	-12,2	-11,5	-6,3
1993	-12,3	-15,9	-14,3	-10,0	-4,3	2,2	4,8	4,9	3,3	-2,3	-3,8	-11,9	-5,0
1994	-19,6	-26,7	-12,1	-10,0	-8,0	1,4	3,8	6,5	3,6	-1,4	-6,0	-10,7	-6,6
1995	-10,2	-9,6	-10,7	-2,1	-1,7	2,6	7,6	7,9	5,4	-0,4	-8,1	-13,8	-2,8
1996	-11,5	-14,3	-8,9	-11,0	-5,3	0,2	5,6	3,8	1,7	0,2	-1,1	-9,2	-4,2
1997	-21,1	-24,2	-13,2	-9,4	-4,2	-0,3	2,7	3,8	5,7	-0,1	-7,8	-17,5	-7,1
1998	-19,4	-31,7	-15,6	-15,1	-5,9	0,0	2,4	3,2	-0,5	-7,7	-18,3	-16,4	-10,4
1999	-27,1	-17,2	-18,3	-15,4	-7,8	0,0	3,1	2,8	1,5	-1,6	-7,9	-9,5	-8,1
2000	-18,5	-14,4	-13,3	-9,5	-4,2	2,5	7,9	5,9	3,7	0,6	-4,7	-13,9	-4,8
2001	-16,7	-22,7	-21,2	-11,6	-5,1	0,4	4,0	6,9	4,0	-2,2	-6,5	-9,6	-6,7
2002	-22,3	-21,0	-18,7	-9,5	-4,4	1,0	5,5	5,6	2,5	-0,9	-7,9	-15,2	-7,1
2003	-21,0	-19,3	-18,0	-9,0	-3,0	0,5	4,3	8,7	3,8	-0,6	-6,3	-13,8	-6,1
2004	-14,7	-19,6	-18,7	-15,1	-5,4	1,0	6,7	5,5	3,7	-0,2	-4,6	-12,4	-6,2
2005	-10,8	-11,1	-18,7	-13,6	-3,0	1,1	5,5	5,8	3,8	-1,1	-6,3	-11,0	-4,9
2006	-16,6	-13,0	-14,9	-14,4	-1,9	3,7	6,2	6,1	3,9	-2,0	-7,9	-9,5	-5,0
2007	-9,1	-19,9	-7,3	-11,8	-5,2	-0,2	3,9	5,1	5,2	3,4	-4,0	-5,9	-3,8
2008	-6,2	-10,9	-14,5	-9,2	-5,3	0,7	8,0	6,5	4,8	1,4	-3,8	-3,3	-2,7
2009	-12,6	-18,3	-12,7	-11,5	-4,9	2,0	5,7	8,1	5,4	0,4	-4,8	-7,9	-4,3
2010	-14,2	-19,0	-10,4	-8,5	-2,9	1,6	5,8	5,9	6,0	1,8	-5,9	-12,5	-4,4
2011	-15,8	-19,7	-8,0	-5,5	-1,8	3,4	6,5	6,8	7,1	1,9	-3,5	-3,2	-2,7
2012	-8,2	-8,0	-12,4	-5,9	-1,9	5,8	9,1	7,5	6,1	1,9	-3,5	-7,8	-1,4
2013	-16,7	-12,0	-22,7	-6,6	-4,3	1,5	8,9	9,2	5,4	-1,4	-4,1	-12,9	-4,6
2014	-20,8	-18,0	-10,0	-8,3	-3,4	0,5	3,1	6,6	3,9	-2,1	-5,2	-9,2	-5,2
2015	-21,3	-15,0	-6,3	-5,9	-0,7	4,9	4,1	4,2	3,7	-1,6	-5,8	-7,0	-3,9
2016	-12,1	-5,7	-11,7	-5,6	-2,5	2,9	8,6	7,8	6,6	2,6	-4,8	-12,1	-2,2
2017	-10,3	-11,4	-5,9	-9,5	-5,5	0,0	10,6	7,1	4,4	1,0	-3,8	-4,3	-2,3
2018	-7,2	-11,3	-20,0	-10,7	-4,9	0,8	7,2	8,1	6,7	1,4	-4,4	-4,3	-3,2
2019	-12,1	-15,1	-9,3	-5,2	-2,2	1,7	5,1	6,7	5,8	0,4	-6,2	-8,2	-3,2
2020	-12,8	-9,9	-8,0	-5,8	-0,7	3,6	9,4	9,6	6,3	0,9	-5,3	-6,3	-1,6
2021	-15,9	-22,4	-16,6	-4,8	-1,8	2,7	7,3	8,2	6,0	0,7	-5,8	-7,2	-4,1



Рис. 3.5 Среднегодовая температура воздуха на станции Болванский нос

Таблица 3.7 Среднегодовые температуры воздуха на станции Голомянный с 1977 по 2021 гг.

	<i>январь</i>	<i>февраль</i>	<i>март</i>	<i>апрель</i>	<i>май</i>	<i>июнь</i>	<i>июль</i>	<i>август</i>	<i>сентябрь</i>	<i>октябрь</i>	<i>ноябрь</i>	<i>декабрь</i>	<i>Средн.</i>
1977	-26,1	-33,2	-32,0	-23,0	-8,8	-1,2	0,6	-0,6	-4,5	-16,5	-24,8	-24,7	-16,2
1978	-31,5	-31,3	-30,1	-20,4	-11,0	-1,1	1,0	1,2	-2,3	-7,1	-18,2	-27,5	-14,9
1979	-31,5	-34,5	-28,4	-24,3	-13,2	-1,7	0,8	0,2	-3,3	-12,2	-22,2	-23,5	-16,2
1980	-28,6	-27,9	-25,9	-20,1	-8,6	-2,0	1,0	-0,5	-3,4	-12,8	-25,8	-27,2	-15,2
1981	-24,9	-29,7	-29,8	-20,4	-9,9	-1,3	0,2	-0,4	-6,7	-12,7	-19,9	-30,4	-15,5
1982	-30,6	-30,0	-30,1	-20,0	-11,4	-2,6	0,0	0,2	-3,2	-15,1	-25,1	-23,8	-16,0
1983	-27,1	-30,6	-24,8	-23,5	-10,4	-2,1	0,7	0,7	-3,5	-11,8	-20,6	-27,4	-15,0
1984	-20,6	-24,3	-26,9	-24,1	-10,6	-1,2	0,7	-0,1	-2,3	-8,4	-19,9	-21,5	-13,3
1985	-26,0	-23,3	-26,8	-21,3	-11,7	-0,8	1,8	0,8	-1,0	-6,1	-16,3	-21,1	-12,7
1986	-28,5	-30,4	-28,3	-21,7	-9,6	-2,1	1,4	-0,6	-6,0	-11,9	-23,3	-30,8	-16,0
1987	-30,3	-30,5	-29,2	-15,9	-9,5	-1,6	0,8	0,2	-4,2	-13,4	-23,4	-27,6	-15,4
1988	-26,9	-23,7	-33,3	-25,1	-8,8	-0,6	0,4	-0,8	-7,2	-16,5	-25,5	-23,9	-16,0
1989	-30,9	-29,1	-30,8	-21,3	-8,2	-2,1	0,0	-0,8	-5,4	-17,2	-31,1	-29,3	-17,2
1990	-26,2	-26,7	-26,0	-15,9	-10,0	-1,1	0,4	0,1	-3,7	-14,6	-27,1	-31,3	-15,2
1991	-28,0	-32,0	-24,9	-27,5	-10,3	-2,1	0,9	0,0	-2,0	-17,9	-23,0	-21,0	-15,7
1992	-31,7	-28,6	-25,7	-20,8	-8,0	-3,2	0,0	-2,0	-6,6	-19,5	-25,9	-30,0	-16,8
1993	-30,8	-31,4	-29,5	-19,6	-7,4	-0,6	-0,2	0,2	-2,6	-14,2	-14,5	-29,4	-15,0
1994	-28,3	-26,4	-26,1	-17,0	-8,4	-1,2	0,4	0,5	-2,1	-10,9	-16,8	-28,0	-13,7
1995	-27,7	-21,3	-22,7	-14,4	-9,3	-1,7	1,0	0,7	-1,6	-7,5	-19,0	-26,5	-12,5
1996	-27,1	-27,5	-23,3	-18,5	-11,5	-1,3	1,6	1,0	-1,1	-7,4	-20,3	-26,9	-13,5
1997	-26,2	-25,0	-21,8	-19,1	-9,7	-0,9	2,2	1,2	-0,6	-7,2	-21,6	-27,2	-13,0
1998	-25,2	-33,7	-24,5	-19,5	-9,3	-1,3	1,6	1,1	-1,9	-9,3	-21,7	-29,6	-14,4
1999	-28,4	-25,8	-28,2	-19,9	-8,9	-1,6	1,0	1,0	-3,1	-11,4	-21,7	-18,7	-13,8
2000	-27,1	-24,1	-25,5	-18,4	-8,9	-2,2	0,2	0,4	-4,1	-13,1	-19,4	-25,8	-14,0

2001	-26,8	-25,8	-28,0	-24,3	-10,7	-1,6	0,9	0,3	-2,0	-8,4	-15,7	-19,5	-13,5
2002	-30,4	-30,2	-22,6	-20,0	-11,9	-1,2	0,2	0,4	-4,6	-11,8	-18,0	-26,1	-14,7
2003	-30,3	-33,2	-29,5	-20,6	-8,3	-1,0	-0,1	0,1	-3,9	-13,6	-23,4	-28,8	-16,1
2004	-32,2	-31,3	-28,6	-18,7	-9,3	-2,7	0,6	-0,3	-2,8	-12,6	-23,7	-21,2	-15,2
2005	-22,3	-19,4	-29,2	-19,5	-7,8	0,0	0,4	0,4	-0,7	-7,7	-18,7	-17,0	-11,8
2006	-19,6	-25,2	-25,0	-19,4	-8,5	-0,5	0,9	-0,8	-4,0	-10,0	-16,0	-25,0	-12,8
2007	-25,2	-27,8	-23,8	-12,4	-8,9	-1,2	1,1	0,2	-0,6	-5,9	-16,9	-25,9	-12,3
2008	-23,1	-29,0	-27,2	-18,3	-9,9	-2,6	0,4	0,6	-1,6	-6,8	-14,5	-23,6	-13,0
2009	-23,9	-28,8	-30,0	-20,1	-9,6	-0,8	1,5	-0,2	-1,5	-2,8	-12,9	-21,5	-12,6
2010	-23,9	-23,2	-22,7	-16,8	-6,8	-0,2	0,0	0,0	-1,8	-6,1	-16,6	-25,6	-12,0
2011	-22,7	-23,5	-18,5	-15,2	-7,1	0,4	1,6	1,5	0,5	-3,8	-17,0	-17,5	-10,1
2012	-20,1	-19,1	-21,4	-15,4	-8,3	-0,3	1,0	0,8	0,8	-3,5	-9,7	-16,2	-9,3
2013	-25,1	-28,5	-24,9	-16,5	-6,1	-1,9	0,2	0,3	-1,8	-9,5	-14,7	-23,7	-12,7
2014	-26,6	-21,7	-19,4	-18,3	-7,0	-1,8	0,2	-0,3	-1,7	-8,2	-19,7	-20,4	-12,1
2015	-26,1	-25,5	-20,9	-14,9	-11,2	-0,2	2,0	0,9	-0,7	-5,6	-10,2	-19,9	-11,0
2016	-16,8	-22,0	-22,5	-17,1	-8,1	-0,9	0,1	-0,7	-0,1	-3,0	-6,7	-17,2	-9,6
2017	-16,6	-21,7	-22,5	-16,4	-10,9	-2,0	-0,2	-0,3	-1,9	-7,4	-16,5	-21,9	-11,5
2018	-23,5	-20,4	-27,0	-18,5	-8,8	-0,7	0,0	1,5	-0,4	-3,2	-16,0	-17,9	-11,2
2019	-25,7	-25,1	-22,3	-16,4	-7,5	-0,1	0,3	1,2	-0,8	-3,7	-15,2	-22,3	-11,5
2020	-25,1	-17,7	-22,5	-12,3	-6,4	-0,4	0,2	1,4	-0,6	-3,5	-15,6	-20,1	-10,2
2021	-21,4	-21,8	-27,2	-15,7	-8,4	-0,3	0,2	1,3	-0,7	-3,6	-15,4	-21,2	-11,2

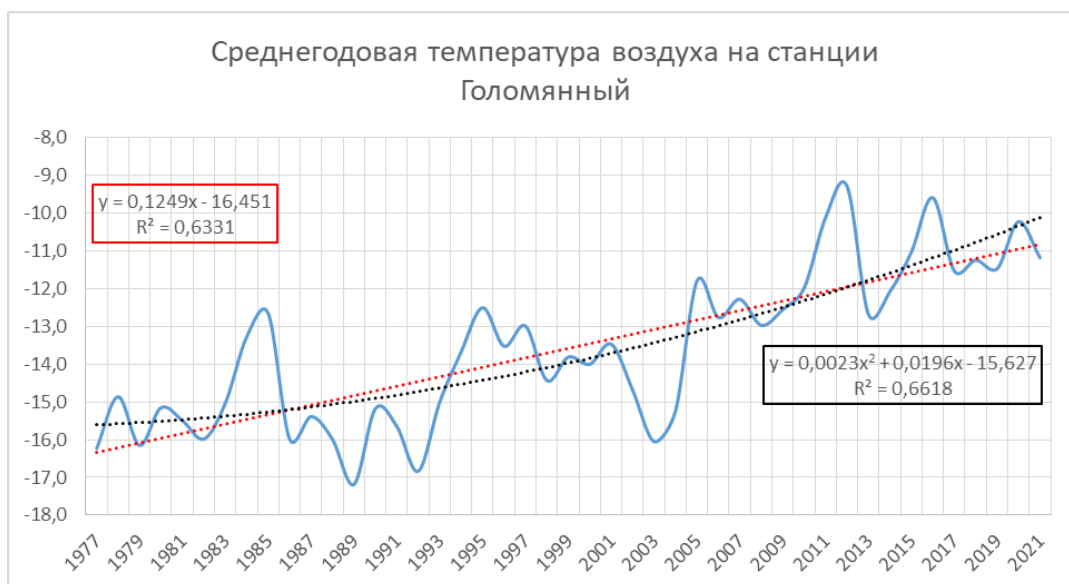


Рис. 3.6 Среднегодовая температура воздуха на станции Голомянный

Таблица 3.8 Среднегодовые температуры воздуха на станции Стерлегова
с 1977 по 2021 гг.

	<i>январь</i>	<i>февраль</i>	<i>март</i>	<i>апрель</i>	<i>май</i>	<i>июнь</i>	<i>июль</i>	<i>август</i>	<i>сентябрь</i>	<i>октябрь</i>	<i>ноябрь</i>	<i>декабрь</i>	<i>Средн.</i>
1977	-27,7	-33,4	-31,8	-19,8	-8,0	-0,1	2,0	0,7	-1,6	-15,4	-20,1	-24,5	-15,0
1978	-31,2	-32,1	-30,4	-23,8	-10,4	-0,1	3,9	2,3	-0,4	-8,6	-18,3	-32,5	-15,1
1979	-36,2	-38,3	-30,7	-23,4	-13,5	1,0	5,4	2,6	-0,4	-13,1	-23,0	-23,8	-16,1
1980	-29,5	-26,8	-27,8	-18,9	-8,6	-1,1	2,1	1,7	-1,5	-7,7	-29,1	-25,9	-14,4
1981	-20,5	-29,7	-30,4	-18,0	-11,8	-0,8	1,8	3,2	-2,2	-12,5	-15,2	-27,2	-13,6
1982	-30,5	-29,5	-29,1	-17,2	-10,5	-0,9	3,4		0,7	-13,1	-25,8	-23,4	-16,0
1983	-25,6	-26,7	-24,7	-24,3	-10,4	-1,5	2,2	5,5	1,0	-8,7	-19,9	-26,3	-13,3
1984	-19,6	-23,5	-25,5	-26,6	-10,3	-0,1	5,5	3,3	1,5	-9,2	-23,5	-23,0	-12,6
1985	-31,1	-26,5	-24,8	-21,9	-12,2	1,7	3,9	5,6	1,2	-6,5	-16,5	-23,9	-12,6
1986	-27,4	-30,7	-26,7	-23,2	-10,3	-1,5	6,4	1,3	-2,1	-8,5	-16,1	-30,0	-14,1
1987	-34,7	-28,4	-28,7	-17,9	-9,2	-2,2	3,4	3,5	-0,2	-9,3	-23,4	-28,8	-14,7
1988	-27,8	-26,5	-27,8	-25,7	-8,0	0,5	1,4	1,6	-2,8	-13,4	-25,6	-21,0	-14,6
1989	-30,0	-28,4	-27,5	-21,4	-8,2	-2,3	1,6	0,7	-2,8	-13,9	-29,6	-26,6	-15,7
1990	-29,4	-26,9	-23,3	-13,9	-8,9	0,0	3,7	2,0	-0,3	-12,4	-28,7	-31,4	-14,1
1991	-29,7	-34,4	-27,2	-23,3	-10,0	-1,1	4,1	1,1	2,3	-14,0	-21,5	-24,6	-14,9
1992	-30,6	-28,1	-25,8	-23,4	-7,3	-2,3	2,5	1,0	-4,3	-19,8	-25,4	-28,4	-16,0
1993	-26,4	-29,4	-27,6	-23,2	-8,5	-0,6	0,0	1,9	-0,1	-13,4	-14,2	-26,0	-14,0
1994	-31,8	-35,5	-23,1	-21,1	-11,3	0,3	2,2	0,9	-2,3	-6,5	-22,2	-25,6	-14,7
1995	-26,8	-22,1	-20,5	-13,8	-8,9	-0,3	4,1	7,2	-0,6	-9,8	-22,6	-28,6	-11,9
1996	-28,5	-24,5	-22,3	-20,7	-10,7	-2,4	4,7	2,5	-5,7	-12,4	-16,4	-30,4	-13,9
1997	-31,6	-31,3	-23,7	-15,0	-8,9	-1,2	3,6	3,0	3,3	-4,9	-23,4	-29,3	-13,3
1998	-27,2	-36,0	-24,3	-21,7	-10,7	-0,4	4,1	3,9	-3,7	-18,9	-23,1	-29,6	-15,6
1999	-27,7	-22,9	-30,5	-21,7	-8,4	-0,3	3,7	2,8	-0,2	-10,8	-20,6	-19,9	-13,0
2000	-28,6	-24,1	-24,1	-19,0	-7,9	-0,7	2,5	5,7	-1,2	-11,2	-22,2	-31,0	-13,5
2001	-31,1	-27,4	-30,8	-24,2	-10,0	0,2	4,5	4,7	0,3	-10,9	-15,3	-21,4	-13,5
2002	-29,9	-25,8	-27,5	-21,6	-8,7	0,8	2,5	4,7	0,1	-11,0	-19,0	-31,5	-13,9
2003	-31,0	-28,7	-29,4	-21,2	-7,3	1,3	0,4	4,6	-0,2	-11,1	-23,9	-24,9	-14,3
2004	-32,1	-31,7	-31,4	-20,8	-9,7	-0,2	2,7	1,0	-0,2	-10,0	-20,8	-23,6	-14,7
2005	-22,5	-22,5	-28,2	-20,2	-6,8	1,6	2,3	2,4	-0,7	-11,3	-18,7	-21,4	-12,2
2006	-23,3	-24,4	-26,4	-21,9	-8,7	0,3	6,5	3,4	-1,1	-12,5	-18,2	-21,6	-12,3
2007	-24,4	-31,3	-21,7	-11,1	-9,1	-0,2	2,6	2,9	1,7	-6,3	-19,2	-26,3	-11,9
2008	-21,5	-28,1	-26,6	-17,7	-8,6	-1,0	3,2	6,2	2,4	-6,5	-16,0	-22,5	-11,4
2009	-21,2	-30,8	-29,1	-17,5	-8,6	0,1	6,1	5,2	2,6	-6,0	-19,1	-27,8	-12,2
2010	-24,6	-31,2	-23,1	-15,8	-6,5	0,8	2,1	4,1	0,3	-6,9	-18,3	-26,0	-12,1
2011	-22,0	-27,7	-17,1	-14,0	-6,0	2,1	4,6	4,1	2,9	-7,3	-16,8	-17,5	-9,6
2012	-20,6	-17,4	-21,2	-16,4	-8,0	2,6	6,9	6,4	3,7	-8,5	-16,8	-18,7	-9,0
2013	-29,9	-28,8	-29,9	-16,4	-5,4	-0,8	3,5	3,6	0,5	-8,7	-20,1	-26,7	-13,3
2014	-29,2	-28,9	-26,4	-14,9	-7,5	0,6	4,9	3,0	1,1	-8,7	-22,8	-21,2	-12,5
2015	-28,4	-29,0	-22,8	-13,4	-9,6	1,9	6,3	2,4	1,6	-7,8	-15,2	-22,5	-11,4
2016	-16,7	-22,7	-20,3	-13,4	-7,3	0,6	5,1	5,6	5,3	-3,3	-18,8	-31,9	-9,8

2017	-21,3	-25,4	-15,2	-16,8	-10,2	-0,8	2,9	2,6	-0,7	-6,6	-18,8	-22,1	-11,0
2018	-23,0	-23,1	-31,1	-19,2	-10,3	1,9	2,4	7,5	2,0	-4,6	-18,3	-19,5	-11,3
2019	-29,8	-25,0	-19,3	-17,6	-8,0	2,1	3,9	8,0	1,9	-6,6	-18,0	-25,1	-11,1
2020	-26,1	-15,7	-21,0	-11,2	-4,5	2,0	3,2	7,8	2,0	-5,6	-18,2	-22,3	-9,1
2021	-24,7	-28,1	-30,1	-15,3	-5,6	2,1	3,5	7,9	1,9	-6,1	-18,1	-23,7	-11,4



Рис. 3.7 Среднегодовая температура воздуха на станции Стерлегова

Графики среднегодовых температур атмосферы на всех выбранных станциях имеет положительный тренд, следовательно, температура увеличивается с течением времени.

Самая низкая среднегодовая температура воздуха на станции п.Диксон в период с 1977 по 2021 гг. наблюдалась в 1979 году и составила $-13,8^{\circ}\text{C}$; на станции о. Визе – в 2003 г ($-15,5^{\circ}\text{C}$), на станции Амдерма – в 1998 г. ($-9,9^{\circ}\text{C}$), на станции Болванский нос – в 1998 г. ($-10,4^{\circ}\text{C}$), на станции Голомянный – в 1989 г. ($-17,2^{\circ}\text{C}$), на станции Стерлегова – в 1979 г. ($-16,1^{\circ}\text{C}$). Вероятнее всего, в эти годы были суровые зимы.

Максимальная среднегодовая температура станции п.Диксон в период с 1977 по 2021 гг. наблюдалась в 2020 г. и составила $-5,4^{\circ}\text{C}$, на станции о. Визе – в 2012 г ($-6,07^{\circ}\text{C}$), на станции Амдерма – в 2020 г. ($-1,59^{\circ}\text{C}$), на станции Болванский нос – в 2012 г. ($-1,4^{\circ}\text{C}$), на станции Голомянный – в 2012 г. ($-9,3^{\circ}\text{C}$),

на станции Стерлегова – в 2012 г. (-9,0 °C). Вероятнее всего, в эти годы были мягкие или умеренные зимы.

Далее был построен сводный график среднегодовых значений температуры воздуха (рис. 3.8)

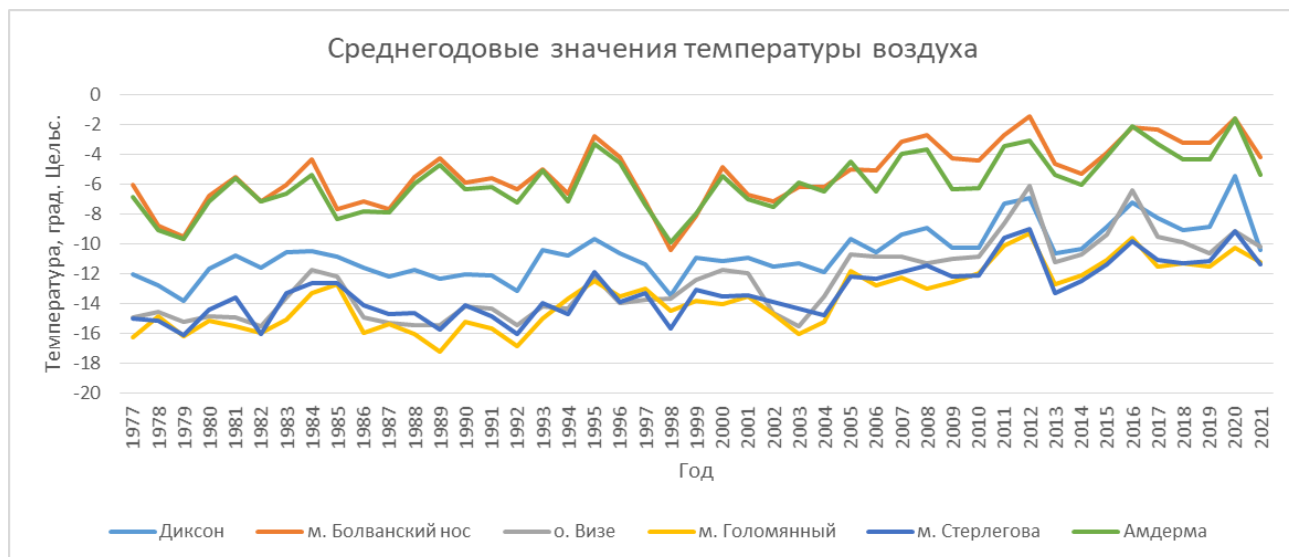


Рис. 3.8 Среднегодовые значения температуры воздуха на выбранных станциях с 1977 по 2021 гг.

Графики среднегодовых температур атмосферы на исследуемых станциях - п. Диксон, г. Амдерма, м. Голомянный, м. Болванский нос, м. Стерлегова и о. Визе, показывают положительные тренды. Наибольший положительный тренд наблюдается на о. Визе, повышение температуры там составляет 1,5 °C за 10 лет. Повышение температуры на м. Голомянный составляет 1,2 °C за 10 лет, на м. Стерлегова и м. Болванский нос составляет 1°С за 10 лет и в г. Амдерма 0,9 °C за 10 лет.

Отметим 1998 и 2012 года. В 1998 году наблюдаются среднегодовые температуры ниже на 3 – 4 °C линии тренда на всех станциях, площадь льда в этот год почти достигает максимума и составляет 777 тыс.км². В 2012 году наблюдается обратная ситуация, среднегодовые температуры выше линии тренда на 2 – 3 °C на всех станциях и, как следствие, уже отмечалось выше, наблюдается минимальная площадь льда.

3.3 Расчет СГДМ

Исходя из анализа среднегодовых температур атмосферы на всех станциях, были отмечены наиболее выделяющиеся годы, с наиболее высокими температурами и с наиболее низкими. Исходя из этого, были выдвинуты предположения о степени суровости зим в эти годы. Для проверки этой гипотезы, по среднесуточным значениям температуры воздуха, была посчитана сумма градусо-дней мороза для каждой станции.

Сумма градусо-дней мороза рассчитывается с целью дальнейшего определения трех классов суровости зим (суровая, умеренная и мягкая). По данным СГДМ был произведен кластерный анализ по всем выбранным станциям.

Таблица 3.9 СГДМ на выбранных станциях с 1977 по 2021 гг.

	Стерлегова	Визе	Болванский нос	Голомянный	Диксон	Амдерма
1977-1978	-5756,6	-5410,4	-2968,4	-5937,4	-4936,4	-3305,1
1978-1979	-6121,4	-5682,9	-3822,8	-5742,9	-5415,4	-4087,6
1979-1980	-5254,3	-4601,6	-2779,0	-5330,5	-4386,2	-2934,0
1980-1981	-5286,4	-5556,1	-2835,9	-5625,9	-4435,0	-3043,7
1981-1982	-5301,9	-5465,2	-2644,3	-5910,5	-4338,7	-2822,8
1982-1983	-5284,2	-5276,0	-2751,2	-5627,5	-4464,8	-3029,5
1983-1984	-4905,0	-4604,1	-2073,1	-5231,5	-4072,6	-2477,6
1984-1985	-5241,3	-4489,2	-3171,7	-4937,5	-4758,8	-3611,1
1985-1986	-5009,2	-4681,0	-2804,3	-5021,7	-5906,9	-3127,0
1986-1987	-5351,5	-5290,3	-3003,0	-5748,2	-4605,8	-3256,7
1987-1988	-5442,4	-5588,2	-2564,5	-5735,3	-4532,7	-2891,6
1987-1989	-5408,2	-5497,2	-2545,1	-5960,2	-4525,9	-2811,2
1989-1990	-5326,4	-5081,9	-2502,1	-5744,9	-4470,9	-2786,1
1990-1991	-5988,3	-5591,2	-2872,0	-6103,8	-5174,4	-3227,5
1991-1992	-5344,5	-5019,1	-2457,1	-5608,0	-4591,0	-2876,1
1992-1993	-5846,5	-5691,9	-2589,4	-6128,5	-4665,8	-2959,4
1993-1994	-5365,6	-5202,0	-2843,5	-5057,6	-4015,4	-3120,0
1994-1995	-4524,5	-4387,2	-1608,3	-4713,0	-3639,5	-2041,5
1995-1996	-5158,8	-4797,1	-2266,0	-4949,0	-4340,2	-2595,5
1996-1997	-5316,7	-5028,8	-2526,8	-4819,1	-4240,7	-2652,9
1997-1998	-5351,5	-4865,3	-3426,4	-5157,8	-4690,1	-3619,5
1998-1999	-5672,7	-4688,1	-3915,9	-5315,0	-5157,2	-4053,9

1999-2000	-4781,4	-4443,4	-2423,0	-4928,2	-3909,4	-2596,2
2000-2001	-5744,7	-4537,9	-2932,8	-5458,1	-5153,1	-3252,2
2001-2002	-4824,6	-4598,3	-2850,5	-4916,8	-4244,7	-3107,4
2002-2003	-5323,2	-5656,4	-2861,3	-5574,0	-4516,4	-3135,3
2003-2004	-5671,5	-5549,2	-2867,9	-5880,4	-4870,1	-3025,8
2004-2005	-4723,5	-4147,0	-2301,3	-4846,9	-4196,6	-2723,4
2005-2006	-4746,1	-3789,0	-2402,4	-4345,5	-4206,4	-2640,7
2006-2007	-4567,8	-4104,2	-1919,4	-4690,2	-3884,2	-2440,6
2007-2008	-4702,5	-4285,2	-1713,7	-4865,0	-3978,5	-2217,3
2008-2009	-4627,8	-4371,3	-2032,5	-4846,3	-4007,7	-2507,8
2009-2010	-4690,9	-3447,5	-2007,7	-4045,7	-4158,1	-3068,3
2010-2011	-4200,1	-3879,6	-2098,6	-4157,1	-3655,3	-2419,3
2011-2012	-3828,5	-2467,6	-1347,7	-3756,5	-3001,5	-1951,4
2012-2013	-4680,0	-3698,6	-2247,7	-4017,0	-4068,1	-2664,3
2013-2014	-	-3730,8	-2393,9	-4412,6	-4042,0	-2793,7
2014-2014	-4721,3	-4035,0	-2019,4	-4515,1	-3980,6	-2419,8
2014-2016	-3842,2	-2761,2	-1601,1	-3821,6	-3146,0	-1964,7
2016-2017	-4334,4	-2898,7	-1799,7	-3591,0	-3841,0	-2399,6
2017-2018	-4708,5	-3952,7	-1894,8	-4469,8	-3881,4	-2293,3
2018-2019	-4313,4	-3653,1	-1601,2	-4089,0	-3652,8	-2094,8
2019-2020	-3934,7	-3686,1	-1602,8	-3870,7	-3216,1	-1876,7
2020-2021	-	-	-	-	-3899,5	-2587,9
2021-2022	-	-	-	-	-3694,3	-2343,3

3.4 Расчет кластерного анализа

По данным СГДМ был произведен кластерный анализ с целью определения трех классов суровости зим (суровая, умеренная и мягкая). Кластерный анализ был произведен по всем шести станциям: м. Стерлегова, о. Визе, м. Болванский нос, м. Голомянный, п. Диксон, им. Попова.

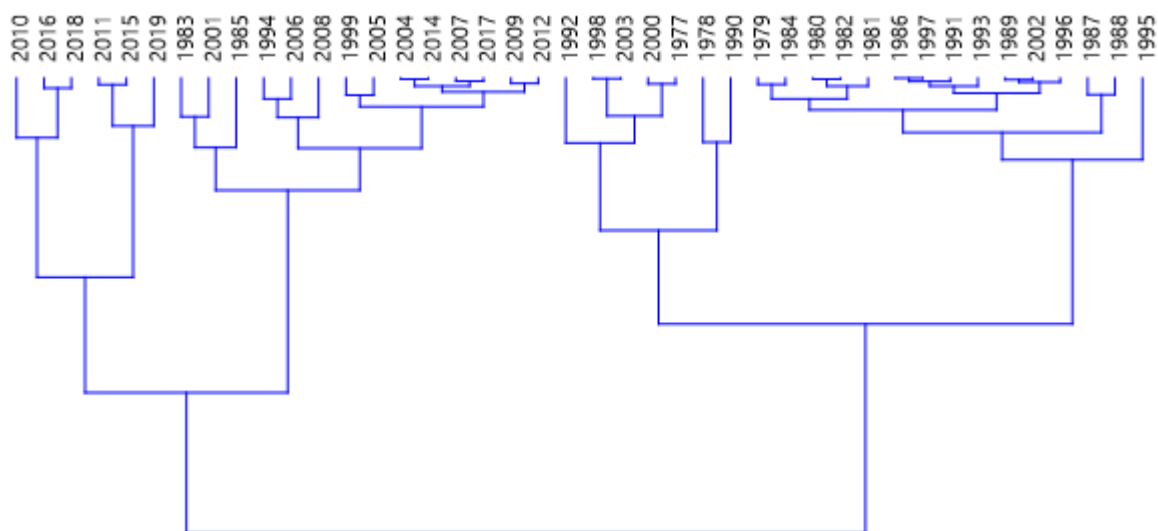


Рис. 3.9 Дентаграмма станции м. Стерлегова

Таблица 3.10 СГДМ по степеням суровости на станции м. Стерлегова

	сур		ум		мяг
1977	-5756,6	1979	-5254,3	1994	-4524,5
1978	-6121,4	1980	-5286,4	1999	-4781,4
1990	-5988,3	1981	-5301,9	2001	-4824,6
1992	-5846,5	1982	-5284,2	2004	-4723,5
1998	-5672,7	1983	-4905	2005	-4746,1
2000	-5744,7	1984	-5241,3	2006	-4567,8
2003	-5671,5	1985	-5009,2	2007	-4702,5
		1986	-5351,5	2008	-4627,8
		1987	-5442,4	2009	-4690,9
		1988	-5408,2	2010	-4200,1
		1989	-5326,4	2011	-3828,5
		1991	-5344,5	2012	-4680
		1993	-5365,6	2014	-4721,3
		1995	-5158,8	2015	-3842,2
		1996	-5316,7	2016	-4334,4
		1997	-5351,5	2017	-4708,5
		2002	-5323,2	2018	-4313,4
				2019	-3934,7

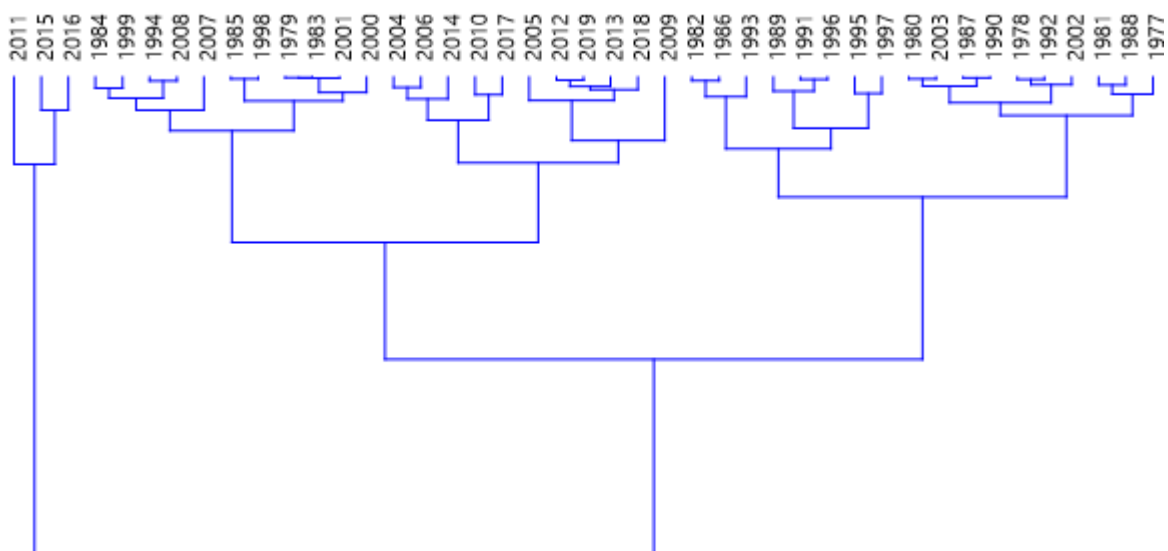


Рис. 3.10 Дентаграмма станции о. Визе

Таблица 3.11 СГДМ по степеням суровости на станции о. Визе

	сур		ум		мяг
1977	-5410,4	1982	-5276,0	1979	-4601,6
1978	-5682,9	1986	-5290,3	1983	-4604,1
1980	-5556,1	1989	-5081,9	1984	-4489,2
1981	-5465,2	1991	-5019,1	1985	-4681,0
1987	-5588,2	1993	-5202,0	1994	-4387,2
1988	-5497,2	1995	-4797,1	1998	-4688,14
1990	-5591,2	1996	-5028,8	1999	-4443,4
1992	-5691,9	1997	-4865,3	2000	-4537,9
2002	-5656,4			2001	-4598,3
2003	-5549,2			2004	-4147,0
				2005	-3789,0
				2006	-4104,2
				2007	-4285,2
				2008	-4371,3
				2009	-3447,5
				2010	-3879,6
				2011	-2467,6
				2012	-3698,6
				2013	-3730,8
				2014	-4035,0
				2015	-2761,2
				2016	-2898,7
				2017	-3952,7
				2018	-3653,1
				2019	-3686,1

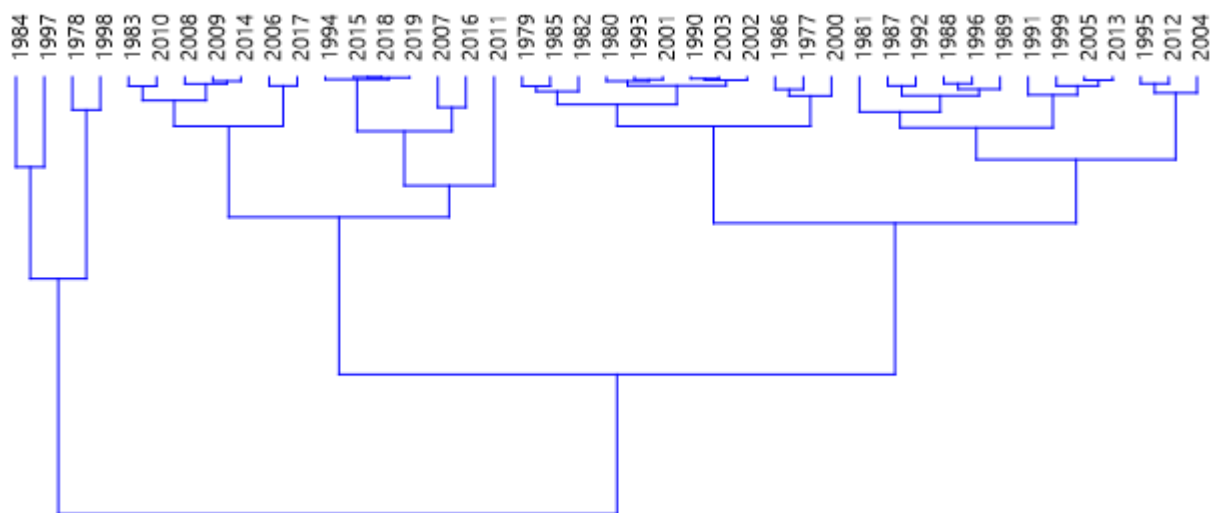


Рис. 3.11 Дентаграмма станции м. Болванский нос

Таблица 3.12 СГДМ по степеням суровости на станции м. Болванский

нос

	сур		ум		мяг
1978	-3822,8	1977	-2968,4	1983	-2073,1
1984	-3171,7	1979	-2779	1994	-1608,3
1997	-3426,4	1980	-2835,9	2006	-1919,4
1998	-3915,9	1981	-2644,3	2007	-1713,7
		1982	-2751,2	2008	-2032,5
		1985	-2804,3	2009	-2007,7
		1986	-3003	2010	-2098,6
		1987	-2564,5	2011	-1347,7
		1988	-2545,1	2014	-2019,4
		1989	-2502,1	2015	-1601,1
		1990	-2872	2016	-1799,7
		1991	-2457,1	2017	-1894,8
		1992	-2589,4	2018	-1601,2
		1993	-2843,5	2019	-1602,8
		1995	-2266		
		1996	-2526,8		
		1999	-2423		
		2000	-2932,8		
		2001	-2850,5		
		2002	-2861,3		
		2003	-2867,9		
		2004	-2301,3		
		2005	-2402,4		
		2012	-2247,7		
		2013	-2393,9		

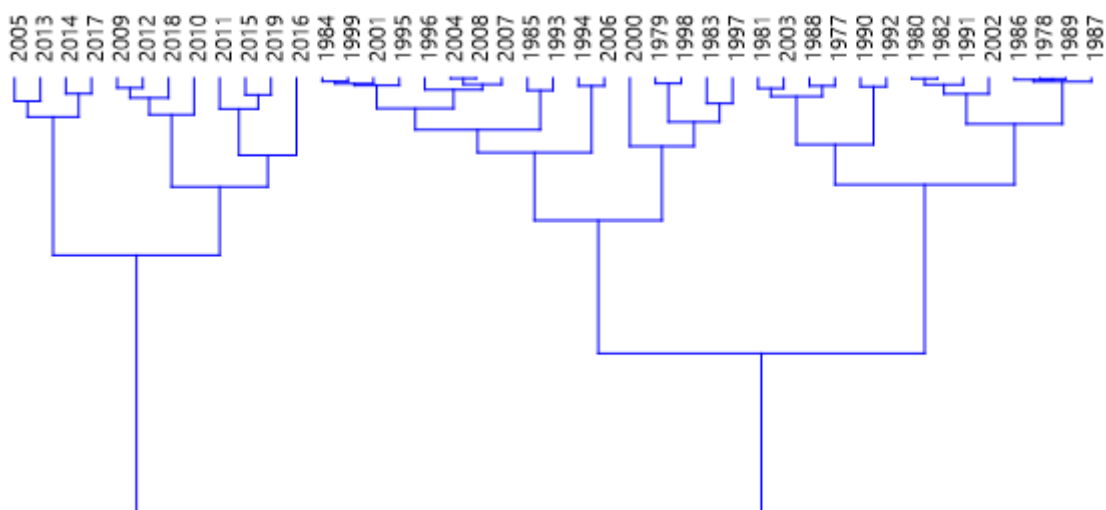


Рис. 3.12 Дентаграмма станции Голомянный

Таблица 3.13 СГДМ по степеням суровости на станции Голомянный

	сур		ум		мяг
1977	-5937,4	1979	-5330,5	2005	-4345,5
1978	-5742,9	1983	-5231,5	2009	-4045,7
1980	-5625,9	1984	-4937,5	2010	-4157,1
1981	-5910,5	1985	-5021,7	2011	-3756,5
1982	-5627,5	1993	-5057,6	2012	-4017
1986	-5748,2	1994	-4713	2013	-4412,6
1987	-5735,3	1995	-4949	2014	-4515,1
1988	-5960,2	1996	-4819,1	2015	-3821,6
1989	-5744,9	1997	-5157,8	2016	-3591
1990	-6103,8	1998	-5315	2017	-4469,8
1991	-5608	1999	-4928,2	2018	-4089
1992	-6128,5	2000	-5458,1	2019	-3870,7
2002	-5574	2001	-4916,8		
2003	-5880,4	2004	-4846,9		
		2006	-4690,2		
		2007	-4865		
		2008	-4846,3		

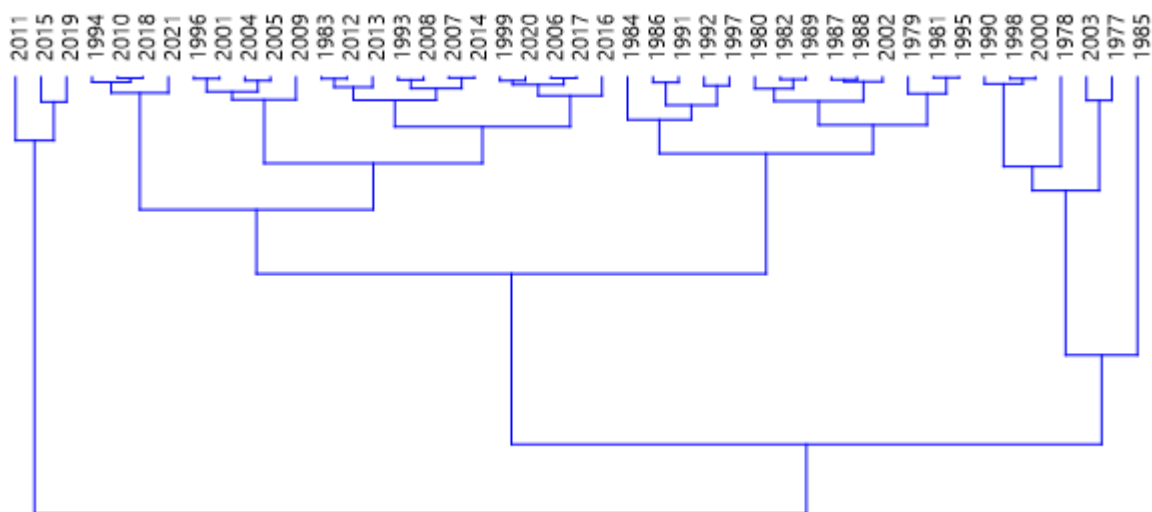


Рис. 3.13 Дентаграмма станции п. Диксон

Таблица 3.14 СГДМ по степеням суровости на станции п. Диксон

	сур		ум		мяг
1977	-4936,4	1983	-4072,6	1994	-3639,5
1978	-5415,4	1993	-4015,4	2010	-3655,3
1979	-4386,2	1996	-4240,7	2011	-3001,5
1980	-4435	1999	-3909,4	2015	-3146
1981	-4338,7	2001	-4244,7	2018	-3652,8
1982	-4464,8	2004	-4196,6	2019	-3216,1
1984	-4758,8	2005	-4206,4	2021	-3694,3
1985	-5906,9	2006	-3884,2		
1986	-4605,8	2007	-3978,5		
1987	-4532,7	2008	-4007,7		
1988	-4525,9	2009	-4158,1		
1989	-4470,9	2012	-4068,1		
1990	-5174,4	2013	-4042		
1991	-4591	2014	-3980,6		
1992	-4665,8	2016	-3841		
1995	-4340,2	2017	-3881,4		
1997	-4690,1	2020	-3899,5		
1998	-5157,2				
2000	-5153,1				
2002	-4516,4				
2003	-4870,1				

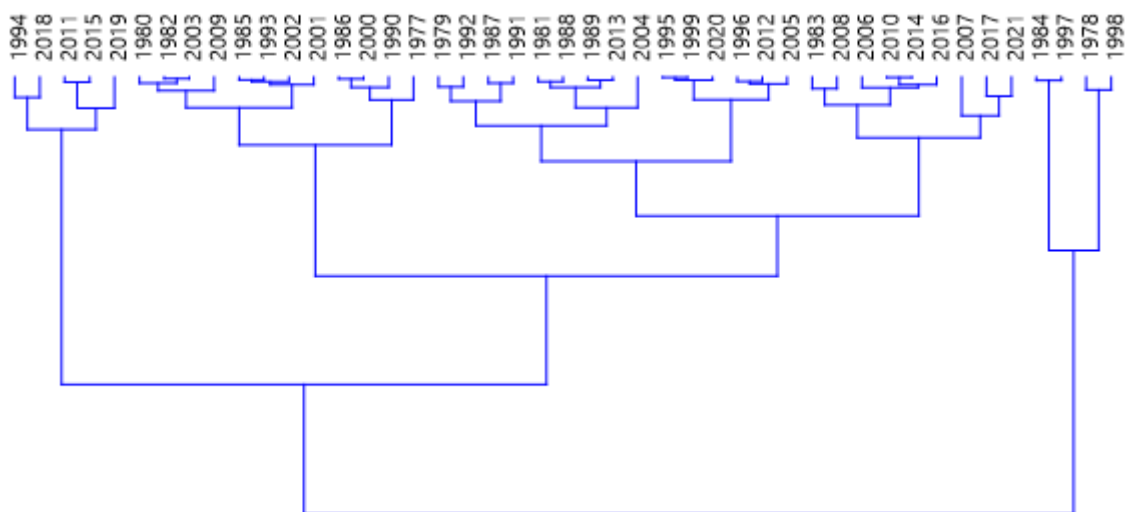


Рис. 3.14 Дендаграмма станции г. Амдерма

Таблица 3.15 СГДМ по степеням суровости на станции г. Амдерма

	сур		ум		мяг
1978	-4087,6	1977	-3305,1	1994	-2041,5
1984	-3611,1	1979	-2934	2011	-1951,4
1997	-3619,5	1980	-3043,7	2015	-1964,7
1998	-4053,9	1981	-2822,8	2018	-2094,8
		1982	-3029,5	2019	-1876,7
		1983	-2477,6		
		1985	-3127		
		1986	-3256,7		
		1987	-2891,6		
		1988	-2811,2		
		1989	-2786,1		
		1990	-3227,5		
		1991	-2876,1		
		1992	-2959,4		
		1993	-3120		
		1995	-2595,5		
		1996	-2652,9		
		1999	-2596,2		
		2000	-3252,2		
		2001	-3107,4		
		2002	-3135,3		
		2003	-3025,8		
		2004	-2723,4		
		2005	-2640,7		
		2006	-2440,6		
		2007	-2217,3		
		2008	-2507,8		
		2009	-3068,3		

Таблица 3.16 Степени суровости на каждый год на всех станциях

	Стерлегова	Визе	Болванский нос	Голомянный	Диксон	Амдерма
1977-1978	сур	сур	ум	сур	сур	ум
1978-1979	сур	сур	сур	сур	сур	сур
1979-1980	ум	мяг	ум	ум	сур	ум
1980-1981	ум	сур	ум	сур	сур	ум
1981-1982	ум	сур	ум	сур	сур	ум
1982-1983	ум	ум	ум	сур	сур	ум
1983-1984	ум	мяг	мяг	ум	ум	ум
1984-1985	ум	мяг	сур	ум	сур	сур
1985-1986	ум	мяг	ум	ум	сур	ум
1986-1987	ум	ум	ум	сур	сур	ум
1987-1988	ум	сур	ум	сур	сур	ум
1987-1989	ум	сур	ум	сур	сур	ум
1989-1990	ум	ум	ум	сур	сур	ум
1990-1991	сур	сур	ум	сур	сур	ум
1991-1992	ум	ум	ум	сур	сур	ум
1992-1993	сур	сур	ум	сур	сур	ум
1993-1994	ум	ум	ум	ум	ум	ум
1994-1995	мяг	мяг	мяг	ум	мяг	мяг
1995-1996	ум	ум	ум	ум	сур	ум
1996-1997	ум	ум	ум	ум	ум	ум
1997-1998	ум	ум	сур	ум	сур	сур
1998-1999	сур	мяг	сур	ум	сур	сур
1999-2000	мяг	мяг	ум	ум	ум	ум
2000-2001	сур	мяг	ум	ум	сур	ум
2001-2002	мяг	мяг	ум	ум	ум	ум
2002-2003	ум	сур	ум	сур	сур	ум
2003-2004	сур	сур	ум	сур	сур	ум
2004-2005	мяг	мяг	ум	ум	ум	ум
2005-2006	мяг	мяг	ум	мяг	ум	ум
2006-2007	мяг	мяг	мяг	ум	ум	ум
2007-2008	мяг	мяг	мяг	ум	ум	ум
2008-2009	мяг	мяг	мяг	ум	ум	ум
2009-2010	мяг	мяг	мяг	мяг	ум	ум
2010-2011	мяг	мяг	мяг	мяг	мяг	ум
2011-2012	мяг	мяг	мяг	мяг	мяг	мяг
2012-2013	мяг	мяг	ум	мяг	ум	ум
2013-2014		мяг	ум	мяг	ум	ум
2014-2014	мяг	мяг	мяг	мяг	ум	ум
2014-2016	мяг	мяг	мяг	мяг	мяг	мяг
2016-2017	мяг	мяг	мяг	мяг	ум	ум
2017-2018	мяг	мяг	мяг	мяг	ум	ум
2018-2019	мяг	мяг	мяг	мяг	мяг	мяг
2019-2020	мяг	мяг	мяг	мяг	мяг	мяг

2020-2021					ум	ум
2021-2022					мяг	ум

В ходе расчетов мной была сформирована таблица, с помощью кластерного анализа были определены степени суровости, соответствующие всем зимам на выбранном временном промежутке на каждой станции. Для дальнейшего анализа необходимо выбрать из Таблицы 3.10 три подходящих года, в которых на большинстве станций совпадает степень суровости. Хорошо подходят зимы 1998-1999 гг. (суровая), 2004-2005 гг. (умеренная) и 2011-2012 гг. (мягкая).

Далее сформируем таблицу площадей льда за выбранные три года.

Таблица 3.17 Таблица площадей льда за две зимы разной суровости

	сур	ум	мяг
	1998-1999	2004-2005	2011-2012
сентябрь	320000	140000	40000
октябрь	780000	450000	100000
ноябрь	910000	790000	550000
декабрь	910000	870000	610000
январь	910000	890000	800000
февраль	910000	860000	800000
март	910000	910000	840000
апрель	910000	910000	850000
май	890000	890000	740000
июнь	860000	700000	340000
июль	770000	320000	100000
август	340000	80000	40000

Следующим шагом является построение графика годового хода площади льда за три выбранные зимы.

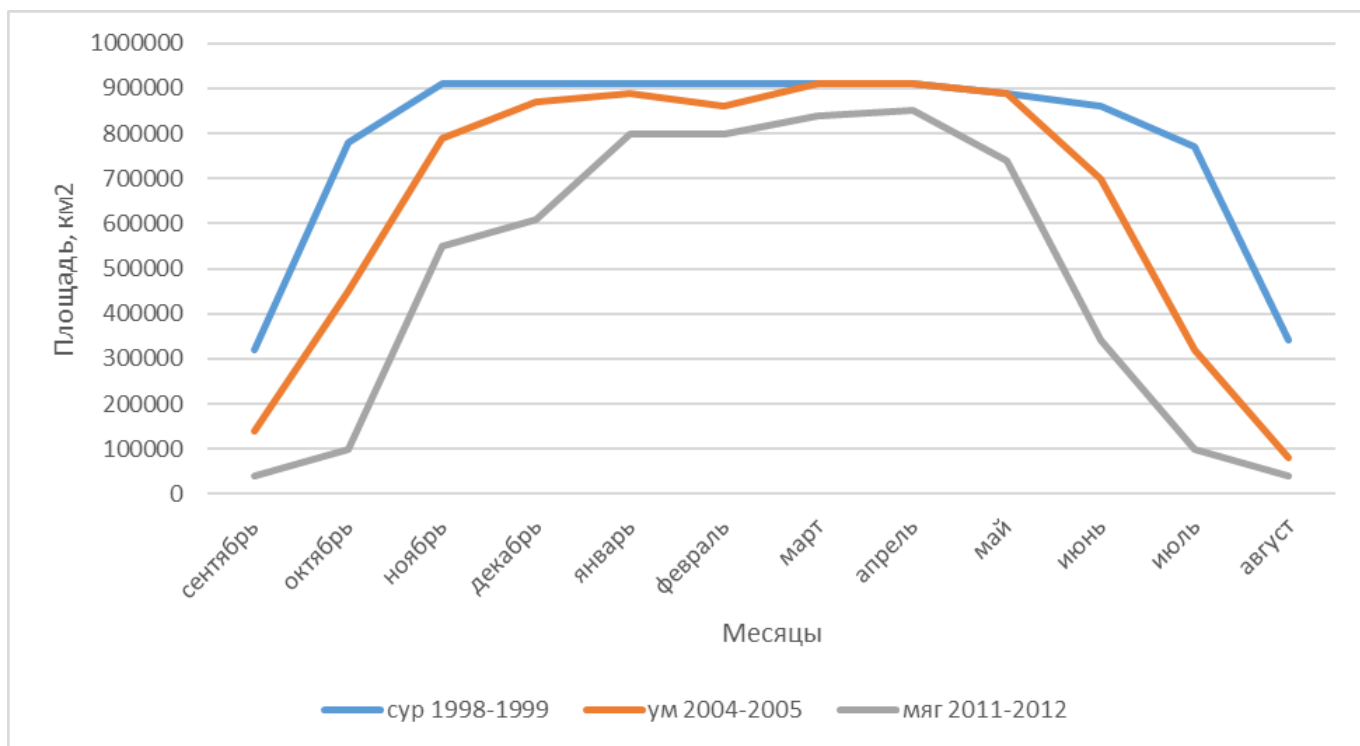


Рис. 3.15 Годовой ход площади льда за три выбранные зимы (1998-1999 гг., 2004-2005 гг., 2011-2012 гг.)

По графику видно, что на начало осенне-зимнего периода в суровую зиму уже наблюдается лед площадью около 300 тыс. км², в то время как в умеренную площадь льда составила 140 тыс. км², а в мягкую зиму наблюдается лед площадью примерно 50 тыс. км². В суровую зиму максимальная ледовитость наблюдается уже в ноябре, в умеренную только в марте, в мягкую зиму ледовитость достигает своего пика только к середине весны. Уменьшение льда в суровую зиму происходит плавно с конца весны-начала лета, к августу площадь льда возвращается в свои начальные цифры. В умеренную зиму таяние ледового покрова начинается также, как у суровой, в мае, но тает он намного быстрее. К августу площадь льда составляет 80 тыс. км². В мягкую зиму ледяной покров начинает таять уже в апреле, достигнув своего пика в 850 тыс. км². С апреля море очищается ото льда очень быстро, уже в июле площадь льда составляет 100 тыс. км², а к августу – 50 тыс. км².

3.5 Сравнение ледовых карт

Для визуализации сравнения суровой зимы 1998-1999 гг., умеренной зимы 2004-2005 гг. и мягкой 2011-2012 гг. с сайта Арктического и Антарктического научно-исследовательского института были взяты карты ледовой обстановки за выбранные года.

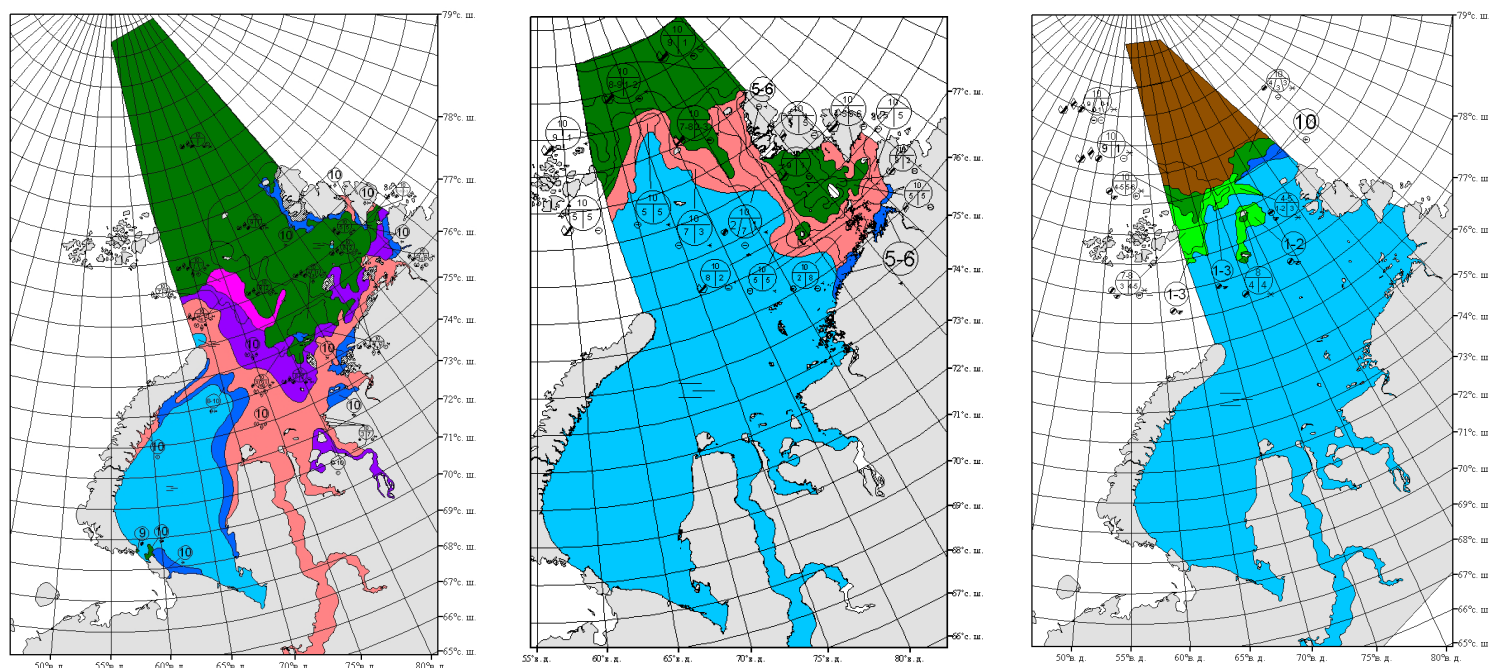


Рис. 3.16 Ледовые карты за октябрь 1998 г., 2004 г, и 2011 г., соответственно

По данным карт видно, что в начале осенне-зимнего периода в суровую зиму 1998-1999 гг. лед заполнил всю северо-восточную часть Карского моря и половину юго-западной. Обская губа полностью занята серым льдом (розовый цвет), на западном побережье Карских ворот и вдоль Новой земли уже образуется нилас (синий цвет). В умеренную зиму лед большой сплочённости виден у берегов Северной земли и стремится заполнить северо-восточную часть, пролив Вилькицкого занят серым льдом, в то время как в мягкую зиму тонкий лед только начинает образовываться.

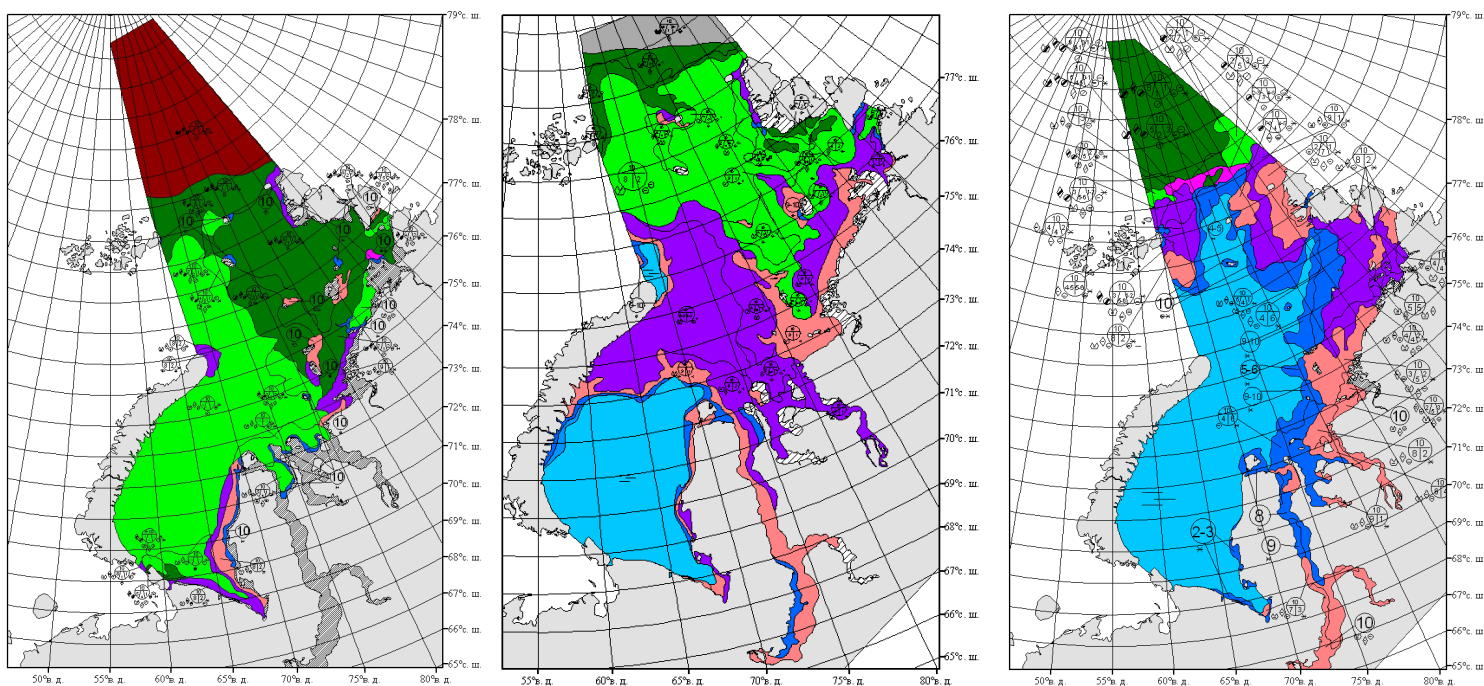


Рис. 3.17 Ледовые карты за ноябрь 1998 г., 2004 г. и 2011 г., соответственно

В ноябре, в суровую зиму, Карское море полностью покрыто льдом. В юго-западной части в основном наблюдается тонкий лед (салатовый цвет). Обская губа, Енисейский залив и все побережье п-ова Таймыр заняты припаем. В северо-восточной части преобладает остаточный лед (темно-зеленый).

В умеренную зиму в северо-восточной части преобладают тонкий (салатовый цвет) и серо-белый (фиолетовый цвет) льды. Вдоль побережья п-ова Таймыр начинает образовываться припай и серый лед. Юго-западная часть Карского моря почти свободна ото льда, только в Обской губе и Енисейском заливе наблюдается серый и серо-белый льды.

В мягкую зиму в северо-восточной части меньше льда по сравнению с умеренной. Здесь преобладают серый (розовый цвет) и серо-белый (фиолетовый цвет) льды, а также nilас (синий). Юго-западная часть Карского моря также почти свободна ото льда. В Обской губе и Енисейском заливе наблюдается серый лед и nilас.

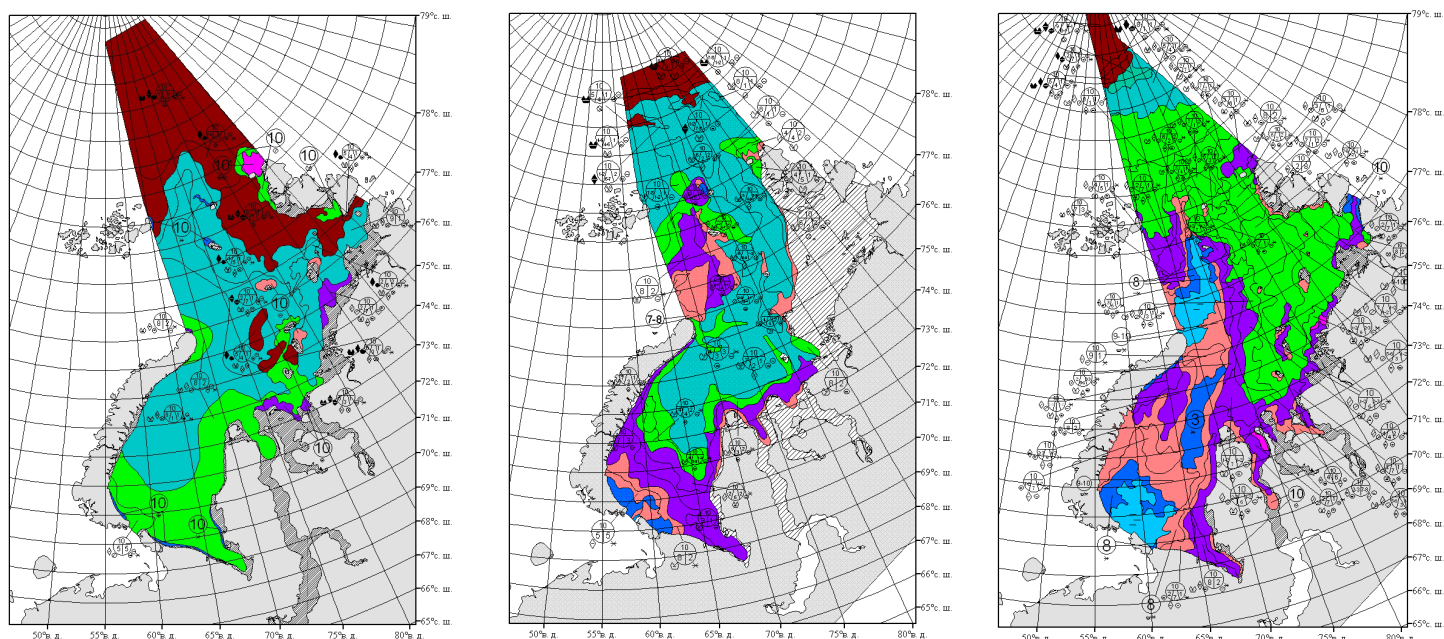


Рис. 3.18 Ледовые карты за январь 1999 г., 2005 г, и 2012 г., соответственно

В январе, в суровую зиму, наибольшая площадь Карского моря покрыта средним льдом (голубой цвет). Берега Северной земли окутаны старым льдом Северного-Ледовитого океана высокой сплоченности. Около пролива Карские ворота и вдоль побережья полуострова Ямал наблюдается тонкий лед (салатовый). Обская губа, Енисейский залив и все побережье полуострова Таймыр заняты припаем.

В январе, в умеренную зиму, Карское море полностью покрыто льдом. Обская губа, Енисейский залив, побережье п-ова Таймыр, пролив Вилькицкого и берега Северной земли заняты припаем. В центре моря преобладает средний лед. Вдоль новой земли, побережья п-ова Ямал наблюдается серо-белый лед.

В мягкую зиму, в январе, море все еще остается не полностью покрыто льдом. Открытая вода наблюдается около пролива Карские ворота, и у мыса Желаний. В юго-западной части преобладают начальные виды льда, такие как нилас (синий), серый (розовый) и серо-белый (фиолетовый). В северо-восточной части преобладает тонкий лед.

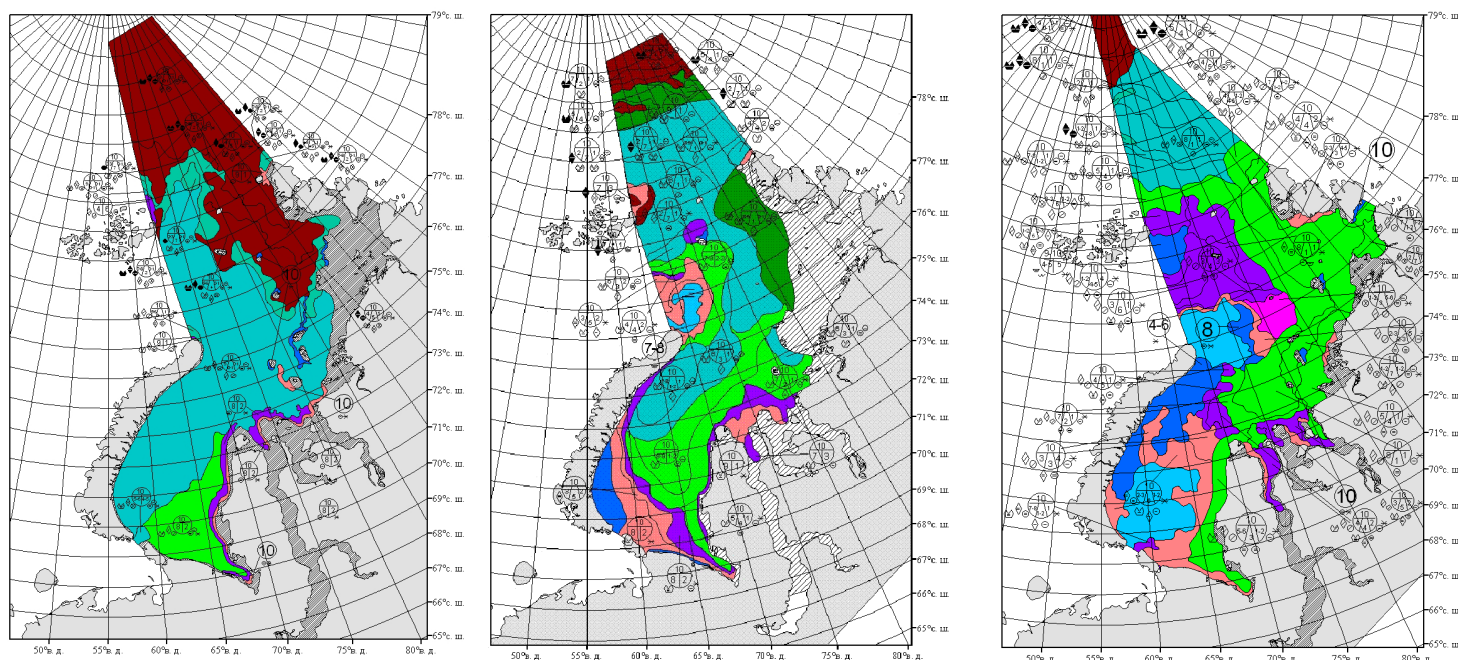


Рис. 3.19 Ледовые карты за февраль 1999 г., 2005 г. и 2012 г., соответственно

Карское море в феврале 1999 г. практически полностью покрыто средним льдом. Старый лед из Северного-Ледовитого океана стремится заполнить всю северо-восточную часть. Побережье полуострова Ямал покрыто тонким льдом. Пролив Вилькицкого, все побережье п-ова Таймыр, обская губа, Енисейский залив и побережье п-ова Ямал полностью закрыты припаем, который разрастается вглубь моря.

В 2005 г. толстый лед (зеленый) наблюдается около припая у Северной земли, центральная часть моря занята средним льдом, около пр-ва Карские ворота – серый и серо-белый, вдоль побережья п-ова Ямал – тонкий лед.

В феврале 2012 Карское море остается все еще не полностью покрыто льдом. Вдоль Северной земли, п-ова Таймыр и п-ова Ямал наблюдается тонкий лед, вдоль Новой земли – нилас.

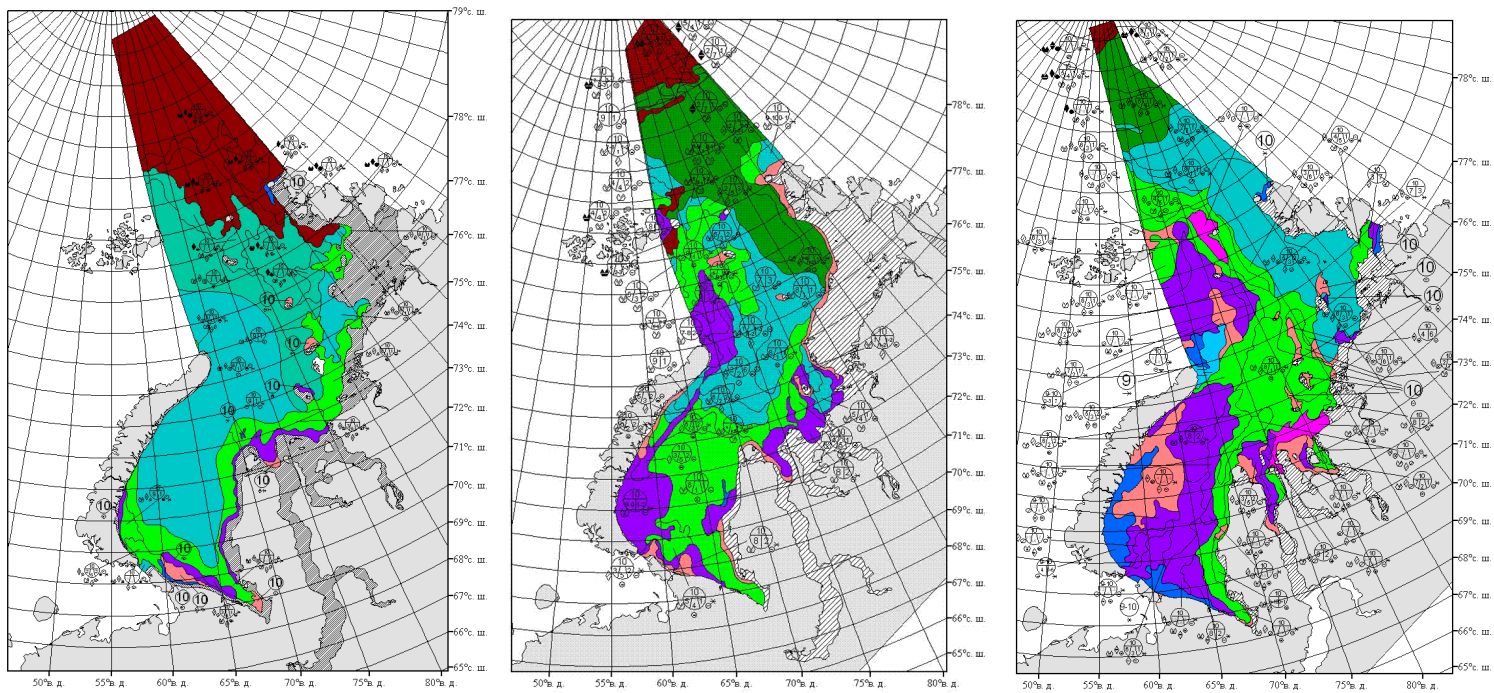


Рис. 3.20 Ледовые карты за март 1999 г., 2005 г. и 2012 г., соответственно

Лед в северо-восточной части Карского моря в суровую зиму 1999 г. преобразовывается в однолетний. Льды в юго-западной части: вблизи пролива Карские ворота, вдоль п-ова Ямал и п-ова Таймыр виден тонкий и серо-белые льды. Старый лед (красный) отходит назад в Северный-Ледовитый океан. Припай все также охватывает Пролив Вилькицкого, все побережье п-ова Таймыр, обская губа, Енисейский залив и побережье п-ова Ямал.

В умеренную зиму ледяной покров в юго-восточной части Карского моря почти не изменился с прошлого месяца. Вдоль Новой земли наблюдается серо-белый лед, у п-ова Ямал – тонкий. Тогда как в северо-восточной части площадь толстого льда (зеленый) увеличилась, пролив Вилькицкого полностью закрыт припаем.

В марте, в мягкую зиму, пролив Карские ворота закрыт серо-белым льдом, вдоль Новой земли – нилас, серый и серо-белый. На побережье п-ова Ямал наблюдается тонкий лед. В северо-восточной части моря, около

Северной земли и у половины побережья п-ова Таймыр образовался средний лед.

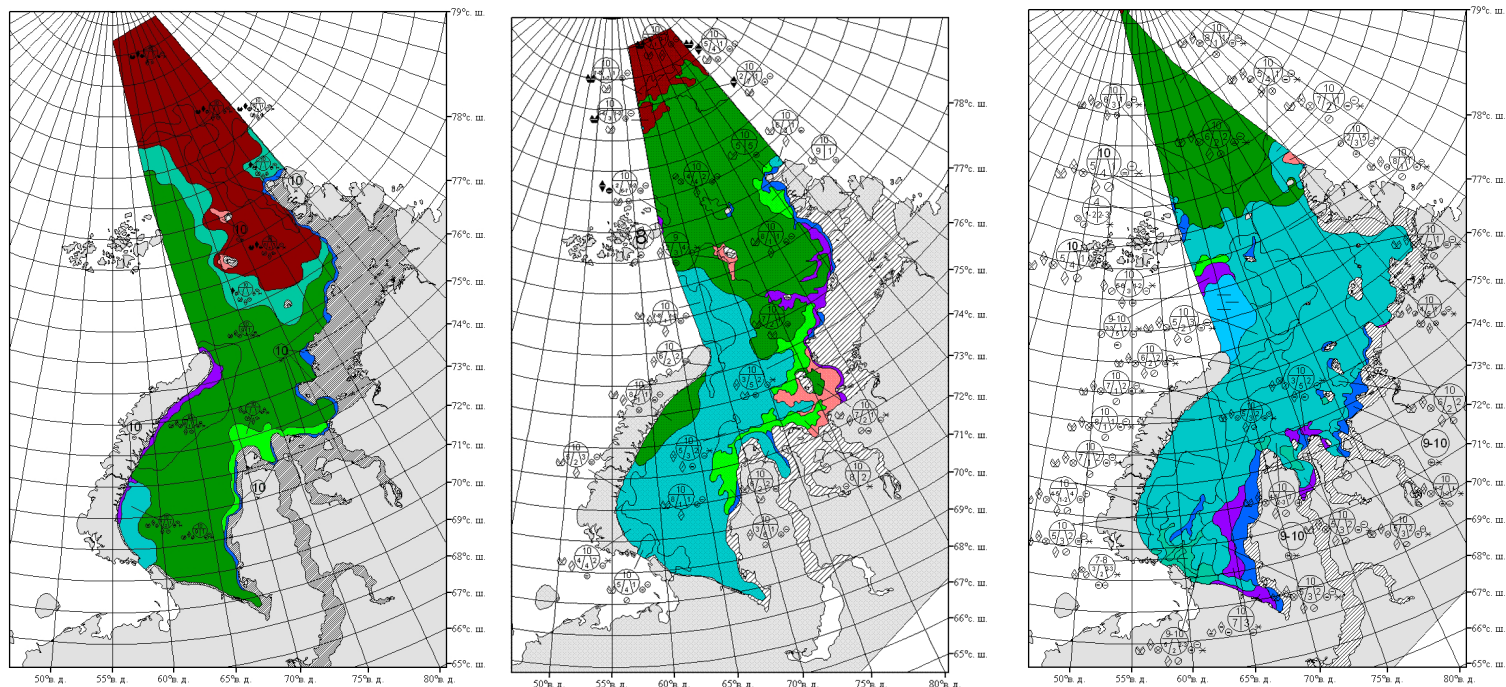


Рис. 3.21 Ледовые карты за май 1999 г., 2005 г. и 2012 г., соответственно

В мае 1999 г. в юго-восточной части льды сплотились и образовали один сплошной толстый лед, только вдоль побережья Новой земли виднеется серо-белый лед, около Карских ворот – средний, вдоль п-ова Ямал – nilас и тонкий. Припай разрастается вглубь моря. Около северной земли старый лед вернулся, как и был в феврале.

В 2005 г. практически вся северо-восточная часть покрыта толстым льдом. Около пр-ва Карские ворота – средний, вдоль припая образовался серо-белый и серый льды, что может говорить о том, что лед начинает таять. В юго-западной части Вдоль Новой земли также наблюдается небольшое количество толстого льда.

В мягкую зиму практически все море занято средним льдом, только вдоль п-ова Ямал виднеется nilас и серо-белый лед.

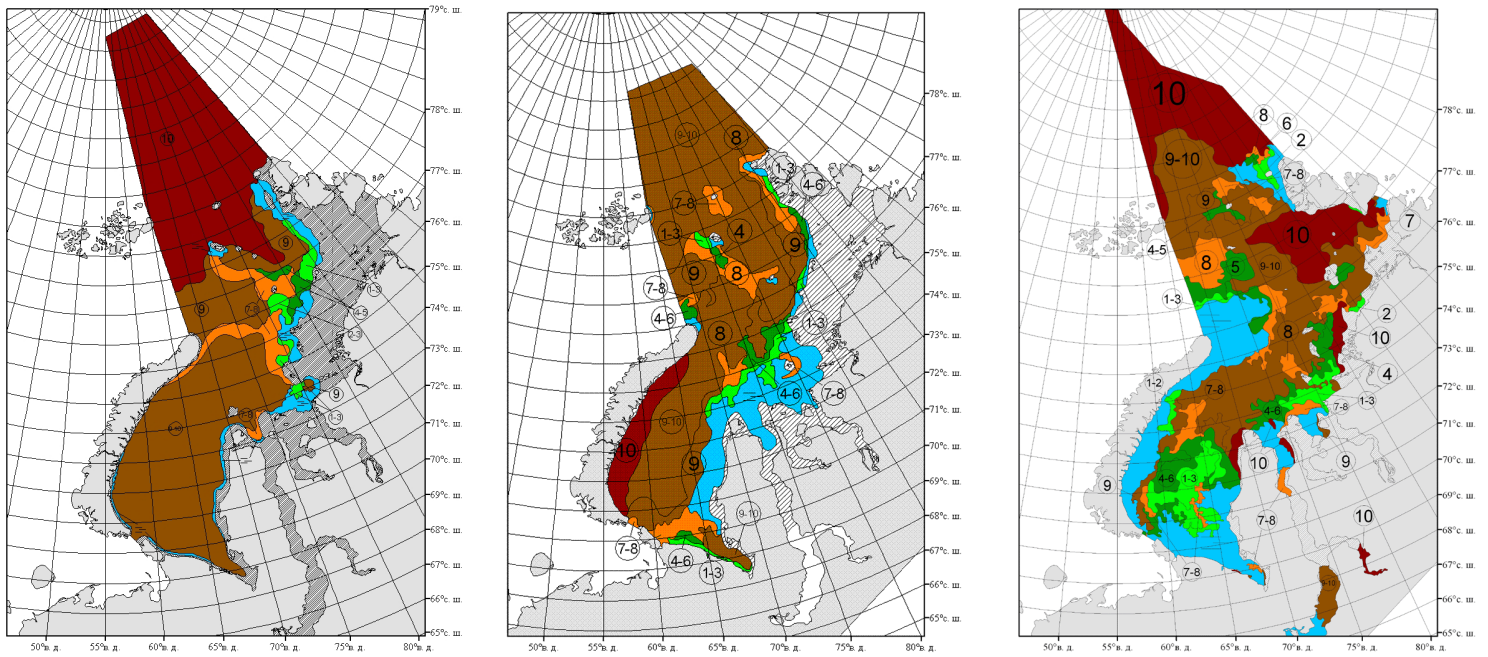


Рис. 3.22 Ледовые карты за май 1999 г., 2005 г, и 2012 г., соответственно

В июне, суровой зимой 1998-1999 гг. льды Карского моря начинают медленно таять. Открытая вода видна вдоль берегов Новой земли, п-ова Ямал, и вдоль припяя, который все еще занимает Обскую губу, Енисейский залив, пролив Вилькицкого и берега п-ова Таймыр.

В умеренную зиму, в июне, лед начал таять и уже небольшая площадь моря свободна ото льда, хотя и вдоль Новой земли наблюдаются льды высокой сплоченности (9-10 баллов), которые тянутся в северо-восточную часть моря. Пролив Вилькицкого все также остается закрыт припаем. Обская губа и Енисейский залив начинают освобождаться от припяя.

В мягкую зиму свободной ото льда воды больше, чем в умеренную. Льды высокой сплоченности занимают центральную часть моря и закрывают пролив Вилькицкого.

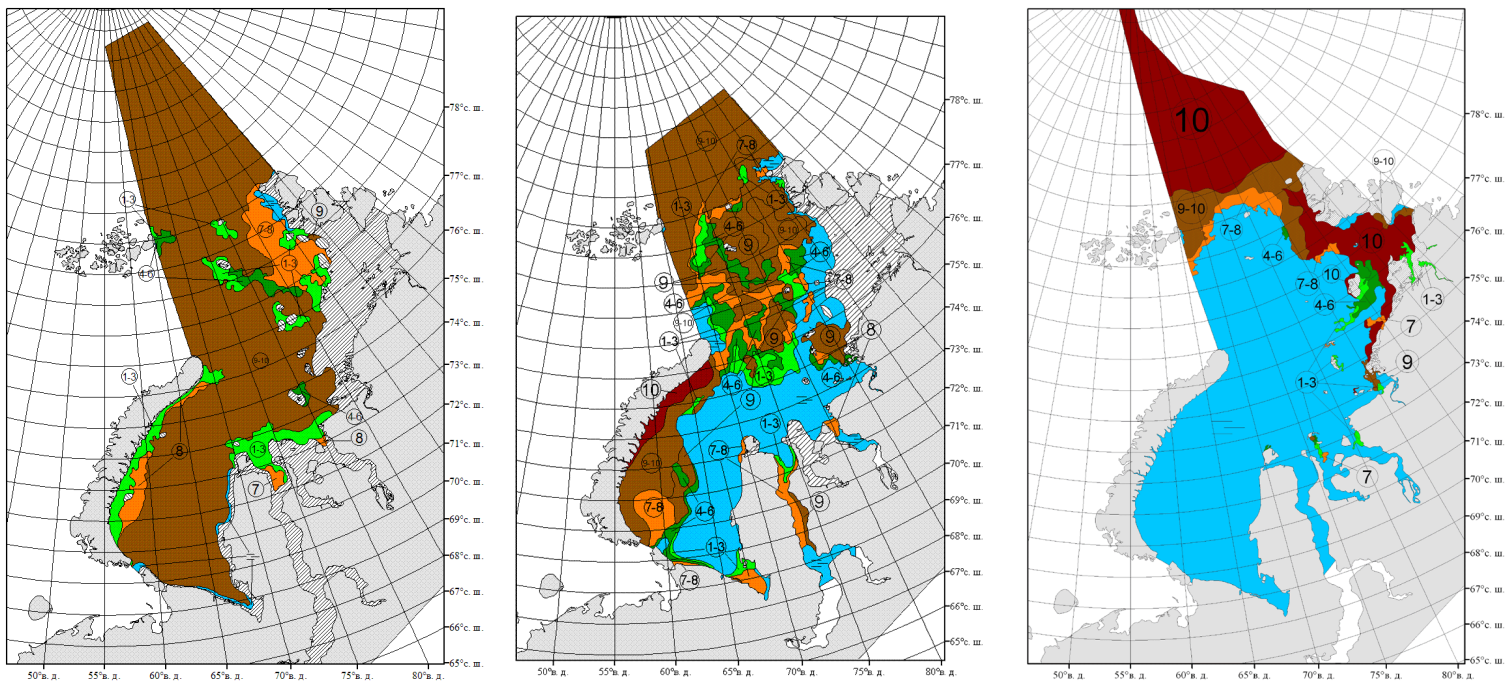


Рис. 3.23 Ледовые карты за июль 1999 г., 2005 г, и 2012 г., соответственно

В июле, в суровую зиму, Карское море все еще остается покрыто льдом, высокой сплоченности. В местах, где в предыдущем месяце виднелась открытая вода, лед стал менее сплоченным.

В умеренную зиму юго-западная часть Карского моря почти освободилась ото льда. Лед высокой сплоченности сохраняется только вдоль Новой земли, в Обской губе и немного в Енисейском заливе. Северо-западная часть остается покрыта льдом на 80%. Берега п-ова Таймыр наполовину освободились от припая. Пролив Вилькицкого все еще остается заблокирован.

В июле 2012 г. Карское море полностью свободно ото льда. Старый лед высокой сплоченности перекрывает полностью пролив Вилькицкого, Северную землю, а также немного вдоль побережья п-ова Таймыр.

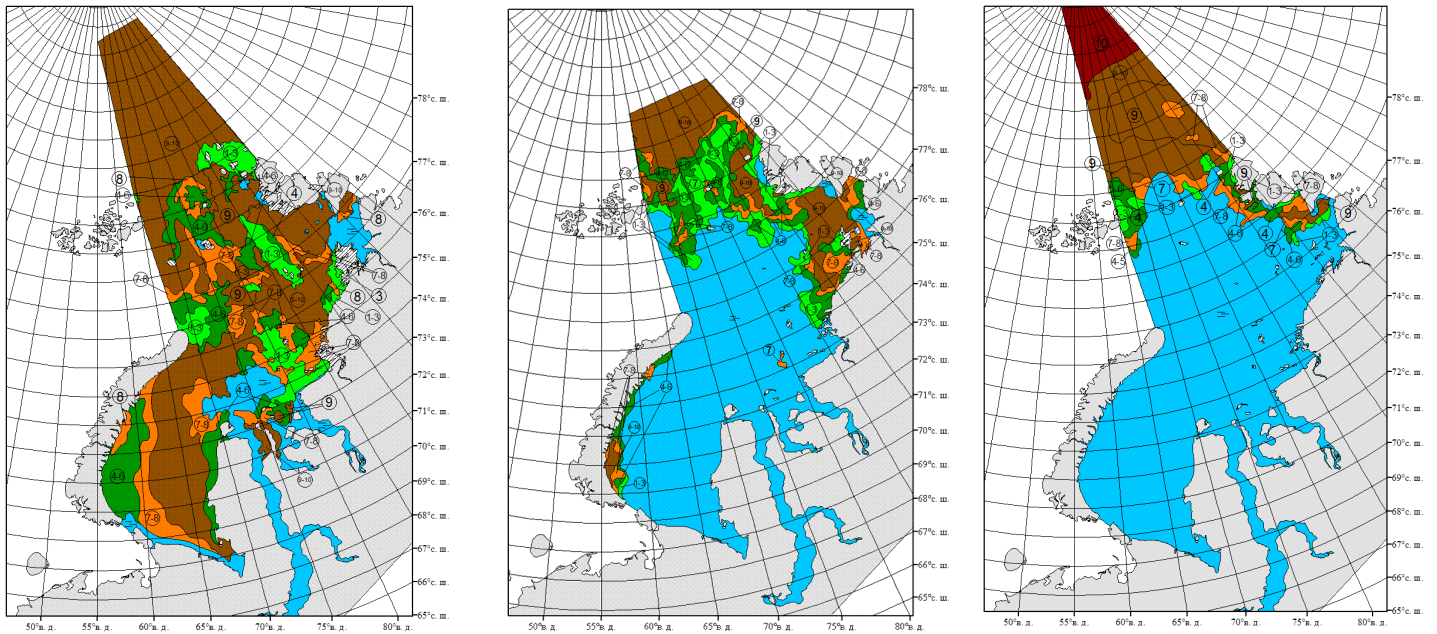


Рис. 3.24 Ледовые карты за август 1999 г., 2005 г, и 2012 г., соответственно

Интенсивное таяние льда в 1999 г. начинается только в конце лета. Хотя и море остается по большей части покрыто льдом, его сплоченность падает. Ото льда уже полностью освободились Обская губа, Енисейский залив, и частично побережье п-ова Таймыр вблизи пролива Вилькицкого.

В 2005 г. юго-западная часть Карского моря, Обская губа, Енисейский залив полностью свободны ото льда, кроме берегов Новой земли, где еще сохраняется небольшая площадь воды, покрытая льдом высокой сплоченности. В северо-восточной части лед все еще присутствует, но его сплоченность становится меньше. Пролив Вилькицкого закрыт уже не припаем, а льдами высокой средней сплоченности.

В 2012 г. лед сохраняется только вдоль побережья Северной земли. Также частично закрыт пролив Вилькицкого.

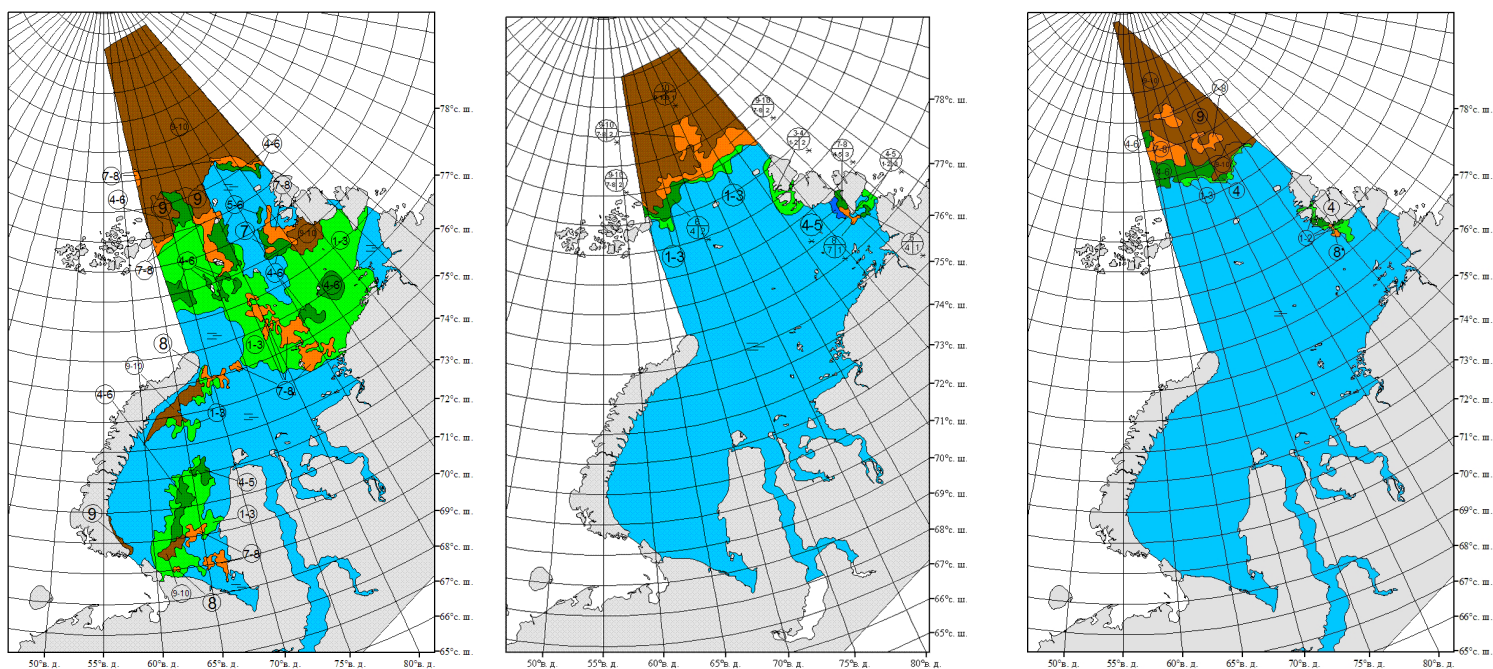


Рис. 3.25 Ледовые карты за сентябрь 1999 г., 2005 г. и 2012 г., соответственно

В сентябре в 1999 г. море свободно ото льда примерно на 60%. Занятая льдом площадь поверхности в основном состоит из тонкого льда в северо-восточной части.

В 2005 г. лед остается только в районе пролива Вилькицкого и у берегов Северной земли.

В 2012 г. лед наблюдается только у берегов Северной земли.

3.6 Анализ трендов площади льда по месяцам

Обычно, зимой площадь льда, в зависимости от суровости зимы не меняется, но она меняется очень сильно в межсезонье. Для дальнейшей работы были проанализированы графики площади льда по месяцам за выбранный промежуток времени.

Kara Sea Sea Ice Extent

January 1979-2023

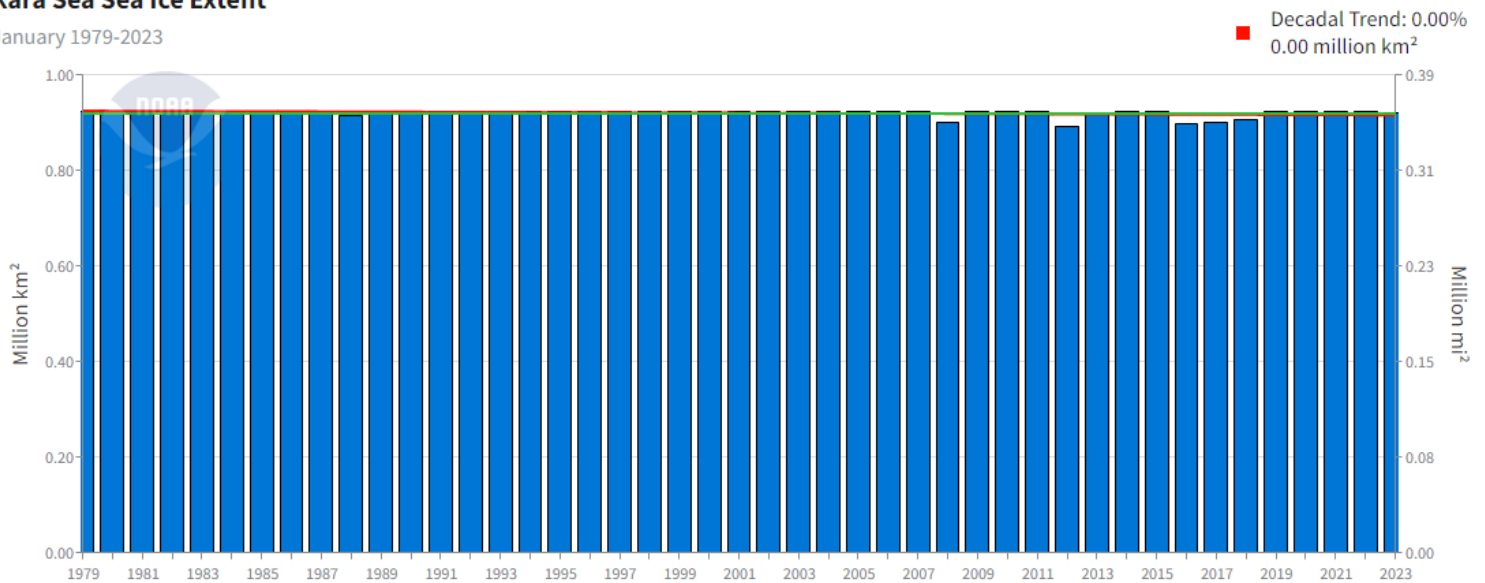


Рис. 3.26 График площади льда Карского моря за январь в период с 1979 по 2023 гг.

Kara Sea Sea Ice Extent

February 1979-2023

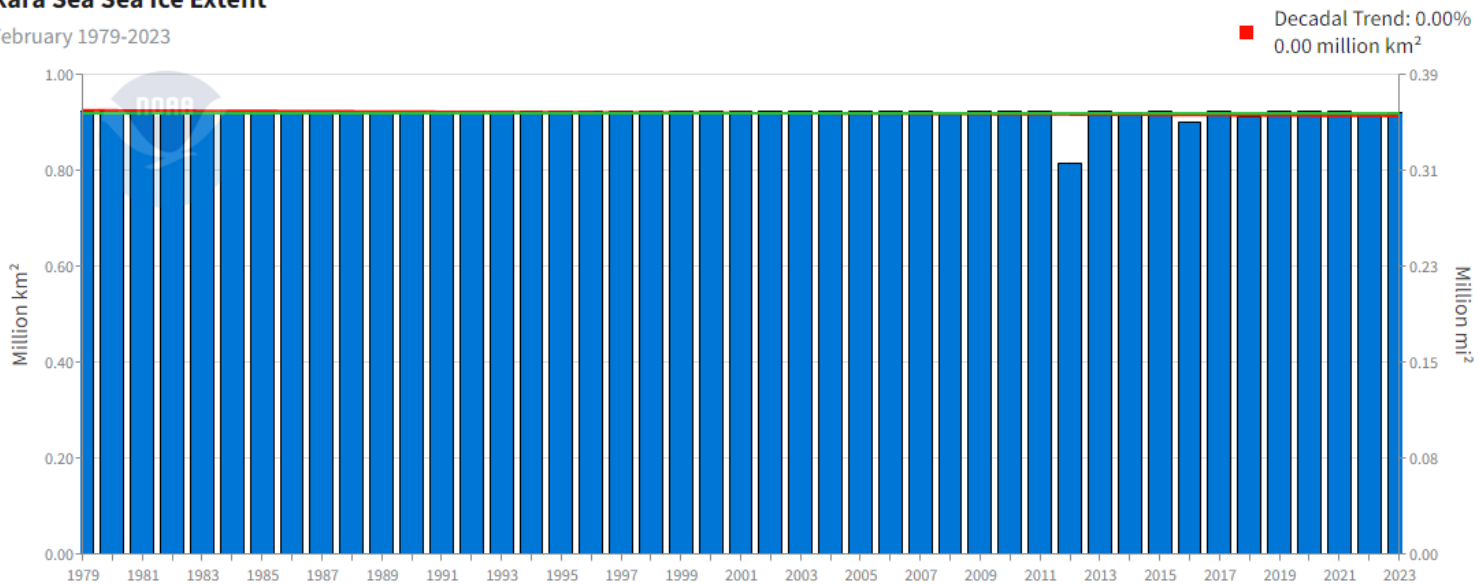


Рис. 3.27 График площади льда Карского моря за февраль в период с 1979 по 2023

гг.

По графикам видно, что зимой площадь льда в период с 1979 по 2023 гг. не меняется, как уже отмечалось ранее. Величина тренда составляет 0,00%. Площадь ледяного покрова в основном составляет около 900 тыс. км². Однако, в феврале в 2012 г. наблюдается заметный спад площади льда. Ранее было отмечено, что зима 2011-2012 гг. является мягкой. Площадь льда в феврале 2012 гг. составляет 800 тыс. км².

Kara Sea Sea Ice Extent

March 1979-2023

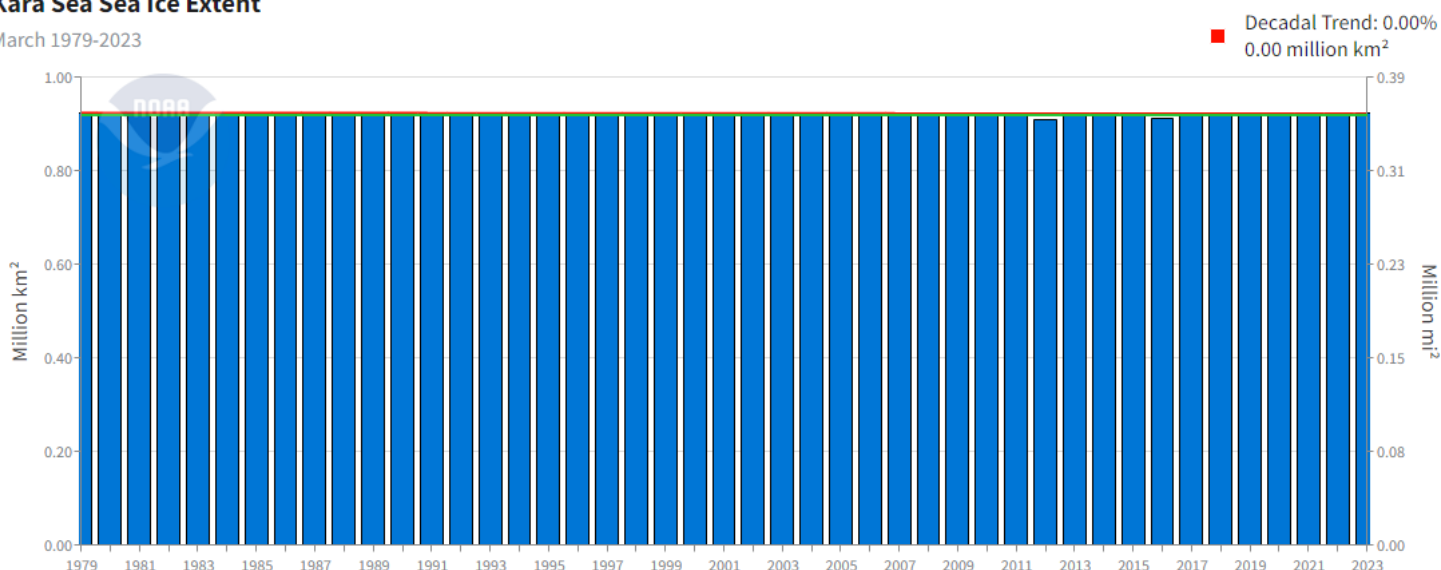


Рис. 3.28 График площади льда Карского моря за март в период с 1979 по 2023 гг.

Kara Sea Sea Ice Extent

April 1979-2023

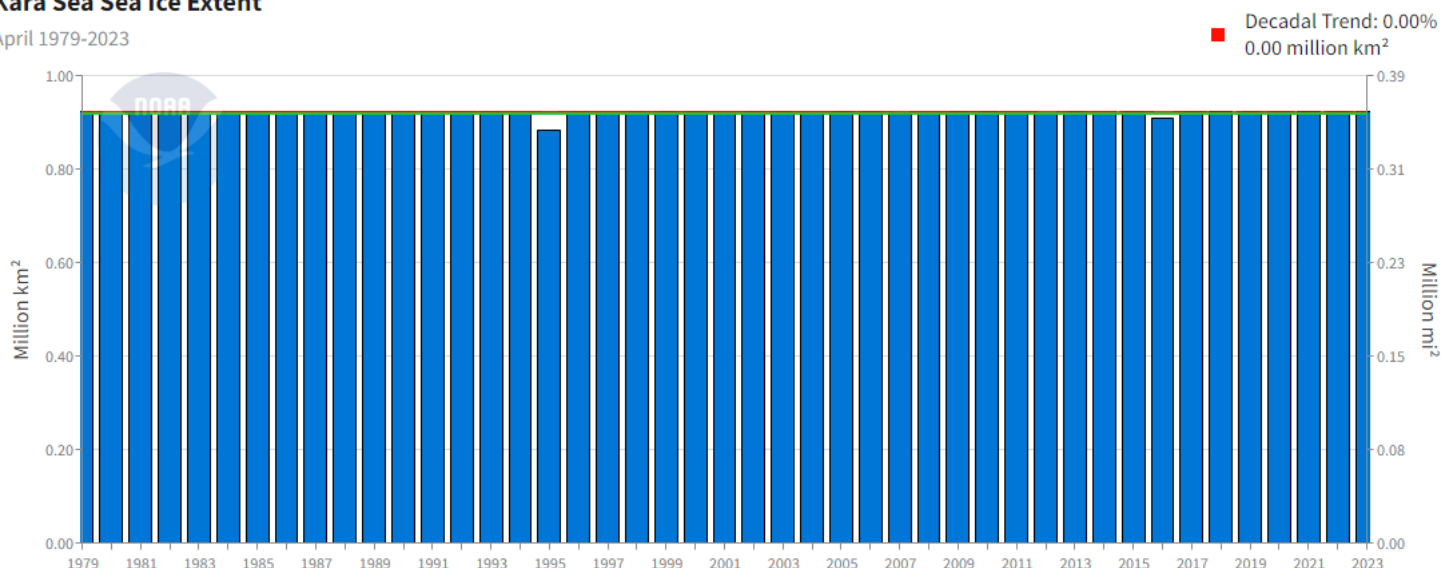


Рис. 3.29 График площади льда Карского моря за апрель в период с 1979 по 2023 гг.

Как уже отмечалось, Карское море характеризуется полярным климатом, благодаря чему в начале весны площадь льда все также удерживает максимальные значения, равные 900 тыс. км². Величина тренда составляет 0,00%.

Kara Sea Sea Ice Extent

May 1979-2022

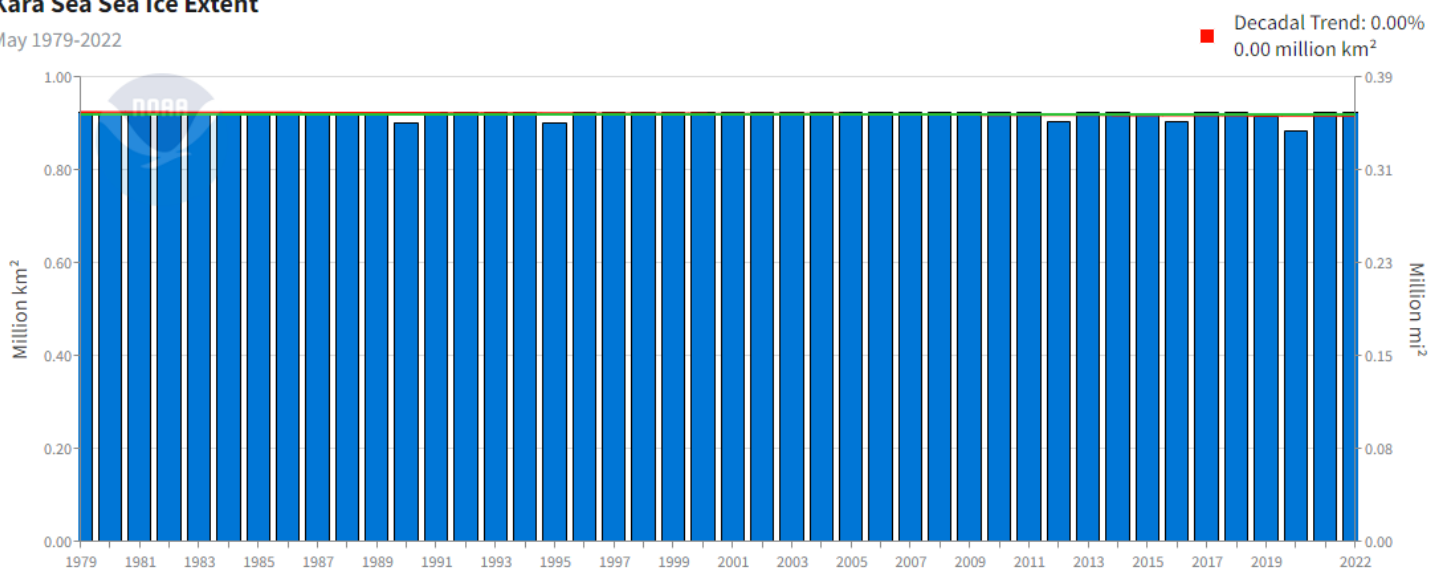


Рис. 3.30 График площади льда Карского моря за март в период с 1979 по 2022 гг.

Kara Sea Sea Ice Extent

June 1979-2022

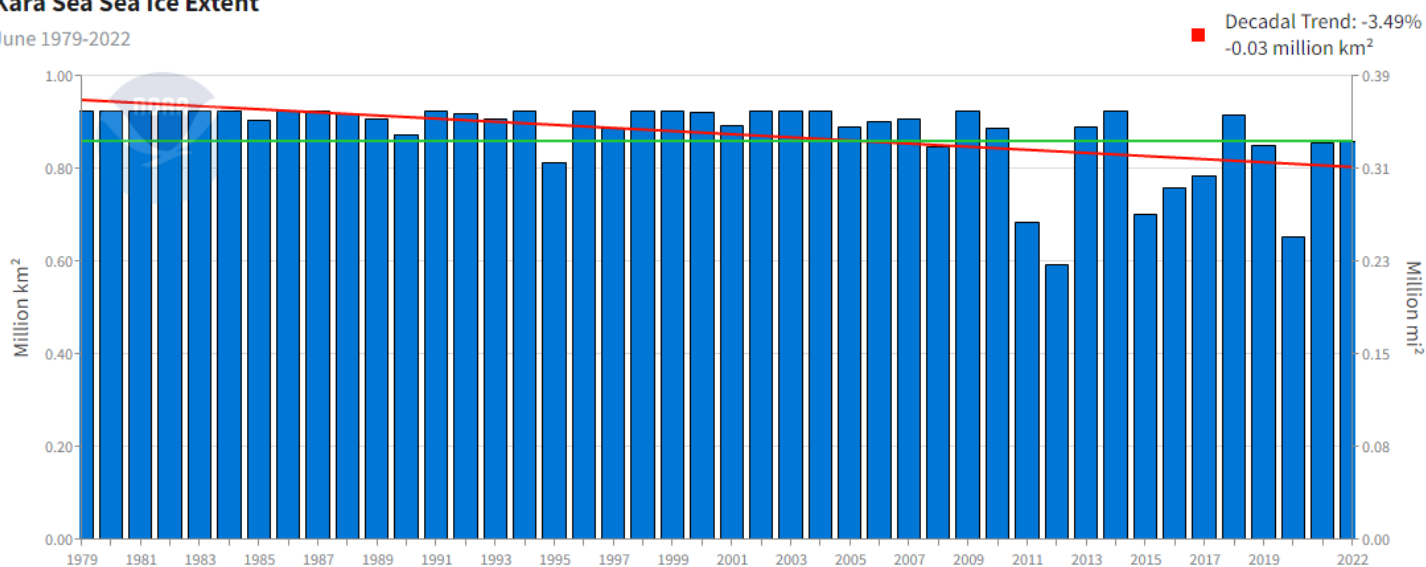


Рис. 3.31 График площади льда Карского моря за июнь в период с 1979 по 2022 гг.

В мае в период с 1979 по 2023 гг. Карское море все еще остается покрыто льдом. Величина тренда равна 0,00%. Тогда как в июне уже наблюдается снижение площади ледяного покрова в большинстве из годов, особенно за последние 20 лет. Величина тренда равна -3,49%. Отрицательный знак говорит о том, что в период с 1979 по 2023 гг. в июне в среднем площадь льда уменьшается. Величина уменьшения равна -30 тыс. км² за 10 лет.

Kara Sea Sea Ice Extent

July 1979-2022

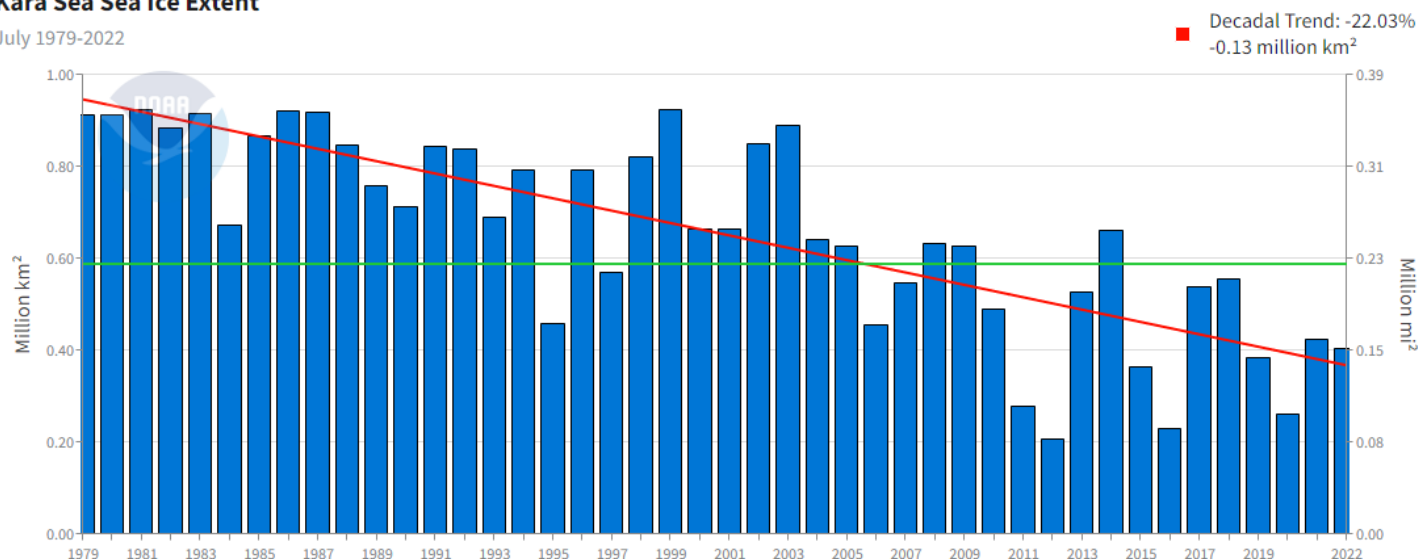


Рис. 3.32 График площади льда Карского моря за июль в период с 1979 по 2022 гг.

Kara Sea Sea Ice Extent

August 1979-2022

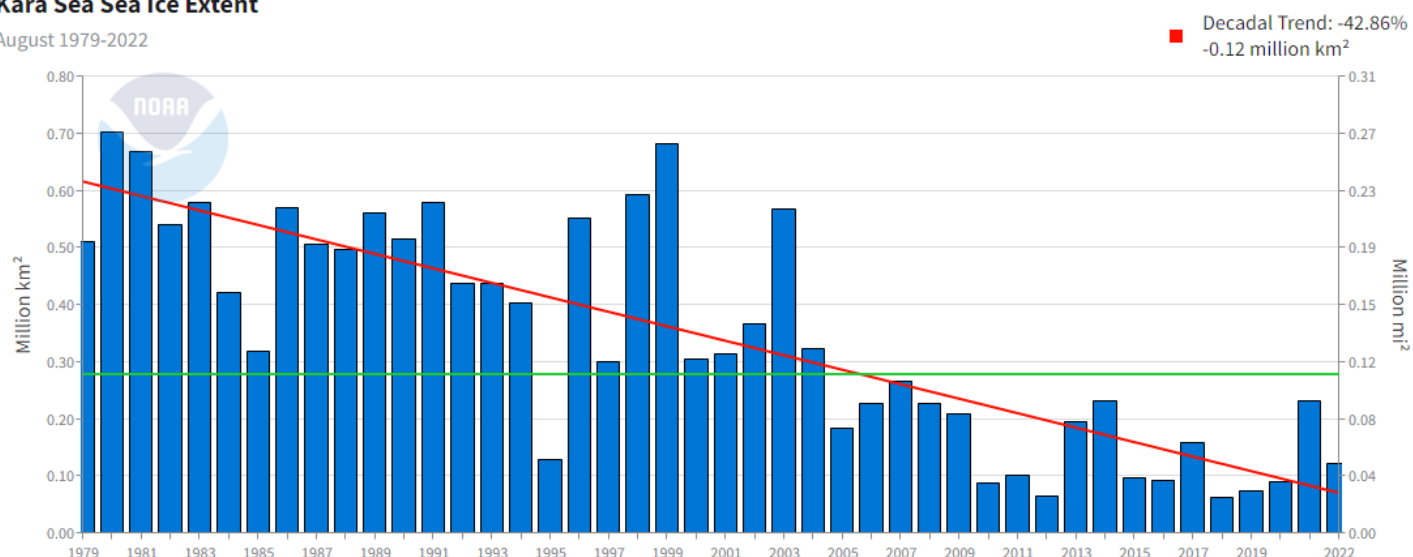


Рис. 3.33 График площади льда Карского моря за август в период с 1979 по 2022 гг.

В середине лета площадь льда продолжает снижаться, причем, начиная с 2000 г., таяние ледового покрова происходит намного интенсивнее. В июле величина тренда составляет -22,03%. Максимальный ледовый покров сохранялся в 1999 г. – 900 тыс. км² (зима 1998-1999 гг. была суровой, как уже отмечалось выше), а минимальный в 2012 г - 200 тыс. км². С 1979 г. в среднем в августе площадь льда сокращалась на 130 тыс. км². В августе в последние 20 лет море практически полностью свободно ото льда. Величина тренда составляет -42,86%, а сокращение площади льда - 120 тыс. км².

Kara Sea Sea Ice Extent

September 1979-2022

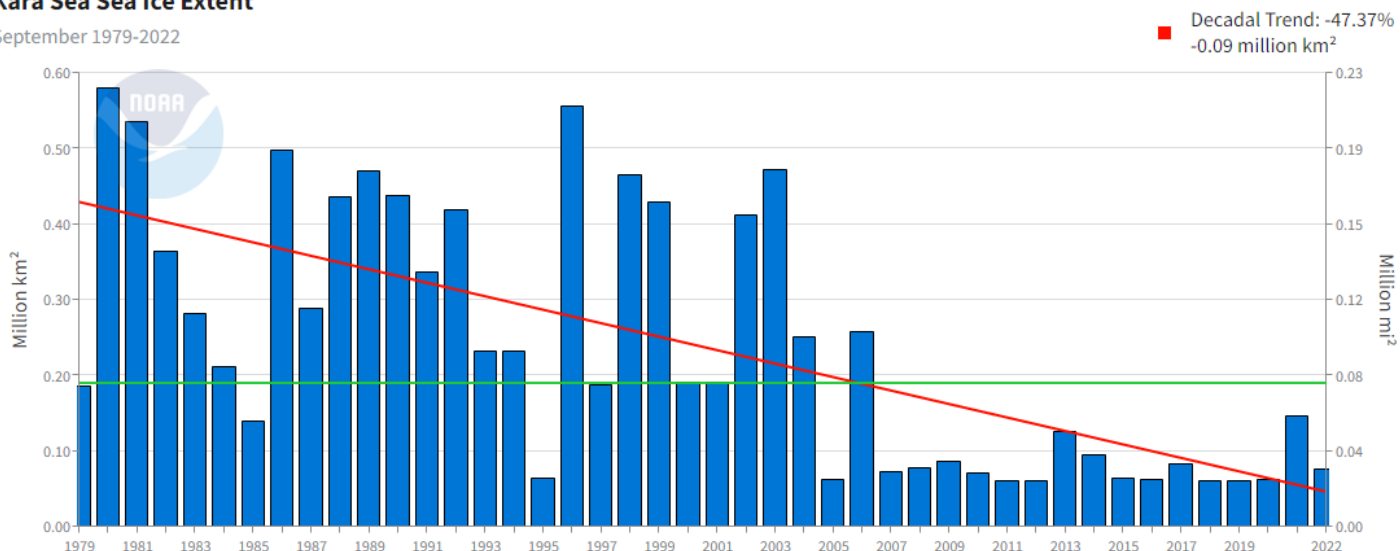


Рис. 3.34 График площади льда Карского моря за сентябрь в период с 1979 по 2022

гг.

Kara Sea Sea Ice Extent

October 1979-2022

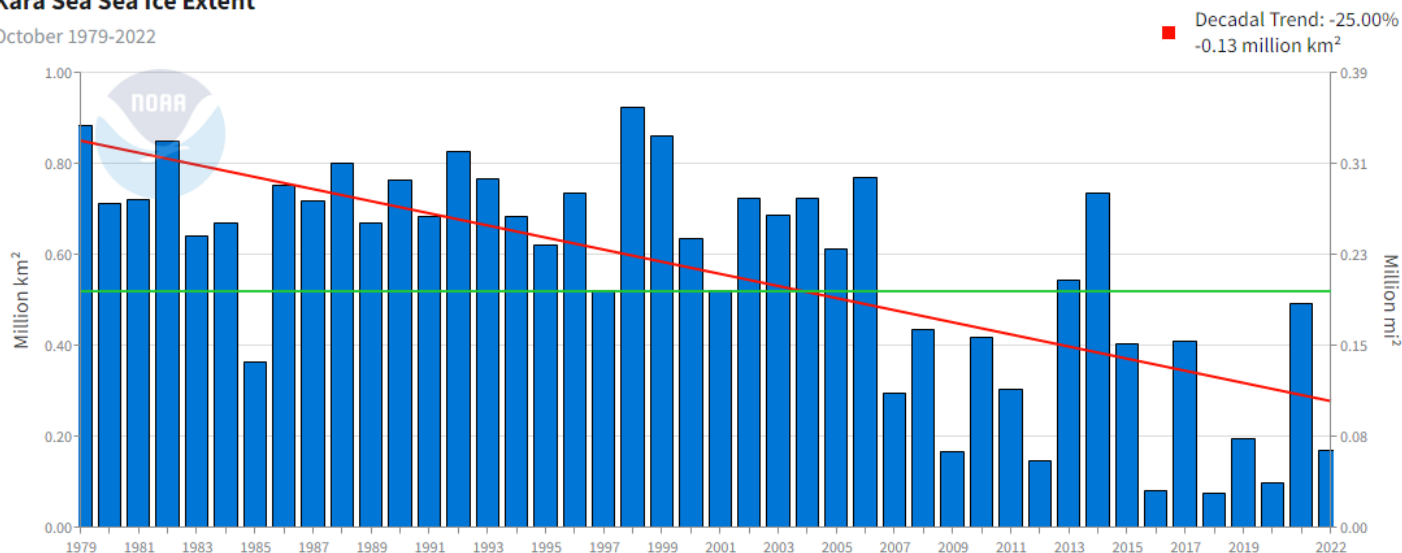


Рис. 3.35 График площади льда Карского моря за октябрь в период с 1979 по 2022 гг.

В сентябре наблюдается наибольшие значения отрицательного тренда к снижению площади ледяного покрова Карского моря. Он составляет $-47,37\%$, сокращение площади льда происходит в среднем на 90 тыс. км^2 . Последние 20 лет море свободно ото льда полностью, ледяной покров составляет в среднем 60 тыс. км^2 . В октябре величина тренда составляет $-25,00\%$, сокращение ледового покрова составляет 130 тыс. км^2 . Начинается новый осенне-зимний период, площадь льда увеличивается.

Kara Sea Sea Ice Extent

November 1978-2022

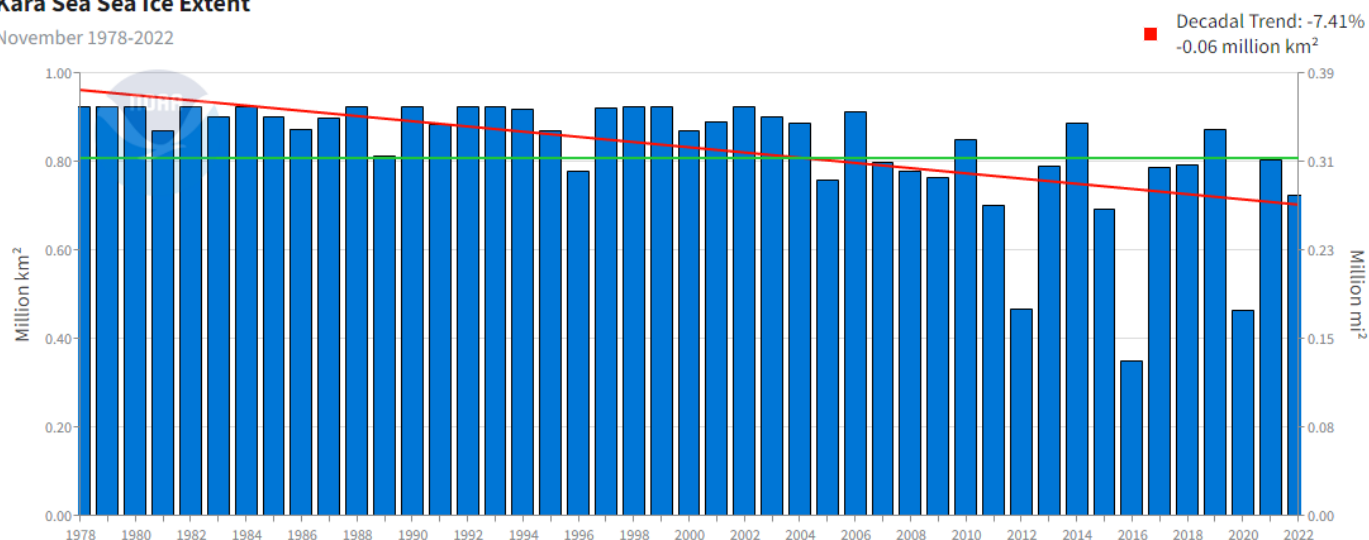


Рис. 3.36 График площади льда Карского моря за ноябрь в период с 1979 по 2022 гг.

Kara Sea Sea Ice Extent

December 1978-2022

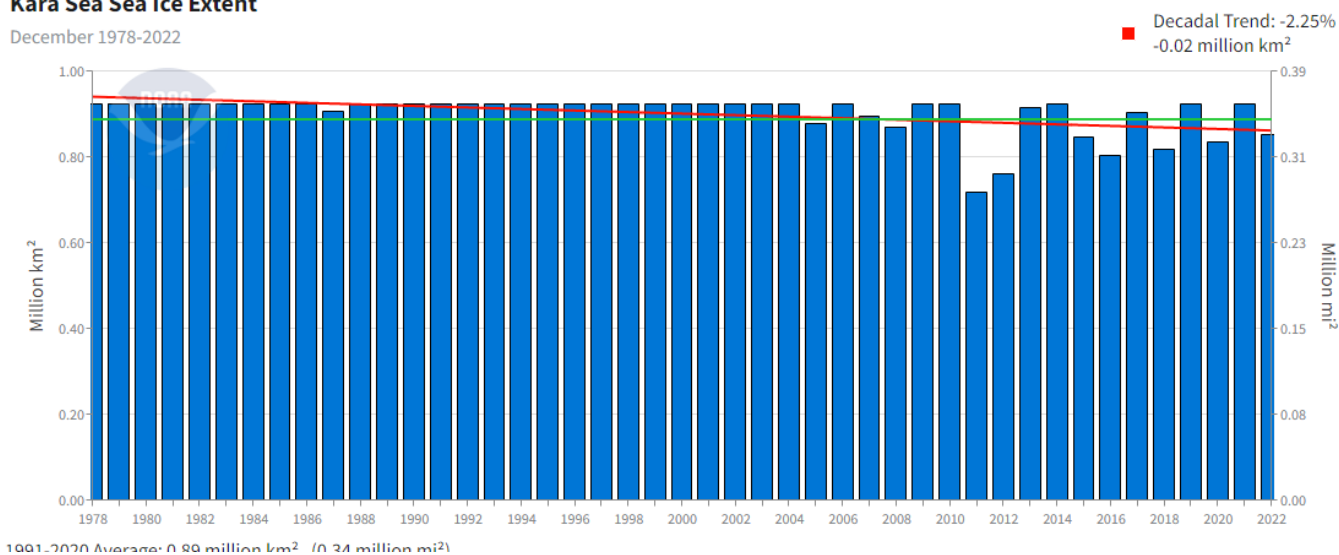


Рис. 3.37 График площади льда Карского моря за декабрь в период с 1979 по 2022 гг

В ноябре величина тренда составляет $-7,41\%$, а сокращение ледового покрова среднем за все года составляет 60 тыс.км^2 . Как уже отмечалось ранее, за последние 20 лет площадь льда уменьшается с большей интенсивностью, исключения составляют зимние и весенние месяцы. В декабре величина тренда составляет $-2,25\%$, а сокращение ледового покрова среднем за все года составляет 20 тыс.км^2 .

Заключение

В данной работе были использованы среднегодовые значения площади льда Карского моря в период с 1978 по 2022 гг. для определения тренда графика ледовитости, среднемесячные значения температуры атмосферы за тот же период для определения тренда графика среднемесячных значений, ежедневные значения температуры атмосферы за тот же период для определения суммы градусо-дней мороза для последующего определения класса суровости зим. Мною были выбраны шесть прибрежных станций: п.Диксон, г.Амдерма, м.Голомянный, м.Болванский нос, м.Стерлегова и о.Визе.

Для оценки изменения площади льда Карского моря были выделены трендовые компоненты и проведена их проверка на значимость, которая показала, что нелинейный тренд не является статистически значимым, т.к. два из трех коэффициента корреляции оказались ниже критического значения критерия Стьюдента, который использовался для проверки нулевой гипотезы. Судя по отрицательной величине линейного тренда, который составил $-57178 \text{ км}^2/10 \text{ лет}$, можно заключить, что площадь льда сокращается со временем.

Для оценки изменения температуры атмосферы с сайта aisori.meteo.ru были взяты среднемесячные значения температуры на каждой станции за период с 1978 по 2022 гг., построены графики среднегодовых значений температуры для каждой станции, а также их тренды. Затем, был сформирован сводный график среднегодовых значений температуры воздуха, на котором наглядно видно, что температура с 1977 по 2022 гг. возрастает, что дает объяснение уменьшению ледового покрова Карского моря.

С помощью кластерного анализа были отобраны три зимы: суровая 1998-1999 гг., умеренная 2004-2005 гг. и мягкая 2011-2012 гг. для оценки зависимости между ледовитостью и степенью суровости зим по сумме градусо-дней мороза. Ледовые карты за каждый месяц зимних периодов были

проанализированы. Более подробное сравнение ледовых карт можно посмотреть в п. 3.5. Вывод, который можно сделать, заключается в том, что площадь льда прямо зависит от степени суровости зимы. В ту зиму, которая была особенно суровой, наблюдалась наибольшая площадь льда. В зиму же, когда погода была более мягкой, площадь льда была наименьшей. Если говорить о умеренной зиме, то значения площади на графике на протяжении всего временного промежутка не выходят за пределы, установленные для суровых и мягких зим.

Далее, для определения месяца, в который уменьшение площади льда происходит наиболее интенсивно со временем, с сайта National Centers for Environmental Information были взяты ежемесячные графики зависимости площади льда от времени и их тренды. Анализ графиков показал, что в сентябре в период с 1979 по 2022 гг. уменьшение ледового покрова Карского моря происходит значительно интенсивнее со временем. Величина тренда составила $-47,37\%$, сокращение площади льда происходит в среднем на 90 тыс. км² в 10 лет.

Список литературы

1. И.О. Думанская. Ледовые условия морей европейской части России. – М.; Обнинск: ИГ-СОЦИН, 2014. - 608 с.
2. Атлас океанов. Северный ледовитый океан. М.: ГУНИО МО, 1980. 190 с.
3. Васильев А.Н. Взаимодействие речных и морских вод в Обской устьевой области // Труды ААНИИ, Гидрология устьевых рек Сибири, Т 314. Ленинград: Гидрометеиздат, 1976.
4. Дмитриев А.А. Динамика атмосферных процессов над морями Российской Арктики. СПб.: Гидрометиздат, 2000. 233 с.
5. Государственный научный центр "Арктический и антарктический научно-исследовательский институт. URL: www.aari.ru
6. Карелин И.Д. Припай и заприпайные полыньи арктических морей сибирского шельфа в конце XX – начале XI века: Режимно-справочное пособие/Карелин И.Д, Карклин В.П. – СПб: ААНИИ, 2012. 180 с.
7. Алексеев Г.В., Заблотский Г.А., Макштас А.П. О постановке наблюдений за потоками тепла и влаги, таянии и нарастании льда на поверхности разводьев и молодых льдов в Арктическом бассейне. Л.: Гидрометиздат, 1975. С. 143-147 с.
8. Ледяные образования морей западной арктики: Монография/ Зубакин Г.К. – СПб : ААНИИ, 2006. 272 с.
9. Борочаев, В.Е. Льды Карского моря. СПб.: Гидрометиздат, 1998. 182 с.
10. Библиотека климатических данных. <http://iridl.ldeo.columbia.edu/>
11. Гордеева С.М. Практикум по дисциплине «Статистические методы обработки и анализа гидрометеорологической информации» – СПб.: РГГМУ, 2010. – 74с.
12. Малинин В.Н. Статистические методы анализа гидрометеорологической информации. Учебник.– СПб.: изд. РГГМУ, 2008. – 404 с.
13. Карклин В.П. Квазидвухлетние влияния в изменениях ледовитости арктических морей // Труды ААНИИ. 1976. Т. 341. С. 119–142.

14. Вайновский П. А., Малинин В. П. Методы обработки и анализа океанологической информации. Многомерный анализ. Учебное пособие. СПб., изд. РГГМИ,. 1992.— 96 с.
15. Библиотека климатических данных. aisori.meteo.ru.
16. Карское море. Электронный ресурс. URL:
http://www.aari.ru/resources/a0013_17/kara/Atlas_Kara_Sea_Summer/text/rejim.htm#p1
17. Порт Диксон. Электронный ресурс. URL:
https://ru.wikipedia.org/wiki/Порт_Диксон