

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Санкт-Петербургский государственный университет»

Институт Наук о Земле

*Кафедра океанологии,
магистерская программа ФОБОС*

Магистерская работа

“Влияние атмосферной циркуляции на ледовитость в р-не Земли Франца-
Иосифа”

Научный руководитель:

К.г.н., доцент

Священников П.Н.

Рецензент:

К.г.н., в.н.с. ГГО им. Воейкова

Акентьева Е.М.

Магистрант:

Симакин М.Д.

Санкт-Петербург 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ.....	5
1.1. Климатообразующие факторы.....	11
2. ДАННЫЕ И МЕТОДЫ	16
3. РЕЖИМ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЛЕДОВОГО ПОКРОВА	19
4. ОБЗОР СИНОПТИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ В РАЙОНЕ АРХИПЕЛАГА.....	26
5. СВЯЗЬ ЛЕДОВОЙ ОБСТАНОВКИ С ИНДЕКСАМИ КОЛЕБАНИЯ	31
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	35
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	37

Введение

В настоящее время, интерес всего мира к Арктическому региону значительно вырос. Арктика - наиболее чувствительная часть глобальной климатической системы, которая раньше и сильнее других реагирует на любые изменения на Земле [26].

Понимание процессов, выявление взаимосвязей с неарктическими частями, а также оперативный мониторинг состояния атмосферы и океана - залог успешной и безопасной деятельности человека не только в Арктике, но и в пограничных с ней областях [7,12,24,25].

В связи с развивающейся экономической деятельностью в Арктическом регионе, а также изменении хрупкой экосистемы Севера, возрастает необходимость его комплексного исследования, чтобы выстроить наиболее эффективную долгосрочную модель освоения полярного региона.

Территории Баренцева и Карского морей занимают лидирующие позиции среди изучения арктических морей. В Карском море развёртываются крупные проекты газо- и нефтедобывающих компаний, таких как Газпром, Норникель, Ямал-СПГ. Баренцево море является объектом интенсивного рыбного промысла, благодаря богатому количеству биомассы[19].

Кроме того, в настоящее время важной стратегической целью является освоение Северного Морского пути: кратчайшей дороги, соединяющей Европу и Азию.

На данный момент, существует большое количество статей, посвященных Арктике. Её высокоширотные районы ещё недостаточно изучены. В условиях расширяющейся экономической деятельности в

арктическом регионе, возрастает важность комплексных природных исследований, среди которых особое значение играет изучение региональных особенностей ледовых условий и их изменчивости. В частности, в районе архипелага ЗФИ.

Для выполнения данной работы были поставлены следующие задачи:

1. Проанализировать архивные данные о ледовой обстановке и установить в каких месяцах отмечаются максимальные и минимальные площади льда
2. Определить среднюю широту положения ледовой кромки в районе земли Франца-Иосифа в период максимальных и минимальных значений ледовитости. Параметр ледовитости определяется площадью морского льда в рассматриваемом районе
3. Построить карты приземного поля давления и оценить синоптическую ситуацию в регионе по полученным данным для того, чтобы соотнести циркуляцию атмосферы с изменением в ледообразовании.

1. Физико-географические характеристики

Земля Франца-Иосифа (ЗФИ) находится в западном секторе Арктической зоны России, в акватории Баренцева моря (рис.1.). Является самым северным участком суши Евразии. Земля Франца-Иосифа представляет собой архипелаг, насчитывающий 196 островов, общей площадью 16096 кв. км, из которых 13690 кв. км занимают ледники.



Рис.1. Обзорная карта расположение Земли Франца-Иосифа

Согласно синоптической классификации, осадки принято делить на внутримассовые и фронтальные. Абсолютное большинство осадков на территории ЗФИ имеет фронтальный характер, поскольку конвективные процессы в высокоширотной Арктике не развиваются до необходимых значений.

Преобладающими типами барических образований по траектории смещения, которые вносят основной вклад в общее количество осадков, являются атлантические и северные циклоны, особенно в зимнее время [6].

График распределения осадков в районе субъекта имеет следующий вид (рис.3.), а годовое количество осадков достигает 200 мм. Примечательно, что выпадают они почти во всех случаях в твёрдой фазе. Интенсивность их слабая. Больше 10 мм/сутки наблюдается реже, чем один раз в году. Количество осадков в районе ЗФИ практически сопоставимо с показателями арктического бассейна и существенно ниже соответствующих отметок на юге Баренцева моря [8-10].

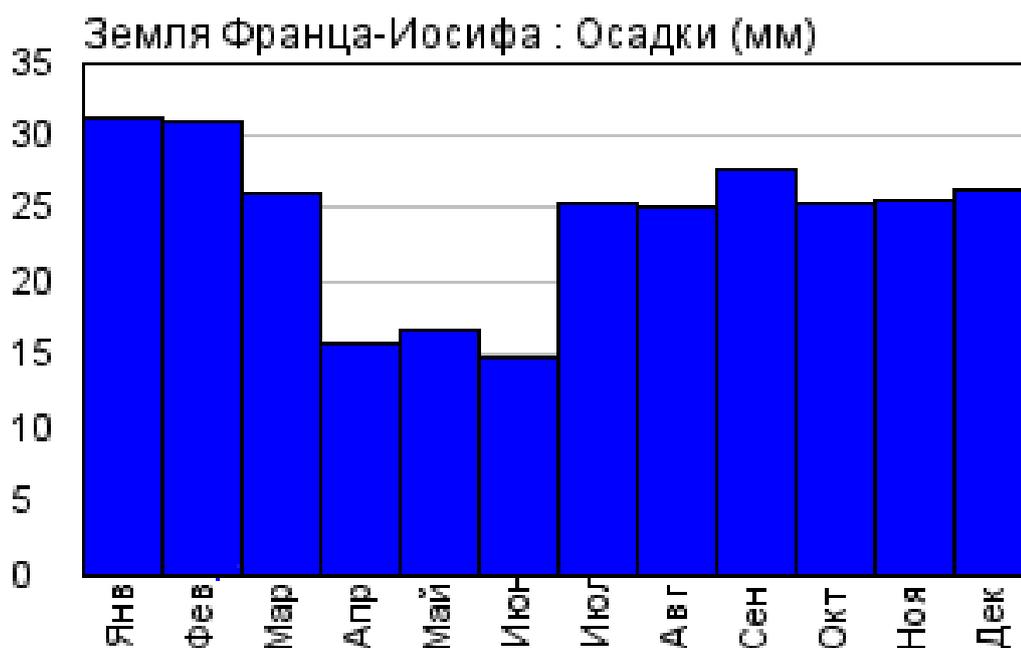


Рис.3. Месячное распределение осадков на территории ЗФИ

Формирование снежного покрова обуславливается главным образом рельефом местности. На равнинных участках суши в прибрежной зоне его мощность достигает полуметра. На открытых площадях может полностью отсутствовать, а на высоких плато может достигать отметки полутора метров и накапливается в пониженных формах рельефа. Устойчивый снежный покров формируется в начале осени. Как правило, во второй декаде сентября. А полностью сходит к середине лета.

Среднегодовая климатическая норма температуры (за 1961-1990 гг.) составляет -12°C . Положительные среднемесячные температуры воздуха отмечается только в июле.

Климат ЗФИ отличается большой относительной влажностью воздуха. Туманы сравнительно редки зимой и часты летом, что объясняется появлением больших пространств открытой воды [13,15]

В соответствии с географическим положением, преобладающими морскими течениями и воздушный переносами в районе ЗФИ имеются свои локальные особенности ледовых условий. Основную роль играет высокоширотное положение и потоки холодных течений, выносящие льды из Карского моря [15-16], а также тёплые атлантические воды.

Ледовый покров при средних условиях существует на протяжении всего года. Важной особенностью является наличие припая в проливах архипелага, а также наличие заприпаянных полыней весной и летом.

Также стоит обратить внимание на возрастной состав льдов, подавляющую роль которые составляют однолетние толстые льды и наличие небольшого количества многолетних льдов в течение всего года.

Существует множество исследований на тему изменений ледового режима в Арктике [5,16, 18, 30-32,40].

В работе [24] выявлены явные климатические колебания ледового режима северо-восточной части Баренцева моря: были определены периоды максимальной и минимальной ледовых фаз в районе ЗФИ, оценено влияние адвективного переноса воды и теплового состояния вод [2]. Снижение площади льдов арктических морей России происходит на фоне общего потепления климата. На фоне изменения температурного режима приповерхностного слоя воздуха происходят также и изменения в ледообразовании.

От температуры воздуха в октябре-апреле и в июне, зависит толщина наростшего льда зимой и интенсивность его таяния летом [25, 28-29]. Толщина морского льда в Арктическом бассейне также уменьшилась с 1980-х годов в среднем более чем на 40%, главным образом, вследствие уменьшения количества многолетних льдов. Продолжение согласованных тенденций повышения температуры воздуха и уменьшения площади льда

при сохранении наблюдаемых темпов потепления указывает на 2030-е годы как на период, начиная с которого лед в сентябре может исчезать.

Выявленные тенденции согласуются с изменениями атмосферной циркуляции. Для Арктики характерно преобладание антициклона над Арктическим бассейном. В начале 90-х годов поступили первые сведения о необычно высоких температурах в слое воды атлантического происхождения к северу от Карского моря [25]. В апреле 93-го года экспедиция “Север-45” зафиксировала температуру на 1°С выше средней. В середине 1990-х годов произошла перестройка системы циркуляции, при которой сформировались циклоническая циркуляция над Карским морем и морем Лаптевых и область повышенного давления над Канадским Арктическим архипелагом и Гренландией [38].

Такая циркуляция сопровождается повышением температуры воздуха, усилением таяния льда летом и его выноса за пределы Арктического бассейна [7]. Авторы работ [1-3] по данным реанализа ERA/Interim установили, что тренды температуры воздуха максимальны у поверхности и поэтому считают, что главная роль в усилении потепления в Арктике принадлежит сокращению площади морского льда, а увеличение содержания водяного пара в атмосфере в результате сокращения ледяного покрова может усилить потепление летом и в начале осени.

Однако, тренды среднемесячной температуры воздуха в Арктике не подтверждают усиления в эти месяцы, а показывают максимальное усиление поздней осенью и в начале зимы [26-27]. Как именно они влияют на динамику ледовитости, какой частью и с каким инерционным периодом - является частью исследования в данной работе.

1.1 Климатообразующие факторы

Архипелаг ЗФИ расположен на северо-западной окраине арктического шельфа Евразии и полностью относится к полярно-арктической географической зоне [4]. По данным характеристикам рассматриваемый район сопоставим с архипелагом Северная Земля.

Климат определяется совокупностью факторов, такими как:

1. Высокоширотное расположение субъекта (архипелаг является самым северным участком суши), что обуславливает низкий приток солнечной радиации. Однако благодаря тёплым атлантическим водам и водам арктического бассейна, тепловой баланс наблюдается в пределах нуля.
2. Относительная близость к субарктическому климатическому поясу, к которому относится юго-западная часть Баренцева моря. Для территории Земли Франца-Иосифа характерна высокая, по сравнению с другими районами Арктики на тех же широтах, повторяемость циклонов и атмосферных фронтов. Данный факт объясняется близостью исландского минимума и преобладанием западно-восточный переноса в умеренных широтах, который затрагивает рассматриваемый район.

3. Отопляющее воздействие подповерхностных атлантических вод, распространяющихся вдоль континентального склона.
4. Рельеф и характер подстилающей поверхности. Архипелаг невелик по площади и сильно расчленен морскими проливами. Поэтому закономерных изменений метеорологических параметров от периферии к центру здесь нет, тогда как микроклиматические различия (режим ветра, осадков, снежного покрова) могут быть заметными. Контрасты рельефа по сравнению с другими архипелагами Западной Арктики здесь невелики.

Все большие и средние острова покрыты ледяными куполами с выводными ледниками. Свободны ото льда только небольшие участки прибрежных равнин.

Зимой архипелаг находится на границе областей циклогенеза в районе исландского минимума и периферии сибирского антициклона. Летом осредненное поле давления над всей Арктикой выравнивается. Это является следствием как общего снижения циклонической активности, так и более равномерного распределения траекторий циклонов над Баренцевым морем и Арктическим бассейном.

Наиболее примечательными особенностями годового хода температуры воздуха является не большой разброс средних месячных температур с декабря по март и значительные изменения от зимы к лету. Для арктических островов характерны безъядерные (с отсутствием отчётливо выраженного минимума в годовом ходе) и “теплоядерные” (с аномально повышенной температурой в один из месяцев) зимы. Как показано в работе [24], вероятность теплоядерной зимы на севере Баренцева моря достигает 80%.

Данный феномен объясняют аномалиями атмосферной циркуляции, создающими продолжительные застои тепла в те или иные зимние месяцы [15].

Ниже представлен график межгодовых изменений среднегодовой температуры воздуха (рис.4). Согласно ему, отмечается увеличение среднегодовой температуры.

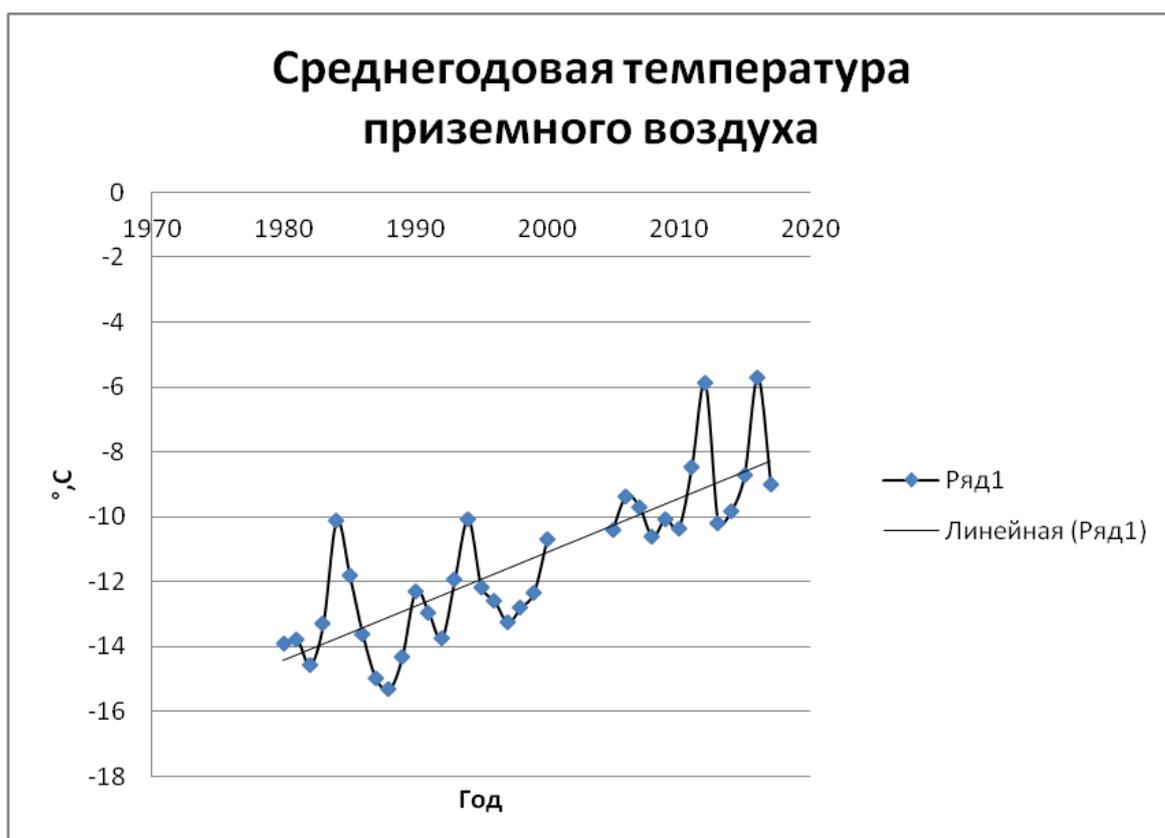


Рис.4. Межгодовые изменения среднегодовой температуры воздуха

Также стоит отметить уменьшение годовой амплитуды температуры воздуха (рис.5.), что может говорить нам о смягчении климата в рассматриваемом районе.

Это может быть вызвано как перестройкой атмосферной циркуляции, так и так называемой “атлантификацией” региона.



Рис.5. Годовая амплитуда температуры воздуха

2. Данные и методы

В данной работе исследовалась площадь морского ледяного покрова в районе архипелага ЗФИ и положение кромки морского льда.

Для решения поставленной задачи использовались данные о ледовой обстановке в районе ЗФИ. Были рассмотрены периоды, во время которых наблюдаются наибольшие флуктуации параметра ледовитости и провести в эти сроки анализ атмосферной циркуляции с целью выявления взаимосвязей между полем давления и значением ледовитости.

Для анализа ледовитости использовались карты ледовой обстановки в Северной полярной области, хранящиеся на сайте арктического и антарктического научно исследовательского института, имеющие дискретность 3-7 дней. Карты доступны за срок с 1997 года по настоящее время. Числовые ежемесячные данные о площади льда в трёх основных районах ЗФИ (северный, восточный, южный) также находятся в архивах ААНИИ [11].

Далее был проведён анализ приземного поля давления для оценки термобарического поля в рассматриваемом районе. Для этого использовались данные модели Era-Interim, созданной Европейским центром прогнозов погоды (ECMWF), в узлах сетки $0.75^{\circ} \times 0.75^{\circ}$, которые в дальнейшем были обработаны при помощи программы Raporty.

Затем были построены карты синоптической ситуации в СПО для определения области барического образования, оказывающего влияние на рассматриваемый район. Для этого были осреднены при помощи инструмента Python полученные данные в узлах сетки и в дальнейшем составлены обзоры синоптической ситуации в рассматриваемом районе.

Для оценки данных о среднемесячной температуре воздуха приземного слоя атмосферы были использованы архивы со станций Бухта Тихая, обсерватория им Э. Т. Крэнкеля, а также близлежащих островных и

материковых станций, которые хранятся на серверах мирового центра данных в Обнинске.

Для дополнительной оценки температурных аномалий также были задействованы файлы CRUTEM и HadCRUT (рис.6.), которые уже доказали свою эффективность оценки в предыдущих работах [21-23].

Принцип работы данных файлов заключается в интерполировании архивных данных среднегодовой температуры с соседних метеостанций в узлах $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$. Данные файлы работают в программе Google Earth Pro [35,39].

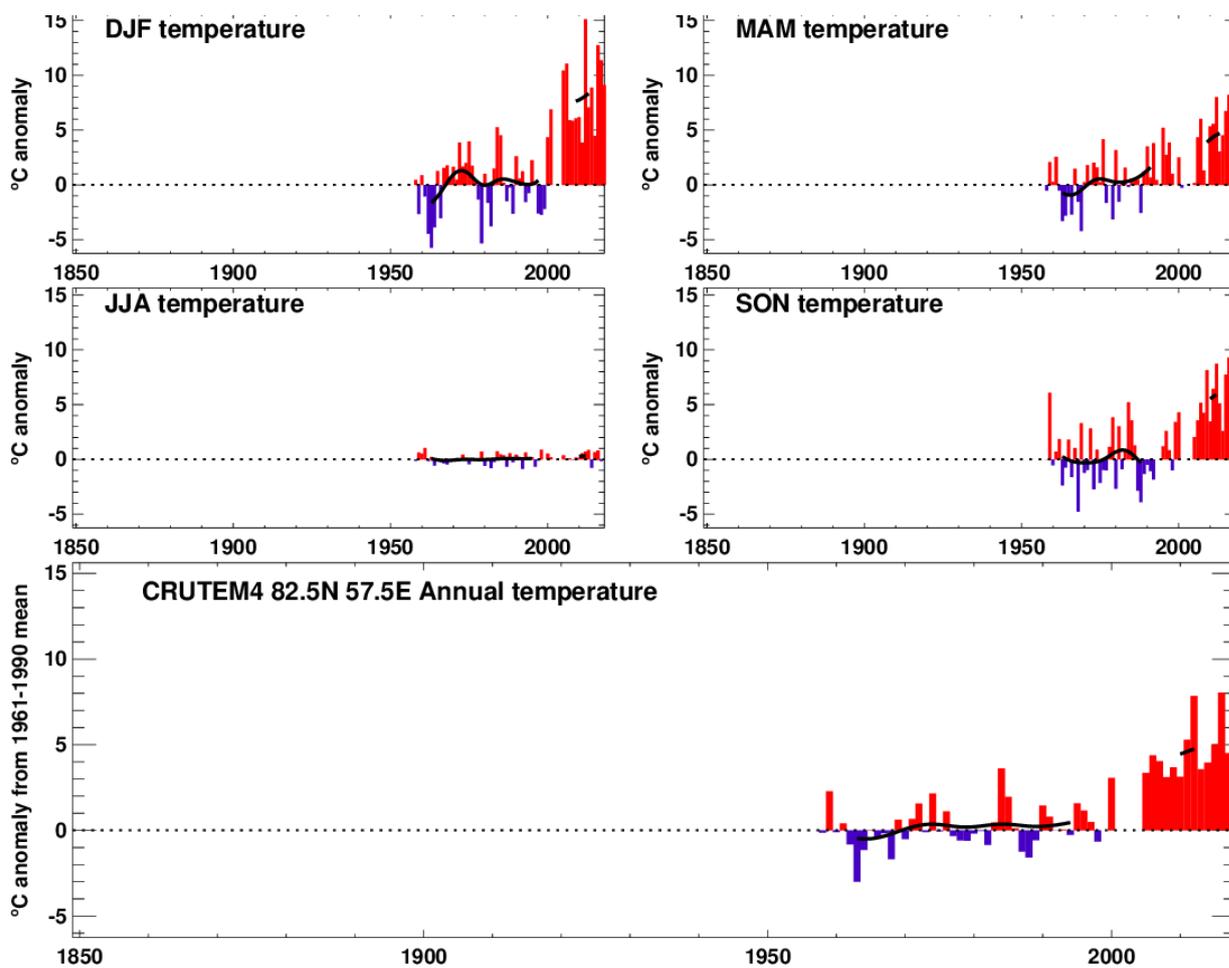


Рис.6. Сезонное распределение аномалий температуры воздуха

Как мы можем увидеть, наибольшие отклонения можно наблюдать в осеннее-зимний период. Когда над территорией северной Атлантики устанавливается активный циклогенез.

3.Режим распространения ледового покрова

На данный момент, мы располагаем данными о площади ледового покрова в трёх рассматриваемых районах территории ЗФИ. Районы названы по сторонам света: N, S и E (рис.7.). В расчёт берутся три района из-за относительной близости соседнего архипелага – Шпицбергена. Информация о данных районах получена из архивов ААНИИ.

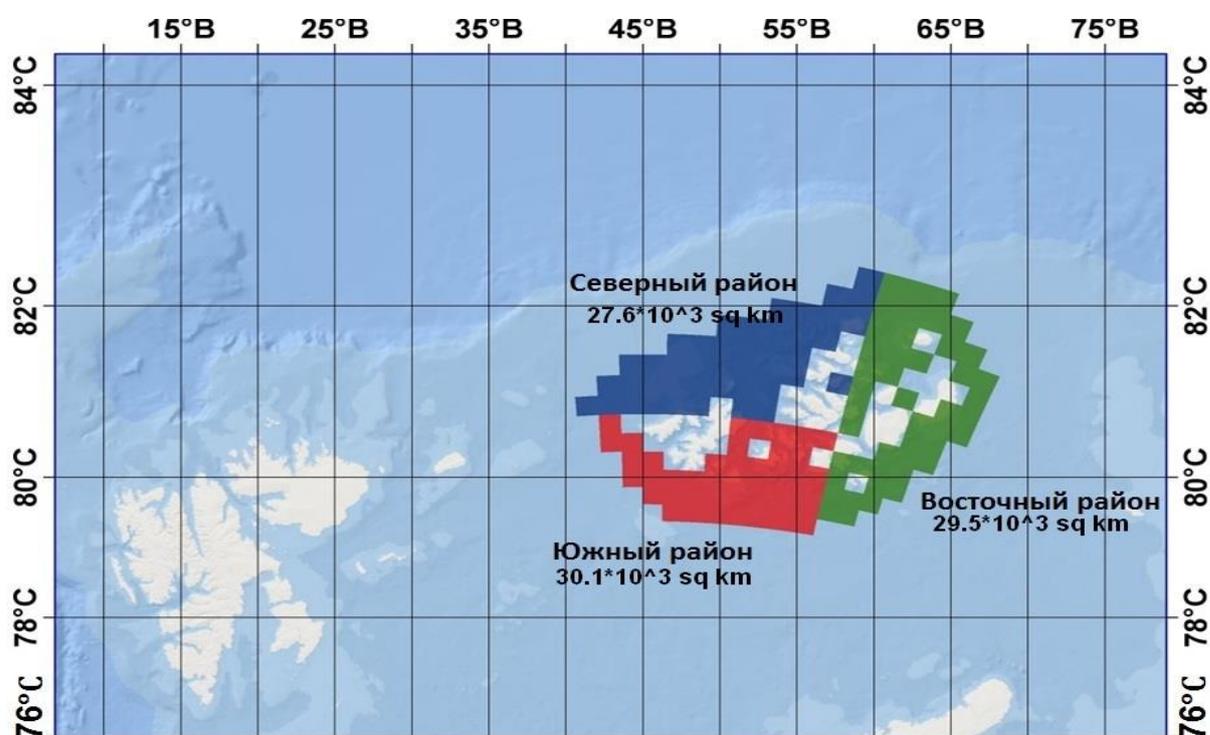


Рис.7. Карта площадей и положения рассматриваемых районов

Исходные данные были получены в месячном осреднении. В дальнейшем, данные были представлены в среднегодовом и полугодовом масштабах, для более удобного представления ситуации в тёплую (апрель-сентябрь) и холодную (октябрь-март) половину года (рис.8-9). Результаты

разделены таким образом, чтобы провести границу между процессами ледообразования и периодом его таяния.

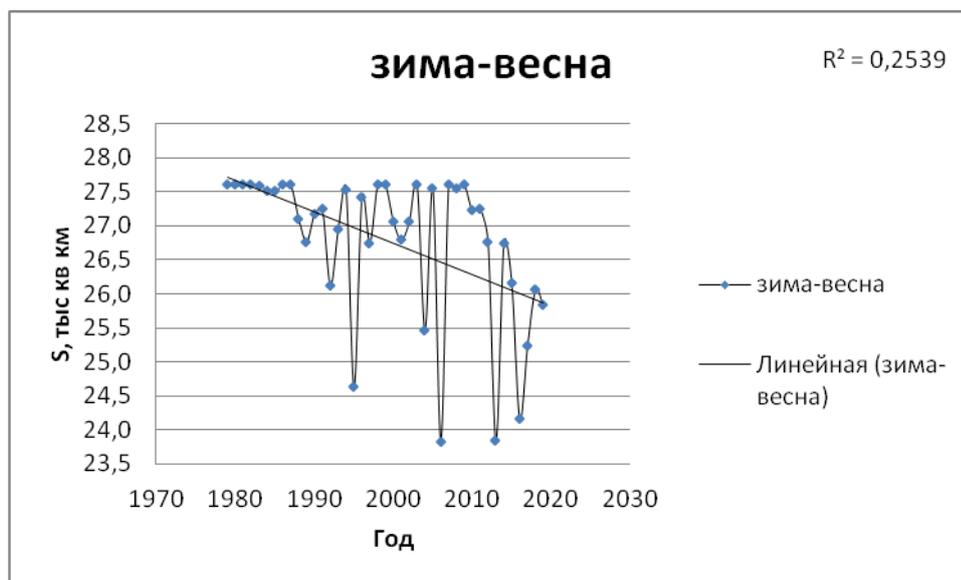


Рис. 8. Межгодовые изменения площади ледяного покрова в холодную половину года. R^2 – коэффициент детерминации.

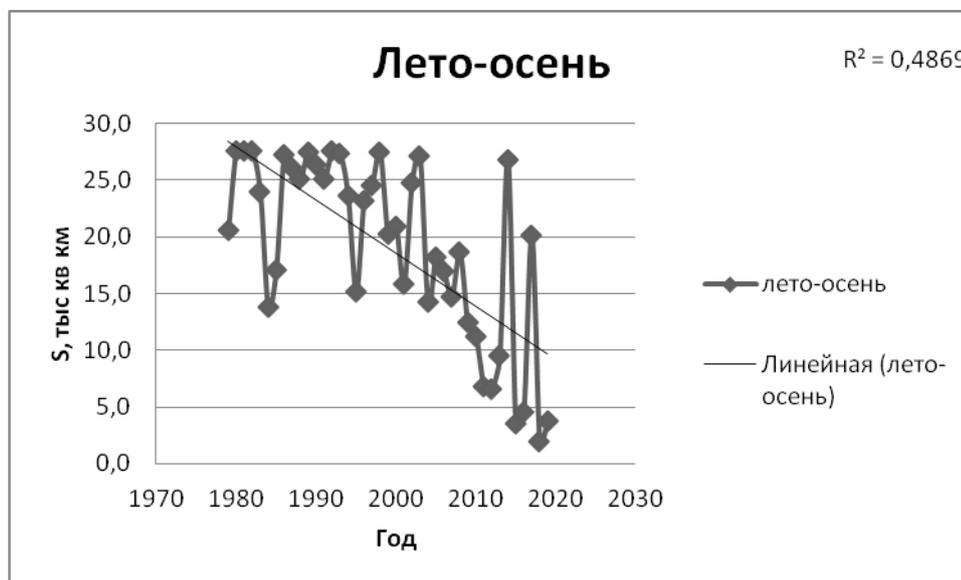


Рис. 9. Межгодовые изменения площади ледяного покрова в тёплую половину года. R^2 – коэффициент детерминации.

Оценивая долговременные тенденции с помощью линейных трендов, можно наблюдать сокращение ледовитости как в тёплом, так и в холодном сезонах. Однако тёплое полугодие имеет большую межгодовую дисперсию.

Далее, с сайта ЕСИМО ААНИИ были взяты карты ледовой обстановки в Северной Полярной области, за весь представленный период (с 1997 года по н.в.), за два месяца в которых отмечаются максимальные и минимальные значения ледовитости – сентябрь и февраль (рис.10.).

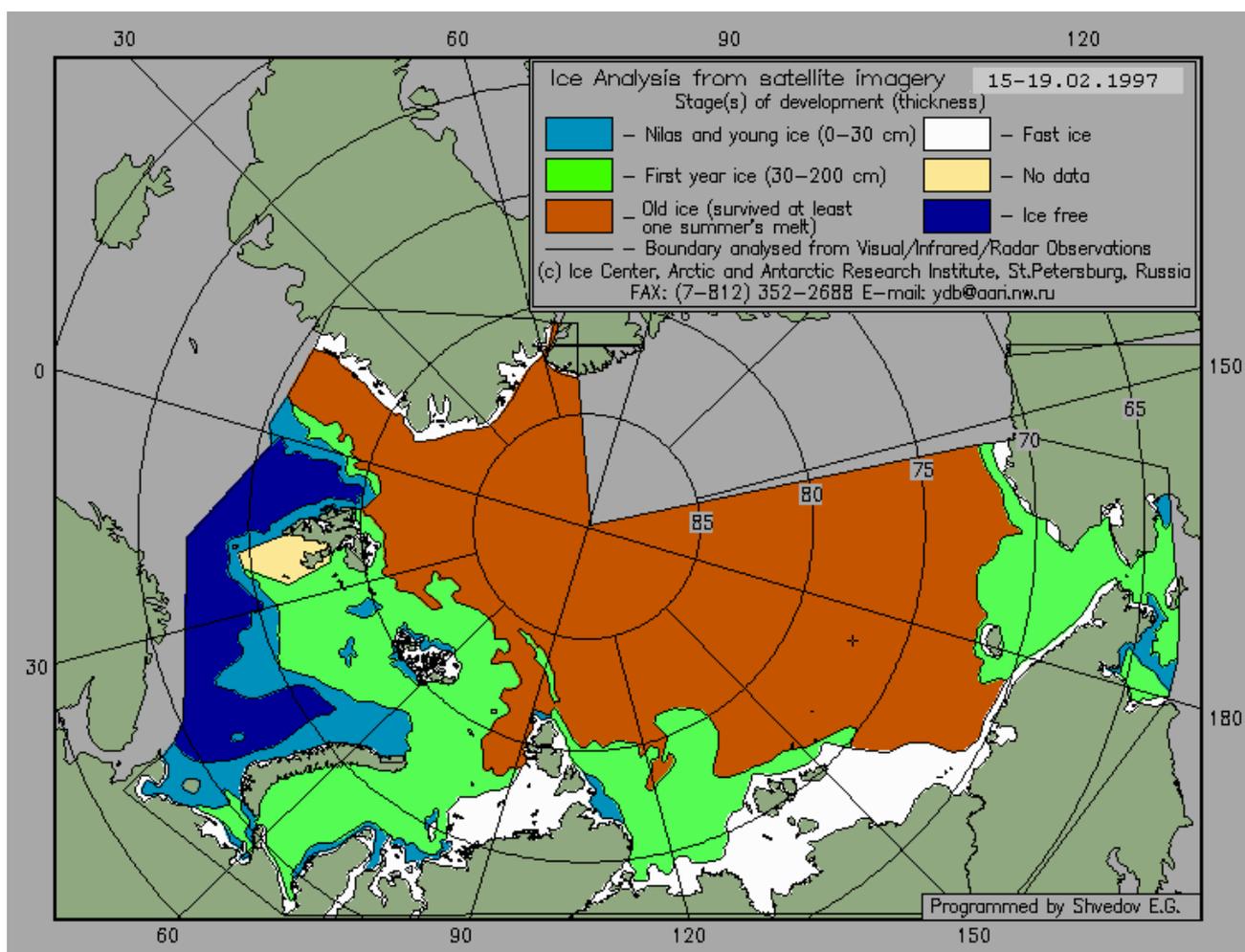


Рис.10. Площадь распространения различных типов морского льда в СПО за 15 февраля 1997 года.

В работе [8] хорошо описан сезонный ход изменчивости площади льда с обозначенными экстремумами. Однако, с 1997 года стали отмечаться ситуации от полного закрытия льдом района ЗФИ до полного его очищения, как это представлено на рис.11. Темпы потепления в Арктике указывают на 1990-е годы, как на период, когда особенно явно стали проявляться изменения климатических параметров.

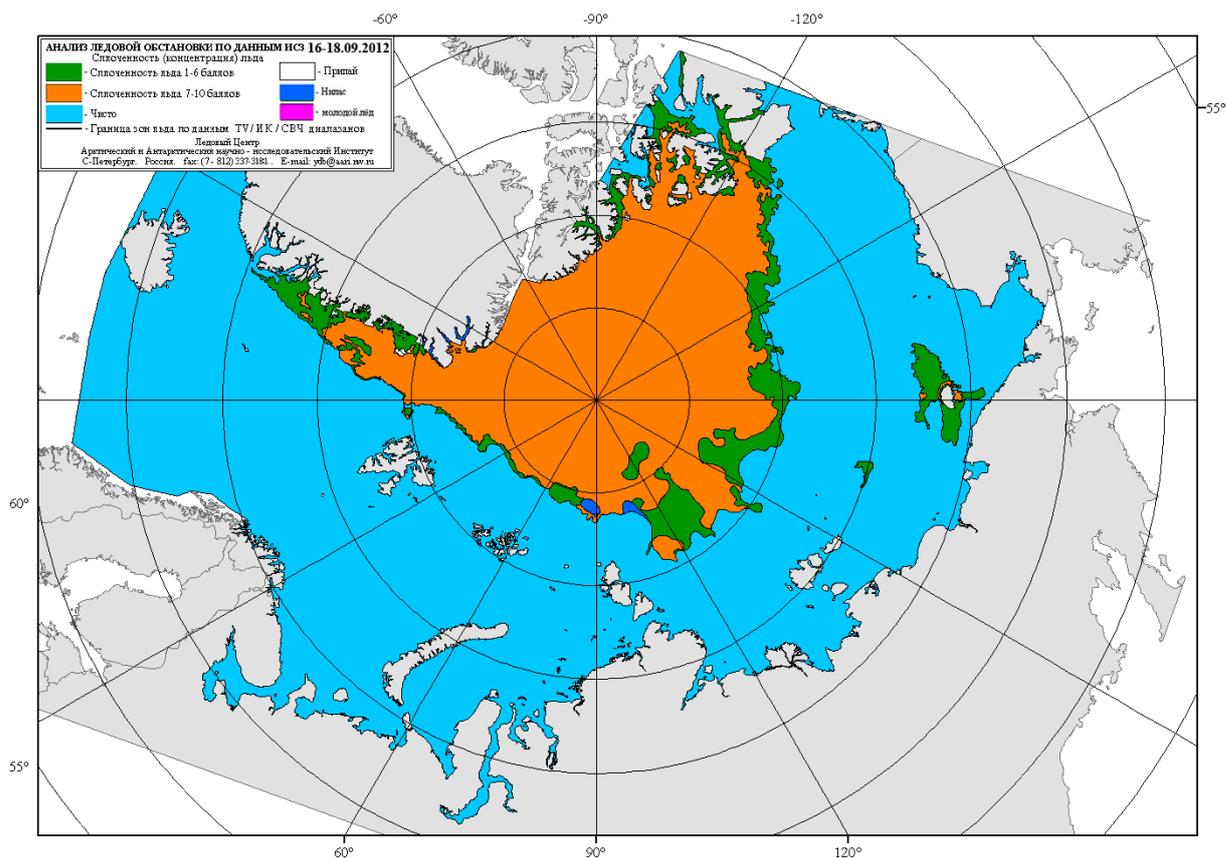


Рис.11. Площадь распространения различных типов морского льда в СПО за 17 сентября 2012 года.

На основе информации о ледовой обстановке, были проанализированы имеющиеся карты за два рассматриваемых месяца с 1997 года. И затем методом засечек на карте, была определена средняя широта положения кромки льда (рис.12-13). В качестве осевого меридиана был выбран 50-й, поскольку он проходит примерно посередине архипелага.



Рис.12. Временные изменения положения кромки льда, февраль



Рис.13. Временные изменения положения кромки льда, сентябрь

Также было получены повторяемости случаев положения кромки на каждой широте (рис.14-15.).



Рис.14. Число случаев положения кромки по широтам февраль.



Рис.15. Число случаев положения кромки по широтам сентябрь.

4. Обзор синоптической ситуации в районе архипелага

Согласно полученным гистограммам, в рассматриваемом районе можно наблюдать бимодальное распределение положения кромки в летний период. В связи с этим, с помощью реанализа ERA-Interim, в программе Raporly были построены синоптические карты средних значений приземного поля давления для левой моды и правой моды, а также самого северного положения ледовой кромки. Использовались карты давления средние за года, выделенные по положению кромки льда.

В случае расположения кромки льда на севере (рис.16.), территория рассматриваемого региона находится на оси ложбины циклона с центром над северной Атлантикой и смещающегося по ведущему потоку в акваторию Карского моря. Ведущий поток хорошо просматривается по сгущению изобар, а также траектория смещения барического образования легко прогнозируется методом эллиптических изобар.

Вероятнее всего, территория архипелага находилась под влиянием северной ветви полярной фронтальной системы.

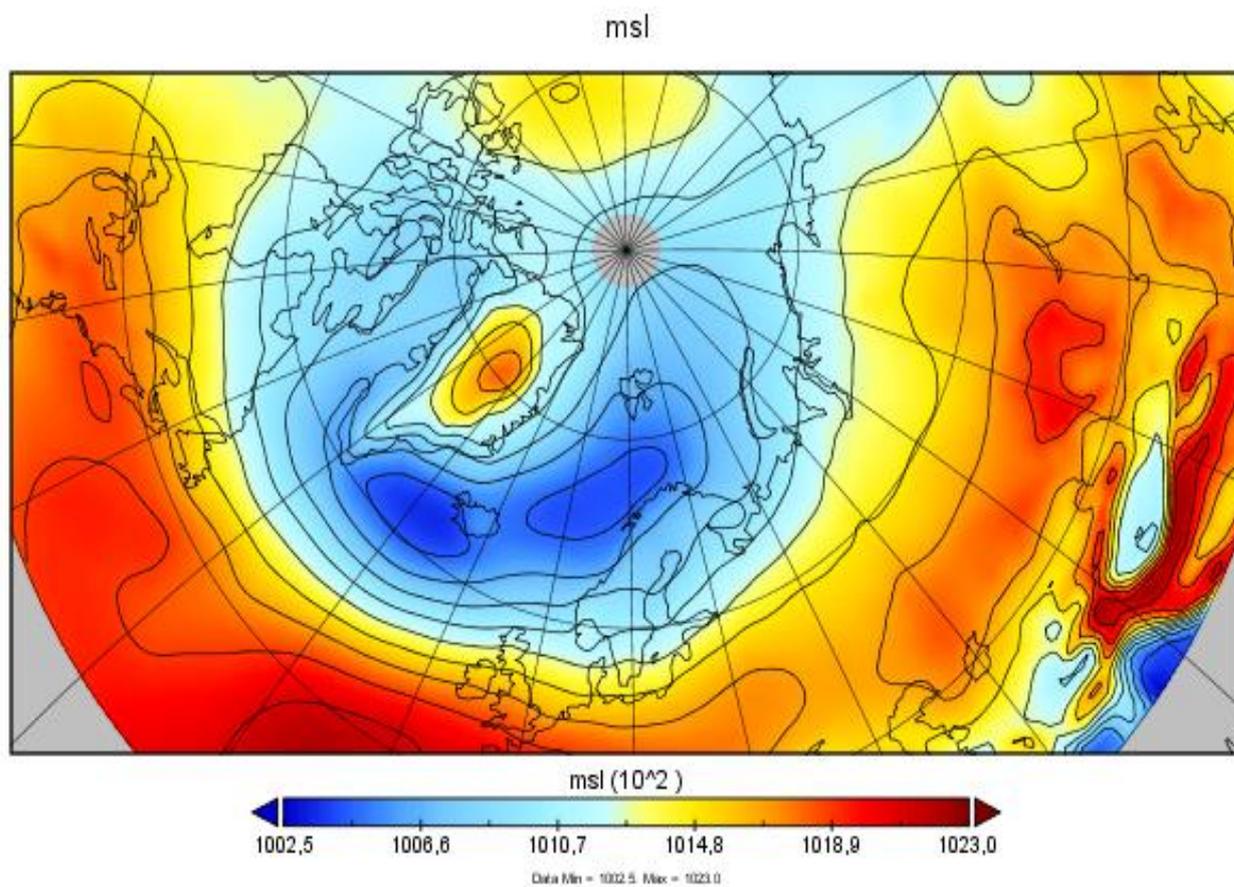


Рис.16. Барическое поле при правой моде (северное расположение кромки)

В случае расположения кромки льда на юге (рис.17.), территория ЗФИ находится под влиянием тыловой части обширного циклона с центром над акваторией Северного Ледовитого океана. Это означает адвекцию холода с из регионов северного полюса.

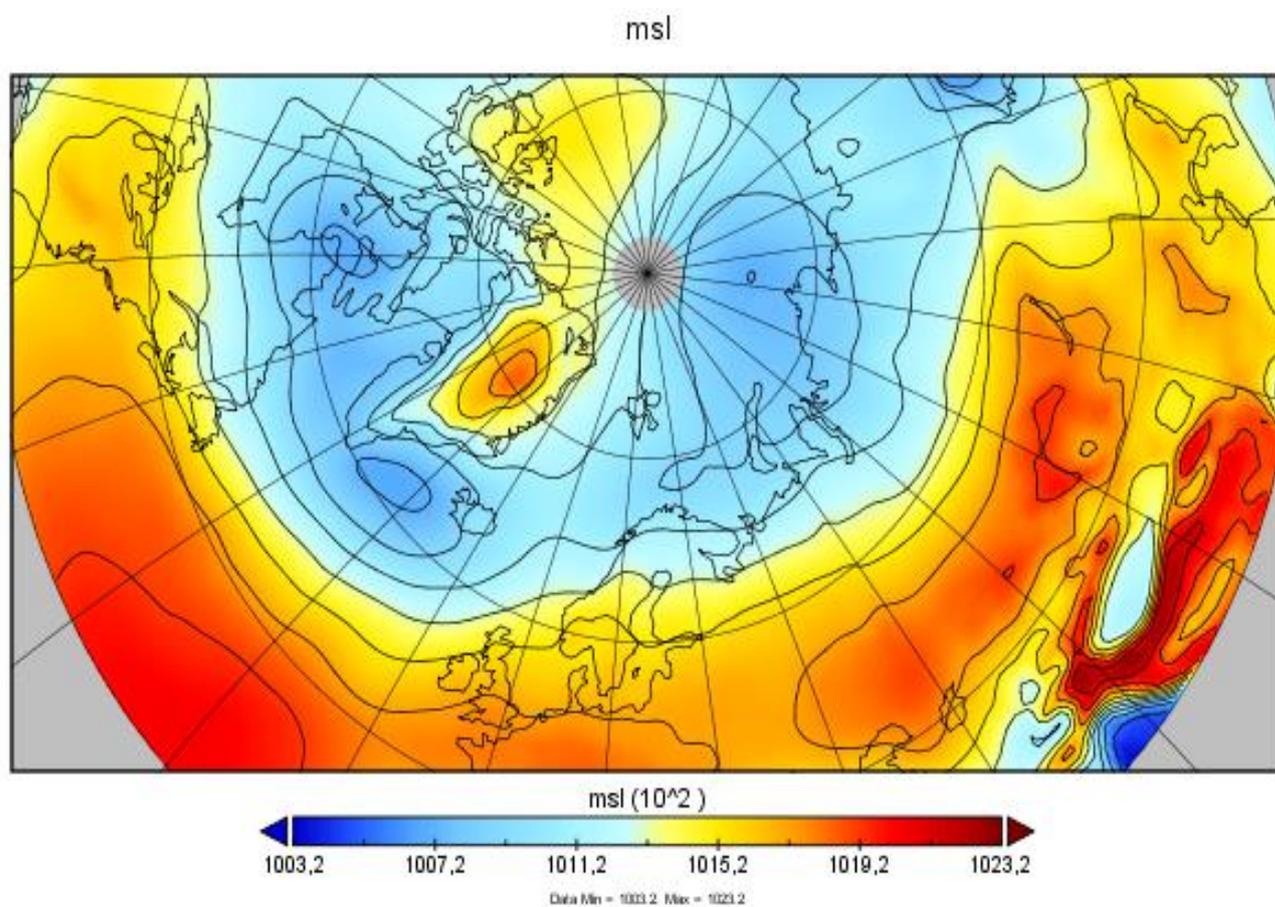


Рис.17. Барическое поле при левой моде (южное расположение кромки)

При минимальных показателях ледовитости (рис.18.) территория ЗФИ находилась в размытом барическом поле, однако к западу от архипелага наблюдался глубокий атлантический циклон с центром над Исландией, ось ложбины которого доходит через районы Шпицбергена. Вероятней всего, на ледовитость оказывает своё влияние обширный тёплый сектор с затоком воздуха из умеренных широт Атлантики.

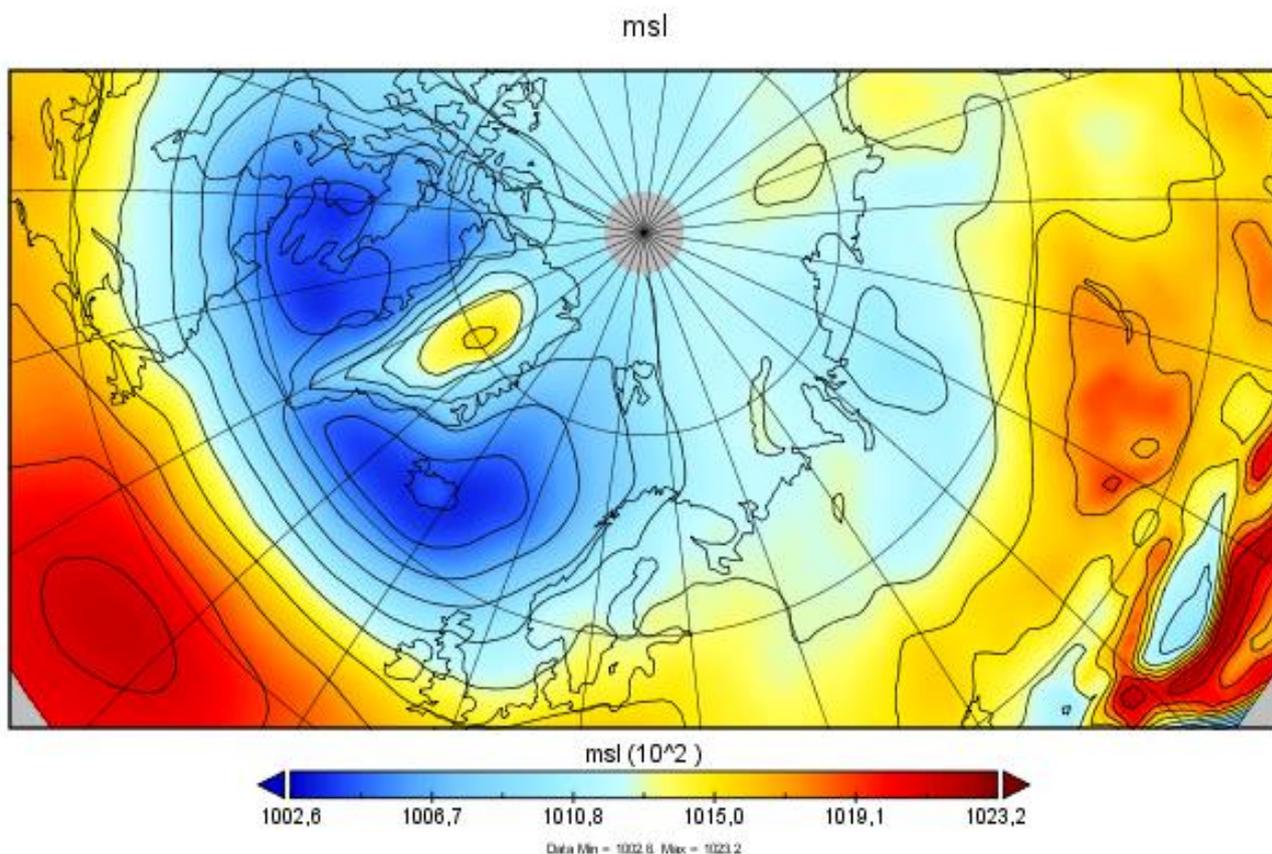


Рис.18. Барическое поле при минимальных показателях ледовитости

На основании полученных данных можно сделать вывод о том, что положения ледовой кромки согласуются с термобарическим полем синоптического вихря. В минимальных значениях ледовитости отмечаются южные потоки с адвекцией тепла в передней части циклонов. В максимальных - северные, с адвекцией холода в тыловой части циклона. В случае самого северного положения ледовой кромки, синоптическую

ситуацию в регионе определяла тыловая часть ложбины глубокого атлантического циклона, смещающегося по ведущему потоку в районы Баренцева моря. Передняя его часть отмечается мощной адвекцией тепла, а расположения изобар указывают нам о ветре южных румбов.

Полученные результаты характера атмосферной циркуляции могут говорить нам о следующих вещах:

1. Адвекцией тепла в районы архипелага поступает более тёплый воздух из умеренных широт и из регионов северной Атлантики, что препятствует ледообразованию и усиливает прогрев океана.
2. При нахождении региона в тылу циклона, на рассматриваемую территорию поступает более холодный воздух с районов северного полюса, который способствует охлаждению воды и ледообразованию.
3. Направления ветра третьей четверти (юго-западные румбы) способствуют дрейфовому выносу свободных льдов в восточные и северо-восточные районы, относительно Земли Франца-Иосифа.

5.Связь ледовой обстановки с индексами колебаний

Североатлантическое и арктическое колебания являются важнейшими характеристиками крупномасштабной циркуляции атмосферы в северном полушарии. В многочисленных работах показано их влияние на основные гидрометеорологические характеристики. Сущность североатлантического колебания заключается в перераспределении атмосферных масс между Арктикой и субтропической Атлантикой, при этом переход из одной фазы САК в другую вызывает большие изменения в поле ветра, переносе тепла, влаги, интенсивности и траекториях штормов. Арктическая осцилляция же является ещё одним важным режимом изменчивости климата для северного полушария. Индекс изменяется во времени без особой периодичности и характеризуется несезонными аномалиями давления на уровне моря одного знака в Арктике и уравновешенными аномалиями противоположного знака с центром в районе средних широт.

Чтобы оценить взаимосвязь бимодального распределения ледовой кромки с индексами североатлантического и арктического колебаний, были использованы величины этих индексов и посчитан коэффициент корреляции с расположением ледовой кромки.

С сайта NOAA.gov [35] были взяты данные об индексах колебаний и построены графики (рис. 19-20), а также была оценена взаимосвязь между индексами этих колебаний и значением ледовитости в рассматриваемые периоды тёплого полугодия.

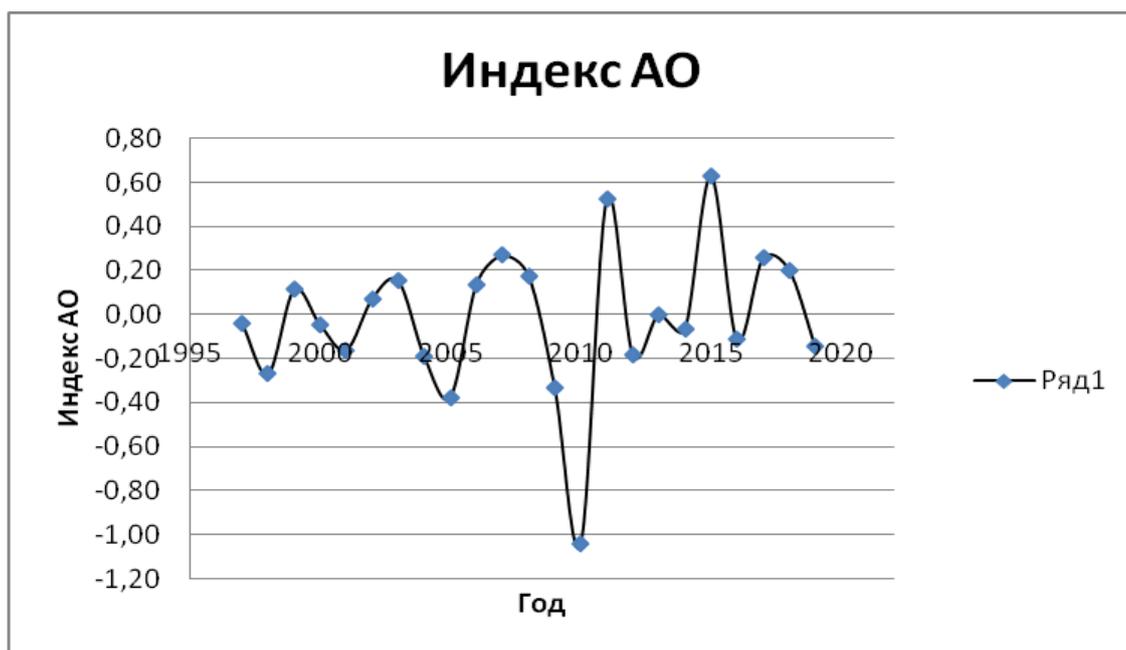


Рис. 19. Межгодовые изменения арктического колебания за рассматриваемый период

Индекс NAO, так же как и индекс восточно-атлантического колебания EA, представляет основные центры действия атмосферы, расположенные в регионе Северная Атлантика – Европа. Основные отличия связаны с тем, что EA- колебание, оказывается сдвинутым на юго-восток по отношению к ориентированному в меридиональном направлении диполью NAO. Композитные поля температуры для отрицательной (положительной) фазы NAO в общих чертах сходны с аналогичными полями для положительной (отрицательной) фазы EA - колебания.



Рис. 20. Межгодовые изменения североатлантического колебания за рассматриваемый

Однако, степень влияния NAO на температурный режим на территории Северной Америки и Гренландии - более значительная. Индекс Арктического колебания (АО), характеризующий, в отличие от предыдущих индексов не региональные, а глобальные особенности атмосферной циркуляции. В случае положительной (отрицательной) фазы индекса на большей части территории

Европы, Сибири и Якутии, а также на юге Дальнего Востока в период с марта по ноябрь наблюдаются положительные (отрицательные) аномалии температуры воздуха.

При этом, наиболее значительные аномалии (до 4 градусов) прослеживаются на севере Европы и в центральных районах Сибири. В полях осадков сигнал, связанный с изменениями АО, также прослеживается в период с ноября по март, но только над акваториями океанов. Данное обстоятельство, возможно, связано с тем, что связи между осадками и индексами циркуляции носят нелинейный характер и в композитных полях выражены не столь четко, как для температуры. [36-37]

Корреляционный анализ не выявил существенной зависимости положения расположения кромки и величины индексов Арктического и Северо-атлантического колебаний. Коэффициенты корреляции широты расположения ледовой кромки и индексов колебаний приведены получились незначимы и приведены в таблице.

Таблица коэффициента корреляции между широтой расположения ледовой кромки и индексом осциляции

	АО	NAO
Лето	0.15	0.3
Зима	0.16	0.2

Выводы

По результатам проведённых исследований было определено общее сокращение численности ледяных полей в районе архипелага Земля Франца Иосифа. Анализ показал, что наибольшие изменения в площади морских льдов отмечается в летне-осенний период.

Было определено, что в летний период на территории ЗФИ отмечается бимодальное распределение положения кромки морского льда, которое соответствует термобарическому полю синоптического вихря:

- В случае минимальных показателей ледовитости положение кромки определяла ложбина, с протекающей в ней фронтальными процессами, в передней части глубокого атлантического циклона с центром над северной Атлантикой
- В случае максимальных отметок площади ледовых полей, территория архипелага находилась во власти тыловой части обширного циклона с центром над акваторией Северного Ледовитого океана и находящегося к востоку от ЗФИ. Такое положение говорит нам об адвекции холода с переносом воздушных масс из северных районов Арктики.

Такое явление может расцениваться, как наличие двух климатических режимов на данной территории. Иными словами, наблюдается проявление локальной неединственности климата, вследствие влияния атмосферной циркуляции.

Была оценена зависимость положения кромки льда от величины индекса северо-атлантического и арктического колебаний, однако взаимосвязь между данными показателями не подтвердилась.

Также стоит отметить, что при построении гистограмм положения кромки по широте и дальнейшем анализе трендовой компоненты

отмечался незначимый результат линейного тренда. Это означает, что при оценке общих тенденций изменчивости площади ледовых условий в районе архипелага, данный результат является не явным и требует дальнейшей работы с данными

Полученный результат является новым и был успешно апробирован на конференции Ломоносов 2021, которая проходила с 12 по 23 апреля 2021 года в МГУ им. Ломоносова.

Список литературы

1. Алексеев Г.В., Иванов Н.Е., Панюшков А.В., Харланенкова Н.Е. Климатические изменения в морской Арктике в начале XXI века. Том «Метеорологические и геофизические исследования». М.: Европейские издания, 2011.
2. Алексеев Г.В., Кузмина С.И., Уразгильдеева А.В., Бобылев Л.П. Влияние атмосферных переносов тепла и влаги на потепление в Арктике в зимний период. // *Фундаментальная и прикладная климатология*. 2016. Т. 1. С. 43–63.
3. Алексеев Г.В., Кузьмина С.И., Бобылев Л.П., Уразгильдеева А.В., Гнатюк Н.В. Влияние атмосферных переносов тепла и влаги на летнее потепление в Арктике. *Проблемы Арктики и Антарктики*. 2017;(3):67-77. <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2017-0-3-67-77>
4. Атлас Арктики. М.:ГУГК, 1985. 204с.
5. Визе В.Ю. Причины потепления Арктики // *Советская Арктика*. 1937. Т..1. С..1-7.
6. Виттельс Л.А. Циклоны северных морей и потепление Арктики // *Метеорология и гидрология*. 1946. № 5. С..32-40.
7. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет), 2014. URL: <http://www.meteorf.ru>.
8. Г.Г. Матишов, С.Л. Дженюк, Д.В. Моисеев, А.П. Жичкин /О природе крупных гидрометеорологических аномалий в арктических и южных морях России // *Изв. РАН. Сер. Геогр.* 2014. №1. С. 36

9. Гидрометеорологические условия шельфовой зоны морей СССР. Т.6. Баренцево море. Вып. 1,2/Под ред. Б.Х. Глуховского и др. Л.: Гидрометеоздат, 1985. 246 с.
10. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. 1. Баренцево море Вып. 1.: Гидрометеорологические условия/Под ред. Ф.С. Терзиева и др. Л Гидрометеоздат, 1990. 280 с.
11. Государственный научный центр "Арктический и антарктический научно-исследовательский институт». URL: <http://www.aari.ru>
12. Дженюк С.Л. К оценке океанологической изученности Баренцева и Белого морей // Вести. МГТУ. 2012. Т. 15, №4. С. 739
13. Жичкин А.Л. Ледовые условия в районе архипелага Земля Франца-Иосифа // Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН
14. Земля Франца Иосифа / Под оед. В.П. Боярского. 2013 г. 680 с.
15. Зубакин Г.К., Бузин И.В. Характеристика многолетних изменений параметров климатической системы баренцева моря и возможный механизм ее развития // Тр. ААНИИ. 2009. Т. 450 С. 59
16. Зубакин Г.К. О Ледообмене Баренцева моря // Тр. ААНИИ 1987. Т. 410 С. 113.
17. Северный Ледовитый и Южный океаны. Л.: Наука, 1985. 501 с. (Сер. География Мирового океана)
18. Советская Арктика. М.: Наука, 1970. 526 с.
19. Среда обитания и экосистемы Земли франца Иосифа (архипелаг и шельф). Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 1994. 256 с.
20. *Метео-архивы*. Удаленный доступ к ЯОД-архивам. URL: <http://aisori.meteo.ru/ClimateR>
21. Симакин М.Д. Динамика климатического режима ЯНАО. // Выпускная квалификационная работа. Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2019 г.

22. Симакин. М.Д. Обзорный анализ динамики количества осадков на территории ЯНАО за последние годы. // Фабрика научной мысли молодых: Ямал и Арктика – ресурсы холодного мира. ТюмГУ, 2018 г.
23. Симакин М.Д. Формирование и динамика температурного режима приземного слоя атмосферы Ямало-Ненецкого автономного округа. // Всероссийская научно-практическая конференция “Современные тенденции и перспективы развития гидрометеорологии в России”. ИГУ, 2018 г.
24. Современные климатические тенденции Баренцева моря // Г.Г. Матишов, В.В. Денисов, А.П. Жичкин и др. // докл. РАН 2011 г. Т.441 №3. Стр. 395.
25. Старцева А.В. Изменчивость ледового покрова Карского моря. СПб: РГГМУ, 2016. 64с.
26. Формирование и динамика современного климата Арктики. // Под ред. Алексеева Г.В. СПб: Гидрометеоиздат, 2004. 265 с.
27. Bekryaev R.V., I.V. Polyakov and V.A. Alexeev. 2010. Role of Polar Amplification in Long-Term Surface Air Temperature Variations and Modern Arctic Warming. // Journal of Climate, vol. 23, p. 3888–3906.
28. Bengtsson L., Hodges K. I., Koumoutsaris S., Zahn M., Keenlyside N. The changing atmospheric water cycle in Polar Regions in a warmer climate // Tellus A. 2011. Vol. 63. №. 5. P. 907-920.
29. Francis J.A., Hunter E., Key J., Wang X. Clues to variability in Arctic minimum sea ice extent // Geophysical Research Letters. 2005. Vol. 32. № 21. <https://doi.org/10.1029/2005GL024376>.
30. Rawlins M.A. et al. Analysis of the Arctic system for freshwater cycle intensification: Observations and expectations // Journal of Climate. 2010. Vol. 23. № 21. P. 5715-5737.
31. Serreze M.C., Barrett A.P., Stroeve J. Recent changes in tropospheric water vapor over the Arctic as assessed from radiosondes and atmospheric reanalyses

// Journal of Geophysical Research: Atmospheres. 2012. Vol. 117. № D10. <https://doi.org/10.1029/2011JD017421>

32. Hansen B. B., Aanes R., Herfindel I., Kohler J., Father B.-E. Climate, icing, and wild arctic reindeer: past relationships and future prospects // Ecology. 2011. N 92. P. 1917—1923.

33. Hansen B. B., Isaksen K., Benestad R. E., Kohler J., Pedersen Å. I., Loe L. E., Coulson S. J., Larsen J. O., Varpe Ø. Warmer and wetter winters: characteristics and implications of an extreme weather event in the High Arctic // Env. Res. Letters. 2014. N 9. Doi: 10.1088/1748-9326/9/11/114021

34. Inoue J., Hori M. E., Takaya K. The role of Barents Sea ice in the wintertime cyclone track on emergence of a warm-Arctic cold-Siberian anomaly // J. Climate. 2012. N 25. P. 2561—2568. Doi: 10.1175/JCLI-D-11-00449.

35. National Oceanic and Atmosphere Administration (NOAA's Climate Program Office) URL: <http://www.noaa.gov>

36. Quadfasel D. Warming in the Arctic Nature. 1991. N 350. P 385.

37. Screen J.A., Deser C., Simmonds I. Local and remote controls on observed Arctic warming. // Geophysical Research Letter. 2012. Vol. 39. No 10. L10709. doi:10.1029/2012GL051598.

38. Serreze M., Barry, R. Processes and impacts of Arctic Amplification: A research synthesis. // Global and Planetary Change. 2011. Vol. 77. No 1–2. P.85–96.

39. Osborn T.J. and Jones P.D., 2014: The CRUTEM4 land-surface air temperature dataset: construction, previous versions and dissemination via Google Earth. // Earth System Science Data 6, 61-68. doi: 10.5194/essd-6-61-2014

40. Screen J.A., Simmonds I. The central role of diminishing sea ice in recent Arctic temperature amplification. // Nature. 2010 v. 464, p. 1334–1337. doi:10.1038/nature09051.

41. <http://seakc.meteoinfo.ru/training/volatility> // дата обращения: 10.11.2020