



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

Кафедра метеорологических прогнозов

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

На тему: «Полярные мезомасштабные циклоны в Южном и Северном
полушариях»

Исполнитель Шурыгин Александр Алексеевич
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат физико-математических наук
(ученая степень, ученое звание)

Савенкова Елена Николаевна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
заведующий кафедрой


(подпись)

кандидат физико-математических наук, доцент

(ученая степень, ученое звание)

Анискина Ольга Георгиевна

(фамилия, имя, отчество)

« 31 » мая 2022 г.

Санкт-Петербург

2022

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1 ГЛАВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛЯРНЫХ ЦИКЛОНОВ.....	4
1.1 Что такое полярный циклон. Особенности полярных циклонов.....	4
1.2 Классификация полярных мезоциклонов.....	12
1.3 Условия образования полярных мезомасштабных циклонов	12
2 ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОЛЯРНЫХ ЦИКЛОНОВ	16
2.1 Реанализ Metra-2	17
2.2 Реанализ JRA-55.....	20
3 АНАЛИЗ СРАВНЕНИЯ ПОЛЯРНЫХ МЕЗОЦИКЛОНОВ НАД СЕВЕРНОМ И ЮЖНОМ ПОЛЮСАМИ	23
3.1 Описание используемых данных	23
3.2 Практическая часть.....	27
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	42
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	43

ВВЕДЕНИЕ

Полярные мезомасштабные циклоны развиваются во всех морских районах, прилегающих к морскому льду или холодной суши, в основном в зимний период. Продолжительность и интенсивность зависят от региона. Самая высокая плотность наблюдается в Северных морях. Полярные циклоны достаточно трудны для обнаружения через стандартные метеорологические наблюдения, однако они опасны для судоходства, добычи нефти и газа на Арктическом шельфе.

Проблема прогноза полярного циклона очень важна, так как Арктические регионы являются зонами развития различных промышленности многих стран мира.

Цель работы: проанализировать условия мезомасштабных образований на Северном и Южном полюсе.

Задачи:

1. анализ метеорологических условий в зимние месяцы для Северного и Южного полюса.
2. Сравнительный анализ ледовой обстановки в зимний период в Северном и Южном полюсе
3. Сравнительная оценка влияния метеорологических условий на частоту возникновения полярных циклонов в Северном и Южном полушарии

1 ГЛАВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛЯРНЫХ ЦИКЛОНОВ

1.1 Что такое полярный циклон. Особенности полярных циклонов.

Полярный мезомасштабный циклон (мезоциклон) – интенсивный вихрь, который образуется в зимний холодный период на высоких широтах как в Южном, так и в Северном полушариях. Размер полярного мезоциклона характерен для мезомасштабных явлений – 100–1000 километров. Существовать мезомасштабный циклон может от 2–3 часов до нескольких суток. Для полярных мезоциклонов характерные суровые погодные условия (штормы, повышенные скорости ветра, возникновение опасных явлений для жизнедеятельности человека и т. п.). Наиболее часто возникновение полярного мезоциклона связано с разницей температур воздуха над разделом «суша-океан».

Регионом с активным циклогенезом в Северном полушарии являются акватории Северных морей около Скандинавии, Канады, восточной части Евразийского побережья Северного Ледовитого океана. Условиями для развития бароклинной неустойчивости в холодный период года являются значительные контрасты температур вод Атлантического и вод у дрейфующих льдов Северного Ледовитого океанов вкупе с тропосферным переносом; источником энергии для возникновения полярных циклонов в таких ситуациях является притоки влаги и тепла поверхности океанов. Образование мезоциклонов в южном полушарии возможно в любом регионе над Южным океаном.

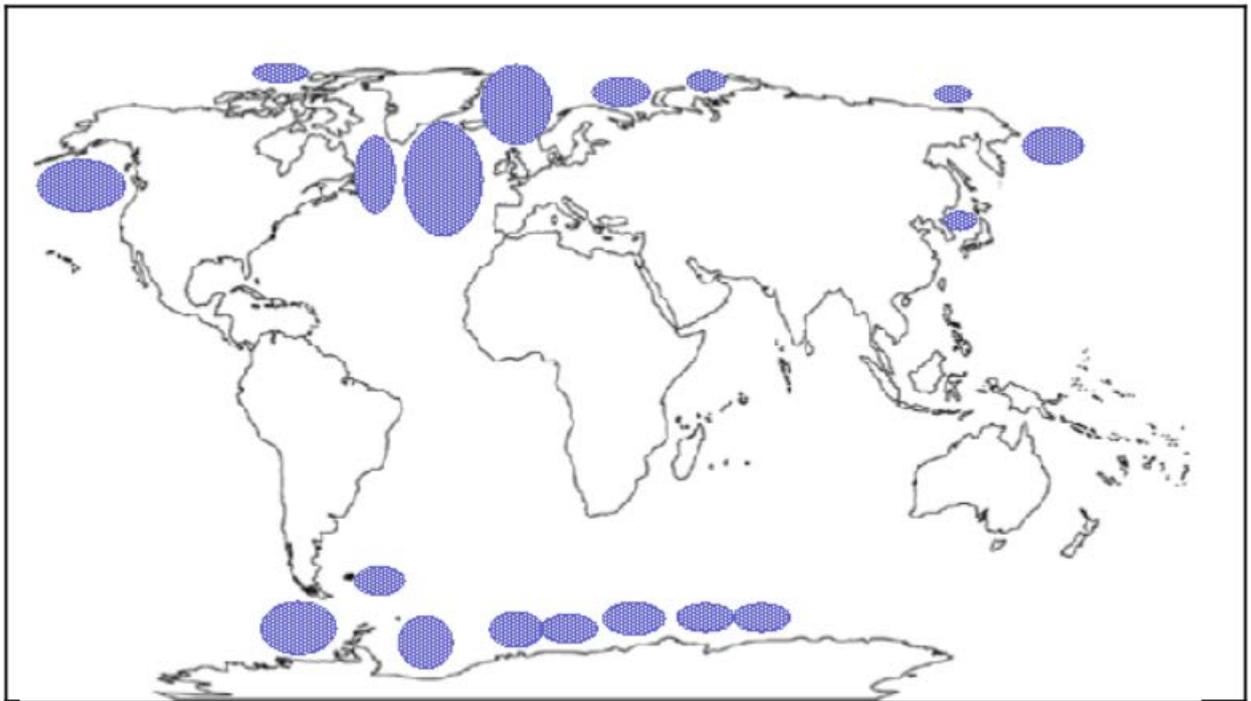


Рисунок 1.1 – Зоны формирования полярных мезоциклонов [11]

Выявлены ключевые особенности мезомасштабных циклонических процессов в двух полярных регионах: в Южном полушарии образование мезомасштабных циклонов может происходить где угодно в водах Южного океана, в Северном полушарии - только в отдельных окраинных морях; активные полярные мезоциклоны в Антарктике могут возникать в любое время года, в Арктике только в периоды арктических холодов; в Антарктиде циклоны менее интенсивны, чем на Северном полюсе из-за разной мощности тепло- и влагообмена между атмосферой и океаном; районы с наибольшей концентрацией мезомасштабных облачных вихрей в Антарктиде более плотные.

Размеры полярных циклонов в разы меньше барических образований синоптического масштаба, из-за чего они могут быть не обнаружены на

синоптических картах, также это может быть связано с непродолжительным периодом существования. Отсутствие постоянных и повсеместных наблюдений за атмосферой усугубляет положение.

С появлением метеоспутников задача обнаружения ПМЦ упростилась, а соответственно упростились данные наблюдений за облачностью и радиофизических измерений, что способствовало активизации изучения этих образований. Интенсивные ПМЦ могут привести к экстремальным погодным явлениям – штормовому и сильному ветру, обледенению кораблей и сооружений, снегу с ограничением видимости. Штормовые условия обычно развиваются внезапно в течение короткого периода времени.

Обнаружить полярный циклон на снимках можно по яркой облачной спирали. В Северном полушарии полярные циклоны были обнаружены над Гренландским морем и морей Баффина, над Девисовом проливом, над Норвежским и Баренцевым, Беринговым и Японским морями, над заливом Аляска, то есть над акваториями, находящимися рядом с сушей. В южном полушарии полярные циклоны были обнаружены над побережьем Антарктиды. Таким образом, полярные мезомасштабные циклоны в обоих полушариях наблюдаются недалеко от разделов «суша – море», разница в том, что в Северном полушарии они более интенсивны и продолжительны, возникают с середины осени (примерно в октябре) и наблюдаются до апреля, а в Южном полушарии возникают в декабре и наблюдаются до марта.

Полярный циклон — это небольшой циклон с очень сильной мощностью, он формируется над морским пространством севернее от полярного фронта.

Интенсивность полярного мезоциклона определяется с помощью структуры изображения и яркости изображений облачности на космических снимках.

Процесс образования полярных циклонов может иметь разные механизмы это вторжение холодного воздуха на поверхность моря, свободную от ледового

покрова. Такие полярные мезоциклоны имеют очень сильную интенсивность они могут вызывать погодные условия. Одна из особенностей полярных мезоциклонов — это отсутствие фронтальных частей, также циклоны быстро затухают если они пересекают сушу.

В указанных регионах могут наблюдаться по характеристикам с полярными циклонами два типа мезовихрей. Первый – вторичный циклон (рисунок 1.2), который образуется вблизи холодных фронтов циклонов. Вторичный циклон является фронтальной частью циклона, такое образование может наблюдаться не только над акваториями, но и над сушей. Второй тип мезовихря, который схож с полярными мезомасштабными циклонами, - летний облачный мезовихрь (рисунок 1.3). Такое барическое образование может формироваться в теплый сезон, примерно с мая по сентябрь. Регион формирования – акватория Баренцева моря, преимущественно северные широты $72^{\circ} - 77^{\circ}$. Такой мезовихрь имеет спиралевидную форму и состоит из облачности с незначительной вертикальной протяженностью. Отличить на спутниковом снимке летний облачный мезовихрь от полярного мезомасштабного циклона можно по яркости изображения (летний облачный мезовихрь отличается по сравнительно невысокой яркости).

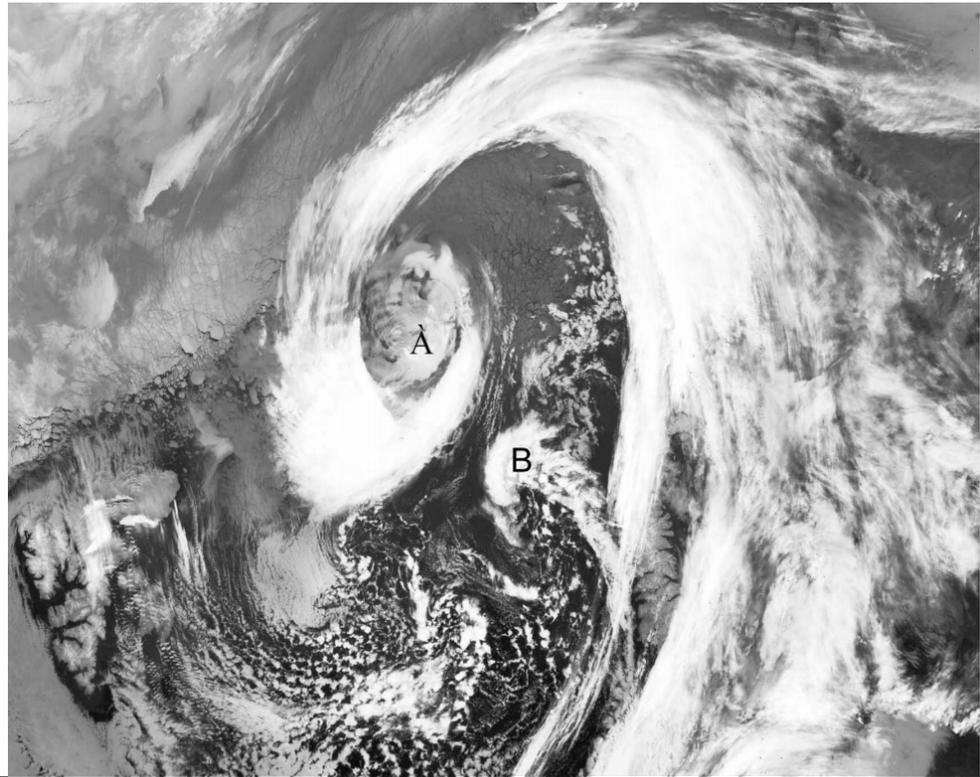


Рисунок 1.2 – Облачный вихрь внутротропического циклона (А) и вторичного циклона (В) над районом Баренцева моря [11]

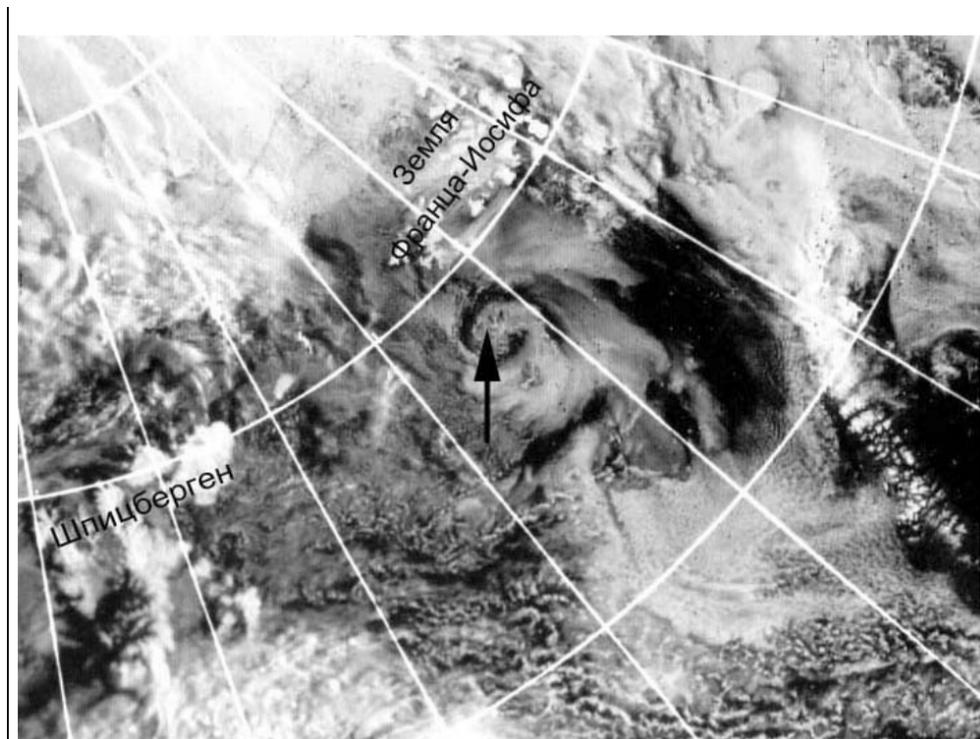


Рисунок 1.3 – Облачный мезовихрь летнего типа в районе Баренцева моря [11]

Полярный минимум в 1990-х годах был определен как циклонический вихрь, развивающийся над водной поверхностью севернее полярного фронта и имеющий пространственный масштаб не более 1000 км, скорость приземного ветра которого превышает 15 м/с. Если опираться на это определение, подавляющее большинство циклонов в Южном полушарии поистине не являются полярными мезомасштабными циклонами. Это связано с тем, что стадии формирования и развития могут происходить вдали от открытой водной поверхности вблизи побережья Антарктиды.

Исследование и численное моделирование показывает, что циклоническая активность в Южном полушарии может наблюдаться на всех широтах и долготах вокруг Антарктиды в течение всего года, то есть на шельфовых ледниках вблизи северных границ морских льдов, над свободным от ледового покрова Южным океаном. Такие барические возмущения имеют масштаб 100–1000 километров.

Как правило полярная мезомасштабная циклоническая активность больше весенний и летний сезоны (то есть с октября по март), и меньше в зимний период (с мая по сентябрь). Зоны, которые используются для наблюдений за полярными циклонами представлены на рисунке 1.4.

Преобладающие траектории полярных мезомасштабных циклонов представлены на рисунке (1.5). Из рисунка видно, что большая часть траекторий удаляются от юго-западной части моря Росса в восточно-юго-восточном и в северо-восточном направлениях, над шельфовым ледником Росса большая часть траекторий направлена на северо-запад. Над южной частью тихого океана траектории расположены в сторону востока к проливу Дрейка, некоторые траектории направлены к южной Америке на северо-восток.

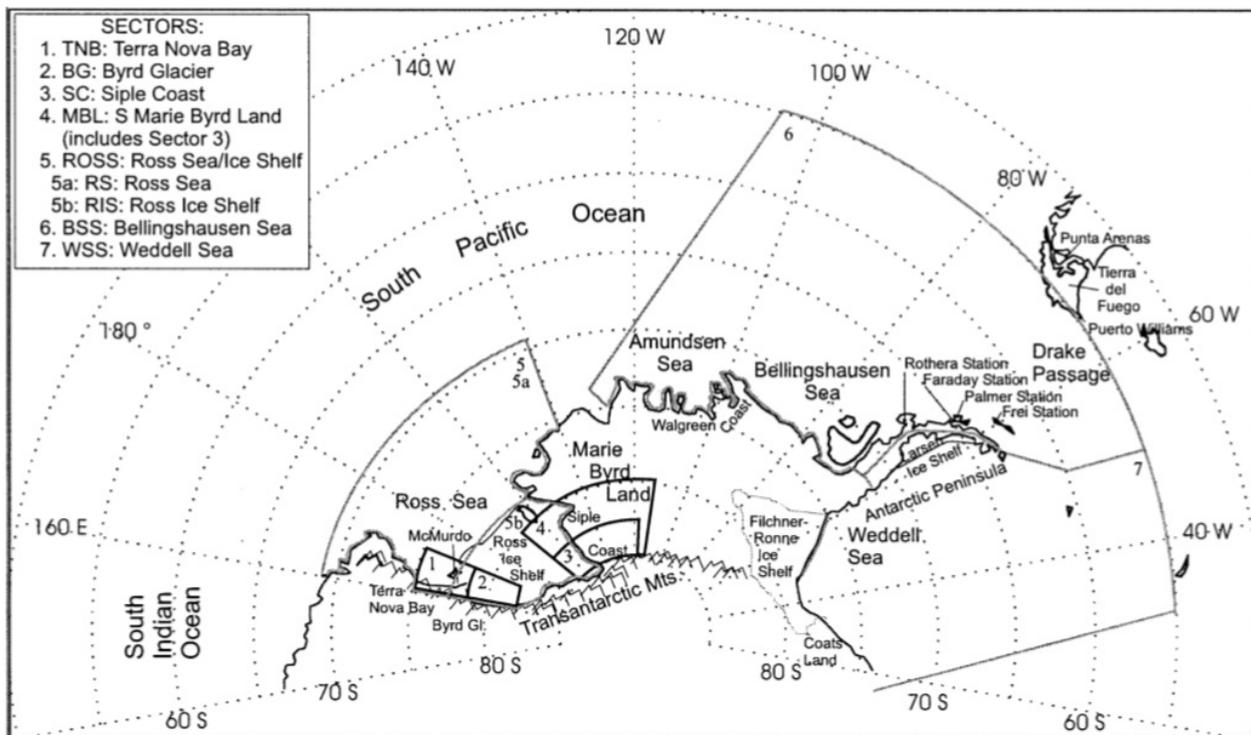


Рисунок 1.4 – Выделенные области - зоны изучения полярных мезомасштабных циклонов

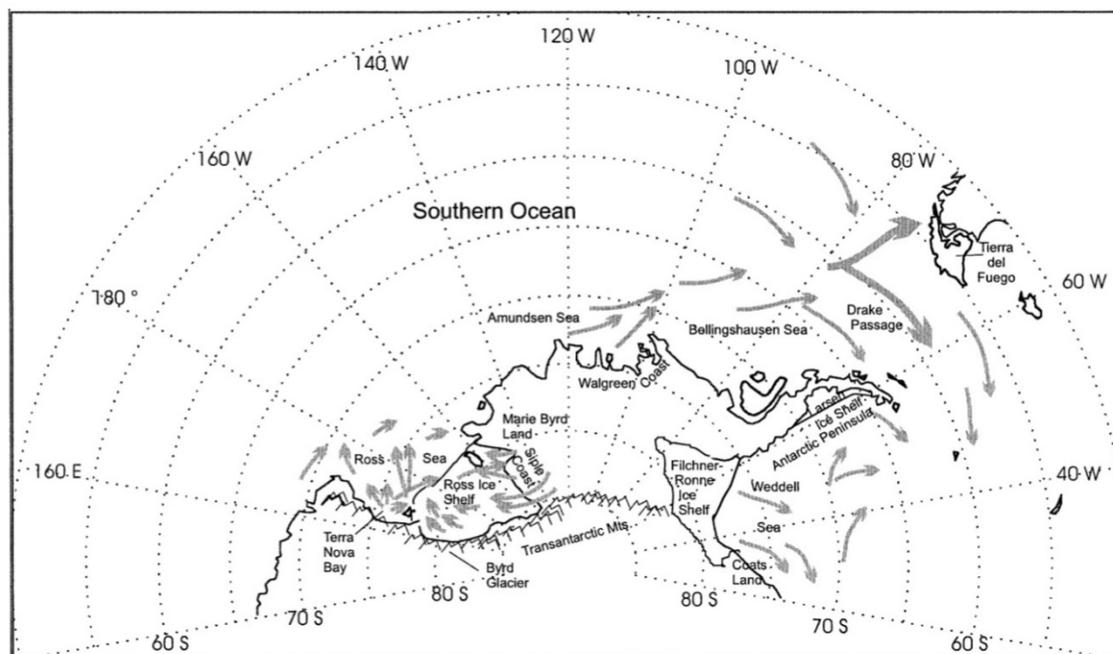


Рисунок 1.5 – Основные траектории движений полярных циклонов

Также важной особенностью полярных циклонов является продолжительность существования барического возмущения. Средний срок существования – около 15 часов. На рисунке 1.6 представлен график, на котором отмечено время существования полярного циклона и сколько каждый из временных вариантов наблюдался. Было рассмотрено 62 мезоциклона, и 32 из них существовали меньше 12 часов, 17 раз были зафиксированы мезоциклоны с продолжительностью от 12 до 24 часов, 9 раз – от 24 до 36 часов. Всего два раза были зафиксированы полярные циклоны, продолжительность срока существования которых были от 36 до 48 часов; всего один просуществовал более двух суток.

Срок существования мезоциклоны практически напрямую зависит от траектории движения: если траектория пересекает сушу или ледовый покров, и циклон уходит с водной поверхности, то он разрушается. В этом смысле стационарирующие полярные циклоны имеют большие временные промежутки существования.

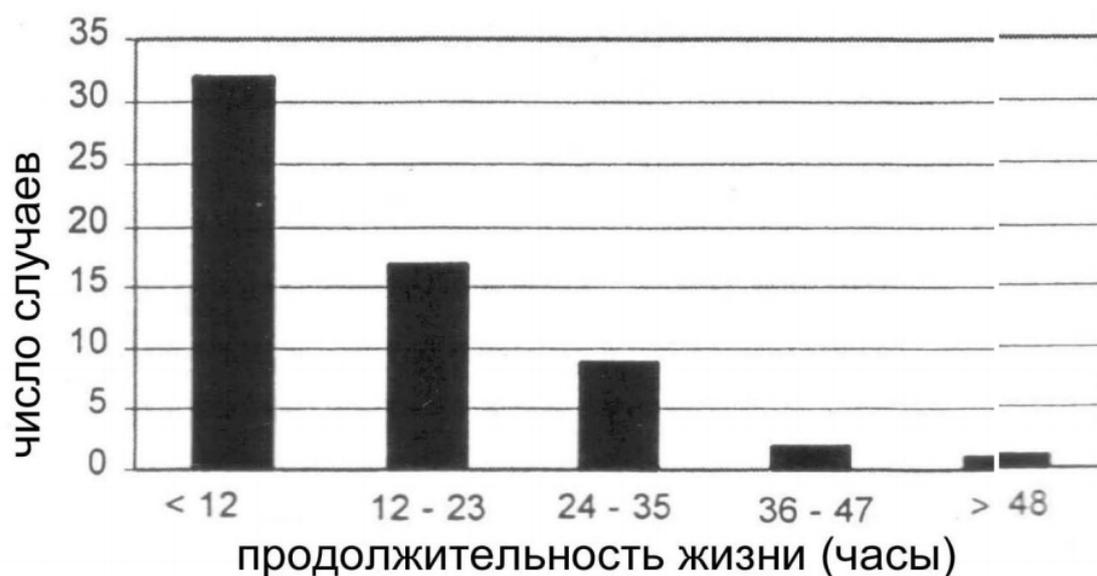


Рисунок 1.6 - срока жизни полярных мезоциклонов [11]

1.2 Классификация полярных мезоциклонов

Облачные вихри полярного мезоциклона могут представлять из себя сложную структуру мезовихря, но наиболее распространены – спиралевидные и в виде запятой. Известны случаи, когда полярный мезоциклон в виде запятой преобразовывался в спиралевидный; также зафиксированы случаи, когда пмц в виде спирали имели схожий вид с тропическими циклонами – имели «глаз», однако они не отличались столь сильным изменением давления в центре и настолько высокими скоростями ветра, какие отмечаются в тропических циклонах.

1.3 Условия образования полярных мезомасштабных циклонов

Возможными условиями для образования мезомасштабных циклонов являются:

- Поток арктического воздуха с ледового покрова в сторону открытой морской поверхности
- Разность температуры воздуха и температуры воды равна примерно 20°C
- Условия повышенной конвекции
- Близость струйного течения
- Наличие циклонической завихренности

Известен случай захода попадания судов в штормовую зону полярного мезомасштабного циклона. Было отмечено резкое ухудшение погодных условий вплоть до штормовых. В ясную погоду было отмечено резкое появление плотной облачности и изменение направления ветра со слабого

северного на юго-западный с очень высокими скоростями (32 м/с). Произошло резкое ухудшение дальности видимости был отмечен сильный снегопад. Данные погодные условия говорят об очень сильной интенсивности полярного циклона, максимальная скорость ветра (25–35 м/с) наблюдается при относительно небольших размерах полярного циклона, с масштабом примерно 50-100км. Вертикальный масштаб такого циклона может быть до 3 км, а облачные системы, которые несут осадки, могут находиться в 150–200 км от центра циклона.

В 1980-х годах Норвежским Метеорологическим Институтом были выявлены следующие характеристики полярных циклонов скорость ветра колеблется от 18 до 25 м/с, присущи интенсивные осадки, которые ухудшают дальность видимости.

Основываясь на данных о сроке существования полярного мезоциклона можно предположить, что сроки наблюдения шторма соизмеримы со сроком жизнедеятельности полярного мезоциклона и его пространственными масштабами. Наиболее сильные возмущения водной поверхности развиваются если направление перемещения барического образования совпадает с направлением ветра; если же полярный мезоциклон стационарирует, то не будет наблюдаться сильного волнения. Например, были зафиксированы случаи, когда при высокой скорости ветра (35 м/с) в стационарирующих, или же в очень малоподвижных полярных мезоциклонах высота волн достигала всего 5,5 метров.

Правильно считать, что мезомасштабные полярные циклоны могут наносить большой ущерб деятельности человека, однако экстремальные погодные условия всё же менее жесткие и менее продолжительные, нежели такие наблюдаются, например, во фронтальных циклонах.

В связи с недостаточным количеством метеорологических наблюдений, нет достоверных данных о значениях давления в центрах полярных

мезоциклонов, однако достоверно известно, что этот параметр менее значителен, чем в развитых тропических циклонах.

Термическая конвекция, благодаря которой при перемещении воздушной массы с ледового покрова на относительно теплую поверхность морской воды воздух насыщается теплом и влагой приводит к образованию значительной конвективной облачности и вследствие образования мезоциклона, как было указано ранее разность температур между двумя поверхностями должна быть около 20°C.

Динамическая волновая неустойчивость атмосферного потока с широтным градиентом температуры в поле силы Кориолиса, которая является следствием бароклинной неустойчивости, является источником энергии, добавляющим возмущение в этот поток.

Существует концепция, которая состоит из представления о том, что два возмущения двух различных масштабом могут взаимодействовать и взаимно увеличивать интенсивность друг друга – такая концепция носит название условной неустойчивости второго рода.

Например, полярный вихрь, который не имеет забора энергии в крупномасштабном потоке, и глубокая влажная конвекция могут дополнять друг друга. Так, вихрь, который имел, например, орографическое влияние, вкупе с циклонической циркуляцией, обуславливает приток влажного воздуха в центр барического образования, и образуется мощная конвекция с выделением энергии, вследствие чего развивается интенсивный полярный мезомасштабный циклон.

Для образования мезоциклона важно условие наличия холодной ложбины на высоте, где давление примерно равно 500гПа, температура в этой ложбине должна достигать -40°C. Считается при неустойчивости, которая развивается в холодном воздухе, характерно наличие такой ложбины холода.

В исследовании полярных циклонов в водах акватории Канадского Арктического архипелага были зафиксированы циклоны, которые появлялись в диапазоне температур -31°C до -40°C (рисунок 1.4)

В верхних слоях атмосферы могут образовываться сдвиги ветра, которые в планетарном масштабе не очень значительны, но могут при дополнительных внешних условиях преобразовываться в полярные мезоциклоны. Энергия баротропных процессов возрастает за счет той энергии, что несут процессы синоптического масштаба.

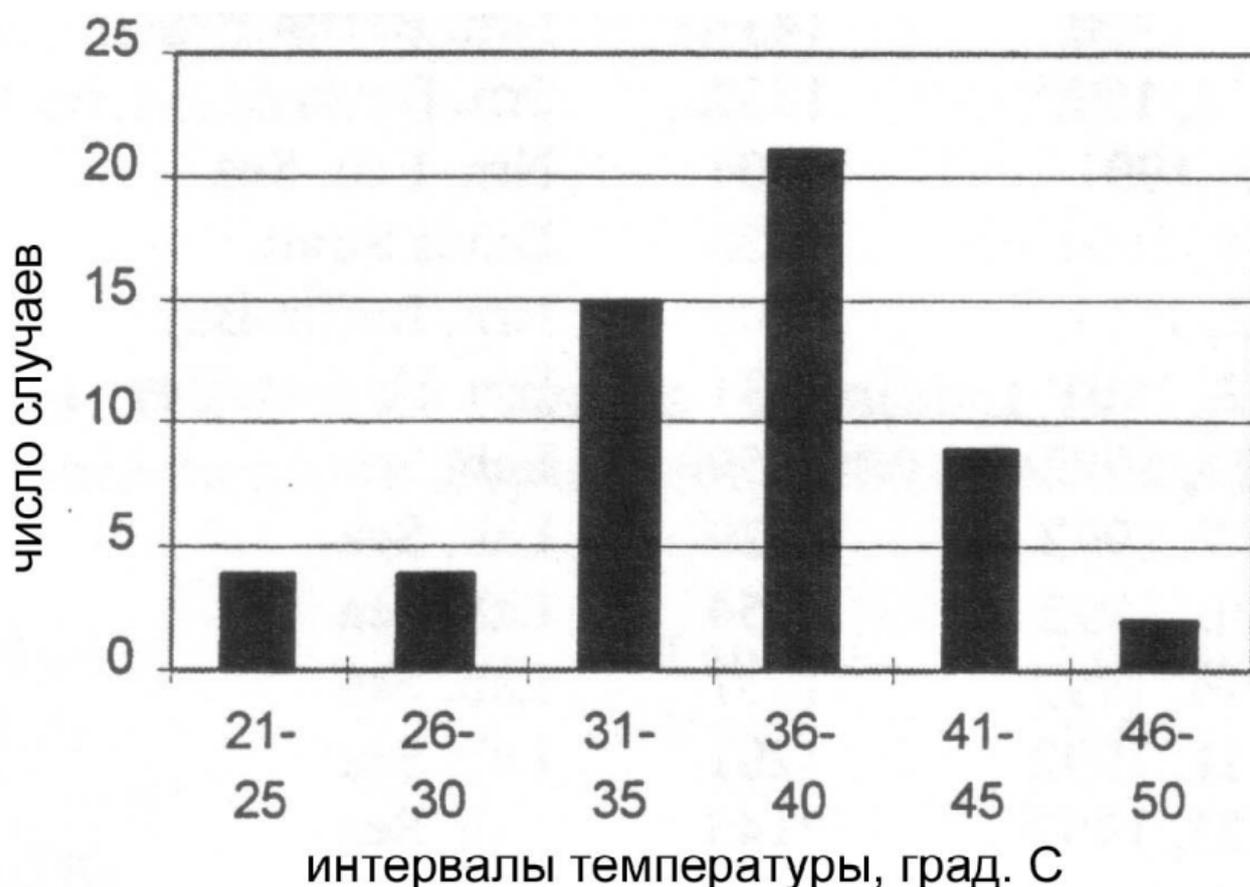


Рисунок 1.4 – Частота образования полярных мезоциклонов в зависимости от температуры воздуха на уровне 500 гПа [11]

2 ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОЛЯРНЫХ МЕЗОЦИКЛОНОВ

Одна из основных проблем прогнозирования полярных мезомасштабных циклонов – малая предсказуемость процесса, которая обусловлена характерно малыми размерами барического образования и его коротким сроком существования, также главная проблема усугублена малым количеством метеорологических стандартных наблюдений в регионах, где может образовываться это явление.

Основываясь на выше указанных данных можно первым этапом узнавать общую синоптическую ситуацию, а также прогнозировать перемещение холодного воздуха на водную поверхность (высокую оправдываемость такого прогноза имеет Европейский центр среднесрочных прогнозов погоды).

Вторым этапом важно использовать спутниковые снимки и прогнозы мезомасштабных моделей.

По следующим признакам возможен прогноз образования полярных мезомасштабных циклонов:

1. Различие температур поверхностей $\sim 20^{\circ}\text{C}$
2. Изменение давления в атмосфере, которое не обусловлено прохождением циклона или его фронта
3. Развитие облачных гряд повышенной конвекции над акваторией
4. Развитие конвективной облачности
5. Изменение направления ветра
6. Увеличение значений скорости ветра
7. Наличие осадков
8. Увеличения интенсивности осадков
9. Формирование облачной спирали

Прогнозирование развития существующего полярного циклона основано на применении метода экстраполяции: если прогнозируемая траектория мезоциклона пересекает водораздел (то есть барическое образование перемещается в сторону суши или на ледовый покров), то можно прогнозировать скорое разрушение барического образования, чаще всего такое явление, если оно интенсивно, затухает за период около суток или менее.

При дальнейшем развитии наблюдательных метеорологических станций на полюсах, при большем количестве радиозондирующих исследований, при большем количестве стандартных сроков наблюдения за атмосферой со спутников можно ожидать более качественные прогнозы условий формирования и наличия, а также развития полярных мезомасштабных циклонов.

2.1 Реанализ Merra-2

Реанализ – совокупность данных за какой-либо выбранный для анализа период, которые были подвержены повторной метеорологической обработке. Такой анализ данных позволяет опираться на них для расширения знаний об исторических данных, для создания базовой модели прогнозирования, также есть возможность расчета переменных, которые либо редко наблюдаются на станциях, либо которые измерить физически невозможно.

Продукция реанализов является основным используемым продуктом для мониторинга климата.

Такие анализы рассчитываются Национальным управлением океанических и атмосферных исследований (NOAA), Национальным центром прогнозирования окружающей среды (NCEP), Европейским центром среднесрочных прогнозов погоды (ECMWF), Национальным управлением по авиации и исследованию космического пространства (NASA), Глобальным управлением моделирования и ассимиляции (GMAO) и Японским метеорологическим агентством (JMA) и

обеспечивают богатую базу продуктов климатических данных, начиная с периода относительно регулярных стандартных и спутниковых наблюдений.

Также были предприняты успешные попытки расширить атмосферный реанализ до конца девятнадцатого и начала двадцатого веков, используя только наблюдения за поверхностным давлением или наблюдения за поверхностным и средним давлением на уровне моря с учетом поверхностных ветров. Как отмечалось, эти многовековые повторные анализы также стимулировали значительные усилия по восстановлению и оцифровке данных различных групп по всему миру.

Глобальным управлением моделирования и ассимиляции по развитию реанализа начались с создания системы наблюдения Земли Годдарда, (GEOS-1). MERRA охватывала период 1979–2016 годов и была предпринята с двумя основными целями: поместить спутниковые наблюдения системы наблюдения Земли (EOS) НАСА в климатический контекст и улучшить атмосферную ветвь гидрологического цикла по сравнению с предыдущими повторными анализами. MERRA в целом удалось достичь этих целей, и было установлено, что его качество сопоставимо с современными реанализами, производства NCEP и ECMWF. Однако он также страдал от ряда известных, но не обязательно уникальных недостатков. Это включает в себя нефизические скачки и тенденции осадков в ответ на изменения в системе наблюдения, погрешности и дисбалансы в некоторых гидрологических параметрах атмосферы и поверхности суши, а также плохое представление верхней стратосферы. Кроме того, долгосрочная жизнеспособность MERRA была ограничена системными ограничениями, которые исключали включение новых источников спутниковых данных за пределами NOAA-18, который был запущен в 2005 году. На момент его прекращения в марте 2016 года MERRA подвергалась риску значительного ухудшения качества, если некоторые наблюдательные платформы выйдут из строя, включая, например, EOS Aqua, которая уже вышла далеко за пределы своего расчетного срока службы и обеспечивала MERRA своими единственными источниками

гиперспектрального инфракрасного и полуденного орбитального микроволнового излучения.

MERRA-2, была предпринята для обеспечения своевременной замены MERRA и поддержания приверженности GMAO постоянному анализу климата почти в реальном времени. MERRA-2 предназначен в качестве промежуточного реанализа, который использует последние разработки GMAO в области моделирования и ассимиляции данных для решения некоторых известных ограничений MERRA, но также обеспечивает ступеньку к долгосрочной цели GMAO по разработке интегрированного анализа земной системы (IESA), который объединяет системы ассимиляции для атмосферы, океана, суши и химии. Для достижения последней цели MERRA-2 включает ассимиляцию аэрозольных данных, обеспечивая тем самым многодекадный реанализ, в котором аэрозольные и метеорологические наблюдения совместно ассимилируются в рамках глобальной системы ассимиляции данных. Другие новые разработки в MERRA-2, имеющие отношение к IESA, сосредоточены на аспектах криосферы и стратосферы, включая представление озона, и на использовании наблюдений за осадками для воздействия на поверхность земли. В то же время основные аспекты системы MERRA-2, такие как алгоритм вариационного анализа и обработка наблюдений, в значительной степени не изменились со времен MERRA. Также неизменной остается подготовка большинства традиционных источников данных, первоначально использовавшихся в MERRA.

MERRA-2 производится с версией 5.12.4 системы ассимиляции атмосферных данных GEOS. Ключевыми компонентами системы являются атмосферная модель GEOS и схема анализа GSI. Модель включает динамическое ядро конечного объема, который использует горизонтальную дискретизацию кубической сферы с приблизительным разрешением $0,5^\circ \times 0,625^\circ$ и 72 уровня модели от поверхности до 0,01 ГПа. Анализ вычисляется на сетке широты–долготы с тем же пространственным разрешением, что и атмосферная модель, с использованием алгоритма 3DVAR на основе GSI с 6-

часовым циклом обновления и так называемой процедурой FGAT для вычисления временных точных отклонений наблюдения минус фон [4].

Основные сильные стороны:

- Высокое пространственное ($0,5^\circ \times 0,625^\circ$ и 72 уровня модели) и временное (часовое) разрешение
- Включает наблюдения с более поздних спутниковых приборов
- Улучшенные оценки баланса поверхности массы и температуры поверхности над ледяными щитами

Основные ограничения:

- Разрывы возникают в полях граничных условий морского льда и SST, которые влияют на анализ определенных временных рядов
- Считается, что осадки слишком велики над полярными океанами и чрезмерны над высокой топографией в тропических широтах
- Имеются нарушения непрерывности, связанные с крупными изменениями системы наблюдения.

2.2 Реанализ JRA

Японское метеорологическое агентство (JRA) провело второй глобальный атмосферный реанализ Японии, названный японским 55-летним реанализом или JRA-55. Он охватывает период с 1958 года, когда начались глобальные, регулярные радиозондовые наблюдения. JRA-55 является первым комплексным повторным анализом, охватывающим последние полвека после 45-летнего повторного анализа Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды (ERA-40), и первым реанализом где применил четырехмерный анализ вариаций к этому периоду. Основными целями JRA-55 было решение проблем,

обнаруженных в предыдущих повторных анализах, и создание всеобъемлющего набора атмосферных данных, подходящих для изучения многолетней изменчивости и изменения климата.

JRA-55 выпускается с версией операционной системы данных TL319 с декабря 2009 года, которая была значительно улучшена по сравнению с реанализом (JRA-25). Полученные результаты реанализа значительно лучше, чем результаты JRA-25. Основными проблемами JRA-25 были холодный уклон в нижней стратосфере и сухой уклон в бассейне Амазонки.

Временная согласованность анализа температуры также была значительно улучшена по сравнению с предыдущими результатами реанализа. Первоначальная оценка качества выявила такие проблемы, как смещение тепла в верхних слоях тропосферы, большой дисбаланс в глобальных средних чистых энергетических потоках в верхней части атмосферы и на поверхности, чрезмерное количество осадков над тропиками и нереалистичные тенденции в анализируемом тропических циклонах.

Реанализ отличается от так называемого «анализа» процессом создания начальных условий для оперативного численного прогнозирования погоды (NWP) с использованием системы ассимиляции данных (DA) и данных доступных наблюдений по двум пунктам: во-первых, в реанализе используется постоянное современное состояние модели NWP и система DA в течение длительного периода, в то время как «анализ», как правило, модернизировался со временем. Во-вторых, реанализ объединяет все доступные данные наблюдений, включая недоступные на момент оперативного анализа; например, отсроченное наблюдение и повторная обработка спутниковые данные. Эти характеристики реанализа позволяют получать качественные и однородный набор данных для различных метеорологических переменных, охватывающих последние несколько десятилетий, тем самым поддерживать климатическое обслуживание, такое как мониторинг климата и сезонное прогнозирование [8].

Основные сильные стороны:

- Самый продолжительный полный реанализ системы наблюдений с 4DVar
- Включение нескольких новых наборов данных наблюдений, новой схемы излучения и коррекции вариационного смещения приводит ко многим улучшениям по сравнению с JRA-25
- Доступны два вспомогательных набора данных, которые позволяют пользователям учитывать влияние ассимиляции данных: JRA-55C с использованием только обычных наблюдений и JRA55-AMIP без ассимиляции данных

Основные ограничения:

- Сухой уклон в верхней и средней тропосфере и в областях глубокой конвекции
- Изменяющееся во времени смещение тепла в верхней тропосфере
- Диагностические переменные, включая осадки и испарение

JMA в настоящее время планирует провести третий реанализ в Японии под названием JRA-3Q (японский реанализ за три четверти века), который охватывает более 75 лет с 1947 года по настоящее время.

JRA-3Q будет производиться с использованием новейшей системы NWP 2018 года, а также новых наблюдениях из JRA-55, чтобы повысить качество реанализа. Производство JRA-3Q начнется в первом квартале 2019 года и закончится к концу 2021 года [8].

3 АНАЛИЗ СРАВНЕНИЯ ПОЛЯРНЫХ МЕЗОЦИКЛОНОВ НА СЕВЕРНОМ И ЮЖНОМ ПОЛЮСАХ

3.1 Описание используемых данных

Полярный прогностический проект (PPP) — это 10-летняя (2013–2022 гг.) инициатива Всемирной метеорологической организации (ВМО) и Всемирной программой исследования погоды (WWWRP), направленная на содействие международным совместным исследованиям с целью значительного улучшения полярной зоны обслуживания прогнозов погоды и окружающей среды.

Год полярных прогнозов для Южного полушария (YOPP-SH) имеет специальный период наблюдений (SOP) с 16 ноября 2018 г. по 15 февраля 2019 г., который был выбран для охвата австралийского теплого сезона в течение наиболее активных месяцев в Антарктике. В ходе 3-месячной SOP было запущено около 2200 дополнительных радиозондов, что примерно вдвое увеличило размер программы, а также была усовершенствована сеть дрейфующих буев в Южном океане. Оценка глобальных модельных прогнозов и использование ими данных в ходе SOP подтверждает, что внетропические прогностические навыки в южном полушарии отстают от северного полушария. Демонстрируя применение данных SOP, ранние результаты эксперимента показывают, что дополнительные радиозонды обеспечивают наибольшую точность прогнозирования глубоких циклонов у антарктического побережья. Данные SOP использовались для предоставления информации об атмосферном воздушном потоке вовремя SOP YOPP-SH, в рамках которого были составлены сложные прогнозы и затронута южная часть Южной Америки и Антарктического полуострова. Данные YOPP-SH также использовались для определения пространственных и временных характеристик минимумов морского льда в Антарктике, которые плохо улавливаются сезонными прогнозами на основе объединенных моделей атмосферы, океана и морского льда. Образовательная, просветительская и коммуникационная деятельность поддерживает работу YOPP-SH SOP. Основываясь на успехе этой антарктической летней SOP YOPP-SH, организуется зимняя SOP YOPP-SH для поддержки исследований предсказуемости антарктической атмосферы во время австралийского холодного сезона, когда южный морской ледяной покров быстро расширяется [12].

В данной работе были использованы следующие реанализы:

-Merra-2

-JRA-55

- Era-interim

Данные, используемые в работе, были выбраны за период ноябрь-февраль 2018- 2019 года.

Для визуализации результатов была использована программа GRADS.

3.2 Практическая часть

Используя данные реанализа Merra-2, были рассчитаны значения среднемесячных показателей температуры на уровне 1000 гПа в зимний период 2018–2019 годов над Северными и Южными полюсами (рисунок 3.1 и рисунок 3.2).

Из рисунка 3.1 видно, что в течение периода температура над центром Северного полюса не опускалась ниже 248К. Зона с минимальной температурой, которая наблюдалась в ноябре, к декабрю стала разделяться на две части: одна часть расположилась над материковой частью Евразии, в Якутии, а вторая над Северным Ледовитым океаном и северной частью Гренландии. В январе над Якутией температура воздуха повысилась, зона с минимальной температурой уменьшилась и расположилась над сравнительно небольшой территорией около побережья моря Лаптевых; вторая часть зоны минимальных температур сместилась к Канадскому Арктическому архипелагу. В феврале зона с минимальными температурами вытянулась от северной части Гренландии через Северный полюс и море Лаптевых до Якутии.

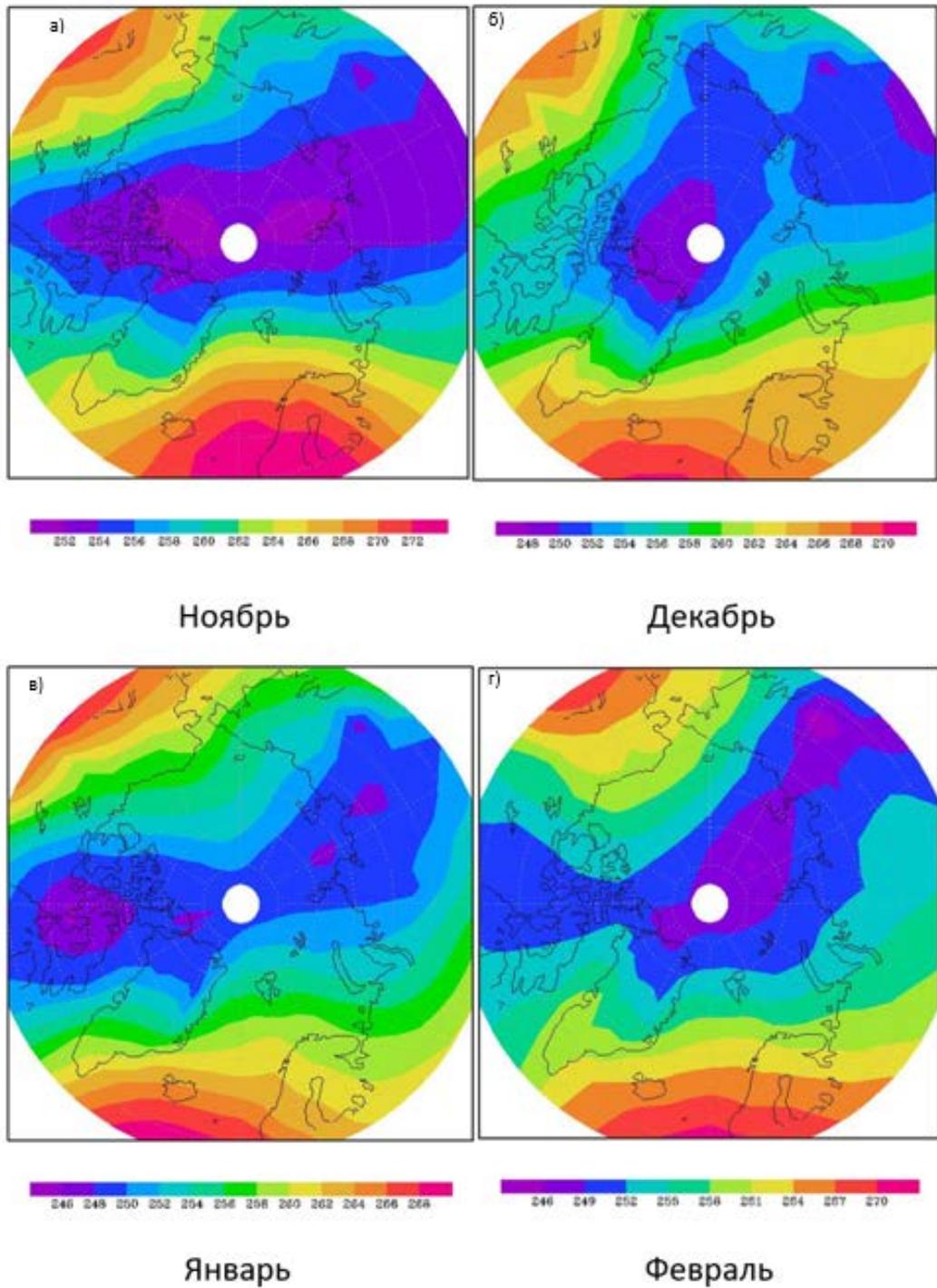


Рисунок 3. 1 - Среднемесячные значения температуры в градусах Кельвина на уровне 1000 гПа над Северным полюсом в ноябре (а), декабре (б), январе (в), феврале (г) 2018-2019гг.

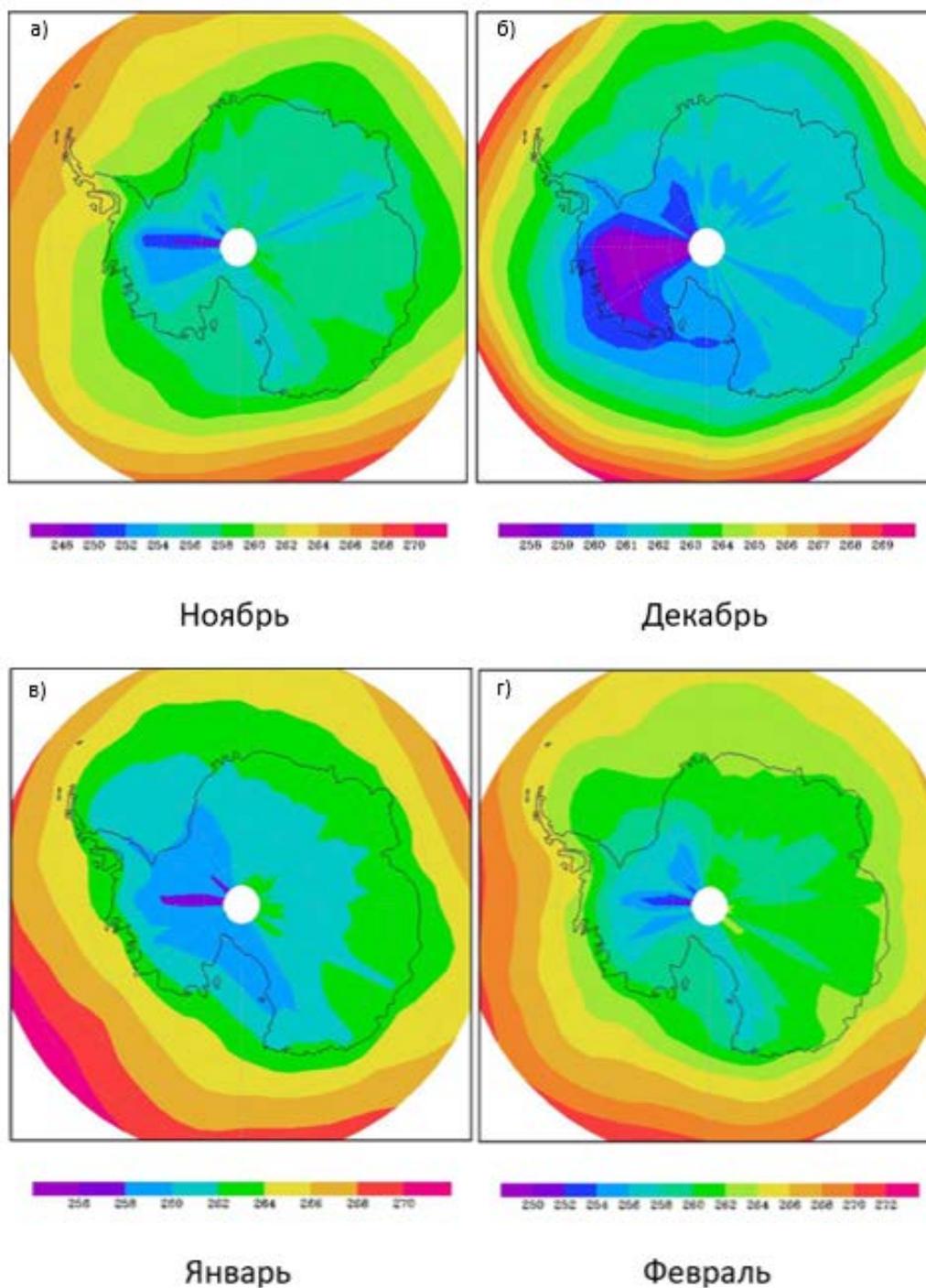


Рисунок 3.2 - Среднемесячные значения температуры в градусах Кельвина на уровне 1000 гПа над Южным полюсом в ноябре (а), декабре (б), январе (в), феврале (г) 2018-2019гг.

Из рисунка 3.2 видно, минимальная температура, зафиксированная за исследуемый период, составила 248К и наблюдалась в ноябре над Южным полюсом, зона вытянута к Западу. В дальнейшем над Антарктидой температура равномерно повышалась.

При сравнении полученных результатов было выявлено, что в целом за исследуемый период над Северным полюсом минимальная температура воздуха на уровне 1000 гПа была зафиксирована над большими площадями, нежели над Южным полюсом. Также температура воздуха над Южным полюсом была выше, в среднем около 260К, нежели над Северным полюсом (256 К в среднем). Также выявлено, что распределение температуры воздуха более равномерное над Южным полюсом. Над Северным полюсом горизонтальный градиент выше, можно предполагать, что в связи с этим над Северным полушарием больше вероятность возникновения полярных циклонов.

Из анализа горизонтальных полей температуры на уровне 1000 гПа видно, что в целом изменчивость поля температуры над Северным полюсом больше, чем над Южным, что приводит к разным градиентам и, соответственно, разным условиям для развития мезомасштабных процессов.

Используя данные реанализа Merra-2, были рассчитаны значения среднесуточных значений температуры на уровне 500 гПа за период 28.12.2018 12ч ВСВ по 29.12.2018 12ч ВСВ над Северным полюсом (рисунок 3.3).

При последовательном просмотре полученных результатов, можно заметить, как над Восточно-Сибирским морем температура опускается до -41°C , далее эта зона пониженной температуры движется в сторону материка к Чаунской губе, и когда ее проходит, очень сильно уменьшается. Как только зона низкой температуры достигает берега материка, она исчезает. Можно сделать предположение о том, что в этой зоне в данный период был полярный мезомасштабный циклон, который распадался по мере приближения к берегу и совсем затух, когда достиг его.

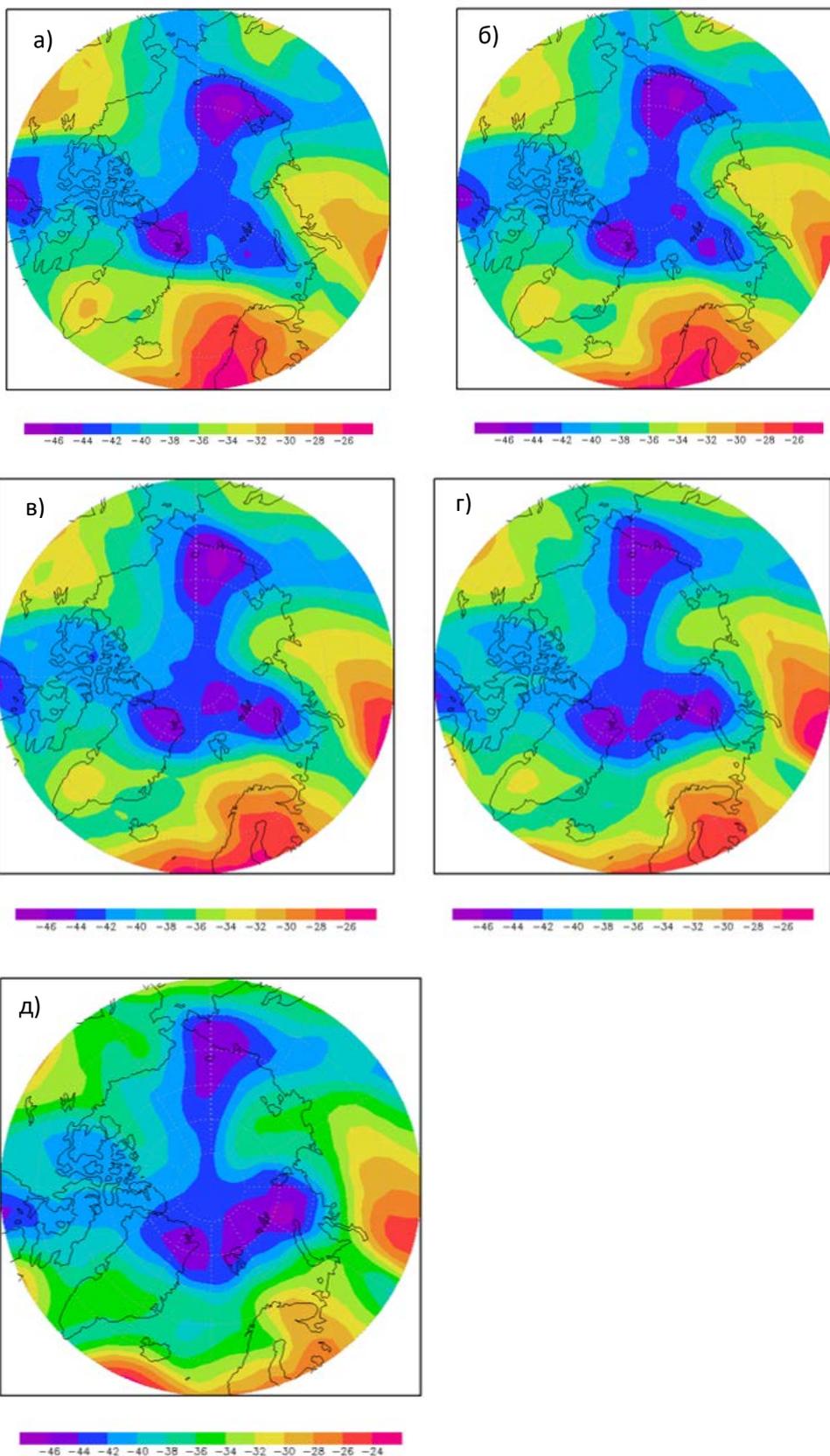


Рисунок 3.3 - значения среднесуточных значений температуры на уровне 500 гПа за период 28.12.2018 12ч ВСВ по 29.12.2018 12ч ВСВ над Северным ПОЛЮСОМ

Также были рассчитаны значения среднесуточных значений температуры на уровне 500 гПа за период 15.12.2018 06ч ВСВ по 16.12.2018 18ч ВСВ над Южным полюсом (рисунок 3.4).

Из полученных данных реанализа видно, что 15.12 в 06 часов в северной части материка наблюдалась зона с относительно низкими температурами (-34°C - -36°C), в следующий срок температура недалеко от побережья над материком понизилась до -38°C и эта зона начала увеличиваться в размерах и приближаться все ближе к побережью Южного океана. Затем эта зона вытянулась и стала находиться одновременно над материковой частью и над океаном, вследствие чего начала уменьшаться в размерах, пока совсем не затухла. Можно предположить, что зона находилась над поверхностью ледового покрова, а затем вышла в пространство открытой воды, из-за чего и повысилась температура.

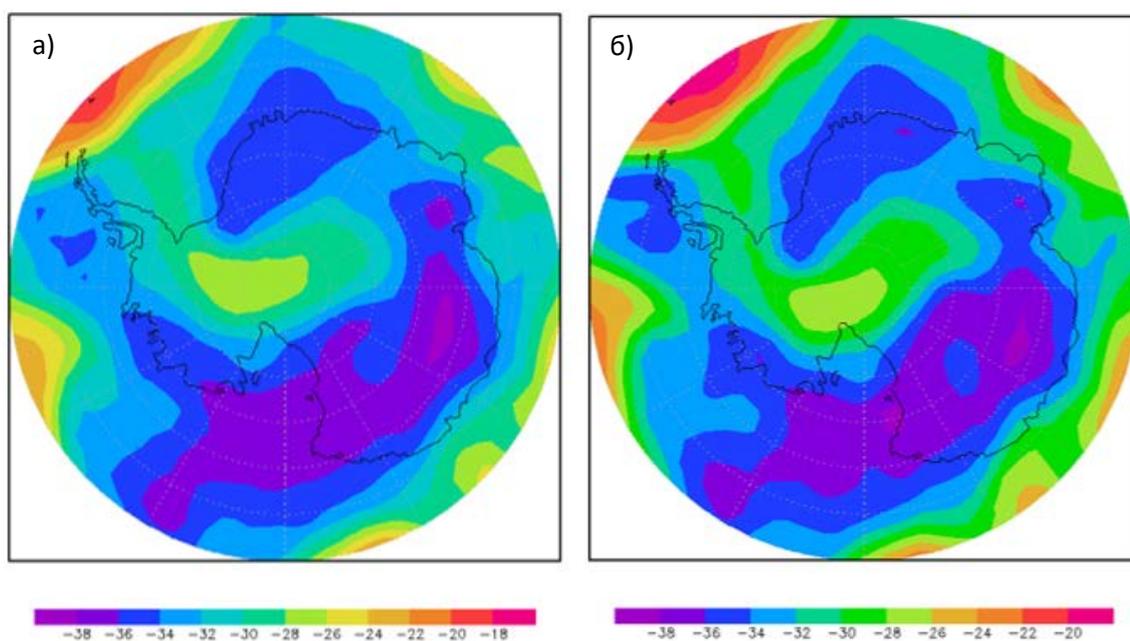


Рисунок 3.4 - значения среднесуточных значений температуры на уровне 500 гПа за период 15.12.2018 06ч ВСВ по 16.12.2018 18ч ВСВ над Южным полюсом

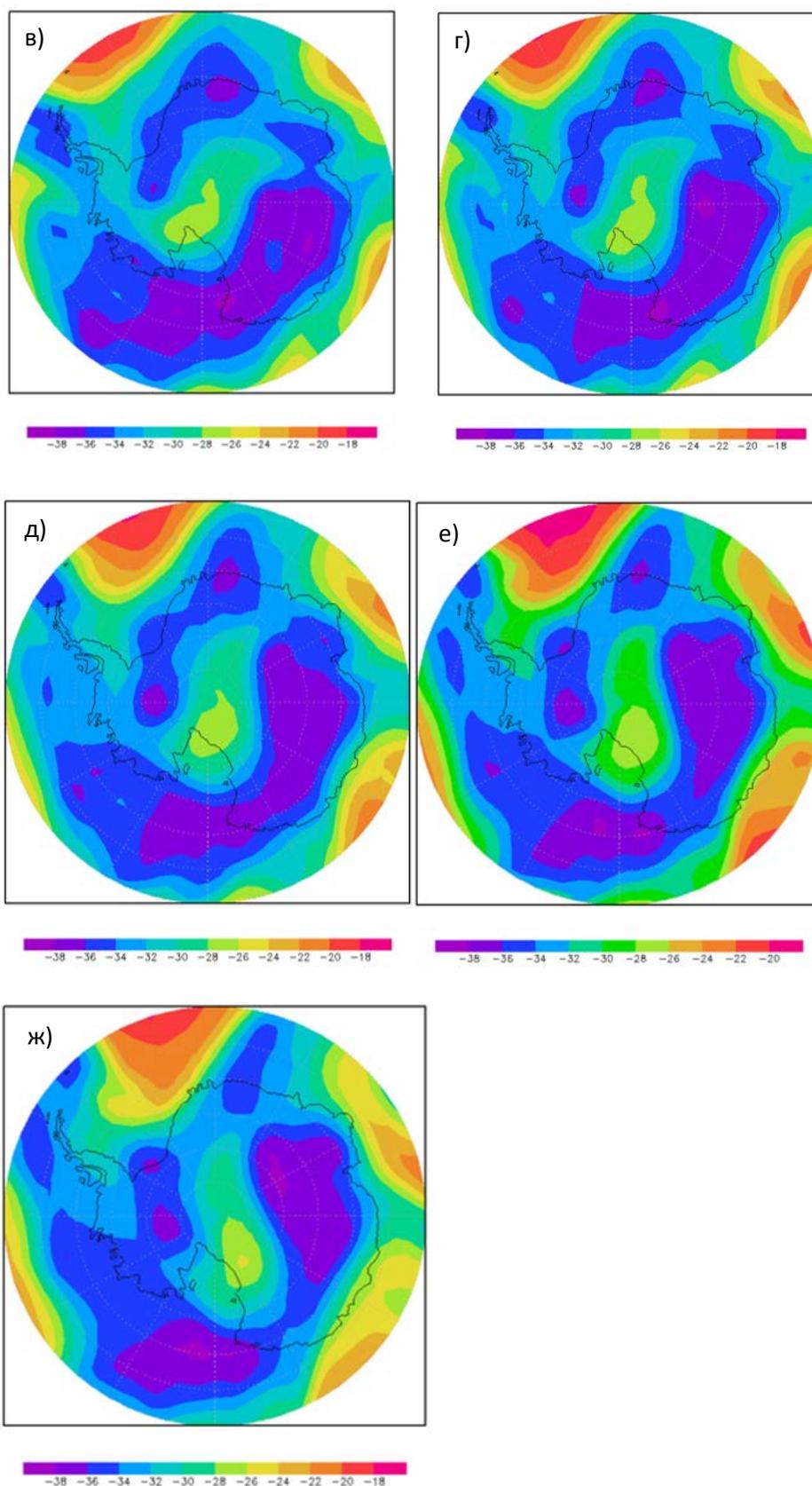


Рисунок 3.4(продолжение) - значения среднесуточных значений температуры на уровне 500 гПа за период 15.12.2018 06ч ВСВ по 16.12.2018 18ч ВСВ над Южным полюсом

Используя данные реанализа JRA-55, были получены данные среднемесячной высоты геопотенциала на уровне 1000 гПа в зимний период 2018–2019 годов (рисунок 3.5 и рисунок 3.6).

Из рисунка 3.5 видно, минимальная высота геопотенциала за зимний период наблюдается в ноябре и составляет 14700м над Канадским Арктическим архипелагом; средняя высота уровня геопотенциала 1000 гПа в ноябре - 14950 метров. В декабре минимальная высота уровня геопотенциала составила 15050 метров и наблюдалась над Карским морем и над береговой линией Карского моря. Среднее значение за декабрь - 15250 метров. В январе минимальное значение составило 15700 метров и наблюдалось над морем Баффина, среднее значение - 15800 метров, горизонтальный градиент высоты уровня геопотенциала 1000 гПа в январе наименьший за весь исследуемый период. В феврале минимальное значение наблюдается над Канадским Арктическим архипелагом и составляет 1530 метров, среднее значение геопотенциала – 16000 метров.

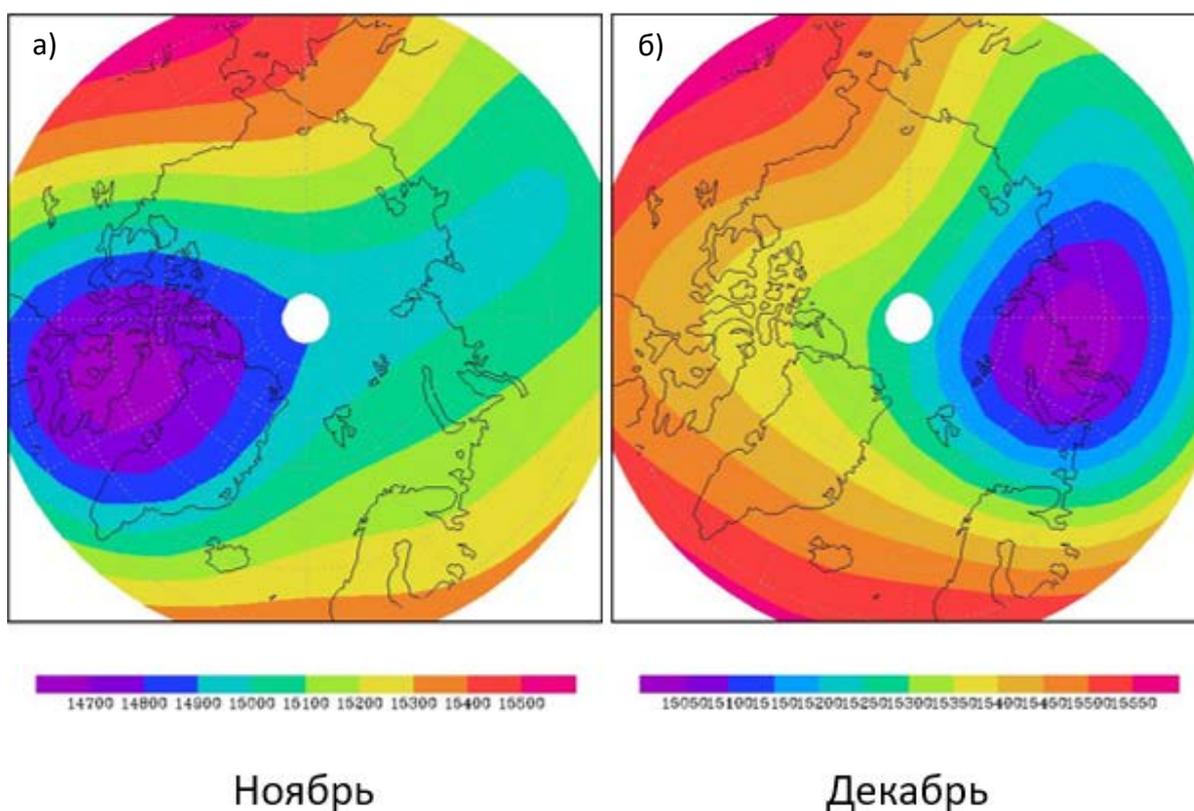


Рисунок 3.5 - Среднемесячные значения геопотенциала на уровне 1000гПа над Северным полюсом в ноябре (а), декабре (б), январе(в), феврале(г) 2018-2019гг.

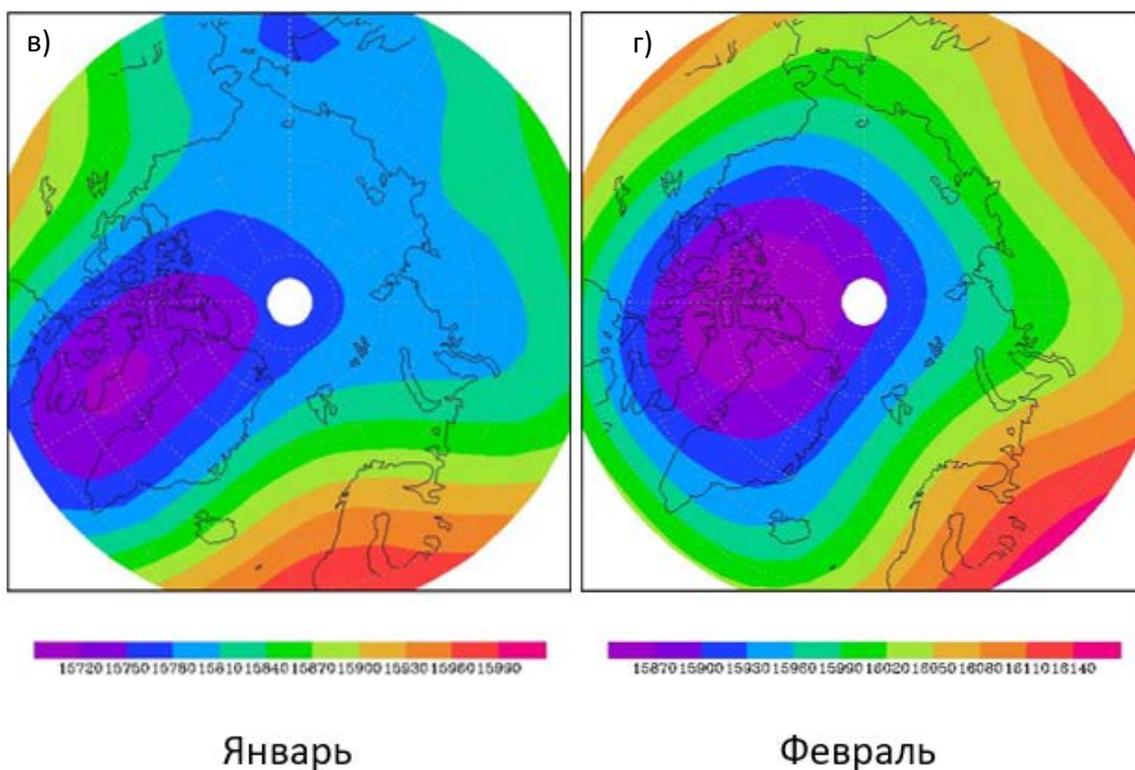


Рисунок 3.5 (продолжение) - Среднемесячные значения геопотенциала на уровне 1000гПа над Северным полюсом в ноябре (а), декабре (б), январе(в), феврале(г) 2018-2019гг.

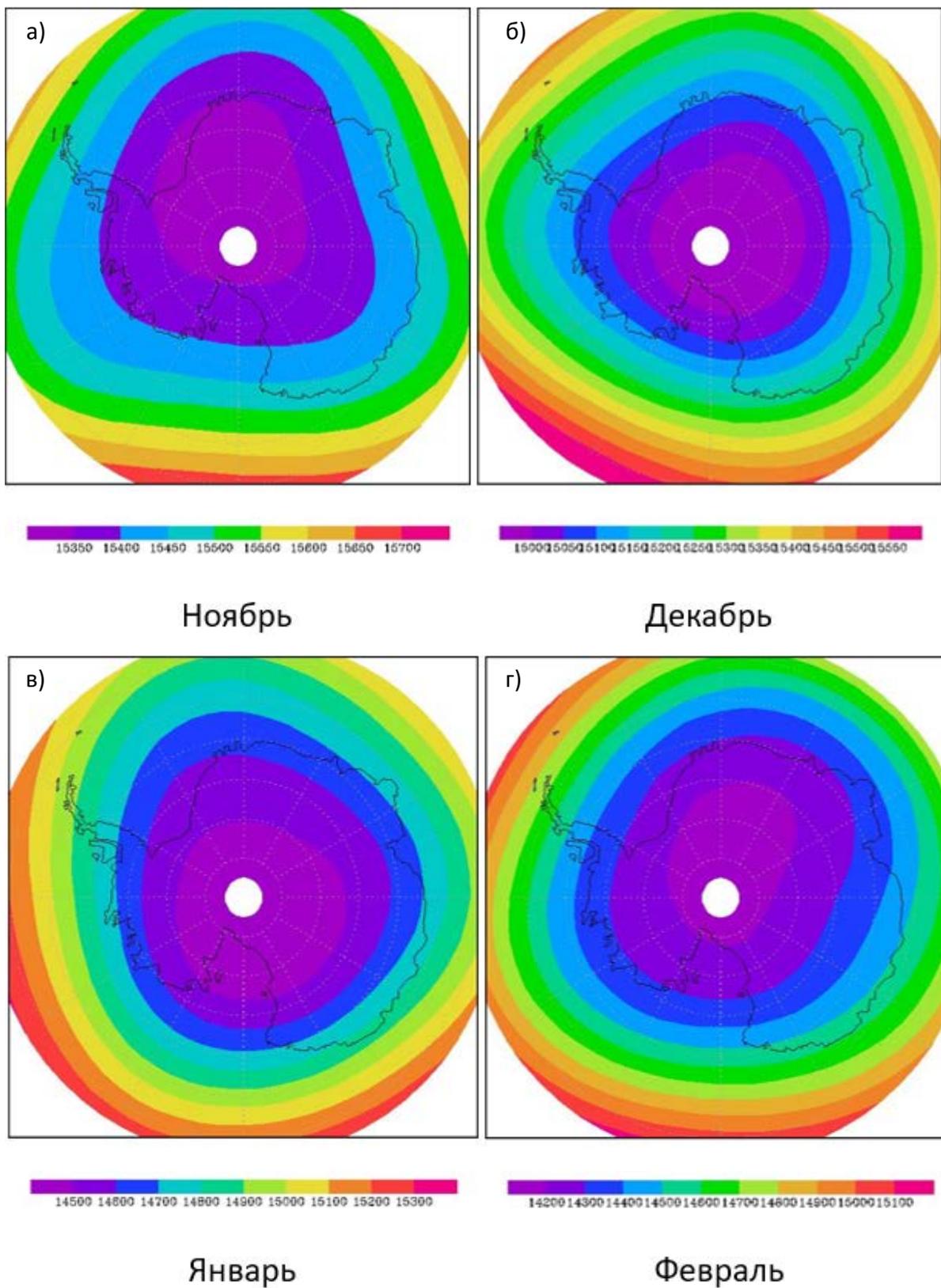


Рисунок 3.6. Среднемесячные значения геопотенциала на уровне 1000гПа над Южным полюсом в ноябре (а), декабре (б), январе (в), феврале (г) 2018-2019гг.

Из рисунка 3.6 видно, минимальное значение высоты уровня геопотенциала 1 гПа составило 14100 и наблюдалось в феврале. По полученным данным видно, что высота геопотенциала 1 гПа за исследуемый период постепенно понижалась. В ноябре минимальная высота геопотенциала была 15300 метров, в декабре – 15000 метров, в январе – 14000 метров и в феврале немногим выше – 14100 метров.

Над материковой частью Южного полюса градиент высоты уровня геопотенциала 1 гПа меньше, нежели над омывающими материк океанами.

Используя данные реанализа Era-interim, были получены данные о среднемесячных значениях скорости и направления ветра и поверхностном давлении на уровне 1гПа в зимний период 2018–2019 года (рисунок 3.7 и рисунок 3.8).

Используя рисунок 3.7, по полученным данным было выявлено, что над территорией Гренландии за исследуемый период наблюдалась зона с низкими значениями давления (700 гПа), также видно, что градиент давления над островом очень высокий. Над остальными территориями, расположенными вблизи Северного полюса, таких случаев не выявлено, градиент давления в разы меньше.

За весь исследуемый период над большей территорией Евразии наблюдаются ветра западных направлений, над остальной исследуемой территорией – ветра восточных направлений. Наиболее высокие скорости ветра за весь исследуемый период наблюдаются над Гренландией. В ноябре высокие скорости ветра наблюдаются над Чукотским морем, у побережья Скандинавии. В декабре – над Баренцевым и Печорским морями, в январе – над Баренцевым морем, в феврале – над северным побережьем восточной части Евразии и над северным побережьем Канадского Арктического архипелага.

Разные направления высоких скоростей ветра над Гренландией вкупе с высоким барическим горизонтальным градиентом могут способствовать образованию полярных циклонов.

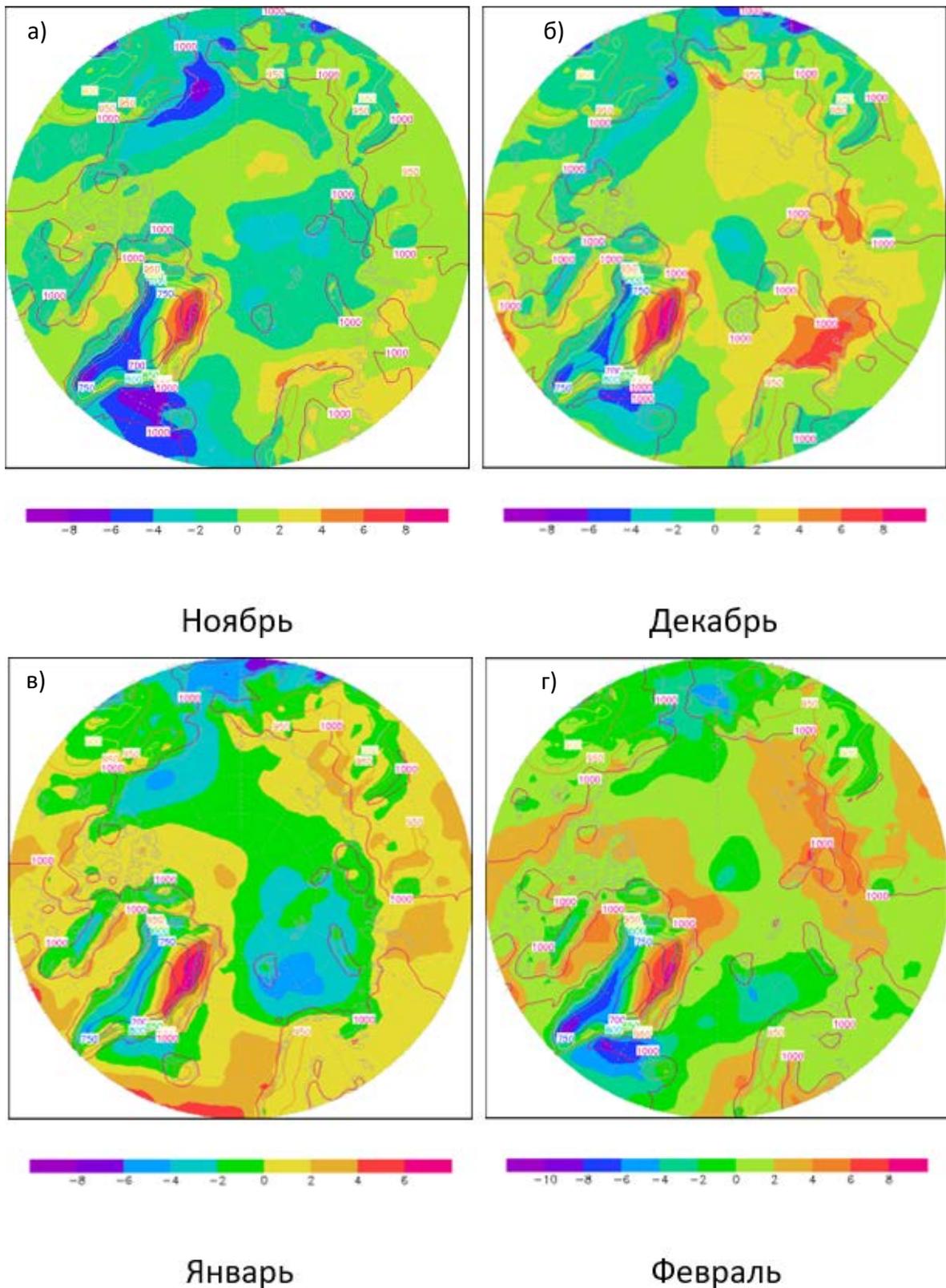


Рисунок 3.7 - Среднемесячные значения скорости и направления ветра и поверхностное давление на уровне 1000 гПа над Северным полюсом в ноябре (а), декабре (б), январе (в), феврале (г) 2018-2019гг. (Положительные значения скорости ветра – западные направления, отрицательные – восточные направления ветров)

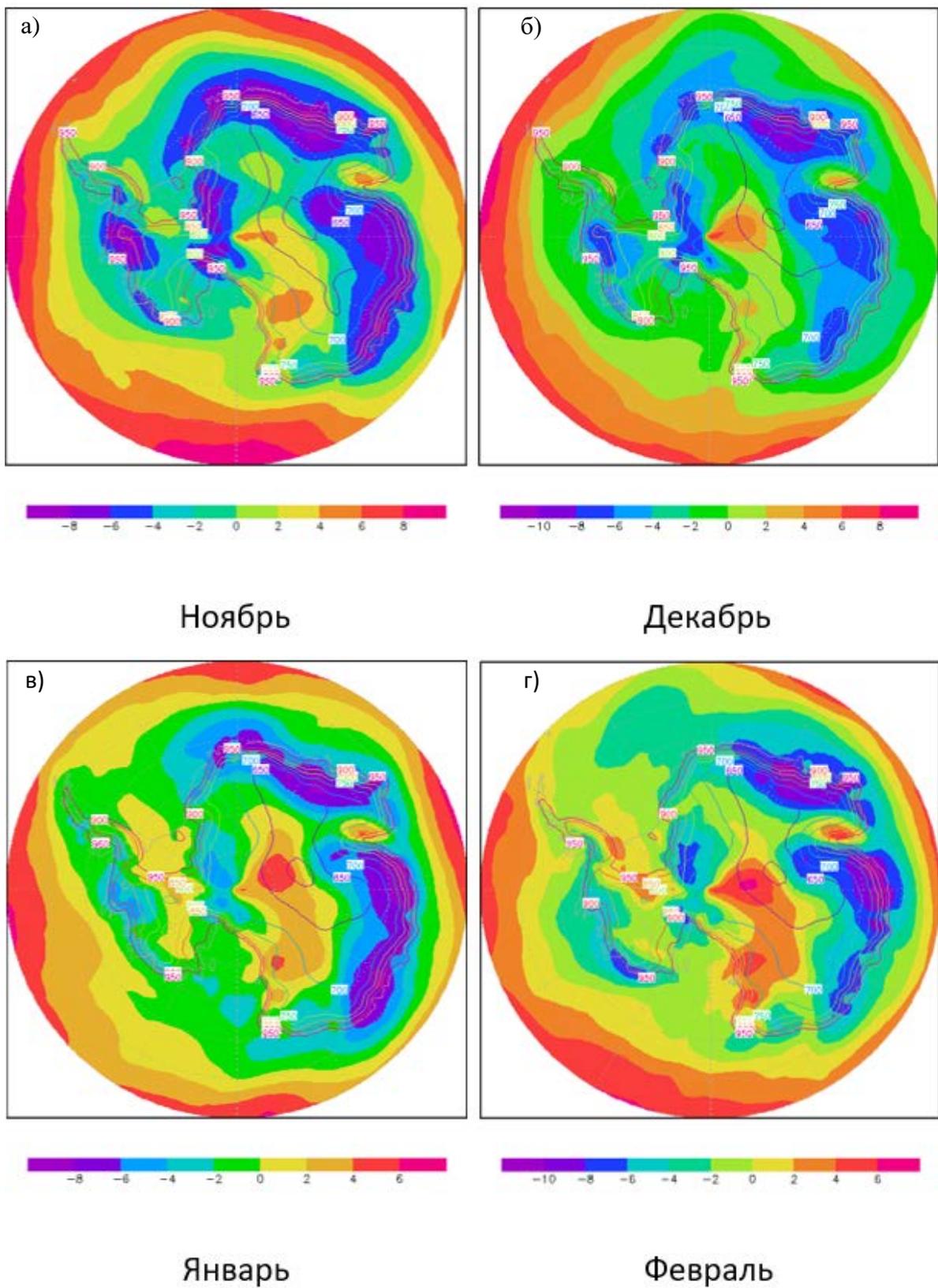


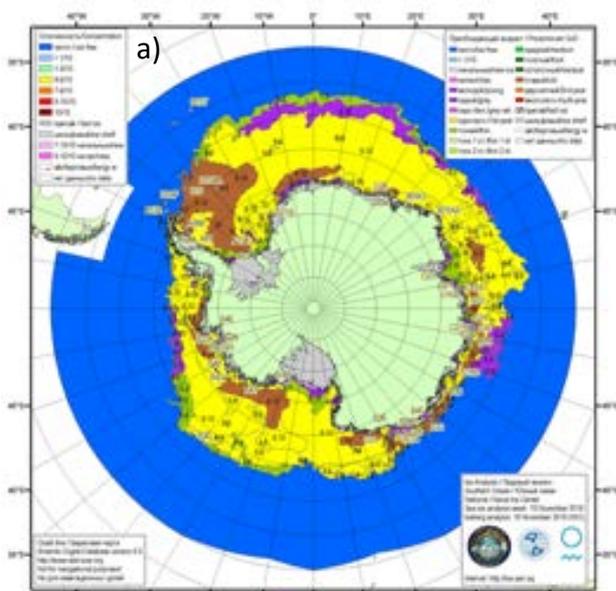
Рисунок 3.8 - Среднемесячные значения скорости ветра и поверхностное давление на уровне 1000 гПа над Южным полюсом в ноябре (а), декабре (б), январе(в), феврале (г) 2018-2019гг.

Из рисунка 3.8, по полученным данным видно, что давление около Южного полюса меняется неравномерно – оно практически неизменно над материком и имеет очень высокий горизонтальный барический градиент над всем побережьем материка, в точности повторяя контур Антарктиды, данная картина наблюдается каждый месяц из исследуемого периода. Распределение значений приземного давления за весь период практически не меняется, минимальное давление (650 гПа) находится над центром восточной Антарктиды, более высокие значения – у побережья.

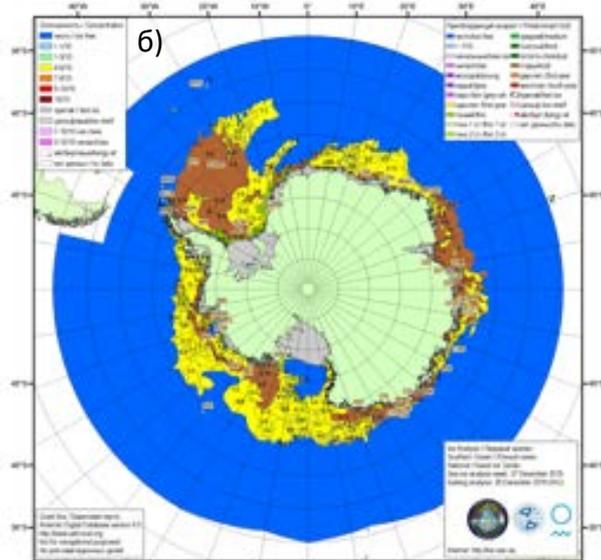
В ноябре и декабре над территорией Антарктиды наблюдаются ветра восточных направлений, максимальные скорости зафиксированы ближе к побережьям. Западные ветра наблюдаются над омывающими материк морями. Над наибольшей исследуемой территорией зона разграничения направлений – раздел «суша – море». В январе зона разграничения направлений ветра сместилась от суши вдаль в моря, то же самое наблюдается и в феврале.

Были использованы спутниковые снимки распределения ледового покрова за ноябрь и декабрь в Северном и Южном полушарии из базы данных Арктического и Антарктического научно-исследовательского института.

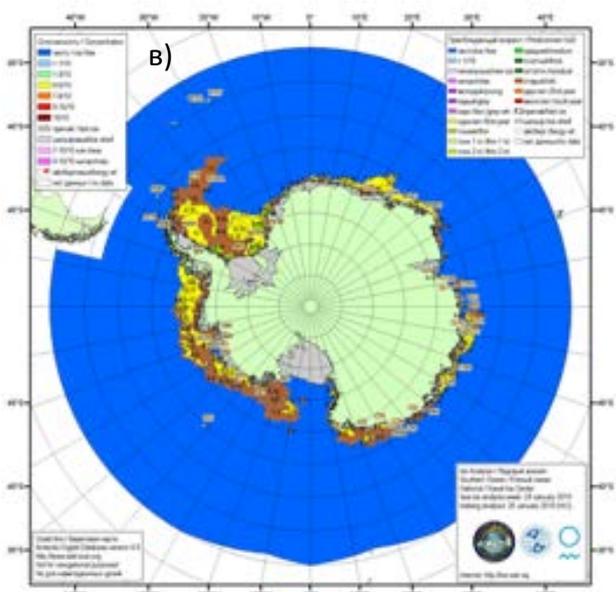
Из рисунка 3.9 видно, что со временем контуры старого льда не меняются, в ноябре молодой лед располагался вдоль береговой линии восточной Евразии и вдоль северного побережья Аляски. Между молодым и старым льдом находился однолетний лед. В декабре место у побережья Евразии занял однолетний лед, замерз Берингов пролив, у побережья Аляски и Канадского Арктического архипелага, вытянувшись вглубь к полюсу, находится многолетний лед. Море Баффина и пролив Дэвиса полностью во льдах, также замерз Гудзонов залив. В январе замерзло Охотское море вдоль береговой линии.



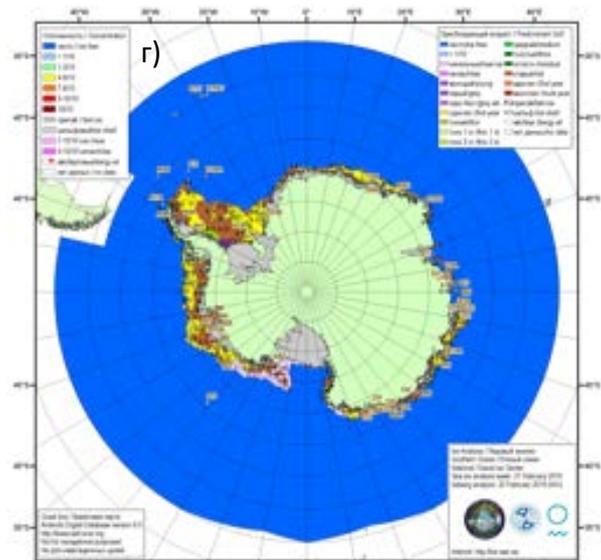
Ноябрь



Декабрь



Январь



Февраль

Рисунок 3.10 - Распределения льда на Южном полюсе в ноябре (а), декабре (б), январе(в), феврале (г) 2018-2019гг.

Из рисунка 3.10 видно, что вдоль побережья наблюдается шельфовый лед, за ним молодой лед. Далее однолетний лед. Он самый значительный по площади. В северо-западной части Антарктиды, в Южном океане расположен старый лед, так же он есть в более маленьком количестве в прослойках между однолетним льдом вокруг всего материка. В северной части Южного океана наблюдается значительной ширины полоса молодого льда. В декабре уменьшилось количество однолетнего и многолетнего льда. Частично растаяло море Росса, в целом ширина ледового покрова вокруг материка уменьшилась.

В январе значительная ширина льда наблюдается только на западном побережье материка, в основном это однолетний и многолетний лед, вокруг всего остального периметра осталась меньшая часть ледового покрова. В феврале площадь льдов вокруг материка становится еще меньше – на юго-западном побережье растаял многолетний лед, вдоль Антарктического полуострова растаял однолетний лед. За исследуемый период площадь шельфового льда практически не менялась.

На Южном полюсе в течение исследуемого периода зона, покрытая льдом, постепенно уменьшалась, градиент температуры также постепенно уменьшался, с ноября по январь уменьшались зоны с высокими скоростями ветра.

На Северном полюсе зона, покрытая льдом в исследуемый период, увеличивалась, градиент температуры со временем также увеличивался. Зоны с высокими скоростями ветра уменьшались.

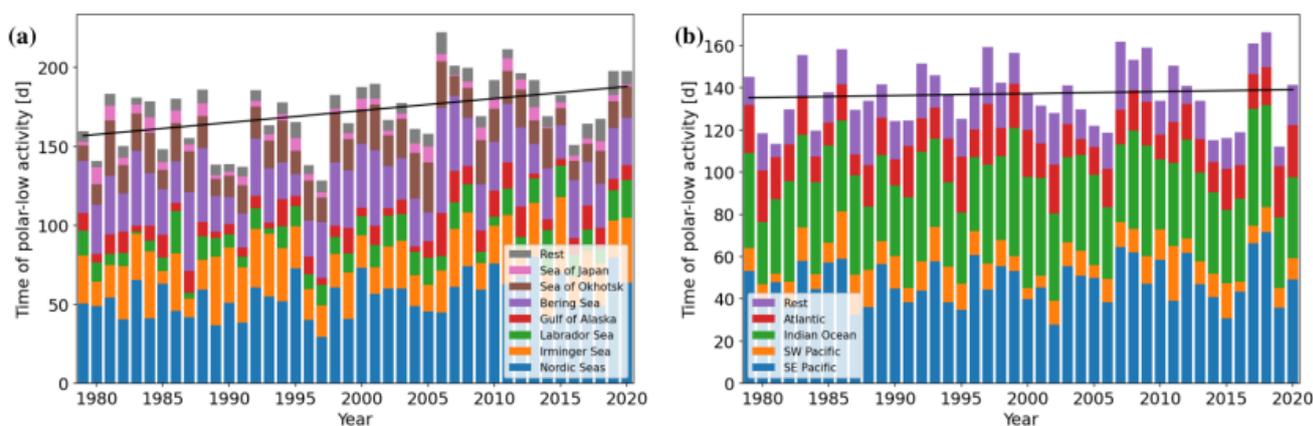


Рисунок 3.11 – Среднегодовое время активности циклонов (в днях) на Северном и Южном полюсе, период с 1980 года по 2020 год, цветом обозначен вклад каждого региона [13]

Из рисунка 3.11 видно, что с 1980 по 1997 Среднегодовое время активности циклона на Северном полюсе составляло от 130 до 150 дней, с 1998 по 2020 минимальное Среднегодовое время активности циклона составило 160 дней, максимальное - 200 дней, в целом с 1980 года по 2020 год Среднегодовое время активности увеличилось и составляет от 150 до 180 дней.

Среднегодовое время активности циклонов на Южном полюсе за период с 1980 года по 2020 год в среднем составило 135 дней, минимальное Среднегодовое время активности циклона наблюдалось в 2019 году и составило 110 дней, а максимальное в 2018 году 170 дней.

На Южном полюсе Среднегодовое время активности циклонов в средней равно 135 дней и за 40 лет эта цифра практически не менялась, имела не очень большие отклонения, на Северном полюсе наблюдается тенденция увеличения Среднегодовое время активности циклонов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе были достигнуты поставленные цели, а именно проанализировать условия мезомасштабных образований на Северном и Южном полюсе.

Чтобы достичь цели были решены следующие задачи:

1. Были проанализированы метеорологические условия в зимний период для Северного и Южного полюсов
2. Был анализ ледовой обстановки в зимний период в Северном и Южном полюсе
3. Была дана оценка влияния метеорологических условий на частоту возникновения полярных циклонов в Северном и Южном полюсе

По результатам выполненной работы можно сделать вывод:

1. Полярный циклон образуется в результате всех описанных в работе факторов
2. На образование полярных циклонов влияет не только метеорологические условия, но и наличие ледового покрова
3. На Северном полюсе образуется больше циклонов, чем на Южном полюсе.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бухаров М.В., Геохлянян Т.Х. Статистический анализ приводного ветра по спутниковым радиолокационным измерениям при мезоциклоне над Баренцевым морем // *Метеорология и гидрология*. 2000. № 5. С. 101–108
2. Main editor Lystad M. Polar Lows Project, Final Report. The Norwegian Meteorological Institute, Oslo, May 1986. 196 p.
3. Rasmussen E. A., J. Turner. Polar Lows: Mesoscale Weather Systems in the Polar Regions / Cambridge: Cambridge University Press. 2003. 612 p.
4. Mohar Chattopadhyay, Will McCarty, and Isaac Moradi Assessing Sensitivity of MERRA-2 to AMSU-A in the Upper Stratosphere *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* Volume38:Issue3.2021 629-643 doi.org/10.1175/JTECH-D-19-0187.1
5. Saha, S., and Coauthors, 2010: The NCEP Climate Forecast System Reanalysis. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 91, 1015–1057, doi:10.1175/2010BAMS3001.1.
6. Dee, D. P., and Coauthors, 2011: The ERA-Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 137, 553–597, doi:10.1002/qj.828.
7. Rienecker, M. M., and Coauthors, 2011: MERRA: NASA's Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications. *J. Climate*, 24, 3624–3648, doi:10.1175/JCLI-D-11-00015.1.
8. Kobayashi, S., and Coauthors, 2015: The JRA-55 reanalysis: General specifications and basic characteristics. *J. Meteor. Soc. Japan*, 93, 5–48, doi:10.2151/jmsj.2015-001.
9. Compo, G. P., and Coauthors, 2011: The Twentieth Century Reanalysis Project. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 137, 1–28, doi:10.1002/qj.776.

10. Poli, P., and Coauthors, 2013: The data assimilation system and initial performance evaluation of the ECMWF pilot reanalysis of the 20th-century assimilating surface observations only (ERA-20C). ERA Tech. Rep. 14, 59 pp.
11. Мохов И.И., Акперов М.Г., Лагун В.Е., Луценко Э.И. Интенсивные арктические мезоциклоны // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2007 Т. 43 N 3 С.291-297.
12. David H. Bromwich et al, 2020: The Year of Polar Prediction in the Southern Hemisphere (YOPP-SH), doi:10.1175/BAMS-D-19-0255.1
13. Stoll, P. J.: A global climatology of polar lows investigated for local differences and wind-shear environments, Weather Clim. Dynam., 3, 483–504, <https://doi.org/10.5194/wcd-3-483-2022>, 2022.