



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: «Особенности режима ветра на акватории Российской Арктики в
период навигации»

Исполнитель Попова Марина Валерьевна
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат географических наук
(ученая степень, ученое звание)

Лаврова Ирина Викторовна

(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
заведующий кафедрой

(подпись)

кандидат физико-математических наук, доцент

(ученая степень, ученое звание)

Анискина Ольга Георгиевна

(фамилия, имя, отчество)

«24» июля 2024 г.

Санкт-Петербург
2024

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ И КЛИМАТ АРКТИКИ.	6
1.1. ОСОБЕННОСТИ КЛИМАТА АРКТИКИ	11
1.2. ВЕТРОВЫЕ УСЛОВИЯ АРКТИЧЕСКОГО РЕГИОНА.....	14
1.3. АНОМАЛЬНЫЕ ВЕТРЫ В АРКТИКЕ.....	16
2. АНАЛИЗ СКОРОСТИ И НАПРАВЛЕНИЯ ВЕТРА В ПРИБРЕЖНЫХ И ОСТРОВНЫХ РАЙОНАХ РОССИЙСКОГО СЕКТОРА АРКТИКИ.	20
2.1. АНАЛИЗ ДАННЫХ СРЕДНЕМЕСЯЧНОЙ СКОРОСТИ ВЕТРА НА ПОЛЯРНЫХ СТАНЦИЯХ.....	20
2.2. СРЕДНЕГОДОВЫЕ СКОРОСТИ ВЕТРА ПО ДАННЫМ ПОЛЯРНЫХ СТАНЦИЙ.....	22
2.3. ПОВТОРЯЕМОСТЬ ШТОРМОВОГО ВЕТРА.	26
2.4. ПОВТОРЯЕМОСТЬ НАПРАВЛЕНИЯ ВЕТРА ПО СТАНЦИЯМ АРКТИЧЕСКОГО РЕГИОНА.	29
3. ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДАННЫХ РЕАНАЛИЗА ДЛЯ АНАЛИЗА ВЕТРОВОГО РЕЖИМА НА АКВАТОРИИ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ И СРАВНЕНИЕ С СУДОВЫМИ ДАННЫМИ	34
3.1. АНАЛИЗ СКОРОСТИ ВЕТРА ПО ДАННЫМ РЕАНАЛИЗА ERA5.	34
3.2. АНАЛИЗ СУДОВЫХ ДАННЫХ СКОРОСТИ ВЕТРА НАД АКВАТОРИЕЙ РОССИЙСКОГО СЕКТОРА АРКТИКИ	39
3.3. СРАВНЕНИЕ ДАННЫХ РЕАНАЛИЗА И СУДОВЫХ ДАННЫХ	45
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	47
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	49
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	51

<i>ПРИЛОЖЕНИЕ Б</i>	52
<i>ПРИЛОЖЕНИЕ В</i>	57

ВВЕДЕНИЕ

Снижение опасности, обусловленной погодными условиями, остается актуальной проблемой для оперативного гидрометеорологического обеспечения. Несмотря на множество способов получения гидрометеорологической информации (наземная сеть метеостанций и радиолокаторов, метеорологические зонды и спутники, а также судовые наблюдения и др.) на большей части территории России сеть метеонаблюдений остается крайне разреженной.

Арктический регион является крайне важным для нашей территории. Около 20 % территории нашей страны расположено за полярным кругом, а Северный морской путь является важнейшей морской магистралью, связывающей Европейскую территорию России с Сибирью и Дальним Востоком. Большое значение имеют анализ и прогноз метеорологических явлений, способных представлять опасность для судоходства и хозяйственной деятельности, к числу которых относится анализ и прогноз ветра.

Обеспечение метеорологической информацией Российского сектора Арктики является актуальной задачей - сеть наземных наблюдений в том регионе крайне разрежена, а спутниковые данные до недавнего времени не обеспечивали полного покрытия региона с высокой периодичностью.

Одним из способов анализа ветрового режима в Арктике является использование данных реанализа.

Реанализ — это динамически разглаженные и согласованные данные метеонаблюдений с использованием данных, полученных в результате моделирования. При создании реанализа используются

как данные метеостанций, так и спутниковые и аэрологические данные.

Целью данной работы является анализ ветрового режима в Арктическом регионе за период с 1960 по 2022 г. Для выполнения работы были поставлены следующие задачи:

- изучить климатические и физико-географические особенности Арктического региона.
- Подготовить массивы судовых метеорологических данных и данных реанализа по ветру Российского сектора Арктики. Используя архив многолетних данных на метеостанциях, данные реанализа ERA5 и судовые данные (NCDC).
- Проанализировать многолетнюю динамику средней скорости ветра и повторяемости штормовых ветров над отдельными районами Российской
- Построить розы ветров по отдельным районам. Провести сравнительный анализ данных реанализа ERA5 и судовых данных (NCDC).

1. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ И КЛИМАТ АРКТИКИ.

Арктика — это уникальный физико-географический регион, который включает в себя окраины материков Евразия и Северная Америка, почти весь Северный Ледовитый океан с островами, а также прилегающие части Атлантического и Тихого океанов.

Географически Арктика находится на севере Земли, простираясь от Северного полюса до северных границ Канады, России, США, Дании, Норвегии, Исландии и других стран.

Рельеф Арктики в основном равнинный, но есть и гористые участки, особенно на островах. Самая высокая точка Арктики — это гора Гунбьёрн, которая находится на острове Гренландия.

Арктика разделена на пять секторов: каждый из них закреплён за одной из пяти стран — США, Россией, Норвегией, Канадой и Данией (см. рис. 1).

Площадь Арктики — составляет около 27 млн км², также иногда Арктику ограничивают с юга Северным полярным кругом, в этом случае её площадь составит 21 миллион квадратных километров.

Основные границы Арктики:

- На западе граница проходит через восточную часть Гренландии, острова Баффина, Арктического архипелага и все острова на полуострове Лабрадор.
- На севере граница — это Северный Ледовитый океан, включая его центральную область, где находится Северный полюс.
- На востоке граница проходит через Чукотский полуостров, острова Де-Лонга, Новая Сибирь и Землю Франца-Иосифа.

- На юге граница Арктики проходит через северные части Норвегии, Швеции, Финляндии, России и Аляски

Арктика — это северная полярная область Земли, включающая Северный Ледовитый океан и его острова. Российский сектор Арктики лежит между северной береговой линией нашей страны и Северным полюсом. Поскольку Россия имеет самое протяжённое океаническое побережье, её арктический сектор является самым обширным. В его пределах находится несколько крупных архипелагов. Исходя из особенностей природы островов, Арктику условно делят на Западную и Восточную.

Основная часть континентальной зоны Арктики находится в пределах Арктического и Субарктического климатических зон, простираясь от западной границы России, где она граничит с Норвегией и Финляндией, на севере Мурманской области, находящейся в 28,42 градусах западной долготы, до восточной оконечности, обозначаемой мысом Дежнева, расположенного в 169,69 градусах восточной долготы. Самый северный участок материка находится на мысе Челюскин, который расположен в 77,69 градусах северной широты и 104,09 градусах западной долготы.



Рисунок 1. Секторное разделение Арктики.

Российский сектор Арктики можно условно разделить на Западную Арктику и Восточную Арктику.

Восточная Арктика — самая северная часть Дальнего Востока, которая включает 13 арктических районов Якутии и Чукотский автономный округ (см. рис. 2). Это наименее заселённая и слабо освоенная территория, занимающая 33,5% площади всего Дальнего Востока.

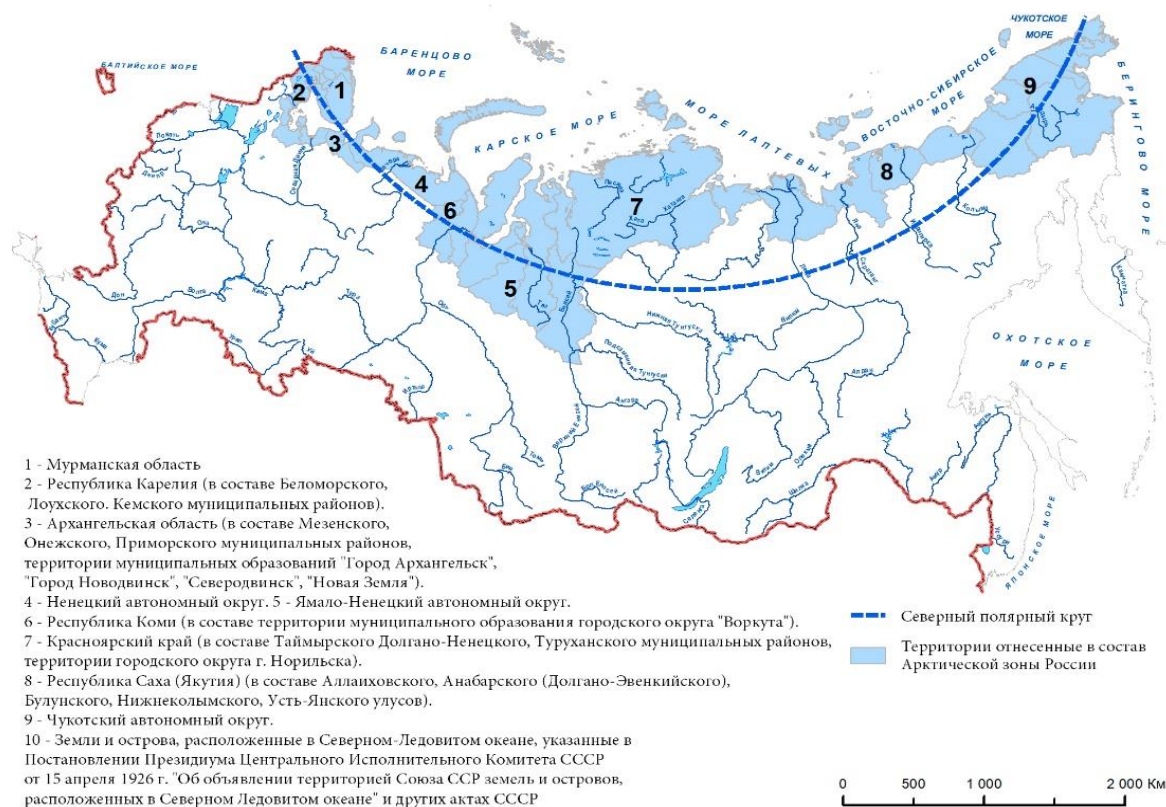


Рисунок 2. Территория Российской Арктики.

Восточная Арктика включает в себя несколько групп островов: Северную Землю, Новосибирские острова и остров Врангеля. Она омывается Карским, морем Лаптевых, Восточно-Сибирским и Чукотским морями.

Восточная Арктика – это территория, которая характеризуется резко континентальным арктическим климатом. В отличие от Западной Арктики, здесь относительно мало ледников, но зато распространены ископаемые льды.

Наиболее мощные толщи ископаемых льдов можно найти на Новосибирских островах. Только на островах Северной Земли можно найти ледниковые купола, похожие на ледники Западной Арктики. Современное оледенение здесь покрывает около 45% площади островов.

Остров Врангеля круглый год окружён непроходимым барьером торосистых льдов, которые оказывают охлаждающее влияние на приземные слои воздуха летом и способствуют образованию туманов. Осадки здесь выпадают преимущественно в виде снега, даже летом в виде мокрого снега.

На острове Врангеля создан самый северный заповедник в стране. В единственном населённом пункте острова расположены метеостанция (рисунок 3), погранзастава и база заповедника.



Рисунок 3. Метеостанция на острове Врангеля.

Западная Арктика включает в себя всю территорию Мурманской области, Ненецкого автономного округа, части территорий Карелии и Архангельской области, акватории Баренцева и Карского морей. В отличие от Восточной Арктики, Западная намного больше освоена человеком. Климат региона отличается относительной мягкостью, по сравнению с территориями Восточной Арктики. По границе между Баренцевым и Гренландским морями проходит теплое Северо-Атлантическое течение, а на самую акваторию Баренцева моря часто выходят Атлантические циклоны.

1.1. Особенности климата Арктики

В Арктике преобладает холодный арктический воздух, который образуется в районе Северного полюса. Из-за низких температур и особенностей рельефа местности воздушные массы слабо перемешиваются с воздухом средних широт. Для Арктики характерны небольшие колебания температуры воздуха в течение суток и малое количество осадков: 100–200 мм в год. Это связано с тем, что над центральными районами ледяной зоны постоянно находится область высокого давления — Арктический антициклон.

Антициклоническая циркуляция развивается зимой главным образом в Сибирском районе Арктики, несколько слабее в притихоокеанской части Арктического бассейна — в Канадском и Гренландском районах. Гренландский район характеризуется очень низкими температурами, незначительной облачностью, малым количеством осадков и слабым ветром.

Зимой большая часть Арктики охвачена интенсивной циклонической деятельностью. С циклонами, приходящими с Атлантического океана и в меньшей мере с Тихого океана, связаны наиболее высокие в Арктике зимние температуры воздуха, максимальная облачность, количество осадков, резкие смены погодных условий и частые сильные ветры.

Летом характер атмосферной циркуляции в большей части Арктики противоположен зимнему, но воздействие её на климат Арктики невелико, так как интенсивность её слабее, чем зимой. Климат почти всего Атлантического района находится под влиянием тёплого Северо-Атлантического течения. Воздействие тёплых вод Тихого океана значительно слабее из-за меньшего притока их через сравнительно узкий и мелководный Берингов пролив.

Арктический бассейн глубоководная часть Северного Ледовитого океана, которая находится на ложе океана между хребтами Гаккеля, Ломоносова и Менделеева.

Он занимает большую часть площади всего Северного Ледовитого океана и отличается суровым климатом с дрейфующими льдами. Средняя глубина бассейна составляет около 3355 метров, а максимальная достигает 4700 метров.

Средние температуры самого холодного зимнего месяца Арктики — января — колеблются от -2 до -4°C . В южной части Атлантического района до -25°C , на севере Баренцева моря, западе Гренландского моря, в морях Баффина и Чукотском от -32 до -36°C .

В Сибирском районе Арктики, на севере Канадского и в прилегающей к нему части Арктического бассейна температура опускается до -45 , -50°C .

В центральной части Гренландии минимальные температуры снижаются до -55 , -60°C , только в Арктическом бассейне они не опускаются ниже -45 , -50°C .

При прорывах глубоких циклонов температура иногда повышается до -2 , -10°C . В результате сильного выхолаживания поверхности в этих районах постоянны инверсии температуры воздуха. Абсолютная влажность воздуха мала (парциальное давление водяного пара от 0,5 до 2 – 3 миллибар), относительная влажность — высокая (80 – 90%).

За год в Арктике выпадает 350 – 400 мм осадков. В Сибирском и Канадском районах преобладает малооблачная погода. В Сибирском районе и близ Северного полюса осадков выпадает 150 – 200 миллибар и в Канадском районе 100 – 120 миллибар.

Ветра почти над всем советским побережьем Арктики преобладают южные и юго-западные — зимние муссоны. В Атлантическом и Тихоокеанском районах ветра преимущественно неустойчивые, сильные; часты метели.

В течение всего года в Арктическом бассейне происходит интенсивное полярное охлаждение воздуха. Заморозки могут наблюдаться всё лето. Из-за высокой относительной влажности над Арктическим бассейном, летом часто наблюдаются туманы, низкая слоистая облачность. Чаще всего туманы образуются над морями, где температура льда и снега значительно ниже температуры воды. При смене с ледяной поверхности на водную, воздух ощущается гораздо холоднее. Процесс испарения с поверхности воды приводит к образованию тумана. Облачность в Арктике может варьироваться в зависимости от времени года и региона. В некоторых районах она может быть более высокой, а в других — более низкой. Однако в целом для Арктики характерны облака низкого или среднего яруса.

К сожалению, в Арктическом регионе крайне сложно проводить наземные измерения для определения облачности из-за долгой полярной ночи и небольшого количества наземных полярных станций.

Летом в Арктике встречаются морозящие дожди, нередко с мокрым снегом, ветра преимущественно умеренные. Из-за низких температур и особенностей рельефа местности воздушные массы слабо перемешиваются с воздухом средних широт.

Суровый климат обуславливает низкую температуру океанических вод. В области распространения дрейфующих льдов в течение всего года температура поверхностного слоя вод (толщиной 100—200 м) близка к -2°C . В районах, очищающихся от льда летом,

вода нагревается на несколько градусов выше нуля, однако большое количество тепла приносят в Арктику тёплые течения.

Арктика отличается наличием нескольких источников тепла и сложными взаимосвязями между ними, что делает ее одним из самых динамичных регионов по климатическим изменениям. Однако эти колебания климата не равномерно распределены по всей акватории Арктики.

Значительно усиливаются и климатические изменения в Арктике, причем особенно заметным является уменьшение площади морских льдов в Северном Ледовитом океане. Реагируя на климатические колебания, льды тают, что способствует распространению пресной воды в океане. Это, в свою очередь, влияет на циркуляцию в Северной Атлантике и, как следствие, на климатические процессы как в регионе, так и во всём мире.

В непосредственной близости от северного полюса Земли расположен геомагнитный полюс, который является идеальным местом для проникновения в атмосферу заряженных потоков частиц, выброшенных в космос Солнцем, благодаря этому для Арктического региона характерны полярные сияния. Поток заряженных частиц усиливается с изменением солнечной активности.

1.2. Ветровые условия Арктического региона.

Для арктических морей, омывающих берега России (Баренцево, Белое, Карское, Лаптевых, Восточно-Сибирское и Чукотское, а также часть Берингова моря, которая прилегает к территории Чукотского автономного округа), характерен муссонный тип атмосферной циркуляции. Зимой для западных и восточных районов свойственна развитая циклоническая деятельность: циклоны перемещаются с Атлантического и Тихого океанов,

вызывая усиление ветров и резкую смену погоды. В центральном секторе преобладает антициклональная малооблачная погода со слабыми ветрами. Летом различия между отдельными морями сглаживаются, так как изменяется характер атмосферной циркуляции, которая становится менее интенсивной. Летние циклоны не так глубоки, как зимние, и быстро заполняются. Главную роль в это время года играет непрерывный поток солнечной радиации, поступающей в течение полярного дня.

В условиях крупномасштабной атмосферной циркуляции Северного полушария (соответственно, и в Арктике), кроме преобладающих зональных переносов, регулярно возникают меридиональные переносы. Глубина меридиональных потоков (или дальность их распространения) с юга на север ограничивается физикой атмосферных процессов. Подошвы длинных термобарических волн на полушарии в среднем располагаются в зоне 35–50° северной широты, а вершины их достигают 70–80° северной широты.

Ветра играют ключевую роль в формировании климата Арктики. Они определяют распределение тепла и влаги, а также влияют на образование ледовых покровов. Скорость ветра в среднем увеличивается по мере удаления от береговой линии над поверхностью морей. В холодный период года ветер сильнее, чем в тёплый.

В Арктике преобладают постоянные ветра, которые называются полярными. Они дуют с севера на юг и возникают из-за разницы в атмосферном давлении между полюсом и экватором. Полярные ветры обычно холодные и сухие, что способствует формированию характерного арктического климата. Наиболее ярко его влияние проявляется в северных прибрежных районах Северной

Америки и Евразии. Эти арктические ветры вызывают резкое понижение температуры и характеризуются высокой скоростью.

Ещё одним важным типом ветров в Арктике являются бури. Бури в Арктике могут быть очень сильными и опасными, часто сопровождаются сильными снегопадами и ухудшением видимости. Они могут вызывать сильные ветры, которые приводят к повреждению зданий и создают опасные условия для животных и людей.

На некоторых мысах арктических островов и побережьях в зимний сезон возникают местные ветры ураганной силы — бора. Они образуются при переваливании плотных холодных воздушных масс через горные хребты. Бора наблюдается, например, на Новой Земле, Земле Франца-Иосифа, Шпицбергене, Гренландии.

Ветра также играют важную роль в формировании ледовых покровов в Арктике. Сильные ветры могут перемещать лёд по поверхности океана, создавая ледяные глыбы и гряды. Это может быть опасно для судов и других морских объектов, так как лёд может быть очень толстым и прочным.

Изменение климата в Арктике также отражается на ветрах. Повышение температуры в этом регионе может привести к изменению направления и силы ветров. Это может иметь долгосрочные последствия для климата и экосистемы Арктики.

1.3. Аномальные ветры в Арктике.

Большинство экстремальных ветров в Арктическом регионе наблюдается в Баренцевом море, чему способствует его географическое положение.

В отличие от других морей бассейна Северного Ледовитого Океана, Баренцево море в течение всего года не покрывается льдом

полностью, а также подвержено частым вторжениям относительно теплого воздуха с Атлантического океана. Баренцеву море принадлежит рекорд России по регистрируемой скорости ветра: 8 февраля 1986 года на Харлов в Баренцевом море порывы ветра достигали 52 м/с (187 км/ч).

Баренцево море является наиболее активной зоной мезомасштабного циклогенеза, кроме того, в этом море наблюдается уникальное природное явление Новоземельная бора.

Полярные мезомасштабные циклоны — это небольшие, но довольно интенсивный циклон, который образуется над морской поверхностью к северу от основной бароклинной зоны. Горизонтальный масштаб таких циклонов не превышают 1000 км, а скорости ветра в приповерхностном слое от 15 м/с и более. В некоторых случаях скорости ветра могут превышать 35 м/с. Дополнительной опасностью считается внезапность их возникновения, трудность прослеживания в барическом поле и трудности прогнозирования. Время жизни таких циклонов относительно короткое - от нескольких часов до двух дней.

Полярные циклоны образуются в условиях выноса холодного воздуха с суши или льда на более теплое море, причем разность температур между поверхностью моря и изобарической поверхностью 500 гПа составляла 45–50 °С. Зондирование атмосферы показало ведущую роль процессов в верхних слоях атмосферы в эволюции ПЦ. Если на стадии циклогенеза циркуляция в ПЦ была сосредоточена ниже 700 гПа, то в зрелой стадии она достигла тропопаузы (примерно на 450 гПа) с максимальными скоростями ветра 26–28 м/с между 700 и 900 гПа, при этом температура в ядре ПЦ была на 3 К выше, чем в окружающих воздушных массах. Также по данным зондирования было получено,

что по мере развития ПЦ потоки скрытого тепла увеличивались от 175 до 300 Вт/м², а потоки явного тепла – от 200 до 280 Вт/м², что предполагает постепенное увеличение вклада потоков тепла на поверхности моря в энергетику ПЦ.

Новоземельская бора — это сильный порывистый ветер, который возникает в западной части Архипелага Новая Земля, когда холодный воздух с Карского моря вторгается в более теплые воды Баренцева моря.

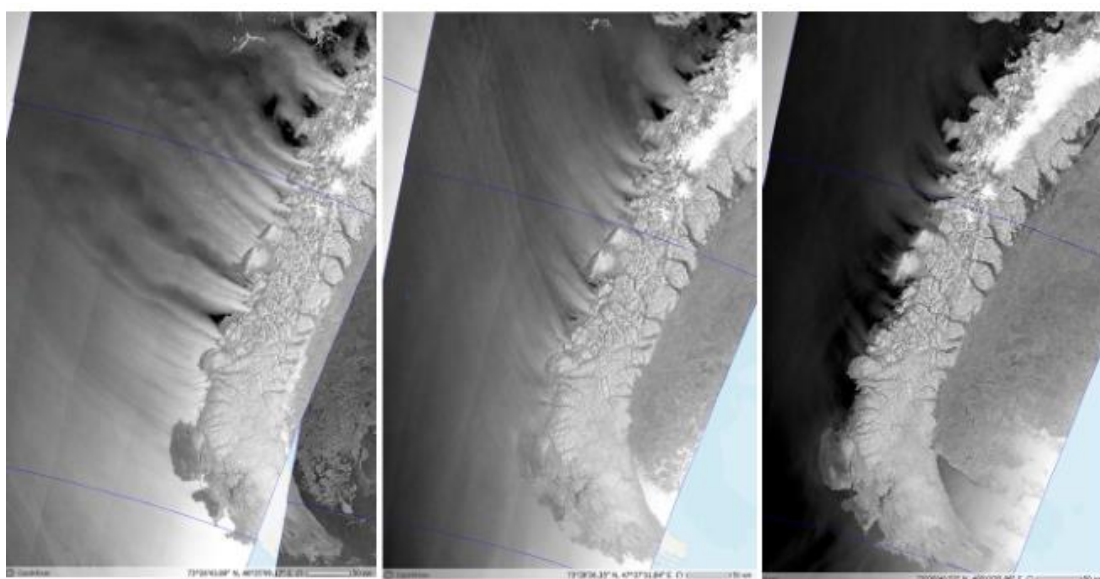


Рисунок. 4. Восточная новоземельская бора по данным космического аппарата Sentinel-1A.

Архипелаг Новая Земля является естественным препятствием при прохождении теплого воздуха с Атлантики на акваторию Карского моря. Поэтому, несмотря на близкое расположение, эти моря сильно отличаются друг от друга в том числе температурным режимом. Новоземельская бора — это мезомасштабное усиление ветра, которое возникает при оттекании холодным воздухом горных массивов на морскую поверхность. Высота гор в таких районах около 500 метров. Повторяемость и интенсивность Новоземельской

боры достаточно высокая - около 11 раз в год в этих районах фиксируется ветер более 30 м/с.

На берегах Восточно-Сибирского моря и в порту Певек, может наблюдаться сильный арктический ветер, который похож на шпицбергенский фен, новороссийскую и новоземельскую бурю. Он называется южак. Его предвестником служит формирование устойчивой облачной гряды на ясном небе. Скорость этого ветра может достигать 35–50 метров в секунду, а его территория может охватывать площадь от 20 до 40 квадратных километров. Южак может обрушиться на побережье в любое время года и дуть неделями без перерыва.

Возникновение этих ветров часто сопровождается сильными волнениями, обледенением судов и болтанкой самолета, поэтому крайне важно увеличивать точность прогнозирования усиления ветра в Арктическом регионе, особенно по районам Североморского пути.

2. АНАЛИЗ СКОРОСТИ И НАПРАВЛЕНИЯ ВЕТРА В ПРИБРЕЖНЫХ И ОСТРОВНЫХ РАЙОНАХ РОССИЙСКОГО СЕКТОРА АРКТИКИ.

2.1. Анализ данных среднемесячной скорости ветра на полярных станциях.

Для проведения анализа ветрового режима были использованы данные Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации – Мирового центра данных (ВНИИГМИ-МЦД).

Для создания массива данных и построения графиков использовались данные о среднемесячной скорости и направлении ветра, полученные с шестнадцати полярных станций за период с 1910 по 2022 гг. (таблица 1).

Таблица 1. Список гидрометеорологических станций, использованных в работе

	Индекс Станции	Название станции
1.	20046	Э. Т. Кренкеля
2.	20069	О. Визе
3.	20087	Голомянный
4.	20107	Баренцбург
5.	20292	Им. Е. К. Федорова
6.	20476	Стерленгова
7.	20667	Им. М. В. Попова
8.	20674	Диксон
9.	20744	Малые Кармакулы
10.	21432	Котельный
11.	21824	Тикси
12.	21982	О. Врангеля
13.	23022	Амдерма
14.	25934	Амбарчик
15.	25062	Мыс. Биллингс
16.	25173	Мыс. Шмидта

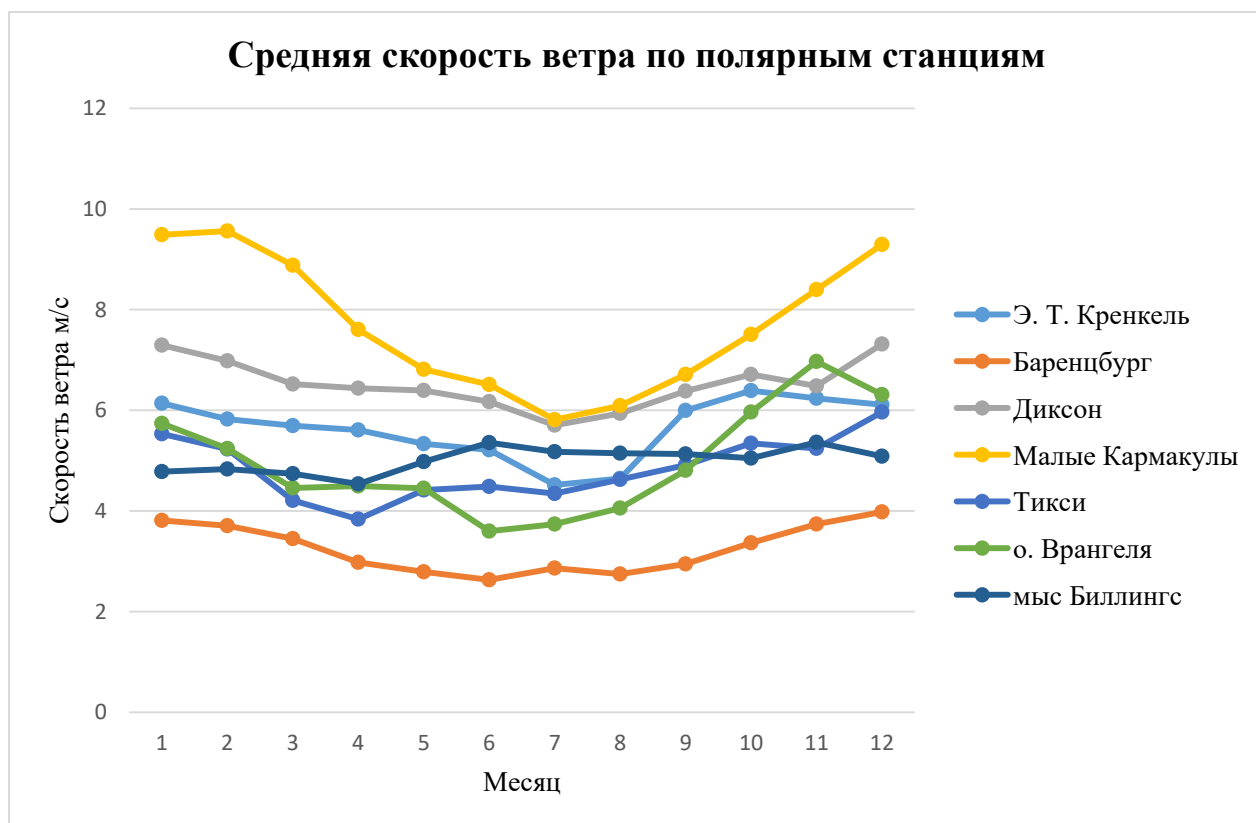


Рисунок 5. Среднемесячная скорость ветра на полярных станциях

Для построения графика взяты данные, в основном, с островных станций.

На графике, представленном на рисунке 5, можно проследить относительно ровный ход большинства станций, с максимальными скоростями ветра в зимний период примерно 6–7 м/с и наименьшими – в летний период 4–5 м/с. В приложении 1 представлен построенный график, по всем шестнадцати полярным станциям.

Наибольшие отклонения прослеживаются на станции Баренцбург (20107) и Малые Кармакулы (20744). Обе станции расположены в Баренцевом море, которое в течение года не покрывается ледяным покровом и подвержено вторжениям теплых воздушных масс при прохождении Атлантических циклонов. Также на станции о. Врангеля (21982), в конце осени наблюдается

максимум скорости ветра почти 7 м/с, далее скорость ветра начинает снижаться. И к середине лета достигает минимального значения скорости ветра, которое составляет 3,5 м/с.

Станция Малые Кармакулы отличается более суровым ветровым режимом в зимний период, что связано с близким расположением покрытого льдом Карского моря. Так что в зимний период среднемесячная скорость ветра достигает почти 10 м/с. Весной она плавно снижается и к июлю достигает минимального значения 5,8 м/с.

Баренцбург, несмотря на расположение в более высоких широтах, отличается относительно мягким климатом, так как подвержен влиянию теплого Северо-Атлантического течения. Несмотря на более спокойный ветровой режим, он все еще обладает ярко выраженной сезонностью с максимальными значениями в зимний период почти 3,4 – 3,9 м/с, а летний 2,7 – 2,8 м/с.

2.2. Среднегодовые скорости ветра по данным полярных станций.

Анализируя представленные ниже графики, можно сделать вывод, что за годы наблюдений средние показатели скорости ветра незначительно выросли на станциях Визе и Баренцбург, и немного уменьшились на станциях Тикси и Котельный. Изменение скорости ветра за рассматриваемый период у большинства станций составило 0,1 м/с за 10 лет.

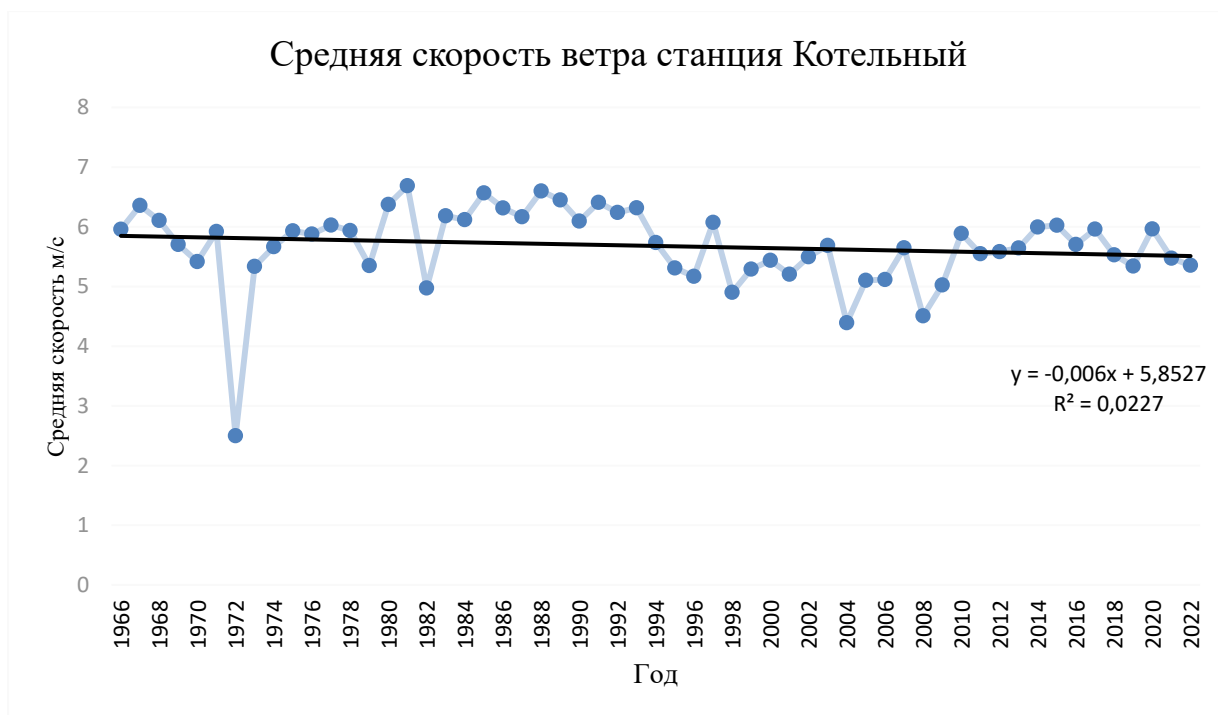


Рисунок 6. Среднегодовые скорости ветра по станции Котельный.

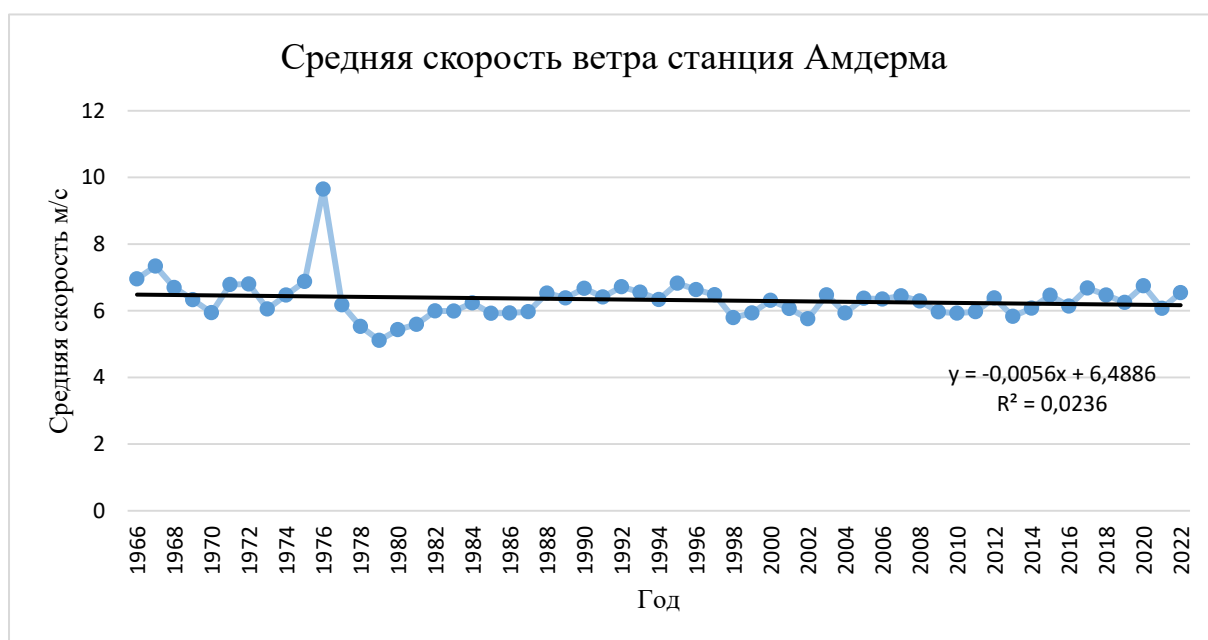


Рисунок 7. Среднегодовые скорости ветра по станции Амдерма.

На рисунках 6 и 7 видно, что в 1972 и 1976 годах на станциях Котельный (21432) и Амдерма (23022) наблюдался резкий скачок скорости ветра по сравнению с другими годами, где скорость ветра находится в диапазоне от 4 до 6 м/с. На станции Котельный скорость

ветра снизилась до 2,5 м/с, что гораздо ниже обычного. А на станции Амдерма, напротив, скорость ветра резко увеличилась до 9,6 м/с.

Такой значительный перепад скорости ветра может быть связан с тем, что в эти годы было собрано недостаточное количество метеорологических данных.

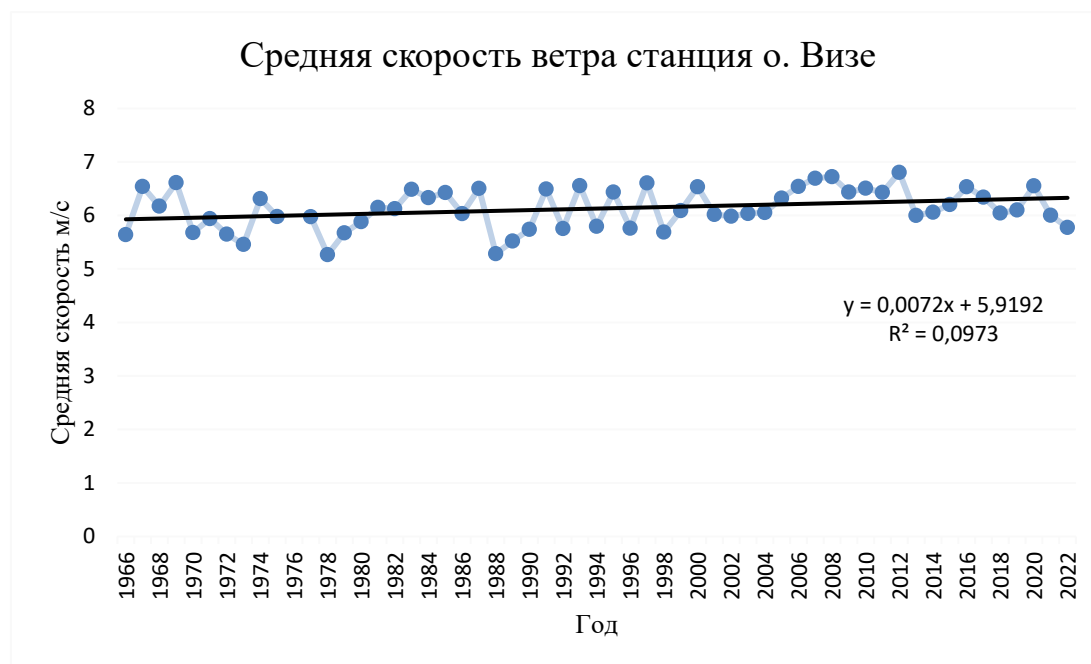


Рисунок 8. Среднегодовые скорости ветра по станции остров Визе.

На станции остров Визе (20069) представлен наиболее ровных годовой ход, который находится в пределах 5 – 6 м/с.

На острове Визе ветра, в основном, связаны переносом воздуха с запада на восток. Ровный годовой ход скорости ветра обусловлен тем, что архипелаг Новая Земля препятствует перемещению атлантических циклонов с запада.

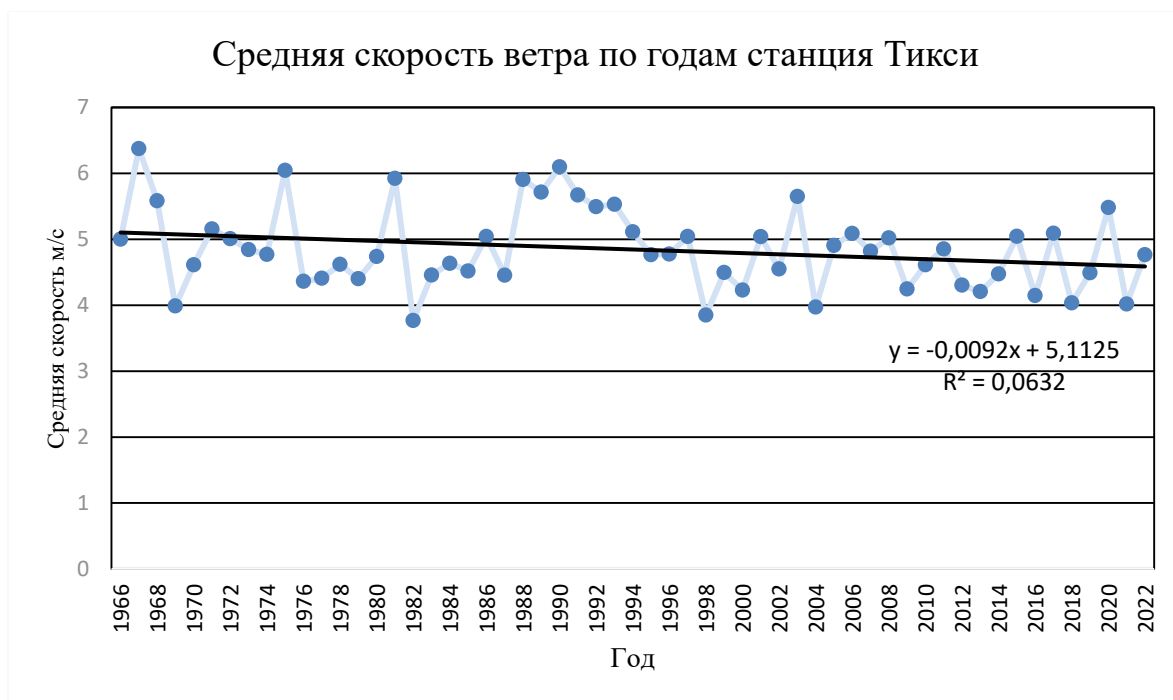


Рисунок 9. Среднегодовые скорости ветра по станции Тикси.



Рисунок 10. Среднегодовые скорости ветра по станции Баренцбург.

Наибольшие отклонения от средних значений прослеживаются на станциях Тикси и Баренцбург, наименьшее - на острове Визе.

Однако, с 2010 года на станциях, расположенных в Баренцевом море, отмечалось минимальное отклонение от средних значений.

2.3. Повторяемость штормового ветра.

Далее для анализа выбраны три полярные станции Э. Т. Кренкеля (20046), Станция о. Визе (20069) и Станция Котельный (21432) по ним рассчитаны повторяемости скорости ветра 10, 15, 20 м/с и более.

Обсерватория им. Э. Т. Кренкеля, расположенная на Земле Франца-Иосифа, обладает типичным для региона ветровым режимом с максимальными значениями скоростей в зимние месяцы и с минимальными — в летние, что видно из графика, представленного на рисунке 6. Зимой в регион часто вторгаются глубокие атлантические циклоны, принося с собой теплые воздушные массы с Атлантики, богатые влагой, и усиления ветра. Летом такие циклоны менее глубокие, а также ослабевает температурный контраст с освободившимся ото льда Карским морем.

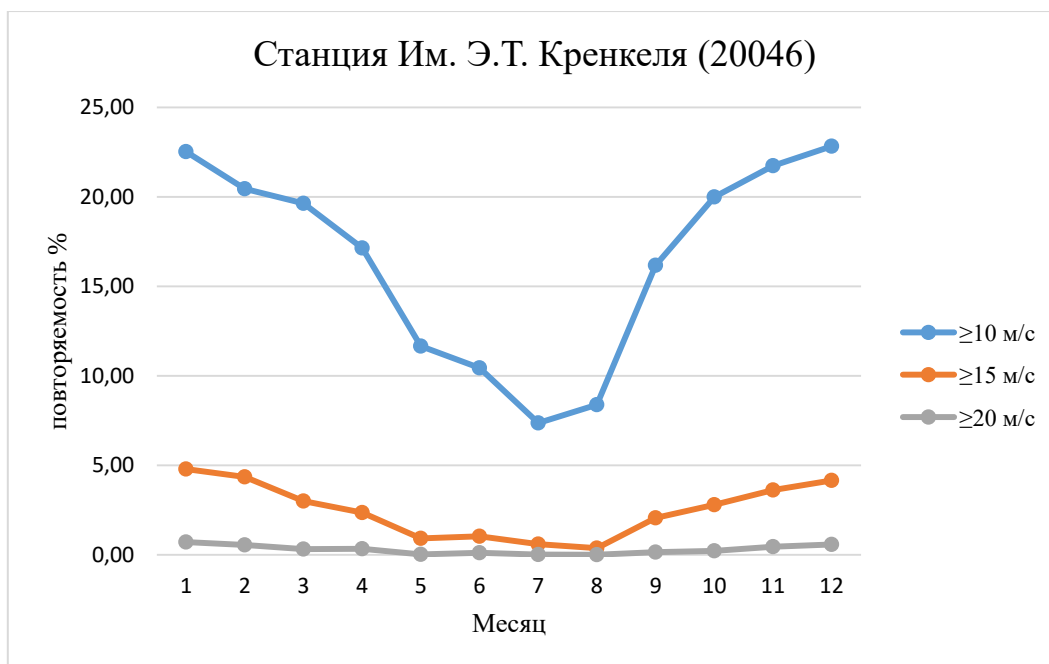


Рисунок 11. Повторяемость скорости ветра 10, 15, 20 м/с и более по станции Им. Э. Т. Кренкеля.

Остров Визе расположен в северо-восточной части Карского моря, штормовые ветра тут наблюдаются преимущественно в холодный период года. В октябре чаще встречается скорость ветра, которая превышает 10 и 15 м/с, штормовой ветер более 20 м/с намного чаще встречается в декабре, наиболее спокойным считается период с мая по август.

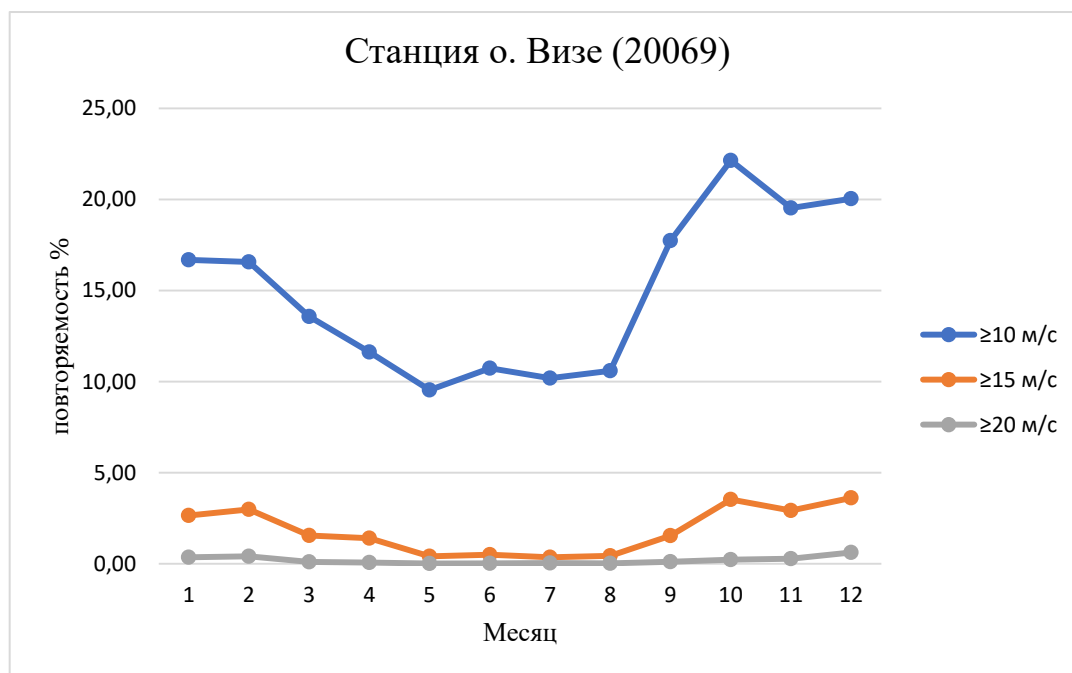


Рисунок 12. Повторяемость скорости ветра 10, 15, 20 м/с и более по станции остров Визе.

Станция Котельный расположена между морем Лаптевых и Восточно-Сибирским морем в зоне Арктического континентального климата. Моря практически весь год покрыты ледяным покровом, а удаленность от Тихого и Атлантического океана не дают теплым воздушным массам вторгаться на территорию.

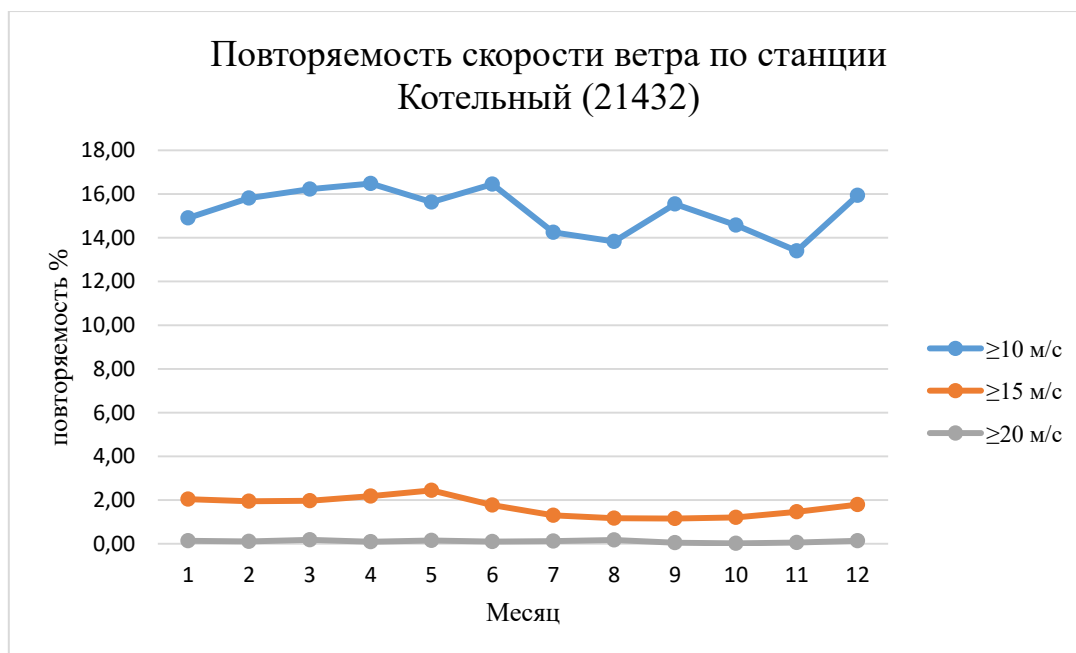


Рисунок 13. Повторяемость скорости ветра 10, 15, 20 м/с и более по станции Котельный.

Относительно рассмотренных выше наблюдательных пунктов, сильный ветер на станции Котельный имеет более ровный годовой ход с небольшими перепадами в летний и осенний периоды, когда преобладает северное направление ветра и небольшое потепление температуры поверхности морей.

2.4. Повторяемость направления ветра по станциям Арктического региона.

Для анализа направления ветра были построены розы ветров по данным гидрометеорологических станций Арктического региона. Для построения были взяты данные о повторяемости направления ветра по месяцам. На построенных розах ветров, прослеживается схожесть направления ветра.

На представленных ниже рисунках, отчётливо видно, что у трех метеостанций – им М. В. Попова (20667), Стерлегова (20476) и Диксон (20674) прослеживается схожесть направления ветра.

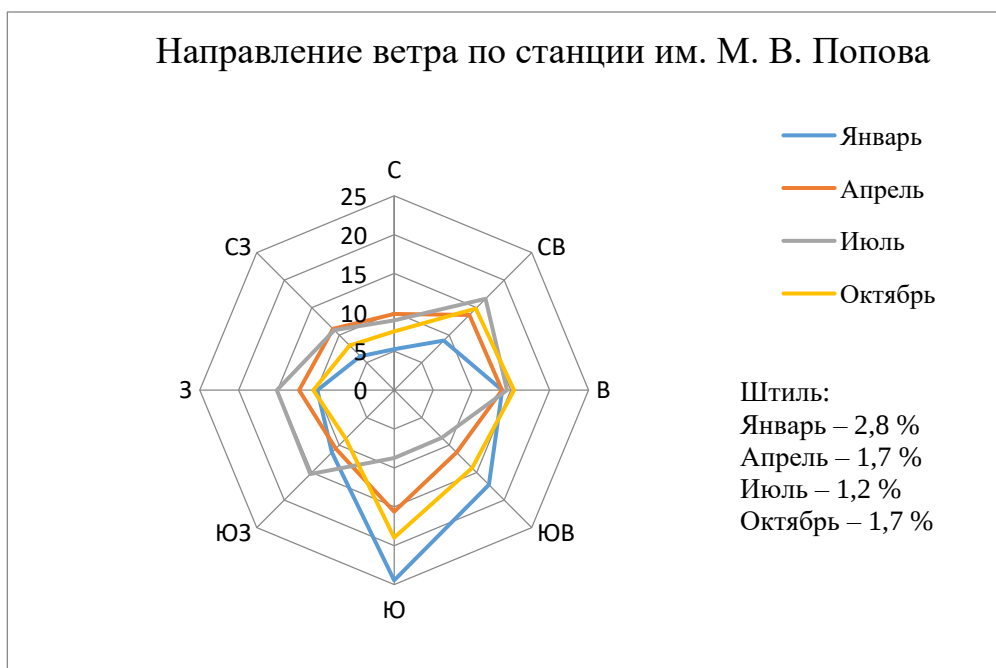


Рисунок 14. Роза ветров станции им. М. В. Попова.

Так, например мы можем наблюдать, что южное направление ветра ярко выражено в осенний и зимний период. В то время как в весенний и летний период преобладает больше северо–восточный ветер. Однако на станциях им. М. В. Попова и Стерлегова в июле наблюдаются юго–западные и западные ветра.

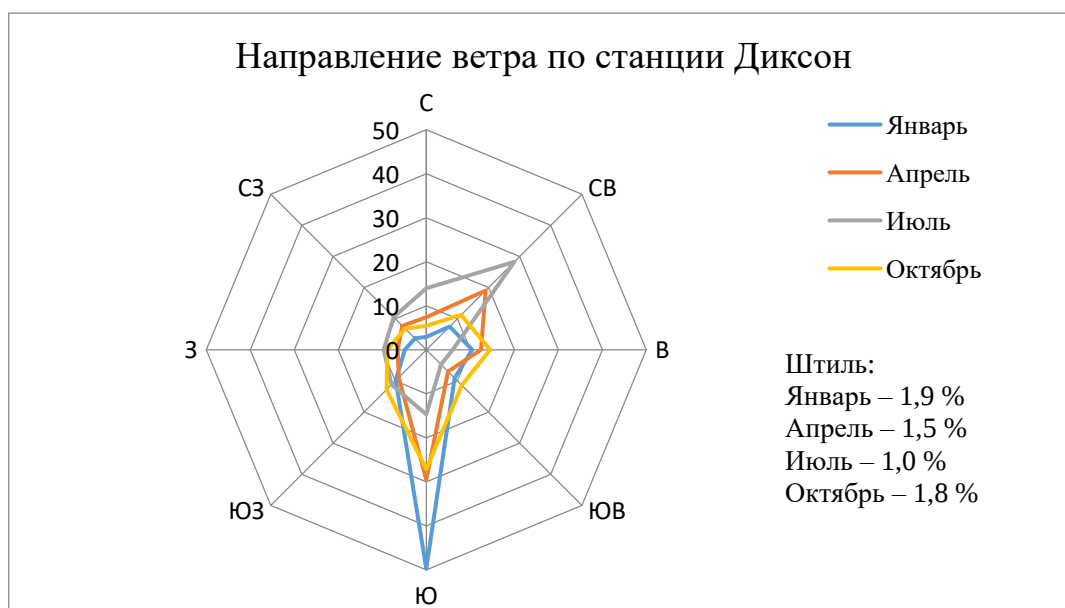


Рисунок 15. Роза ветров станции Диксон.

На станциях Диксон и им. М. В. Попова наблюдается наибольшее количество штилей в январе, однако, на станции Стерлегова безветрие (штиль) выпадает на апрель.

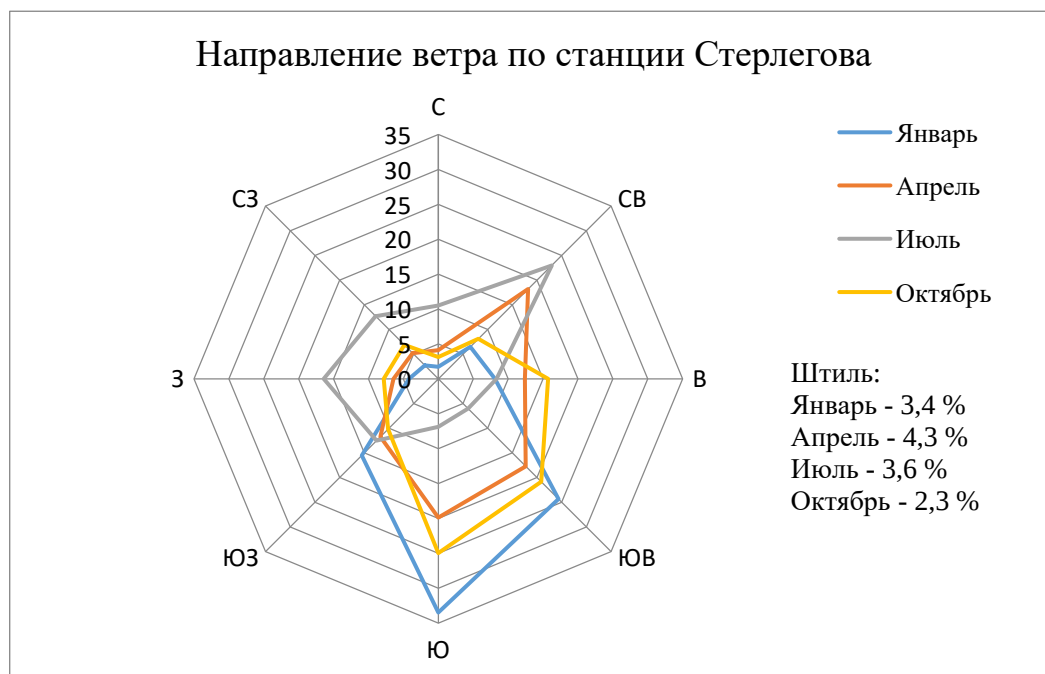


Рисунок 16. Роза ветров станции Стерлегова.

Такие направления ветра характерны для муссонной циркуляции воздуха, когда в зимний период преобладают ветра, направленные с материка, а в летний период – с моря.

Также прослеживается определённая схожесть по направлению ветра, на таких станциях как Э. Т. Кренкеля и Остров Визе. На обеих станциях в июле ярко выражен западный ветер, в январе, в апреле и октябре юго–восточный.

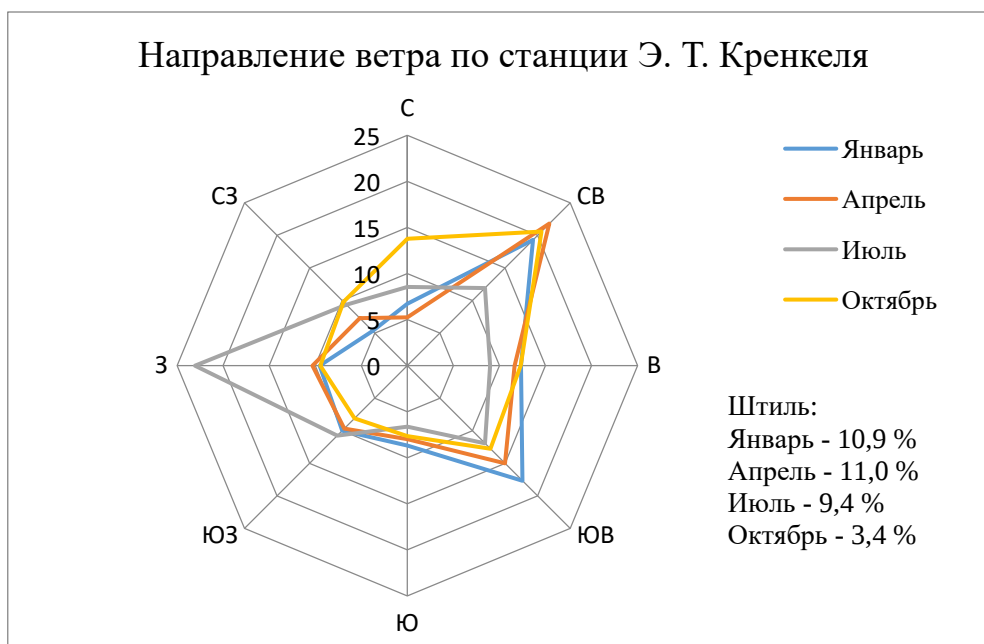


Рисунок 17. Роза ветров станции Э. Т. Кренкеля.

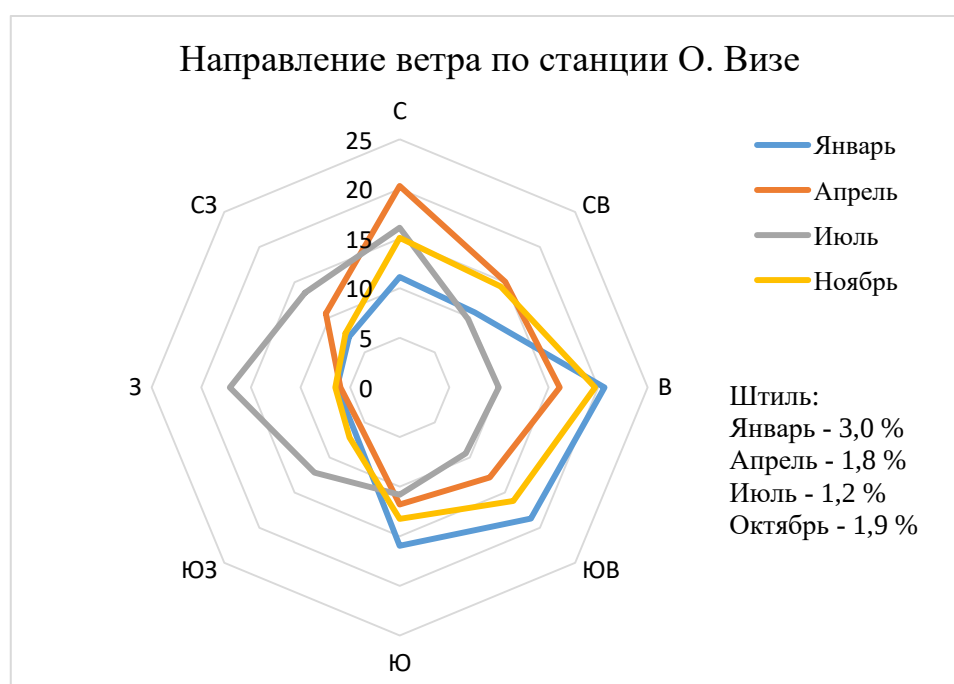


Рисунок 18. Роза ветров станции о. Визе.

Помимо юго-восточных ветров, на метеостанции Остров Визе в эти месяцы также были зафиксированы северные и восточные ветра. На станции Э. Т. Кренкеля же чаще всего наблюдались северо-восточные и западные ветра, наиболее часто встречался штиль весной.

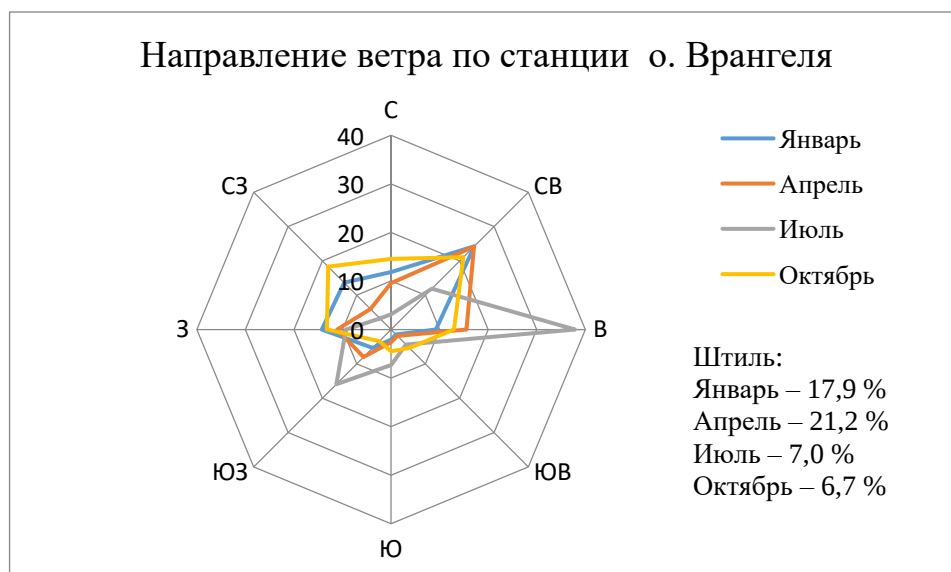


Рисунок 19. Роза ветров станции остров Врангеля.

На станции «Остров Врангеля» в июле преобладают восточные и юго-западные ветры. В январе и апреле чаще всего наблюдается северо-восточный ветер, но также можно заметить и западный ветер. В октябре же чаще всего наблюдаются северо-западные и северо-восточные ветра. В апреле количество штилей достигает наибольшего значения.

3. ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДАННЫХ РЕАНАЛИЗА ДЛЯ АНАЛИЗА ВЕТРОВОГО РЕЖИМА НА АКВАТОРИИ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ И СРАВНЕНИЕ С СУДОВЫМИ ДАННЫМИ

3.1. Анализ скорости ветра по данным реанализа ERA5.

ERA5 — это данные пятого поколения реанализа Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды (ECMWF), которые охватывают глобальный климат и погоду за последние 4–7 десятилетий.

В настоящее время доступны данные с 1950 года и разделены на два массива. Один массив содержит климатические данные за период с 1950 по 1978 год, а другой — с 1979 года до настоящего времени. ERA5 заменил предыдущий реанализ ERA-Interim.

Для создания массива данных о скорости и направлении ветра в Арктическом регионе были использованы данные реанализа ERA5 за период с 1933 по 2020 год.

Ежемесячные обновления массива ERA5 гарантированного качества (с 1979 года по настоящее время) публикуются в режиме реального времени в течение трёх месяцев.

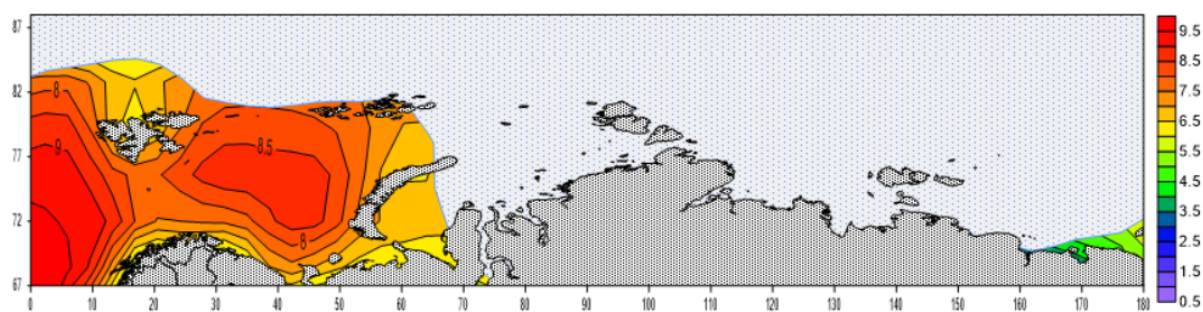
- Пространственный охват данных: глобальный.
- Обновления данных: ежемесячно
- Формат данных: netCDF (двоичный).
- Пространственное разрешение составляет: сетка 0,25° на 0,25°.

После обработки и систематизации данных о скорости и направлении ветра были созданы картосхемы, которые демонстрируют распределение скорости ветра в Арктическом регионе.

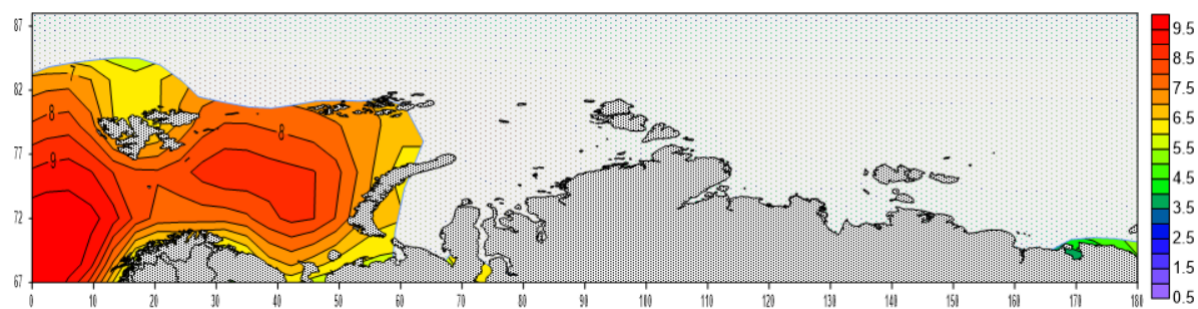
На построенных картосхемах видно, что среднемесячные скорости ветра меняются от сезона к сезону. Наиболее высокие показатели скорости ветра наблюдаются в зимний период над Баренцевым и Карским морями. Это связано тем, что Баренцево море не замерзает, в отличие от Карского, которое покрывается льдом. Перемещение воздушных масс создаёт температурный контраст, что приводит к усилению ветра.

На картах, представленных ниже, видно, что наиболее низкая скорость ветра — 9 м/с — наблюдается в западной части Арктики над Гренландским и Баренцевым морями.

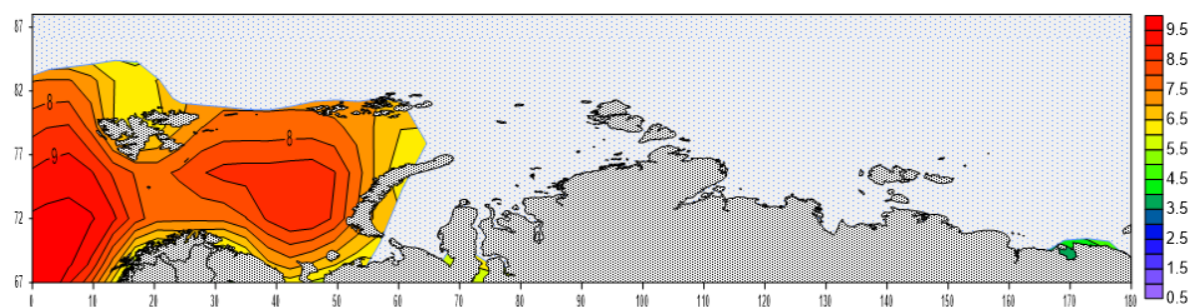
По мере приближения к побережью острова Шпицберген и острова Новая Земля скорость ветра снижается до 6 – 6,5 м/с. У берегов Чукотки можно наблюдать более низкие скорости ветра — 4 – 5,5 м/с. С декабря по февраль можно заметить, как кромка льда медленно покрывает Восточно-Сибирское море.



а)



б)



в)

Рисунок 20. Картосхема среднемесячной скорости ветра в зимние месяцы по данным реанализа ERA (сверху вниз декабрь, январь, февраль).

В марте среднемесячная скорость ветра практически ничем не отличается от предыдущих ему месяцев также составляет 8–9 м/с. Но уже в апреле можно наблюдать как скорость ветра над Баренцевым морем плавно снижается до 7–7,5 м/с, а над Гренландским морем до 9–8 м/с, лед постепенно начинает таять.

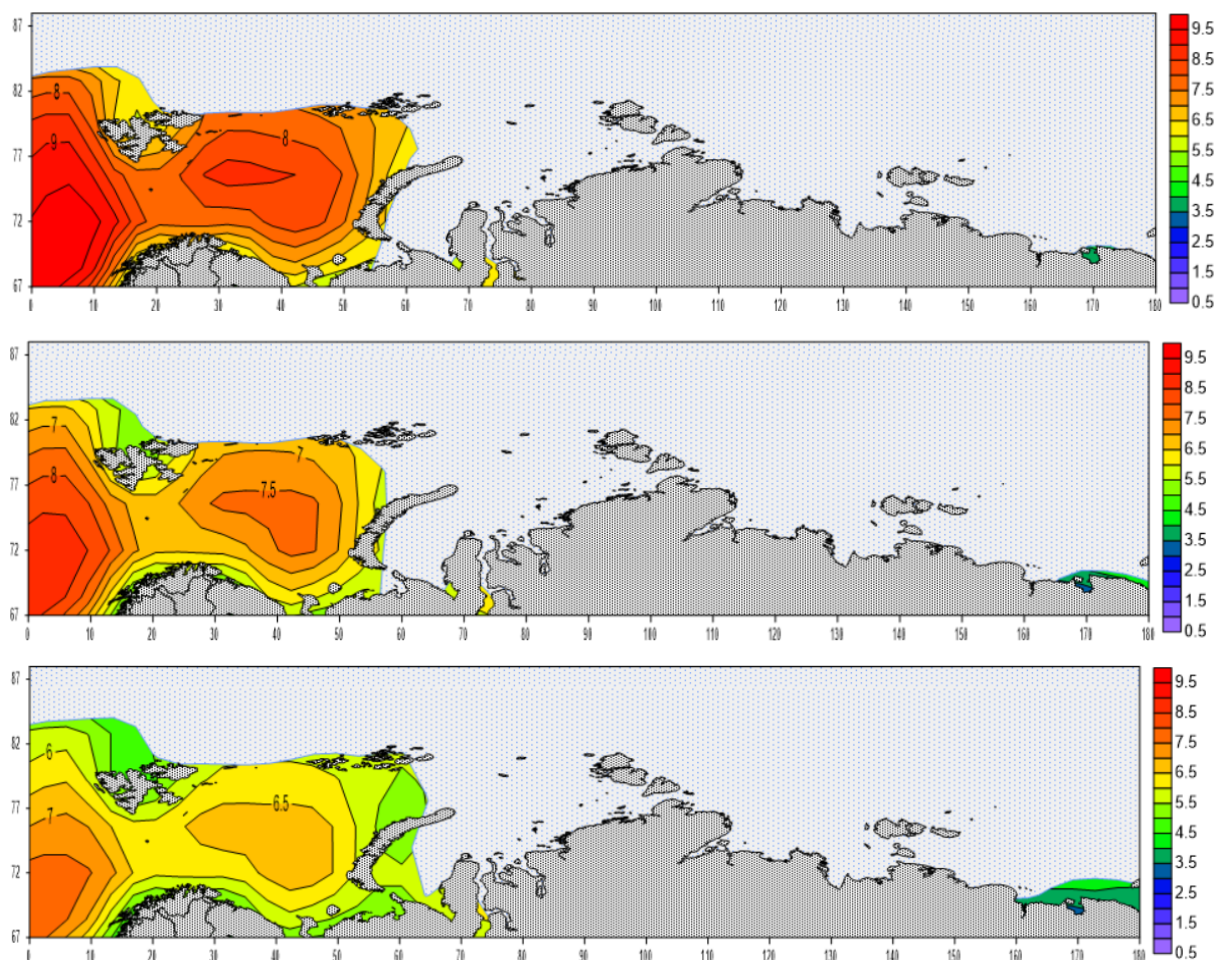


Рисунок 21. Картосхема среднемесячной скорости ветра в весенний период по данным реанализа ERA (сверху вниз март, апрель, май).

К последнему месяцу весны происходит значительное снижение скорости ветра с 7 до 4 м/с, в Чукотском районе можно наблюдать скорости ветра ниже 4 метров в секунду.

Летом вблизи суши скорости ветра снижаются до 4,5 м/с, над морем скорости ветра так же уменьшаются и достигают 6,5 – 5,5 м/с. К середине лета в прибрежных районах будет достигнута минимальная скорость ветра, которая составит 4 м/с, над морем минимум скорости ветра равен 5 м/с, в последующие месяца скорость ветра будет постепенно усиливаться. В августе наблюдается пик таяния кромки льда.

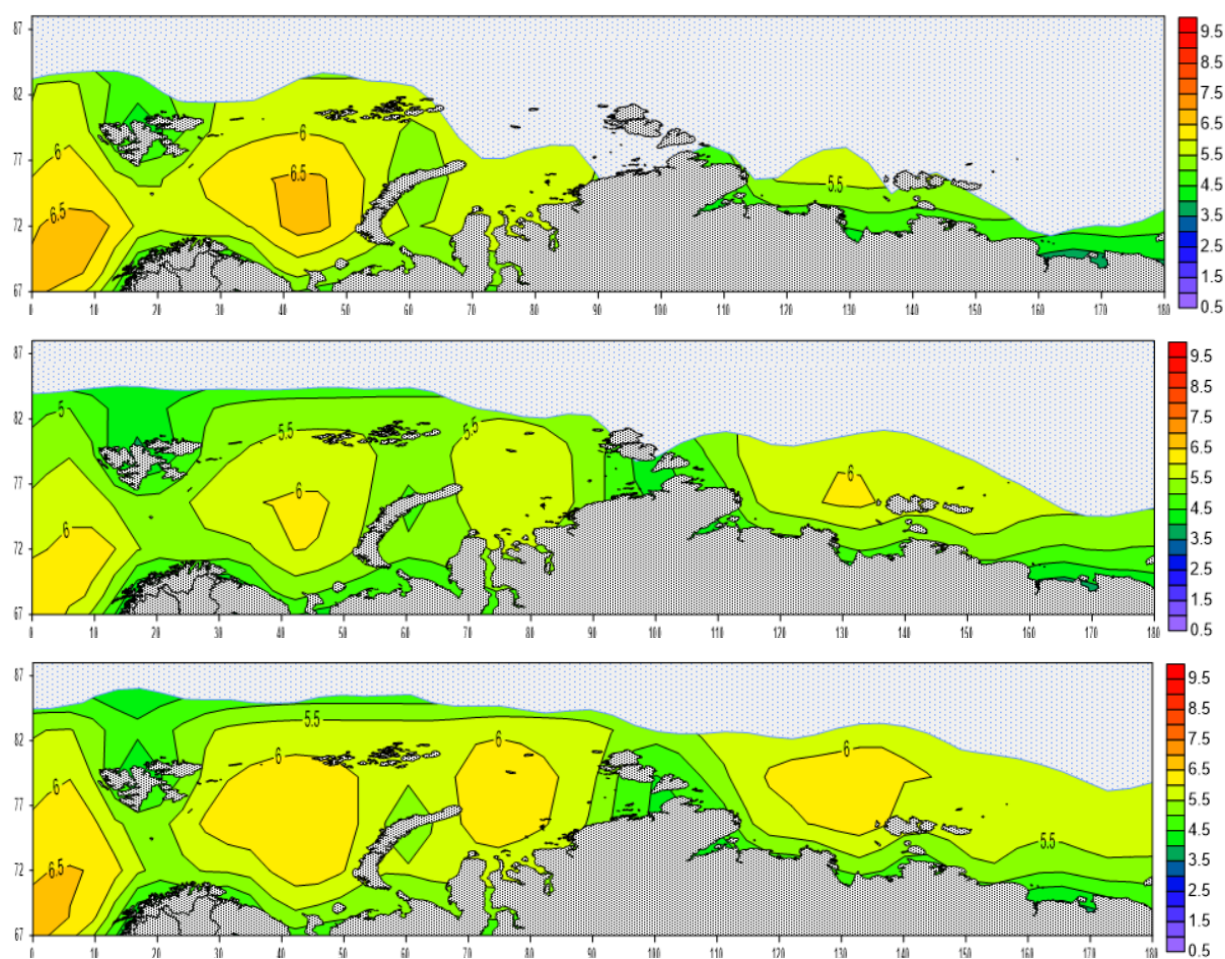
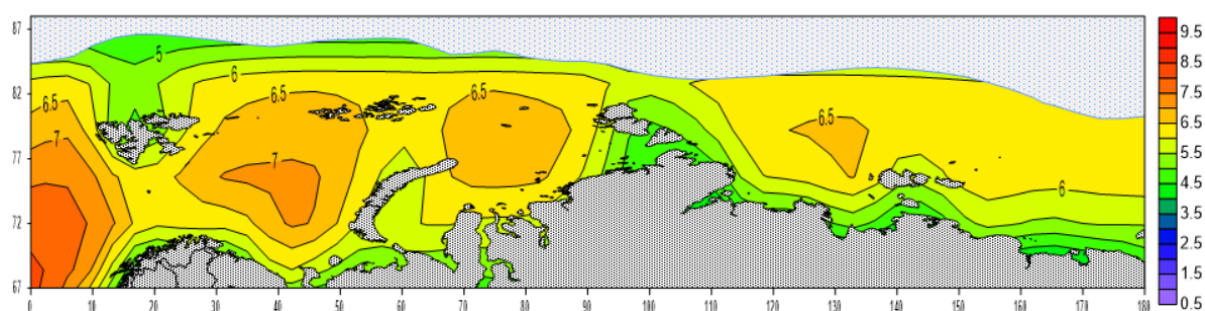


Рисунок 22. Картограмма среднемесячной скорости ветра в летний период по данным реанализа ERA (сверху вниз июнь, июль, август).

Осенью отчетливо видно усиление скорости ветра, а также как моря начинают постепенно покрываться льдом. Сильное усиление ветра наблюдается в Западной части Арктики и уже в середине осени достигает 8 – 9 м/с. На востоке Арктики в прибрежных районах еще можно наблюдать скорость ветра в районе 4 – 6,5 м/с. К концу осени большая часть Восточной Арктики охвачена льдом.



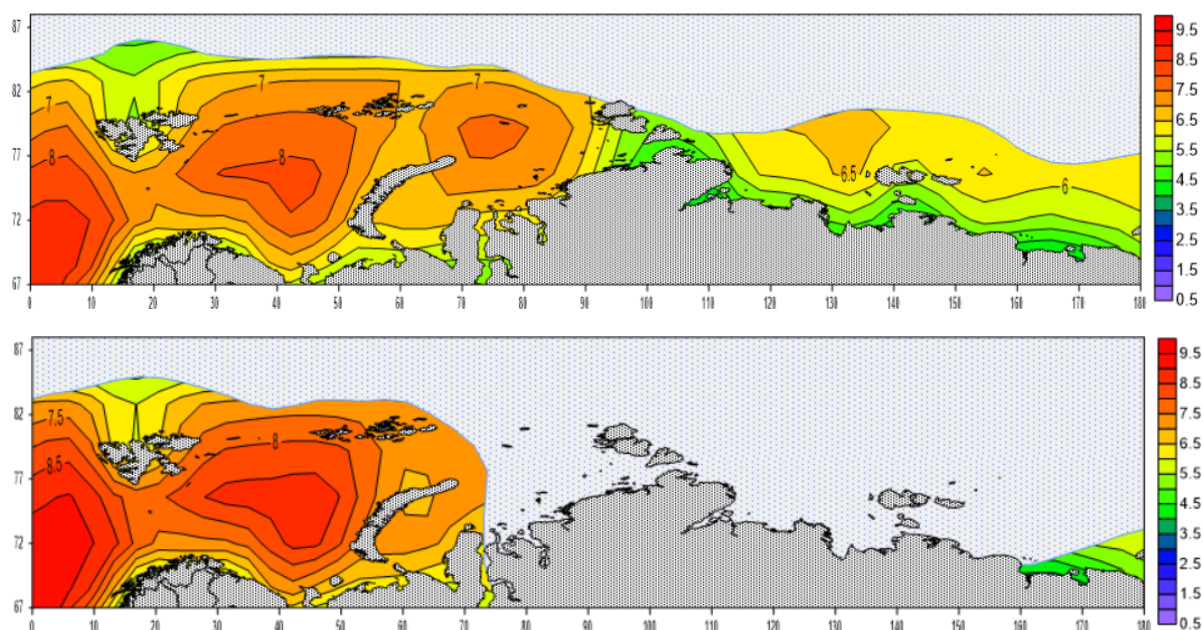


Рисунок 23. Картограмма среднемесячной скорости ветра в осенний период по данным реанализа ERA (сверху вниз сентябрь, октябрь, ноябрь).

Изучив результаты реанализа по месяцам, можно сделать вывод, что в прибрежных зонах скорость ветра ниже, чем над морем, независимо от времени года. Это связано с тем, что зимой ветер прогревается, когда движется на юг над морем, а летом – когда перемещается над сушей.

Кроме того, арктический воздух в нижних слоях атмосферы становится более нестабильным, что приводит к образованию облаков и конвективных осадков.

3.2. Анализ судовых данных скорости ветра над акваторией Российского сектора Арктики

Для работы был использован массив Национального Климатического Центра Данных США (NCDC), который представляет собой архив фактических данных наблюдений, собранных с буёв, морских платформ и судов, начиная с 1662 года и до настоящего времени. Данные представлены по 10-градусным квадратам, охватывающим всю акваторию Мирового океана.

К сожалению, из-за прекращения работы сайта NOAA.gov и связанных с ним ресурсов, доступ к полному архиву NCDC ограничен. Некоторые наблюдения, полученные с помощью определённых приборов, были исключены из массива.

Для анализа и последующего сравнения был построен массив данных NCDC за период наблюдений с 1910 по 2020 года. Построив картосхемы со среднемесячной скоростью ветра, мы видим, что в холодные месяца скорость ветра наблюдается более высокой, чем в летнее время, что сходится с данными реанализа.

В декабре среднемесячная скорость ветра в западной части Арктики над Гренландским и Баренцевым морями наблюдается довольно высокая 9,5 м/с. Ближе к острову Шпицбергена и архипелагу Земля Франца Иосифа скорость ветра находится в диапазоне 8,5 – 6,5 м/с.

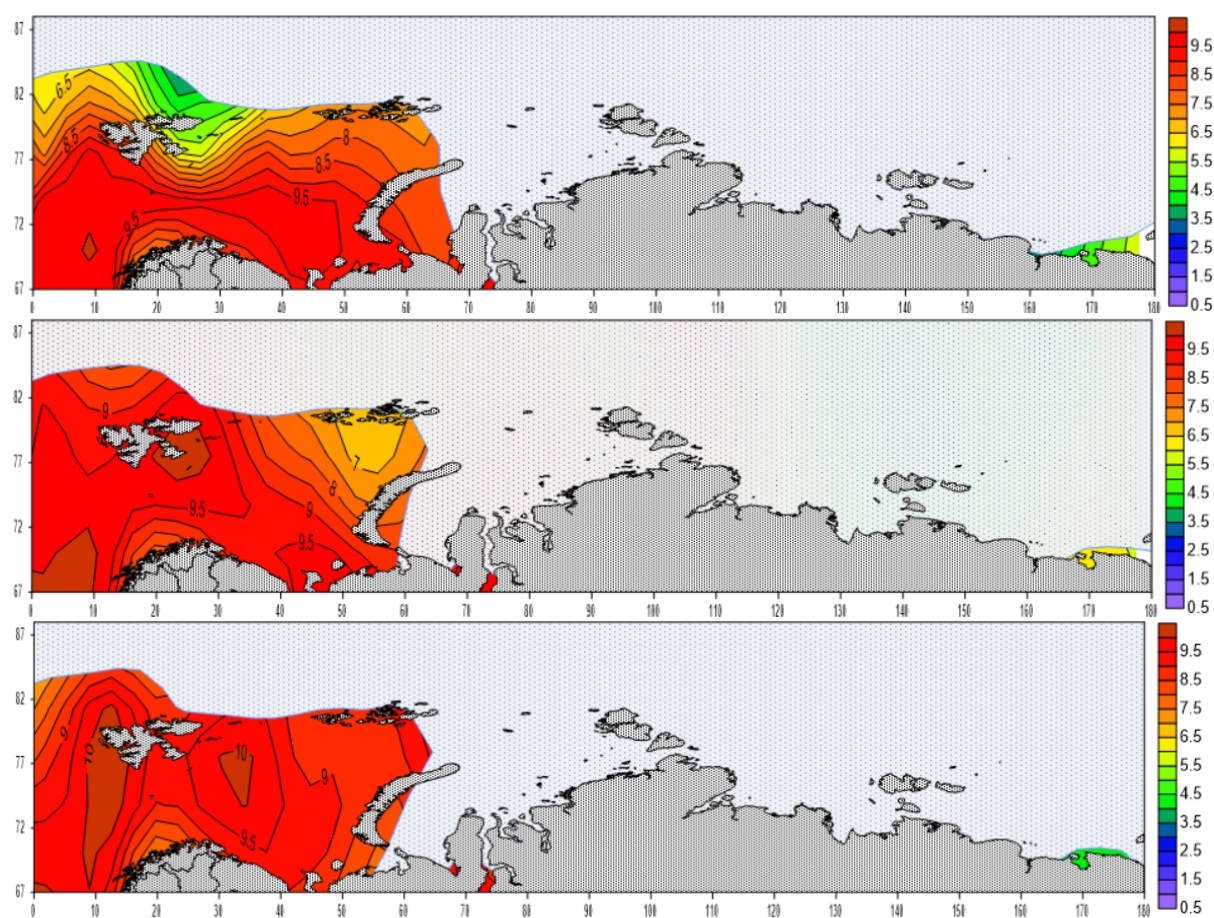


Рисунок 24. Картограмма среднемесячной скорости ветра в зимний период по данным NCDC (сверху вниз декабрь, январь, февраль).

С началом года скорость ветра усиливается и составляет 9,5 м/с почти на всей акватории, чем ближе к архипелагу Земля Франца Иосифа скорость ветра снижается до 8 – 7 м/с. Максимум скорости ветра приходится на конец зимы и составляет 10 – 9 м/с.

Начиная с марта скорость ветра постепенно снижается. Над морями она составляет 9 – 8,5 м/с, а вблизи побережья скорость ветра может достигать 8 – 7,5 м/с. В апреле скорости ветра в районе острова Шпицбергена снижаются до 6 м/с, а над Гренландским и Баренцевым морями скорость ветра снижаются до 8 – 7 м/с. Восточной части Арктики медленно начинает таять лед.

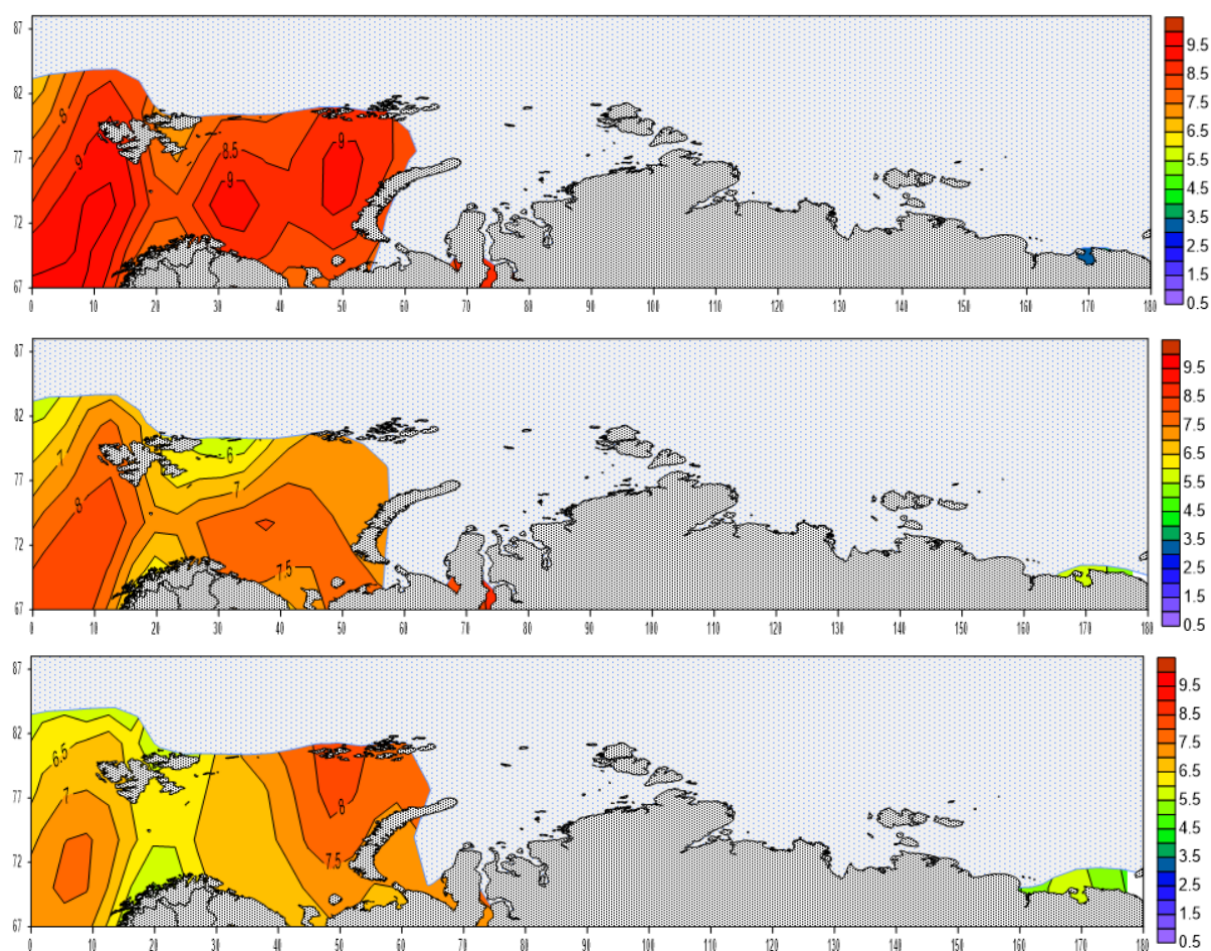


Рисунок 25. Картограмма среднемесячной скорости ветра в весенний период по данным NCDC (сверху вниз март, апрель, май).

К концу весны в прибрежной части Арктики скорость ветра достигает значения 5,5 м/с. Над акваторией скорость ветра составляет 7,5 – 6,5 м/с. Однако вблизи архипелага Земля Франца–Иосифа скорость ветра увеличивается до 8 м/с, что отличается на фоне остальных скоростей. Это может быть связано с тем, что в этом регионе зимой наблюдается антициклон, который весной разрушается и может вызывать усиление ветра.

В летнее время скорость ветра заметно уменьшается и составляет 6,5–5,5 м/с. В июле начинается активное таяние льда.

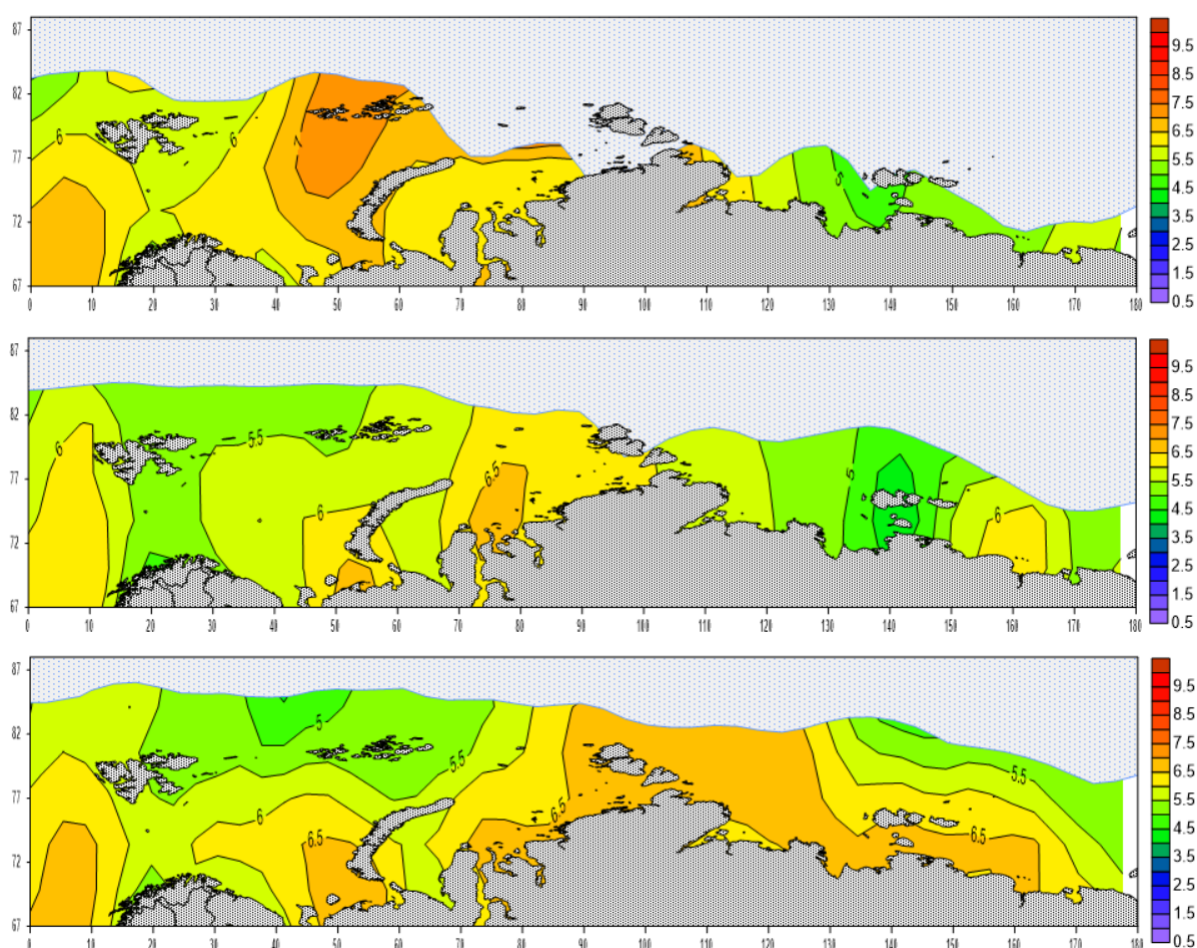


Рисунок 26 Картограмма среднемесячной скорости ветра в летний период по данным NCDC (сверху вниз июнь, июль, август).

В береговой части Арктики к концу лета ветер усиливается по сравнению с открытым морем и достигает скорости 6,5 метра в секунду.

В сентябре можно наблюдать максимум территории освобожденной ото льда. Скорость ветра в районе острова Шпицбергена и архипелага Земля Франца Иосифа составляет 7 и 6,5 м/с. В восточной части Арктики над Восточно-Сибирским морем наиболее низкая скорость ветра 5,5 м/с. В середине осени хорошо виден контраст скорости ветра, которая вблизи побережья находится в пределах 8,5 – 8 м/с, чем дальше от берега скорость ветра уменьшается и достигает 5,5 м/с.

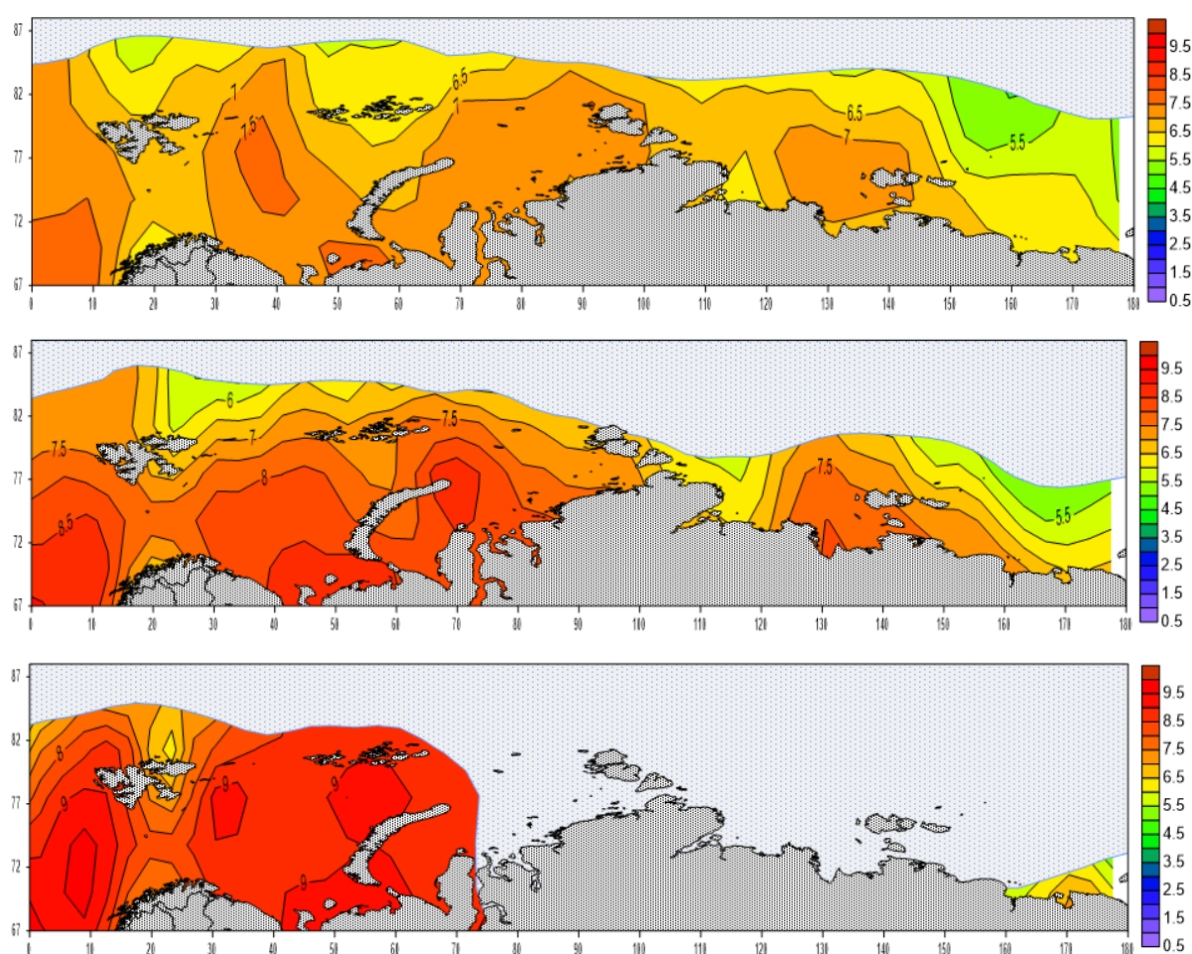


Рисунок 27. Картосхема среднемесячной скорости ветра за осенний период по данным NCDC (сверху вниз сентябрь, октябрь, ноябрь).

В ноябре почти вся часть Восточной Арктики покрывается льдом, скорости ветра значительно увеличиваются и достигают 9 м/с.

Низкие скорости ветра можно наблюдать в районе острова Шпицбергена, достигающие значений 6,5 – 6 м/с.

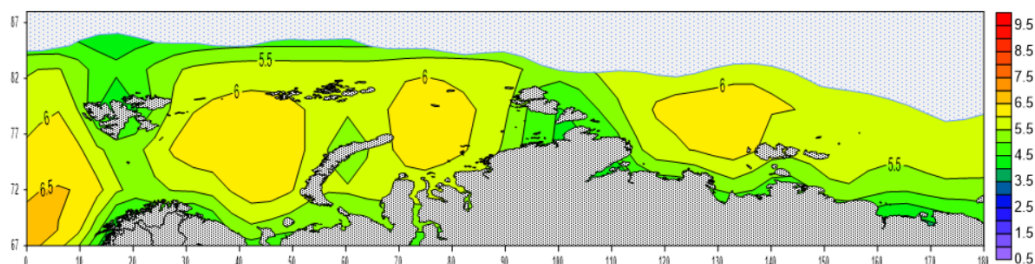
3.3. Сравнение данных реанализа и судовых данных

Результаты реанализа обладают высоким пространственным и временным разрешением, но могут содержать ошибки из-за неточностей в исходных данных.

Судовые данные, по сравнению с реанализом, могут быть более актуальными и надёжными для конкретных районов и периодов времени, а также охватывают большую часть акватории.

Данные, полученные с буёв, обычно отличаются высокой точностью и могут применяться для отслеживания долгосрочных тенденций и краткосрочных изменений. Однако следует учитывать, что буи могут быть подвержены влиянию местных условий и не всегда способны охватить всю акваторию.

Проанализировав два вида данных, можно заметить, что скорость ветра по данным реанализа ERA 5 немного ниже, чем по судовым данным NCDC. Так, например летом по данным реанализа значения скорости ветра составляют от 4,5 до 6 м/с, в то время как по судовым данным в летний период скорость ветра составляет диапазон от 5 до 6,5 м/с.



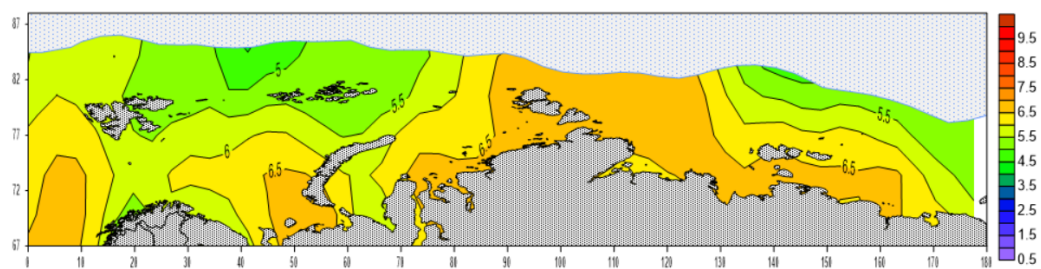


Рисунок 28. Картосхема среднемесячной скорости ветра за месяц август по данным NCDC и ERA5 (сверху реанализ ERA внизу NCDC).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучение ветрового режима в Арктическом регионе имеет важное значение он является одним из ключевых факторов, влияющих на климат. Изучение его особенностей помогает лучше понять климатические процессы и прогнозировать возможные изменения в будущем. В регионе активно используется морской транспорт, и знание о ветрах помогает планировать маршруты и обеспечивать безопасность судов.

Целью данной квалификационной работы являлся анализ ветрового режима в Арктическом регионе за период с 1960 по 2022 г. в Арктическом регионе.

В ходе работы были решены следующие задачи:

- Изучены климатические и физико-географические особенности Арктического региона;
- Подготовлены ветровые массивы судовых метеорологических данных и данных реанализа Российского сектора Арктики в период с 1933 по 2020 года;
- Проанализирована динамика многолетней средней скорости ветра и повторяемости штормовых ветров над отдельными районами Российской Арктики;
- Построены розы ветров по отдельным районам Российской Арктики. Был проведен сравнительный анализ данных реанализа ERA5 и судовых данных (NCDC).

Данные реанализа ERA5, несмотря на наличие в нем определенных ошибок, является эффективным для анализа ветрового режима. Он позволяют детально описать ветровой режим в регионах со сложной топографией. Такая детализация, недоступная для традиционных методов анализа, позволяет

получать более точную картину ветрового режима и его влияния на климат.

При сравнении данных реанализа и судовых наблюдений выявляются некоторые различия, которые в основном обусловлены различными методами осреднения данных.

Судовые наблюдения, как правило, проводятся в более короткие временные интервалы, чем реанализ, что может приводить к несоответствиям в средних значениях.

Однако, важно понимать особенности реанализа и правильно использовать его данные в сочетании с другими источниками информации.

Знание о ветровых условиях необходимо для проектирования и строительства объектов, а также для обеспечения безопасности и эффективности их работы. Так же ветер влияет на распространение загрязняющих веществ и других экологических факторов. Знание ветрового режима позволяет оценить риски и разработать меры по их снижению.

Изучение ветрового режима Арктического региона является важным шагом для понимания климатических процессов, обеспечения безопасности и развития инфраструктуры, а также проведения научных исследований.

Список использованных источников

1. . Сериков У.С. «История освоения Арктики» — Российский государственный университет нефти и газа им. И.М. Губкина — журнал «История и педагогика естествознания», апрель, 2016
2. Потенциал Восточной арктики как катализатор развития Дальнего Востока С. Н. Леонов, Е. А. Заостровских Институт экономических исследований Дальневосточного отделения РАН (Хабаровск, Российская Федерация) 9 августа 2019 г
3. Международный Арктический форум [Электронный ресурс]/ URL: <https://forumarctica.ru/>
4. Мартынов В.Л. Безопасность в Арктике. Арктика. XXI век. Гуманитарные науки. – 2018. - №2 – С. 4-17.
5. Российская Арктика: Пространство. Время. Ресурсы». 2019) Суркова Г.В.
6. Голубкин П.А., Кудрявцев В.Н., Шапрон Б. О развитии ветровых волн в арктических морях по данным измерений альтиметра ALTIKA. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2017.
7. Нестеров Е.С. Полярные циклоны: наблюдения, реанализ, моделирование. Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2020.
8. Обзор гидрометеорологических процессов в Северном Ледовитом океане Санкт-Петербург ААНИИ 2011 г.
9. 1. Архив исследовательских данных (RDA). Реанализ ERA5 (сетка широта-долгота 0,25 градуса). [Электронный ресурс]/ URL: <https://rda.ucar.edu/datasets/ds633.0/>
10. Национальные центры экологической информации. [Электронный ресурс] /URL: <https://www.ncei.noaa.gov/data/marine/icoads3.0/enhanced-trim/>

11. Арктические полярные станции [Электронный ресурс]/ URL:
[https://ru.ruwiki.ru/wiki/Список_арктических_полярных_станций#
Арктические_полярные_станции_России_на_карте](https://ru.ruwiki.ru/wiki/Список_арктических_полярных_станций#Арктические_полярные_станции_России_на_карте)
12. Степанов В.В. Полярные фронтальные и арктические циклоны в поле облачности. — СПб: ААНИИ, 2022. — 136 с.
13. Климат Арктики [Электронный ресурс]/ URL:
https://en.wikipedia.org/wiki/Climate_of_the_Arctic

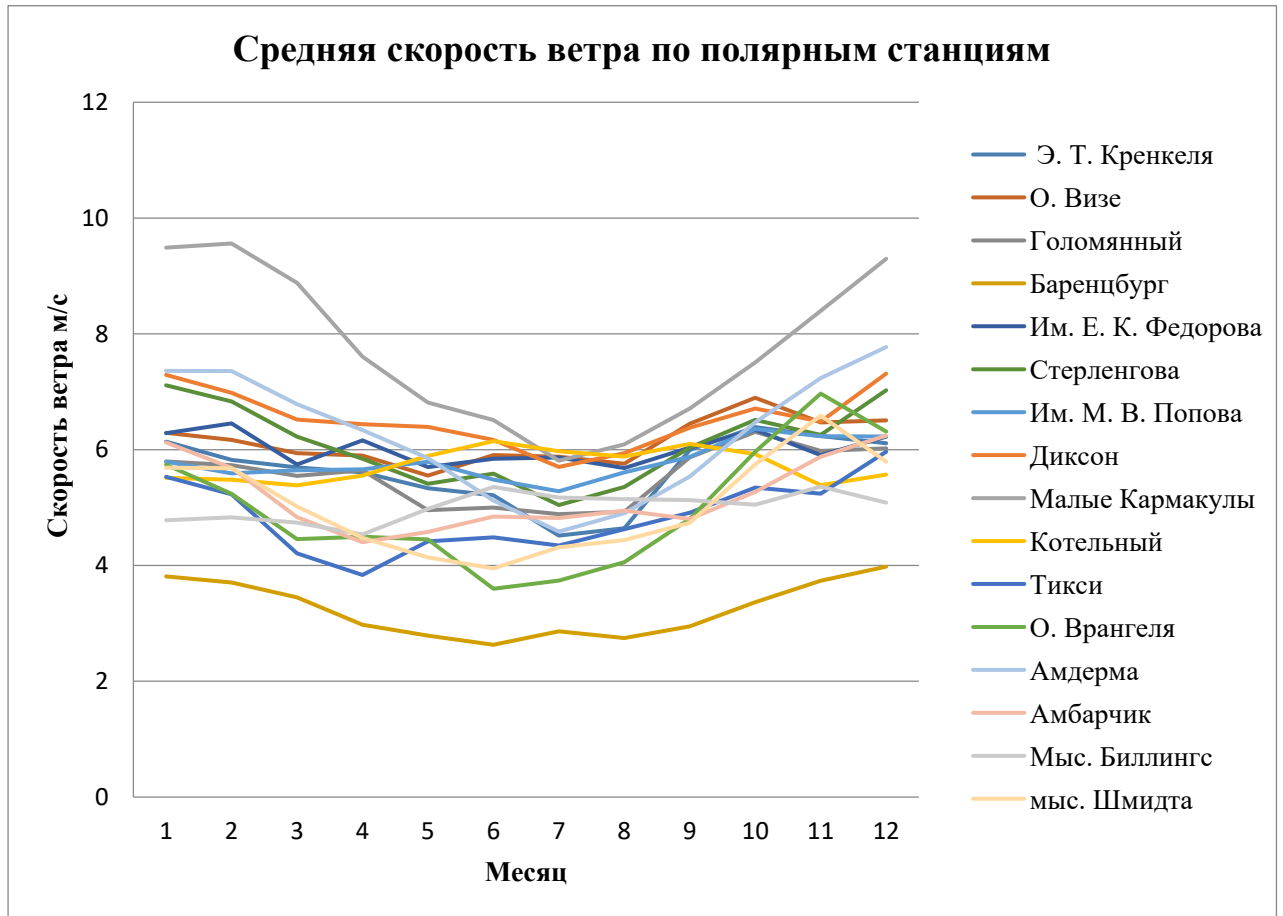


Рисунок 1. Среднемесячная скорость ветра на полярных станциях.

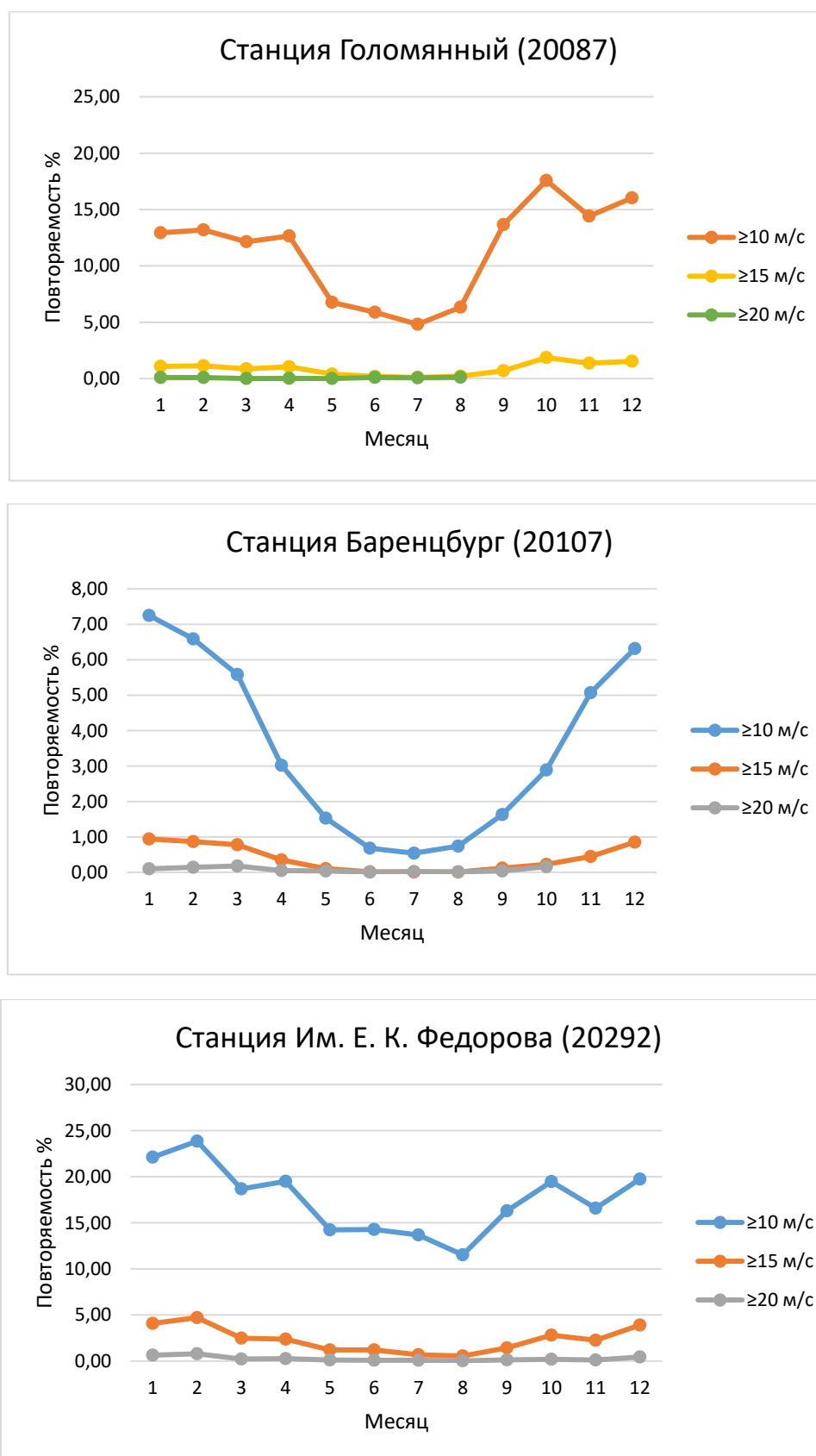


Рисунок 1. Повторяемость скорости ветра 10, 15, 20 м/с и более полярным станциям.

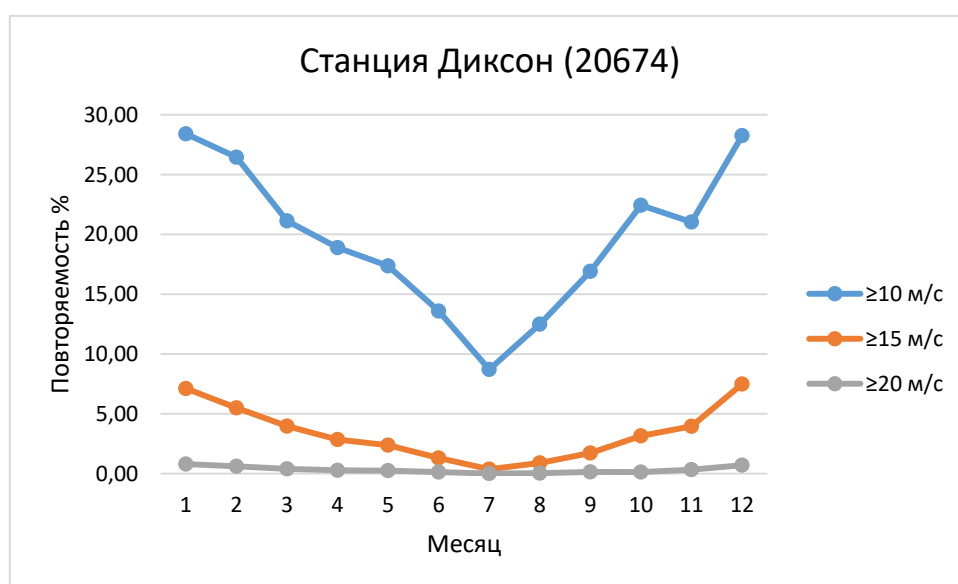
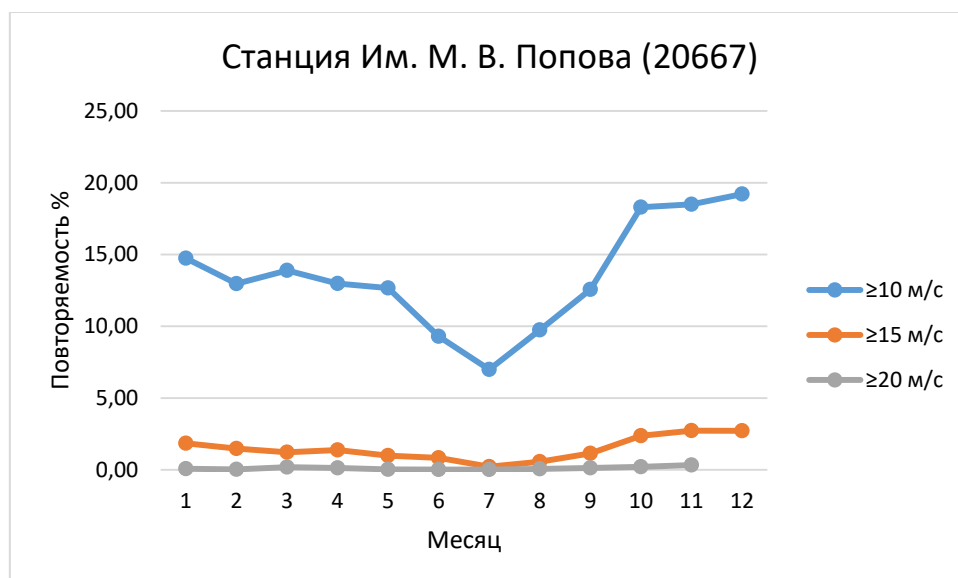
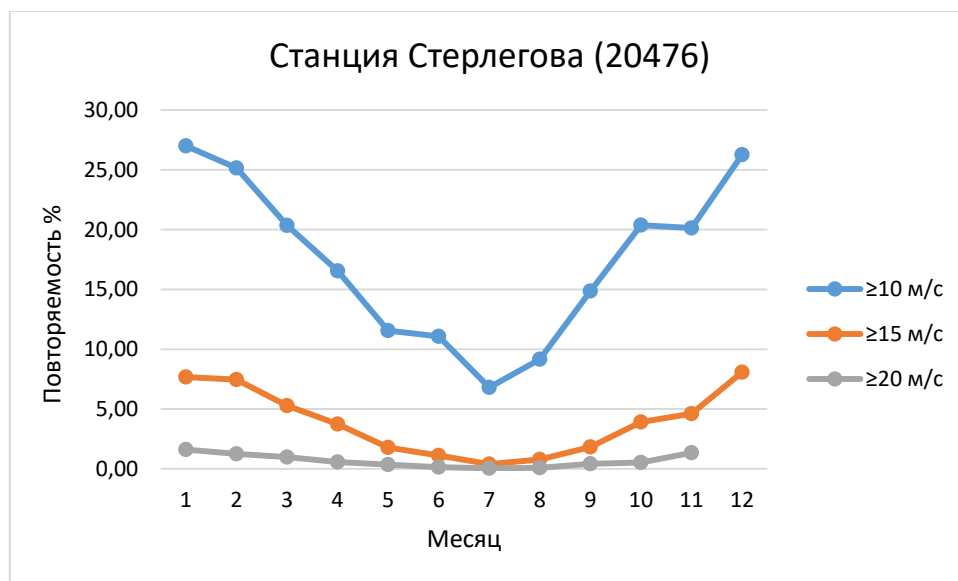


Рисунок 2. Повторяемость скорости ветра 10, 15, 20 м/с и более по полярным станциям.

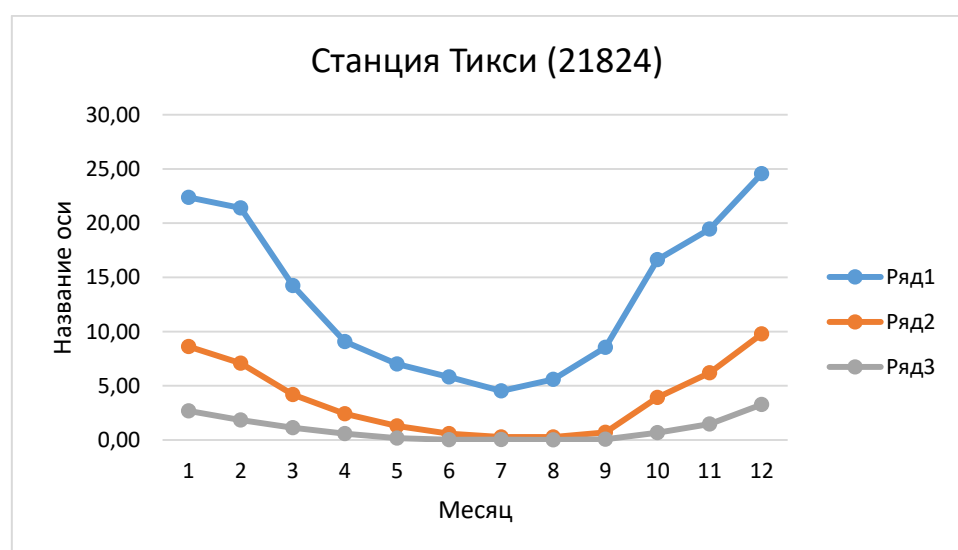
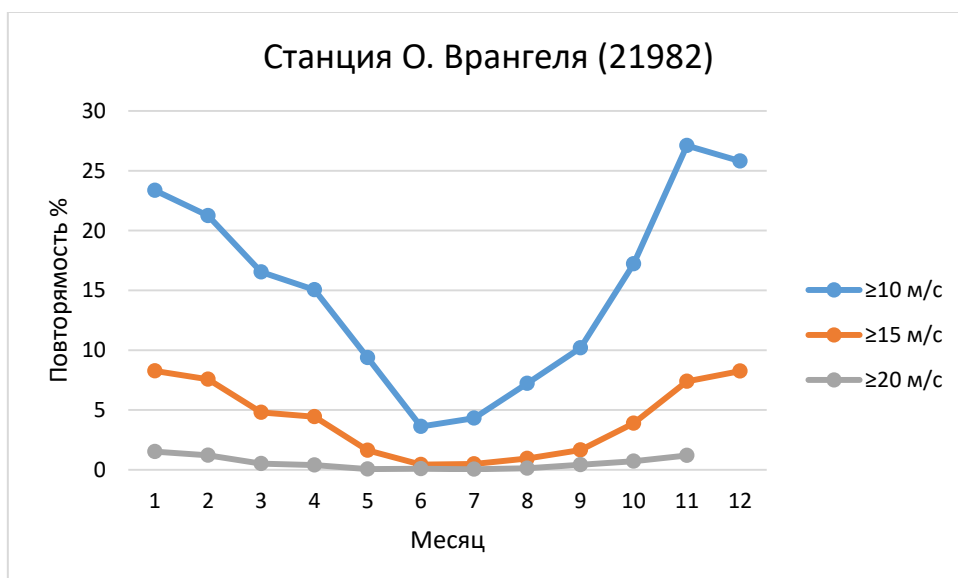
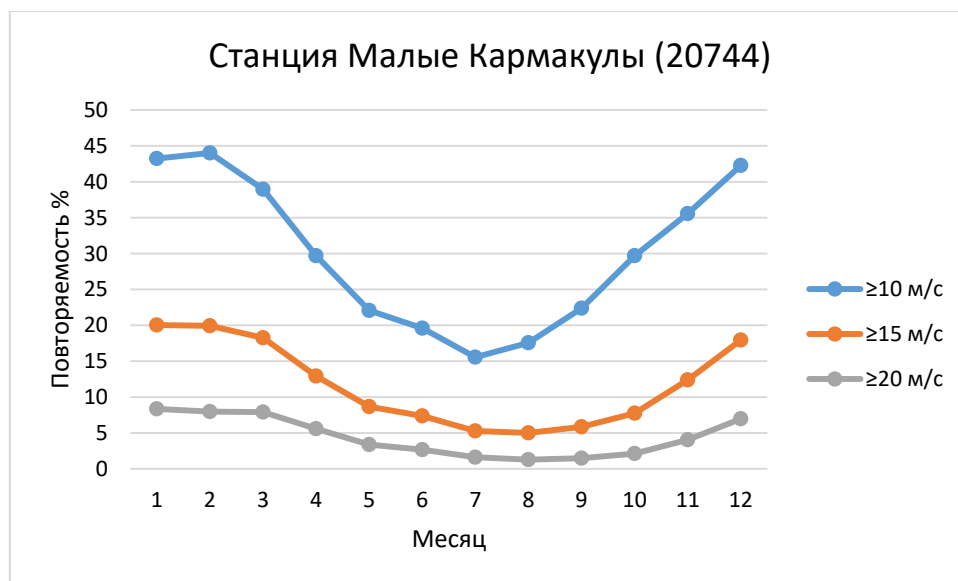


Рисунок 3. Повторяемость скорости ветра 10, 15, 20 м/с и более по полярным станциям.

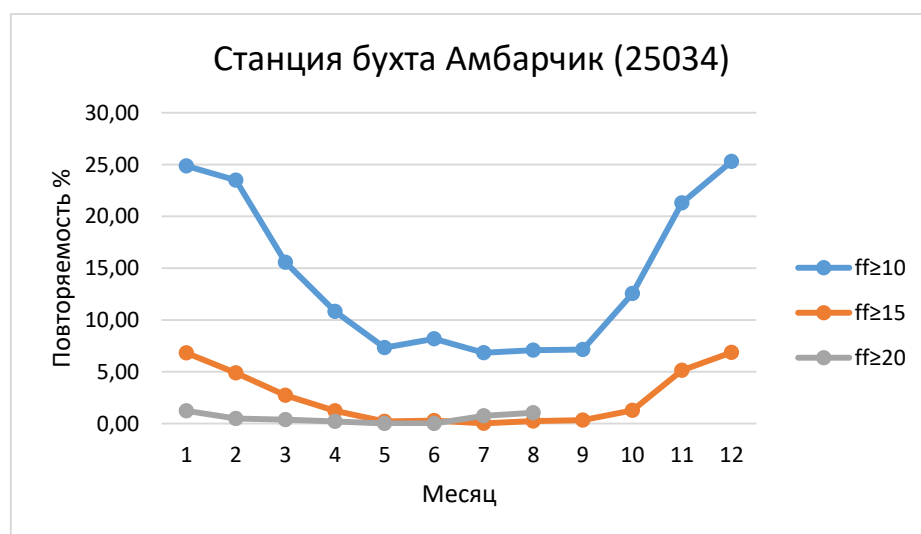
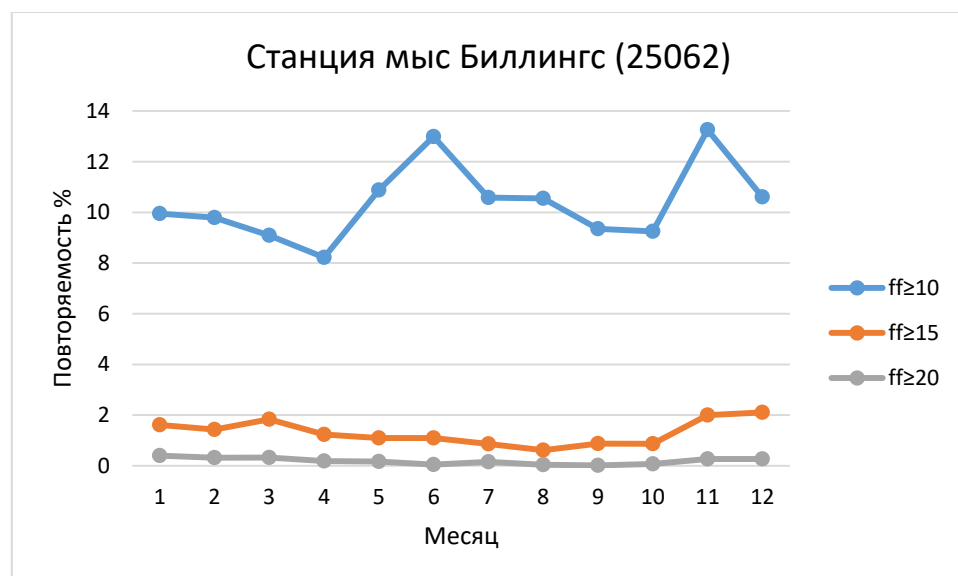
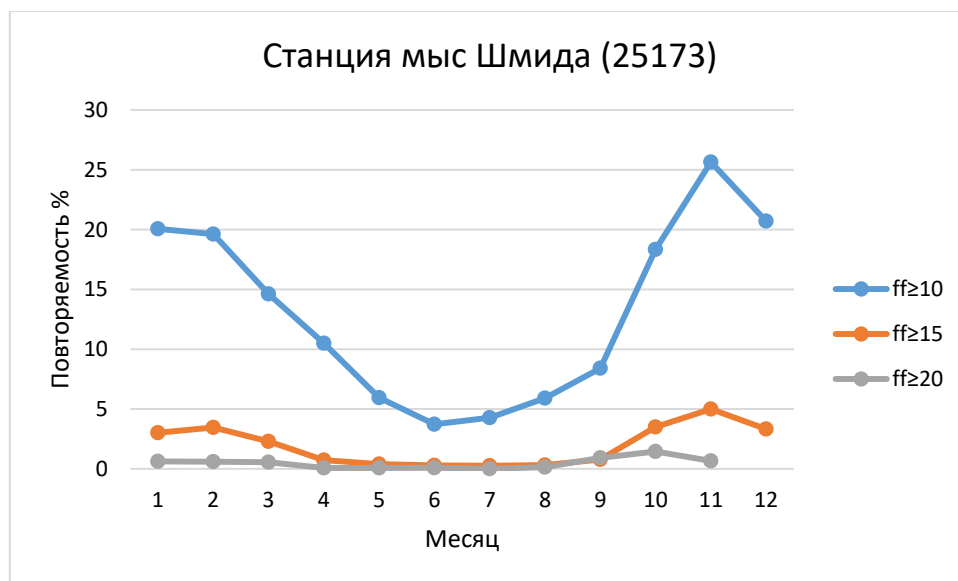


Рисунок 4. Повторяемость скорости ветра 10, 15, 20 м/с и более по полярным станциям.

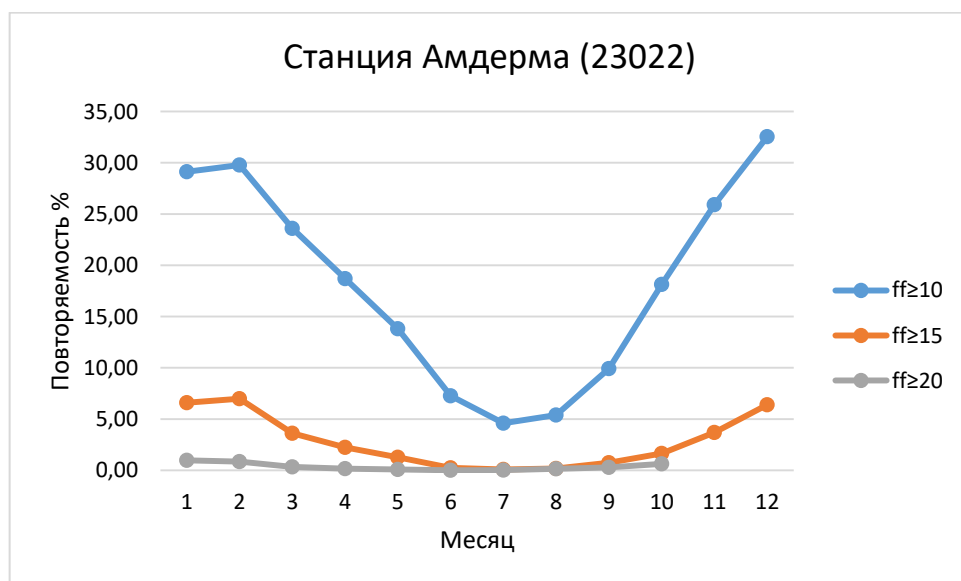
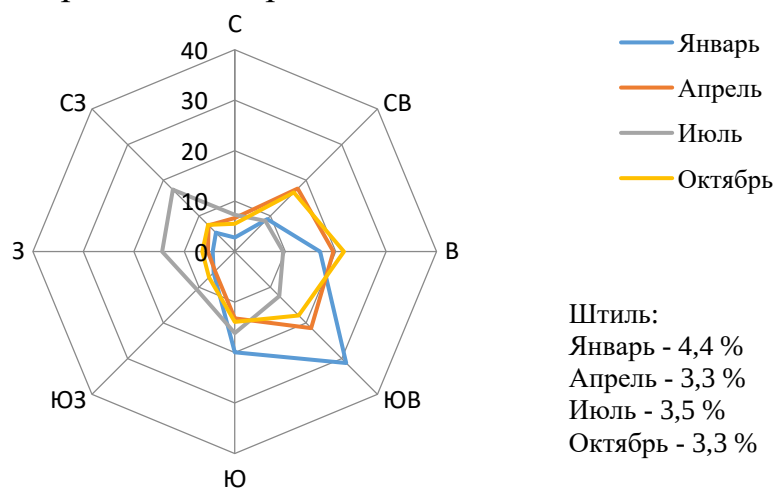
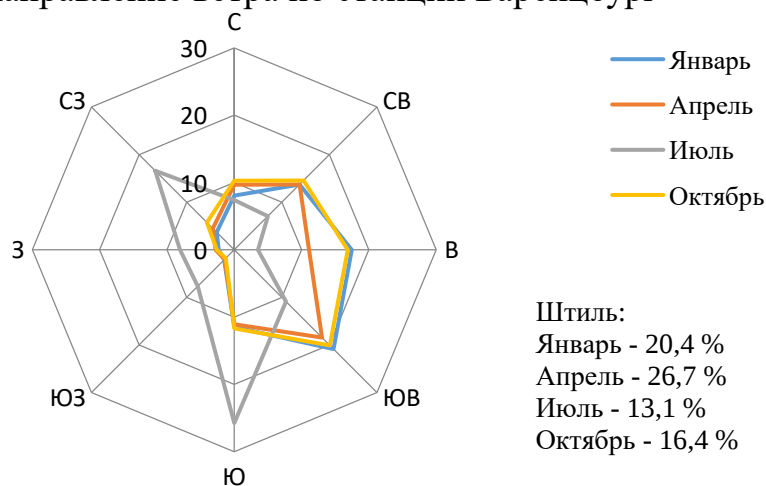


Рисунок 5. Повторяемость штормового ветра станция Амдерма.

Направление ветра по станции Голомянный



Направление ветра по станции Баренцбург



Направление ветра по станции Котельный

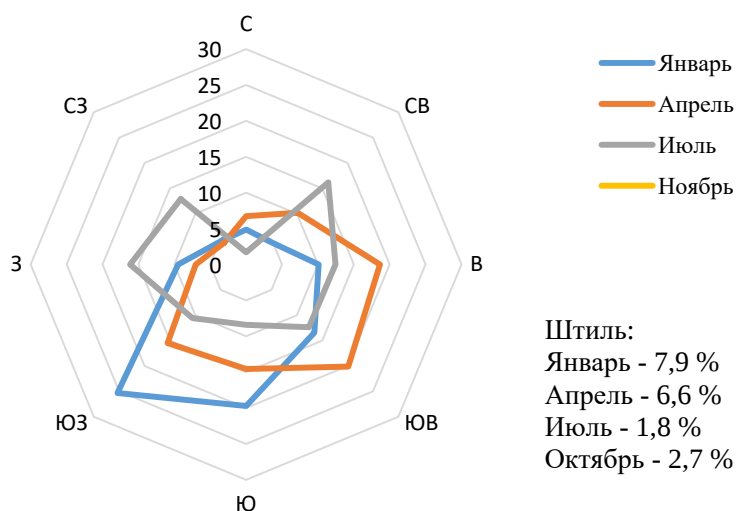
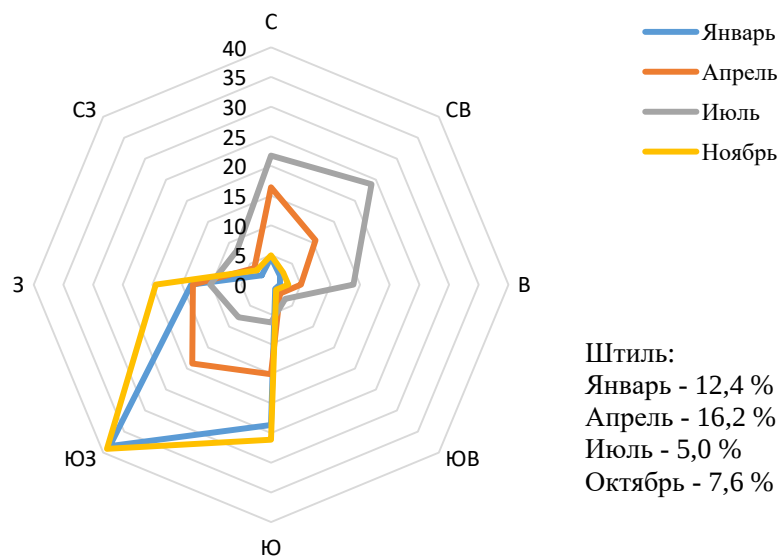
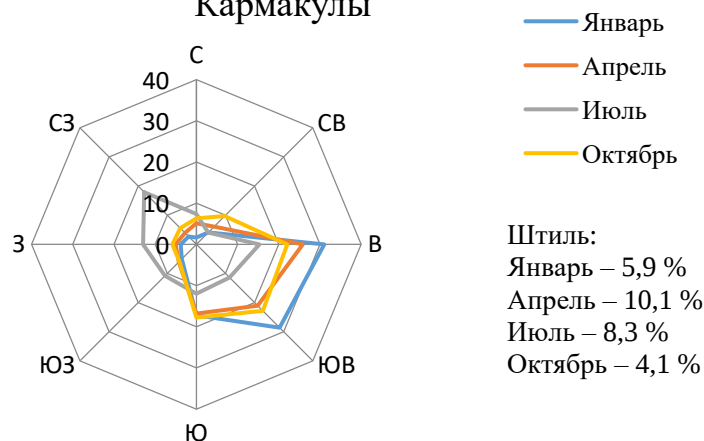


Рисунок 1. Роза направления ветров на полярных станциях.

Направление ветра по станции Тикси



Направление ветра по станции Малые Кармакулы



Направление ветра по станции мыс Биллингса

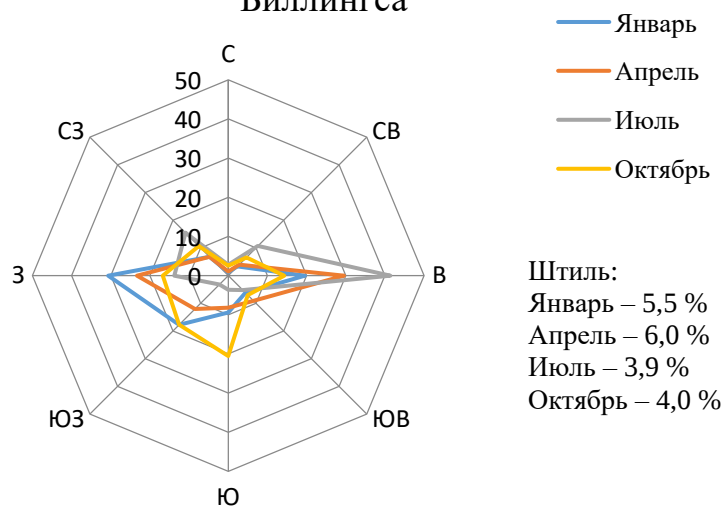


Рисунок 2. Роза направления ветров по полярным станциям.