



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)

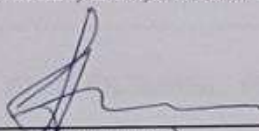
На тему: «Опасные явления погоды в Российской Арктике по данным береговых станций»

Исполнитель Кашкин Виктор Дмитриевич
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель доцент
(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)

« 09 » июня 2025 г.

Санкт-Петербург
2025

Содержание

Оглавление	
Содержание	1
Введение	3
Глава 1. Научные основы изучения опасных метеорологических явлений в Арктике.....	5
1.1.Физико-географические и синоптические особенности Арктической зоны РФ	5
1.1.1.Климатическая характеристика и синоптические процессы	5
1.1.2.Роль Северного Ледовитого океана в формировании опасных явлений	11
1.2.Классификация опасных метеорологических явлений в Арктике	14
1.2.1.Общепринятые критерии опасных явлений	15
1.2.2.Особенности арктических ОЯ: Роль местных ветров и синоптических процессов[14].....	Ошибка! Закладка не определена.
1.2.3.Влияние климатических изменений на классификацию.....	Ошибка! Закладка не определена.
1.2.4.Сравнение с другими регионами	24
Глава 2. Обработка и анализ архивных данных по опасным явлениям Российской Арктики	26
2.1. Территория исследования.....	Ошибка! Закладка не определена.
2.2. Синоптический анализ.....	42
Вывод	45
Источники	47

Введение

Прибрежные зоны Российской Арктики являются уникальным объектом для метеорологических исследований благодаря различным климатическим условиям, формирующимся в результате взаимодействия морского и континентального климата. В этих регионах наблюдаются разнообразные метеорологические явления, такие как сильные ветры, туманы и метели, а также ускоренное таяние морского льда, что существенно влияет на местные экосистемы и жизнь населенных пунктов. Изучение метеорологических процессов в арктических прибрежных зонах имеет критическое значение для оценки рисков, связанных с экстремальными погодными условиями, и разработки стратегий адаптации к изменениям климата, что особенно актуально в условиях роста интереса к этому региону

Целью данной работы является исследование опасных явлений погоды в Российской Арктике (от Баренцбурга до Уэлена) на основе анализа данных метеостанций за последние 40 лет, с акцентом на их повторяемость, тенденцию и количество. В рамках исследования будут проанализированы опасные явления погоды, характерные для Российской Арктики (например, метели, сильные дожди, сильные снега, сильные туманы и сильные ветра).

Актуальность темы обусловлена необходимостью разработки устойчивых стратегий управления рисками, связанными с погодными факторами, с учётом физико-географического контекста данной территории. Понимание механизмов возникновения опасных метеорологических явлений в Арктике может помочь в разработке более эффективных систем оповещения и подготовки регионов к возможным катастрофам, что особенно важно в условиях глобального изменения климата.

В ходе дипломной работы будет проведён глубокий анализ опасных явлений погоды, их повторяемости по станциям российской Арктики. Результаты данного исследования могут быть полезны как для метеорологов и исследователей, так и

для органов власти и организаций, осуществляющих деятельность в арктическом регионе.

Задачи:

1. Сформировать массив данных срочных наблюдений по 26 прибрежным и островным станциям Российской Арктики.
2. Проанализировать годовой ход опасных явлений, распределение по годам и пространственное распределение по региону.
3. Проанализировать изменчивость количества опасных явлений за исследуемый период.
4. Рассмотреть синоптические ситуации при выпадении сильного снега на станциях Российской Арктики

Глава 1. Опасные метеорологические явления в Российской Арктике

1.1. Физико-географические и синоптические особенности Арктической зоны РФ

1.1.1. Климатическая характеристика и синоптические процессы

Арктическая зона Российской Федерации (АЗРФ), простирающаяся на тысячи километров от архипелага Шпицберген (Баренцбург) на западе до мыса Дежнёва (Уэлен) на востоке, представляет собой уникальный и крайне сложный для метеорологических исследований регион [8]. Ключевая особенность АЗРФ – интенсивное взаимодействие континентальных массивов суши Евразии и акваторий Северного Ледовитого океана, обрамленных окраинными морями (Баренцево, Карское, Лаптевых, Восточно-Сибирское, Чукотское). Это взаимодействие является главным фактором при формировании экстремальных и зачастую опасных погодных условий, характерных для прибрежных зон. Климат АЗРФ формируется под влиянием трех фундаментальных групп факторов:

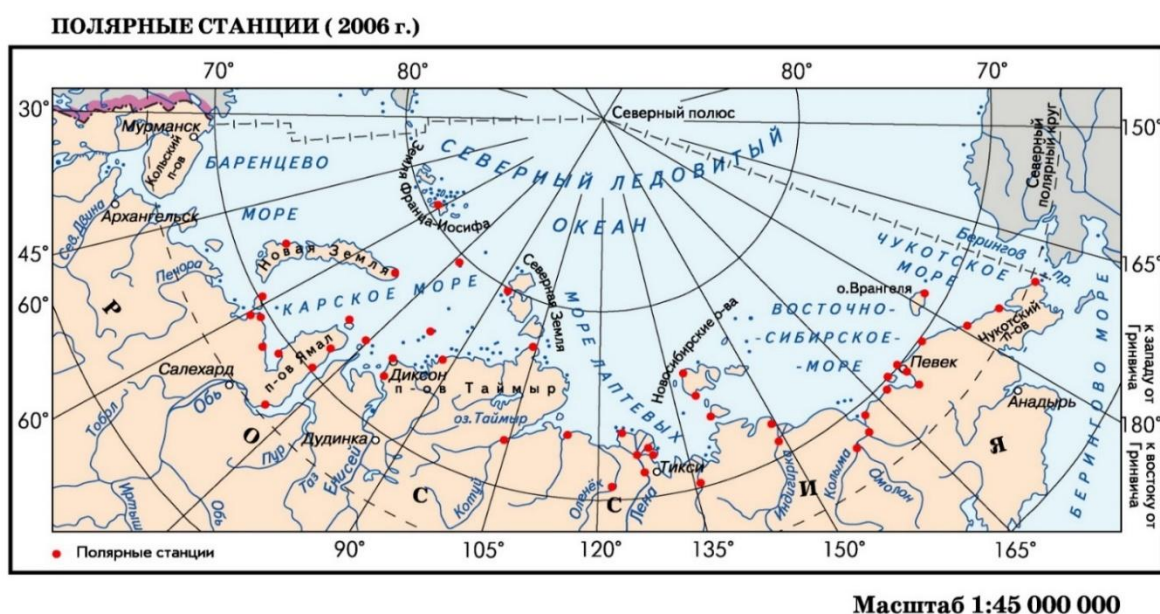


Рисунок 1. Карта полярных станций.

1. Радиационный баланс

Географическое положение к северу от Полярного круга определяет крайне малый угол падения солнечной радиации даже в период полярного дня. Это резко снижает количество приходящей солнечной энергии на единицу поверхности.

Снежный и ледовый покров, сохраняющийся большую часть года, обладает очень высокой отражательной способностью (альбедо 80-90%). Это означает, что подавляющая часть и без того скудной приходящей солнечной радиации отражается обратно в атмосферу, не участвуя в нагреве поверхности.

В течение длительного периода (от нескольких недель до месяцев в зависимости от широты) Солнце вообще не восходит над горизонтом. Радиационный баланс в это время резко отрицательный – поверхность теряет тепло за счет эффективного длинноволнового излучения.

Таким образом, годовой радиационный баланс на большей части АЗРФ отрицательный. Это фундаментальное свойство делает Арктику "холодильником" Северного полушария и предопределяет господство низких температур, наличие многолетней мерзлоты и формирование устойчивого антициклонального режима зимой.

2. Атмосферная циркуляция

Западный перенос умеренных широт - наиболее активный процесс, особенно в холодный период. Атлантические циклоны, зарождающиеся в районе Исландии и Норвежского моря, смещаются вдоль арктического фронта на восток и северо-восток. Их траектория часто проходит над Баренцевым и Карским морями. Эти циклоны являются основными "поставщиками" тепла, влаги, облачности и осадков в западную и центральную части АЗРФ, а также главными генераторами штормовых ветров и метелей.

Зимой над охлажденным континентом Сибири формируется мощная область высокого давления – Сибирский антициклон. Его отроги распространяются далеко на север, охватывая восточные сектора Арктики (моря Лаптевых, Восточно-Сибирское, Чукотское). Этот антициклон является

источником чрезвычайно холодного, сухого и плотного арктического воздуха. Его взаимодействие с атлантическими циклонами на западе создает резкие барические градиенты – ключевую причину сильнейших ветров.

Летом над центральной Арктикой (ближе к канадскому сектору) формируется область повышенного давления. Он слабее зимних антициклонов, но определяет преобладание относительно холодной и малооблачной погоды с частыми радиационными туманами над освобождающимися ото льда акваториями.

На востоке АЗРФ (Чукотка) ощущается влияние циклонов, приходящих с Тихого океана (Алеутская депрессия) летом и в переходные сезоны. Они приносят облачность, осадки (дождь, снег) и усиление ветра.

Стоковые ветры (катабатические) делают важный локальный эффект. Холодный плотный воздух, скапливающийся над ледниковыми щитами (Гренландия, Земля Франца-Иосифа, Северная Земля) и высокими плато континентальной Сибири и Чукотки, под действием силы тяжести стекает вниз по склонам к побережью. Это явление особенно выражено в районах с пересеченным рельефом (Диксон, Певек, Тикси) и в условиях антициклональной погоды. Стоковые ветры часто достигают штормовой и ураганной силы (15-40 м/с и более), особенно в узких фьордах и проливах.

3. Подстилающая поверхность: Лед, вода, суша

Сезонная динамика морского ледяного покрова — это ключевой фактор, определяющий тепло- и влагообмен между океаном и атмосферой, а также существенно влияющий на атмосферную циркуляцию.

Сплошной ледяной покров с высокой отражательной способностью (альбедо) действует как "крышка", резко ограничивая поток тепла и влаги из океана в атмосферу. Поверхность работает как суша, способствуя радиационному выхолаживанию и усилению антициклонов.

Таяние льда, особенно в последние десятилетия происходящее все более интенсивно и на больших площадях, обнажает темную поверхность океана

(низкое альbedo). Океан активно поглощает солнечную радиацию, накапливает тепло и становится мощным источником тепла и влаги (испарения) для атмосферы.

Это приводит к:

- Усилению циклогенеза над открытой водой (особенно в Баренцевом и Карском морях).
- Увеличению облачности и осадков.
- Формированию продолжительных и плотных туманов над холодными водами рядом с кромкой льда или при выносе теплого влажного воздуха над ними.
- Задержке формирования устойчивого снежного покрова на суше осенью и более раннему его сходу весной.

Практически вся территория АЗРФ расположена в зоне сплошной или прерывистой многолетней мерзлоты. **Это оказывает влияние:**

- На термический режим приземного слоя (низкая теплопроводность мерзлых пород).
- На формирование специфических микроклиматов (например, в долинах рек).
- На уязвимость инфраструктуры к изменениям температурного режима и осадкам, особенно к летним дождям, способным вызвать термоэрозию и просадки грунта.

Рельеф прибрежной зоны АЗРФ разнообразен, от низменных заболоченных равнин (Ямал, Гыдан) до горных хребтов (Полярный Урал, горы Бырранга, Чукотское нагорье). **Рельеф существенно влияет на:**

- Усиление ветра на наветренных склонах, в проливах и долинах (орографическое ускорение), формирование подветренных "теней" с ослабленным ветром. Стоковые ветры.
- Наветренные склоны получают больше осадков.

- В межгорных котловинах и долинах зимой застаивается холодный воздух, формируя сильнейшие приземные инверсии температуры (до 25-30°C на 100 м высоты) и очаги экстремальных морозов (Оймякон, Верхоянск – хотя они южнее, механизм аналогичен).

Ключевые синоптические процессы, провоцирующие опасные явления

Глубокие циклоны атлантического происхождения. Зарождаясь в зоне активного циклогенеза к югу от Исландии ("Исландский минимум"), циклоны смещаются на северо-восток вдоль арктического фронта. Над относительно теплыми (вследствие влияния остаточного тепла Гольфстрима) и все чаще безлёдными водами западных арктических морей (Баренцево, юг Карского) они получают мощную подпитку теплом и влагой за счет усиленного испарения с открытой воды. Это приводит к их углублению (давление в центре часто падает ниже 970 гПа, а в особо мощных случаях – до 950 гПа и ниже, как в циклоне "Арктик-2021").

Ураганные ветры (25-40 м/с и более), обусловлены огромными перепадами давления (барическими градиентами) между глубоким циклоном и континентальным антициклоном. Особенно сильны в теплых секторах циклонов и на их тыловых фронтах.

Интенсивный снегопад в сочетании с сильным ветром приводит к общим метелям с видимостью менее 500 м, часто продолжительным (12-24 часа и более).

При адвекции теплого морского воздуха в теплом секторе циклона температура может подниматься значительно выше 0°C даже зимой. Осадки выпадают в виде дождя, мокрого снега или ледяного дождя, приводя к образованию гололеда на поверхностях, охлажденных предшествующими морозами.

Стационарирование и усиление Сибирского антициклона. Мощный очаг холода над Центральной и Восточной Сибирью в зимние месяцы формирует

обширную область высокого давления (1020-1050 гПа). Его западная периферия взаимодействует с атлантическими циклонами, а восточная и северная периферии определяют погоду в восточной Арктике.

Перепад давления между антициклоном над материком и относительно низким давлением над еще не полностью замерзшими морями восточной Арктики провоцирует мощные кatabатические потоки холодного воздуха к побережью (Певек, Тикси, Остров Врангеля).

Сильный ветер при отсутствии осадков поднимает и переносит ранее выпавший снег, создавая поземки и низовые метели с видимостью менее 500 м. Особенно характерны для открытых равнинных побережий (Тикси, побережье моря Лаптевых).

Арктика – зона контрастов. Здесь сталкиваются:

- Морской арктический воздух (холодный, относительно влажный).
- Континентальный арктический воздух (очень холодный, сухой).
- Морской полярный воздух (умеренный, влажный, приносимый циклонами с Атлантики).
- Континентальный полярный воздух (холодный зимой, теплый летом, сухой).

Границы между этими массами – атмосферные фронты (арктический, полярный), они являются зонами максимальной синоптической активности, особенно при прохождении фронтов, особенно холодных.

Снегопады (зимой), дожди (летом), смешанные осадки (переходные сезоны), все эти явления сопровождаются ухудшением видимости. Также, при прохождении фронтов наблюдается резкая разница температур, адвекция тепла перед теплым фронтом, резкое похолодание за холодным фронтом. При выносе очень холодного воздуха с континента или льдов над относительно теплой открытую воду (ранней осенью или поздней весной) образуются туманы испарения. [14]

1.1.2. Роль Северного Ледовитого океана в формировании опасных явлений

Северный Ледовитый океан (СЛО) – не просто фон для арктической погоды; это ее ключевой фактор. Его взаимодействие с атмосферой, особенно в условиях стремительно меняющегося климата, является определяющим фактором для возникновения, интенсивности и характера опасных метеорологических явлений (ОЯ) в прибрежных зонах Российской Арктики.

Роль СЛО проявляется через несколько фундаментальных процессов:

1. Регулятор теплового баланса и источник/сток тепла. Ледяной покров как теплоизолятор (Зима/Весна). Сплошной, многолетний лед с высоким альбедо (70-90%) и низкой теплопроводностью эффективно изолирует относительно теплые ($+0.5^{\circ}\text{C} \dots -1.8^{\circ}\text{C}$) океанические воды от холодной арктической атмосферы. Поток теплового (температурного) скрытого (парообразование) тепла из океана в атмосферу минимален.

Это способствует усилению радиационного выхолаживания поверхности, а так же формированию и поддержанию мощных приземных инверсий температуры и ещё стабилизации атмосферы, подавлению конвекции и развитию антициклональных условий (Арктический/Сибирский максимум).

Открытая вода как источник тепла и влаги (Лето/Осень): Сокращение площади и толщины льда, особенно ярко выраженное в последние два десятилетия, обнажает темную поверхность океана (альбедо 5-10%). СЛО активно поглощает солнечную радиацию (до 90% проникает в верхний слой воды). Накопленное за лето тепло (температура поверхности моря (ТПМ) в безледных районах может достигать $+5^{\circ}\text{C} \dots +10^{\circ}\text{C}$ в западных морях) затем постепенно отдается атмосфере в осенне-зимний период.

Это приводит к значительному увеличению потоков явного и скрытого тепла (до $100\text{--}300 \text{ Вт/м}^2$ и более над полыньями и открытой водой по сравнению с $<10 \text{ Вт/м}^2$ над льдом), увеличению интенсивности испарения с поверхности океана, повышая влагосодержание приземного слоя воздуха, снижению

стабильности атмосферы над открытой водой, создавая условия для развития конвекции и усиления турбулентного обмена.

2. Источник влаги для атмосферных процессов:

Испарение с поверхности открытой воды или тонкого молодого льда является основным источником влаги для атмосферы в Арктике, особенно в холодный период, когда транспирация с суши отсутствует, а адвекция влаги с юга ограничена.

Эта влага питает циклоны, усиливает фронтальные системы атлантических и местных арктических циклонов, приводя к увеличению интенсивности и количества осадков (снег, мокрый снег, дождь).

Формирует облачность, повышенная влажность способствует образованию мощной слоисто-кучевой и кучево-дождевой облачности, влияющей на радиационный баланс (уменьшение выхолаживания ночью, но и снижение прогрева днем).

Создает туманы, является необходимым условием для формирования адвективных туманов и туманов испарения над холодной водой или при контакте теплого влажного воздуха с холодной поверхностью.

3. Влияние на барическое поле, контраст температур между относительно теплой (из-за отсутствия льда или тонкого льда) поверхностью моря и холодным континентом или ледниковыми щитами (Гренландия) создает горизонтальные градиенты температуры. Это генерирует термические ветры и способствует усилению барических градиентов между циклонами над океаном и антициклонами над сушей, что является прямой причиной усиления ветров.

Усиление (глубина) и учащение циклонов, тепло и влага, поставляемые открытым океаном, являются "топливом" для циклонов. Циклоны, проходящие над безледными или малоледовитыми акваториями (Баренцево, Карское, Чукотское моря), получают дополнительную энергию и углубляются гораздо сильнее, чем над льдом. Это приводит к увеличению повторяемости и интенсивности штормов.

Изменение траекторий циклонов, сокращение ледового покрова позволяет циклонам проникать дальше на север и восток, в районы, ранее для них малодоступные, принося туда несвойственные ранее ОЯ (сильные дожди, оттепели).

4. Источник специфических опасных явлений:

Адвективные туманы при выносе относительно теплого и влажного воздуха (чаще всего атлантического происхождения) на холодную поверхность открытой воды или кромку льда. Характерны для лета и начала осени. Отличаются большой пространственной протяженностью, высокой плотностью и продолжительностью. Пример: Летние туманы в Тикси, Певеке над морями Лаптевых и Восточно-Сибирским.

Туманы испарения: При выносе очень холодного сухого воздуха (из Сибирского антициклона или с ледников) на относительно теплую ($+1^{\circ}\text{C} \dots +3^{\circ}\text{C}$) открытую воду (полюньи, акватории с поздним замерзанием). Интенсивное испарение в холодный воздух быстро насыщает его, приводя к образованию "парения моря" и густого тумана. Характерны для осени и начала зимы. Особенно опасны при сочетании с ветром (ухудшение видимости до нуля). Пример: Туман над Великой Сибирской полюньей в Карском море при северо-восточных ветрах.

Позднеосенние/раннезимние штормы и гололед: Открытая вода осенью продлевает сезон активности циклонов. Адвекция теплого влажного воздуха с океана на охлажденное побережье или на уже лежащий снег приводит к выпадению осадков в виде переохлажденного дождя, ледяного дождя или мокрого снега, вызывая гололед и гололедицу. Пример: Ноябрьские гололедные события в Мурманске и Архангельске (2016, 2021 гг.).

Усиление прибрежных ветров, контраст температур между относительно теплой осенней/раннезимней поверхностью моря (еще без льда или с тонким льдом) и быстро охлаждающейся сушей создает или усиливает бризовую циркуляцию. Дневной морской бриз может усиливать общий ветровой поток на побережье.

Современные изменения и их влияние на ОЯ:

Беспрецедентное сокращение площади и толщины морского льда данные спутникового мониторинга (NSIDC, ААНИИ) показывают, что происходит постоянное уменьшение сентябрьского минимума площади льда ($\approx -13\%$ за десятилетие с 1979 г.), резкое сокращение площади многолетнего (пакового) льда, замещаемого сезонным (тонким и хрупким), значительное увеличение продолжительности безледного периода, особенно в Баренцевом, Карском, Чукотском морях (на 1-2 месяца и более за последние 30-40 лет).

Это сокращение оказывает влияние на частоту и интенсивность штормов, открытая вода поставяет больше тепла и влаги циклонам, увеличивая барические градиенты и глубину циклонов. Пример: Циклон "Арктик-2021" (давление до 950 гПа) над аномально теплыми водами Баренцева и Карского морей. Так же это приводит к возрастанию частоты и площади туманных явлений, увеличение площади открытой воды и полыней создает больше условий для адвективных туманов и туманов испарения. Пример: Рост числа дней с туманом летом в Тикси и Певеке. В том числе растёт интенсивность осадков, увеличение влаги в атмосфере способствует появлению более сильных снегопадов зимой и ливней летом/осенью. Пример: Увеличение суточных сумм осадков на станциях западной и восточной Арктики. Таким образом изменяется тип осадков, учащаются зимние дожди и ледяные дожди в районах, где ранее доминировал снег. Так же усиливаются прибрежные ветра, увеличение термического контраста между сушей и открытой водой осенью и весной способствует усилению бризовой циркуляции и стоковых ветров. По итогу ОЯ появляются на новых территориях, циклоны проникают дальше на север и восток, принося штормы, оттепели и сильные осадки в районы, ранее защищенные льдом. [10]

1.2. Классификация опасных метеорологических явлений в Арктике

Опасные метеорологические явления (ОЯ) в Арктике отличаются особенностями, обусловленными экстремальными климатическими условиями, иногда высокой повторяемостью и периодически комплексным воздействием на природные и антропогенные системы. Классификация ОЯ базируется на критериях Росгидромета и Всемирной метеорологической организации (ВМО), адаптированных для арктических регионов.

1.2.1. Общепринятые критерии опасных явлений

Для Арктической зоны РФ ключевыми критериями опасности являются:

- Интенсивность явления
- Продолжительность (метель, длящаяся более 12 часов).
- Совокупность факторов
- Ущерб инфраструктуре или угроза жизни

В таблице 1.2 Приведен перечень и критерии ОЯ, использованных в работе, по побережью Российской Арктики сформированной на основе типового перечня ОЯ согласно наставлению по краткосрочным прогнозам погоды [15] и региональных критериев, уточненных местными территориальными управлениями гидрометеорологической службы [9].

Таблица 1.2. Критерии опасных явлений по береговым станциям Российской Арктики [9] для прибрежных районов

Явление	Критерий опасности и регион	Примеры станций с максимальной повторяемостью
Сильный ветер	Средний ветер: $\geq 25 \text{ м/с}$ - общий критерий $\geq 30 \text{ м/с}$ - (побережье НАО, северо-восток Коми) $\geq 35 \text{ м/с}$ - (ЯНАО, Красноярский район)	Малые Кармакулы (до 78 дней/год), Тикси (до 18 дней/год) $> 15 \text{ м/с}$

Явление	Критерий опасности и регион	Примеры станций с максимальной повторяемостью
	≥ 45 м/с - для станции Малые Кармакулы Порывы:	
Метель	Видимость < 500 м, продолжительность ≥ 12 ч	Тикси (68 дней/год), Певек (48 дней/год)
Сильный дождь	≥ 30 мм/12 часов	Салехард (3 случая/год), Дудинка (2 случая/год)
Туман	Видимость ≤ 50 м, продолжительность ≥ 12 ч	Тикси (25 дней/год), Певек (18 дней/год)
Сильный снег	≥ 20 мм осадков за 12 ч	Архангельск (1-2 дня/год)

1.2.2. Местные ветры Арктического региона [14]

Опасные явления погоды (ОЯ) в Российской Арктике формируются под влиянием уникальных синоптических условий и орографии, связанных с взаимодействием атмосферы, криосферы и сложного рельефа. Ключевую роль в формировании ОЯ играют стоковые ветры и орографически усиленные ветровые режимы, которые определяют особенности опасных погодных явлений в арктическом регионе.

Для Арктического региона характерны местные ветры:

Стоковые (катабатические) ветры формируются над ледниковыми щитами (Гренландия, Северная Земля, Земля Франца-Иосифа) и высокими плато континента (Путорана, Чукотское нагорье). Плотный, охлажденный воздух скапливается на возвышенностях и под действием силы тяжести стекает к

побережью. Этот процесс резко усиливается в условиях антициклональной погоды (Сибирский максимум) и при наличии перепадов давления между холодным материком и относительно теплыми (или менее холодными) прибрежными акваториями.

"Южак" (юго-восточный ветер). Этот ветер характерен для восточной Арктики (моря Лаптевых, Восточно-Сибирское, Чукотское). Возникает при выносе холодного воздуха из Якутии и с хребтов Верхоянска/Черского в сторону моря. Усиливается в долинах рек и проливах (пролив Лонга у Певека). Скорости часто 20-30 м/с, порывы до 40-50 м/с. Основной источник низовых метелей и экстремального выхолаживания на побережье.

"Норд" (северный ветер). Норд преобладает в центральной Арктике (п-ов Таймыр, Карское море). Связан со стоком воздуха с плато Путорана и гор Бырранга к побережью (особенно в районе Диксона). Скорости 15-25 м/с, порывы до 35-40 м/с. Часто сочетается с прохождением циклонов над Карским морем, усиливая общие метели.

Новоземельская бора — это сильный приповерхностный порывистый ветер, который может достигать скорости автомобиля — 60 м/с и характерен для зимнего периода времени. Такие ветра возникают при переваливании воздуха через горные хребты. Явление характеризуется усилением скорости ветра, резкими изменениями температуры воздуха и падением давления на подветренной стороне. На Новой Земле бора может приводить как к понижению температуры при северо-восточном ветре с Таймыра, так и к ее повышению, если ветер дует с юго-востока. Несмотря на то, что явление носит локальный характер, оно оказывает влияние на циркуляцию вод в арктическом бассейне. Это происходит за счет увеличения теплопотери моря через его поверхность в окрестностях западного побережья Новой Земли. На архипелаге Новая Земля бору можно наблюдать по радиолокационным космическим снимкам.

Опасные последствия сильного ветра:

- Экстремальные метели. Поднимают огромные массы снега, создавая нулевую видимость ($<50-100\text{ м}$) и глубокие заносы на протяжении многих часов.
- Усиление холода. Резко увеличивают эффективную температуру повышая риск обморожения и выхода из строя техники.
- Механические разрушения: повреждают легкие конструкции, ЛЭП, суда.

Комплексные ОЯ в сочетании с низкой температурой или гололедом создают критические условия

Особенности ОЯ в Арктике неразрывно связаны с особенностями синоптических процессов:

Арктические (полярные) циклоны часто имеют меньшие горизонтальные размеры по сравнению с циклонами умеренных широт, но способны быстро углубляться над открытой водой или полыньями за счет интенсивного потока тепла и влаги с поверхности океана (латентное тепло). Пример: Циклон "Арктик-2021" над Баренцевым морем (давление в центре $\sim 950\text{ гПа}$).

Фронтальная активность на границах воздушных масс. Зоны контакта резко контрастных воздушных масс (морской арктический, континентальный арктический) являются очагами формирования интенсивных фронтов в переходные сезоны (особенно осенью). Прохождение этих фронтов сопровождается: резким усилением ветра (шквалы); интенсивными, но часто кратковременными осадками (снег, мокрый снег); быстрыми изменениями температуры(с прохождением фронта) и видимости(из-за осадков).

Роль температурных контрастов в возникновении ОЯ:

Океан-Лед/Суша: Источник туманов испарения (парения моря) при выносе холодного воздуха над открытой водой.

Материк-Океан (особенно осенью/весной): усиливает бризовую циркуляцию, накладываясь на общий ветровой перенос и увеличивая скорость ветра на побережье.

Воздух-Поверхность: приводит к сильным приземным инверсиям температуры зимой (радиационное выхолаживание) и резкому прогреву приземного слоя летом.

4. Влияние климатических изменений на местные процессы

Стоковые ветра ("Южак", "Норд"): Увеличение контраста "материк-океан" осенью (быстрее остывающая суша, позже замерзающее море) может приводить к росту интенсивности и частоты этих ветров.

Орографическое ускорение: менее подвержено прямому влиянию, но учащение циклонов определенных траекторий может увеличить повторяемость ситуаций с критическими направлениями ветра для горных хребтов и проливов.

Сокращение ледяного покрова ведет к увеличению повторяемости и интенсивности циклонов над открытыми морями (Баренцево, Карское).

Сдвигу траекторий циклонов дальше на север и восток, принося штормовые ветры и осадки в районы, ранее защищенные льдом.

Увеличению частоты и продолжительности туманов (адвективных летом, туманов испарения осенью) над расширяющимися безледными акваториями.

Уникальность опасных явлений в Российской Арктике определяется не только особенными значениями метеопараметров, но и преобладанием процессов связанных с местной орографией, стоком холодного воздуха и взаимодействием на границе "океан-лед-суша". Стоковые и кatabатические ветры ("Южак", "Норд") и орографические усиленные потоки являются ключевыми источниками наиболее разрушительных и продолжительных ОЯ – метелей, сильного ветра. Их влияние многократно усиливается на фоне особенностей синоптики Арктики (быстро

углубляющиеся циклоны, активные фронты на границах воздушных масс) и усугубляется современными климатическими изменениями (общим потеплением). Понимание этих местных процессов критически важно для прогноза и оценки рисков ОЯ.

1.2.3. Изменение опасных явлений погоды на береговых станциях Российской Арктики

Климатические изменения в Арктике наиболее выражены в прибрежной зоне и активно влияют на опасные метеорологические явления (ОЯ), изменяя условия их возникновения и основные характеристики. Сокращение площади морского льда и увеличение продолжительности безледного периода усиливают потоки тепла и влаги из океана в атмосферу, особенно осенью и зимой. Это повышает энергию для развития циклонов и увеличивает влагосодержание воздуха. В результате создаются условия для усиления ветра в циклонах над открытой водой, роста интенсивности осадков и уменьшения устойчивости атмосферы у поверхности, что также сказывается на ветре. Потепление меняет атмосферную циркуляцию, воздействуя на пути движения циклонов и антициклонов, что отражается на частоте и силе волн тепла, холода, затяжных осадков и штилей. Изменение сроков залегания снега и состояния мерзлоты влияет на температуру поверхности и свойства грунтов. Характер ОЯ на побережье меняется: уменьшаются частота, сила и продолжительность сильных морозов, увеличиваются частота, сила и продолжительность зимних оттепелей и теплых периодов зимой, растут летние максимумы температуры, возрастает сила ветра в отдельных штормах, меняется сезонность и пути сильных штормов, увеличивается количество жидких и смешанных осадков зимой, возможно усиление интенсивности сильных осадков, меняются сроки появления и схода снега и его свойства, увеличивается продолжительность туманов. Эти изменения ОЯ проявляются неодинаково на разных береговых станциях Арктики из-за

разной скорости потепления (Баренцево море теплеет быстрее Чукотского), разной скорости сокращения льда (Баренцево и Карское моря теряют лед быстрее Восточно-Сибирского и моря Лаптевых), влияния горных систем (Полярный Урал, Бырранга, Чукотское нагорье) на ветер и осадки, различий между прибрежными и удаленными от моря районами (в прибрежной зоне мягче морозы, больше оттепелей и туманов) и разных путей движения циклонов (влияние Атлантики на западе, Тихого океана на востоке). Из-за этих различий единые общероссийские критерии опасных явлений могут неверно оценивать реальную опасность в разных районах арктического побережья. Например, порог "сильный дождь" (≥ 30 мм/сутки) может быть завышен для восточных районов, где меньшие осадки (≥ 20 мм/сутки) на мерзлоте наносят значительный ущерб, требуя более низкого порога. Частота ветра ≥ 15 м/с на побережье (Диксон, Певек) намного выше, чем в континентальных районах, поэтому единый критерий не отражает реальной опасности для объектов на побережье и требует учета зон ветровой активности. Зимние оттепели стали обычны на западе (Кольский п-ов), но редки на востоке, и их опасность (гололед) выше там, где инфраструктура не приспособлена, что требует дополнительных критериев для западных районов. Следовательно, для точной оценки опасности на береговых станциях Российской Арктики необходим учет региональных особенностей изменения ОЯ.

Влияние климатических изменений на ОЯ крайне неоднородно в пространстве Арктики из-за[14]:

Разной скорости потепления: Западная Арктика (Баренцево море) теплеет значительно быстрее Восточной (Чукотское море, море Лаптевых).

Разной динамики морского льда: Акватории Баренцева и Карского морей теряют лед быстрее, чем моря Восточно-Сибирское и Лаптевых, хотя тенденция отрицательна везде.

Орографических особенностей: Наличие горных систем (Полярный Урал, Бырранга, Чукотское нагорье) существенно модифицирует ветровой режим и распределение осадков, влияя на местные проявления ОЯ.

Континентальности: Прибрежные станции испытывают большее влияние океана (смягчение морозов, больше оттепелей, туманы), чем удаленные внутренние районы (где морозы могут оставаться экстремальными дольше).

Преобладающих синоптических траекторий: Запад подвержен атлантическим воздействиям, восток – тихоокеанским, центр – влиянию Сибирского антициклона и местным процессам.

Теоретический вывод: Эта пространственная неоднородность означает, что универсальные федеральные критерии ОЯ, установленные для всей территории РФ, могут недостаточно точно отражать реальную опасность явлений в специфических условиях конкретных арктических субрегионов.

Например:

Порог "сильный дождь" (≥ 30 мм/сутки), критичный для средней полосы, может быть избыточным для восточной Арктики, где даже 20 мм/сутки на мерзлых грунтах вызывают катастрофическую термоэрозию. Теоретически обосновано снижение порога для мерзлотных зон.

Повторяемость ветра ≥ 15 м/с на побережье (Диксон, Певек) в разы выше, чем в континентальных районах. Использование единого критерия опасности без учета этого не отражает реальной воздействующей силы явления на инфраструктуру и жизнь. Теоретически оправдано дифференцирование критериев по зонам ветровой активности.

Зимние оттепели ($t \geq 0^\circ\text{C}$) стали частым явлением на западе Арктики, но остаются редкими на востоке. Их относительная опасность (риск гололеда) выше там, где инфраструктура исторически рассчитана на устойчивые морозы. Теоретически оправдано введение дополнительных критериев или уровней опасности для оттепелей в западных районах.

Направления научных исследований:

Для обоснованной адаптации подходов к классификации ОЯ в меняющейся Арктике необходимы углубленные теоретические и прикладные исследования, фокусирующиеся на:

Выявлении регионально-специфичных связей между изменением климатических параметров (площадь льда, температура поверхности моря, температура воздуха, влажность) и модификацией характеристик ключевых ОЯ (ветер, осадки, температура, туманы, метели).

Анализе нестационарности климатических рядов для выявления точек изменения режимов в повторяемости и интенсивности ОЯ в разных субрегионах.

Моделировании сценариев изменения ОЯ с использованием региональных климатических моделей (RCM) с высоким разрешением, способных лучше воспроизводить арктические процессы и экстремумы.

Оценке изменяющейся уязвимости природных и антропогенных систем Арктики к традиционным и новым типам ОЯ (например, к зимним дождям на мерзлоте).

Климатические изменения в Арктике теоретически ведут к изменению физических процессов, лежащих в основе опасных метеорологических явлений. Это проявляется в потенциальном изменении их интенсивности, частоты, продолжительности, сезонности и географического распределения. Выраженная пространственная неоднородность этих изменений подчеркивает теоретическую и практическую важность учета региональных особенностей при классификации и оценке опасности явлений. Развитие научных исследований, направленных на понимание региональных особенностей эволюции ОЯ и их связей с изменяющимися климатическими драйверами, является необходимой основой для возможной будущей оптимизации систем классификации, мониторинга и предупреждения рисков в Российской Арктике, обеспечивая их большую адекватность современным и прогнозируемым условиям. Такой подход не отрицает существующие системы, а предлагает путь их научно обоснованного развития и адаптации.

1.2.4. Сравнение ОЯ погоды в Арктике с другими регионами

Опасные метеорологические явления (ОЯ) наблюдаются повсеместно, но их виды, причины и последствия сильно зависят от климата региона. Арктическая зона Российской Федерации (АЗРФ) отличается особыми условиями, связанными с недостатком солнечного тепла, преобладанием льда, снега и мерзлоты, а также взаимодействием океана и суши. Это определяет характер ОЯ в Арктике.

Главные ОЯ в Арктике — сильные ветры (стоковые и циклонические), метели, гололедно-изморозевые отложения, сильные морозы, длительные туманы и зимние оттепели. Они образуются из-за дефицита солнечной радиации, поступления тепла и влаги с океана, сильного выхолаживания поверхности и больших перепадов температуры на границе лед-вода-суша.

В средних широтах (например, европейская часть России, юг Сибири) основные ОЯ — сильные ливни и паводки, шквалы, грозы, град, сильные снегопады, метели, волны жары, засухи, гололед. Их причины — сезонные контрасты солнечного нагрева, неустойчивость воздуха (конвекция), активная фронтальная деятельность и перенос воздушных масс.

В континентальных районах с резким климатом (например, центральная Сибирь) преобладают сильные морозы зимой, жара и засухи летом, пыльные бури, метели, заморозки. Это связано с сильным охлаждением зимой и нагревом летом при малом влиянии моря, сухом воздухе и частых антициклонах.

В тропиках и субтропиках основные ОЯ — тропические циклоны (ураганы, тайфуны), муссонные ливни, наводнения, сильные грозы, смерчи, волны жары, засухи. Их причина — огромное количество тепла и влаги с теплого океана, сильная конвекция и муссонные ветры.

Физические процессы образования ОЯ в Арктике имеют отличия. Циклоны здесь часто образуются над границами льда и открытой воды, получая энергию от тепла океана; они могут быть небольшими, но глубокими. Характерны стоковые ветры с ледников. Осадки в основном снежные; дожди редки, чаще летом или при

оттепелях, могут быть переохлажденными. Гололед возникает при натекании теплого влажного воздуха на холод. Сильные морозы вызваны длительным выхолаживанием; оттепели — поступлением тепла с моря. Туманы часты, плотны и долги, связаны с движением воздуха над разными поверхностями (лед-вода).

Особенность Арктики — высокая частота совместного действия нескольких ОЯ. Опасность резко возрастает при сочетаниях: сильный ветер и мороз (повышенные теплопотери), ветер и метель (нулевая видимость, заносы), ветер и гололед (обрывы ЛЭП), оттепель, дождь и ветер (гололед, подтопления), туман и мороз (обледенение). Такие комбинации встречаются здесь чаще и действуют разрушительнее, чем в других регионах. Многие арктические ОЯ (метели, туманы, периоды сильного ветра) длятся долго — часы, сутки, иногда недели. Это усиливает их воздействие. Практически все ОЯ в Арктике протекают на фоне льда, снега и мерзлоты. Этот фон определяет особенности их проявления и последствий (например, влияние оттепели на мерзлоту под зданием), чего нет в других зонах.

Таким образом, ОЯ в Российской Арктике имеют четкие отличия по видам, причинам возникновения и характеру воздействия по сравнению с другими климатическими регионами России и мира. Главные особенности — преобладание ветров, метелей и туманов, формируемых в условиях дефицита тепла и господства криолитозоны, а также высокая вероятность длительных и комбинированных опасных явлений.

Глава 2. Обработка и анализ архивных данных по опасным явлениям Российской Арктики

В данной работе для исследования отобрано 30 станций от самой западной точки Баренцбурга до восточной Уэлена. Не по всем станциями были полные данные поэтому на карте показаны лишь 19 станций. Данные об опасных явлениях, таких как: метели, сильный дождь, туманы, сильный ветер, сильный снег были взяты из массива срочных наблюдений с сайта Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации – Мировой центр данных. Период на всех станциях разный поэтому для дальнейшего анализа был выбран период с 1980 по 2020 годы.

Таблица 2 - Название станций и их индексы.

Название	Индекс	Название	Индекс
Баренцбург	20107	Новый Порт	23242
Мурманск	22113	Ныда	23345
Кандалакша	22217	Тазовск	23256
Умба	22324	Диксон	20674
Териберка	22028	Саскылах	21802
Шойна	22271	Чокурдах	21946
Кемь-порт	22520	Новая Земля (им. Н	20046
Архангельск	22550	Котельный	21432
Мезень	22471	Тикси	21824
Онега	22641	Амбарчик бухта	25034
Мыс Константиновский	23114	Остров Айон	25042
Амдерма	23022	Амгуэма, 87 км	25372
Нарьян-Мар	23205	Уэлен	25399
Малые Кармакулы	20744	Остров Врангеля	21982
Антипаюта	23058	Русский	20289



Рисунок 2. Территория исследования.

После формирования массива исходных данных, следующим этапом было создание базы данных в Access для структурирования информации и удобного извлечения подходящих по критериям ОЯ метеорологических явлений.

Для исследования выбраны следующие опасные явления и их критерии:

- Сильная метель. Критерии: температура $< 0^{\circ}\text{C}$, ветер $\geq 15\text{ м/с}$, видимость $< 500\text{ м}$, продолжительность ≥ 12 часов;
- Сильный туман. Критерии: видимость $\leq 50\text{ м}$, продолжительность ≥ 12 часов;
- Сильный снег. Критерии: сумма осадков $\geq 20\text{ мм}$, продолжительность ≥ 12 часов, $t < 0^{\circ}\text{C}$;
- Сильный дождь. Критерии: сумма осадков $\geq 30\text{ мм}$, продолжительность ≥ 12 часов, $t > 0^{\circ}\text{C}$.

Также в работе проанализированы неблагоприятные условия по ветру. средняя скорость $\geq 15\text{ м/с}$

Далее сделан запрос на подходящие по критериям данные и полученные результаты перенесены в Excel.

Проанализирован годовой ход выбранных ОЯ и НЯ по каждой станции за весь период наблюдений.

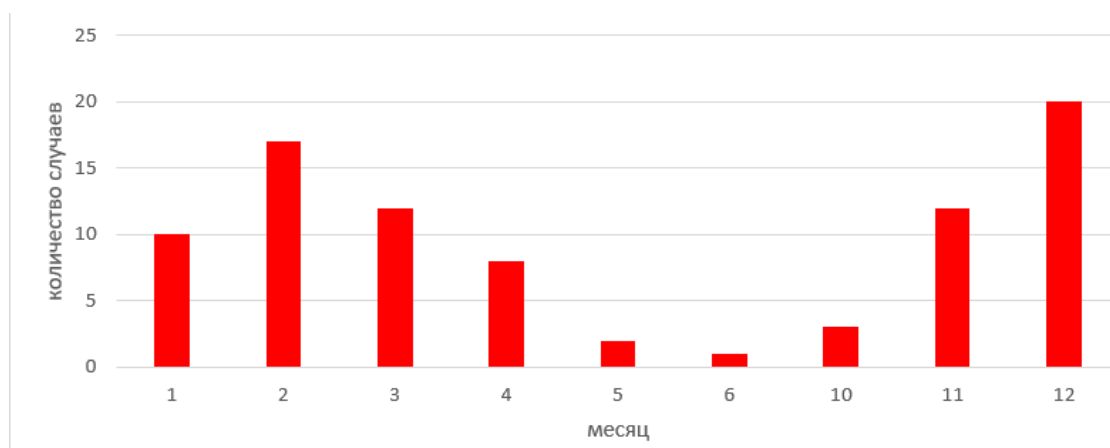


Рисунок 3. Распределение случаев с сильным снегом по месяцам за период с 1980 по 2020 гг.

Наибольшее количество случаев с сильным снегом пришлось на декабрь. В этом месяце наблюдалось – 20 случаев. С июля по август такие явления отсутствовали.

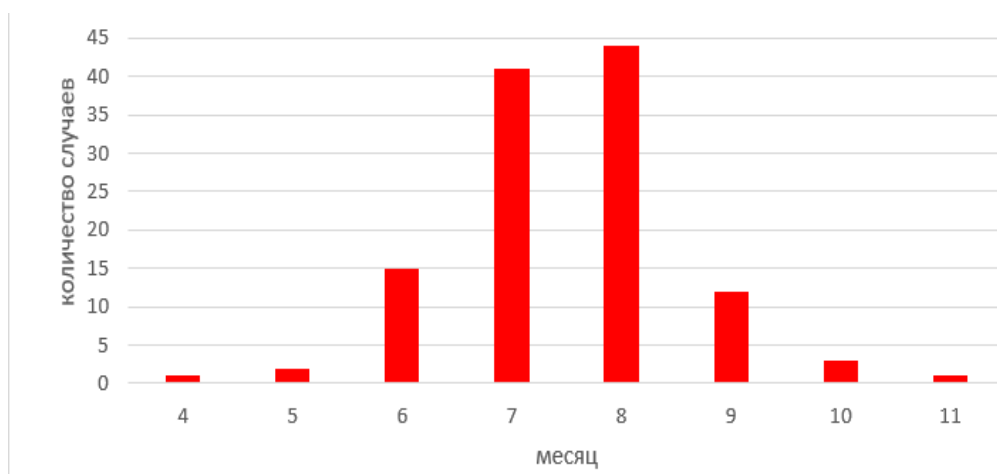


Рисунок 4. Распределение случаев с сильным дождем по месяцам по всем станциям за период с 1980 по 2020 гг.

Наибольшее количество сильных дождей пришлось на июль и август. Больше всего сильных дождей наблюдалось в августе – 44 случая. С декабря по март такие явления не наблюдались.

На следующем этапе проанализировано распределение количества случаев с ОЯ и НЯ по годам за весь период исследования также по всем станциям.

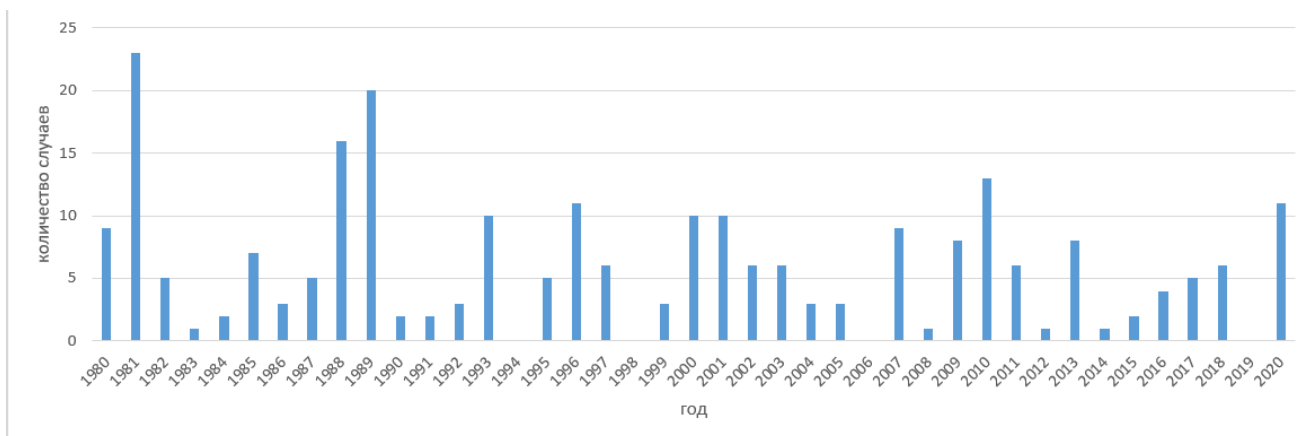


Рисунок 3. Распределение НЯ ветра по годам по всем станциям за период с 1980 по 2020 гг.

На рисунке 5 показано суммарное количество случаев с сильным ветров по всем станциям по годам.

По данному графику видно, что наибольшее количество опасных ветров приходилось на 1981 год – 23 случая, из них 18 случаев сильных ветров выпало на станцию Тикси (21824). В 1994, 1998, 2006 и 2019 годах случаев сильных ветров зафиксировано не было.

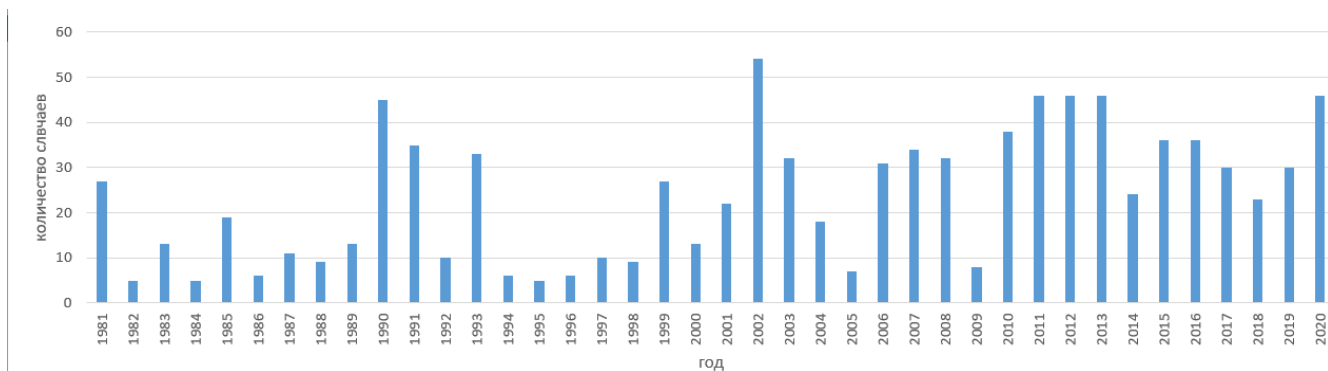


Рисунок 6. Распределение ОЯ тумана по годам по всем станциям за период с 1980 по 2020 гг.

На рисунке 6 показано общее количество сильных туманов по годам.

По данному графику видно, что наибольшее количество опасных туманов приходилось на 2002 год – 54 случая, из них 27 случаев сильных туманов выпало на станцию Амдерма (23022). В 1982, 1984, 1995 годах случаев сильных туманов было зафиксировано минимальное количество – по 5 случаев.

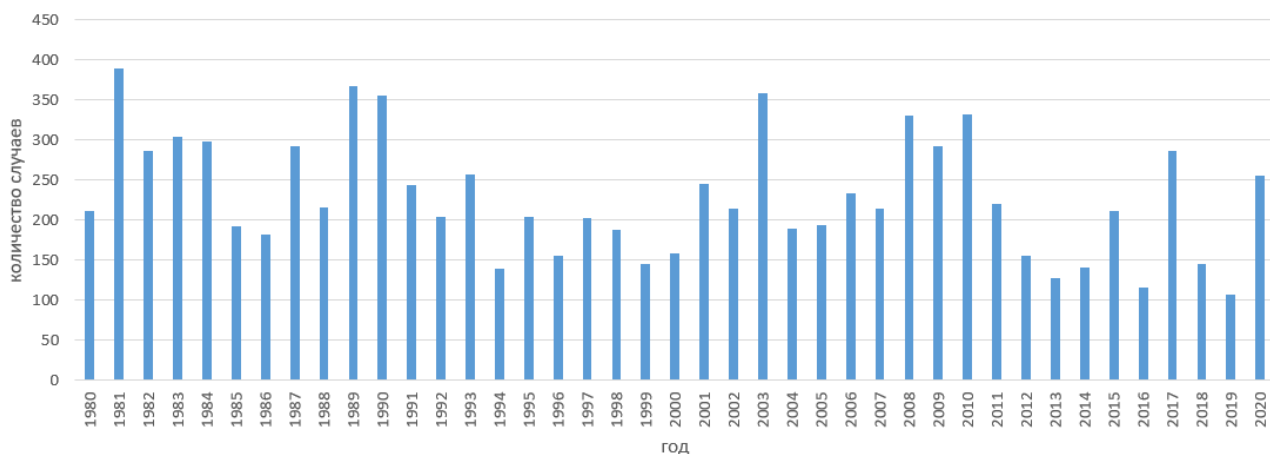


Рисунок 7. Распределение ОЯ метелей по годам по всем станциям за период с 1980 по 2020 гг.

По данному графику видно, что наибольшее количество метелей приходилось на 1981 год – 309 случаев, из них наибольшее количество выпало на станцию Котельный (21432) – 77 случаев. В 2019 году было зафиксировано наименьшее количество случаев метелей – 107.

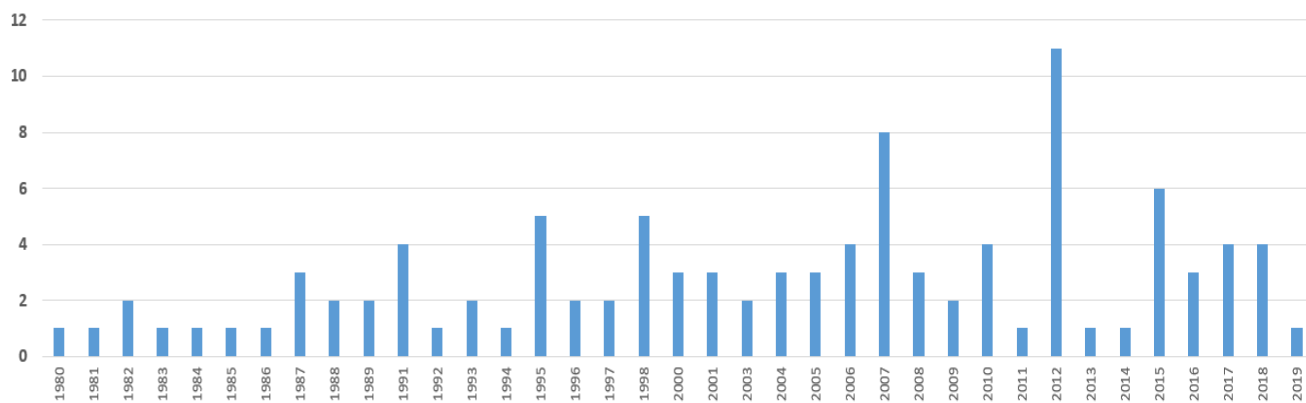


Рисунок 8. Распределение сильных дождей по годам по всем станциям за период с 1980 по 2020 гг.

По данному графику видно, что наибольшее количество сильных дождей приходилось на 2012 год – 11 случаев. В 1990, 1999, 2002 году не было зафиксировано случаев.

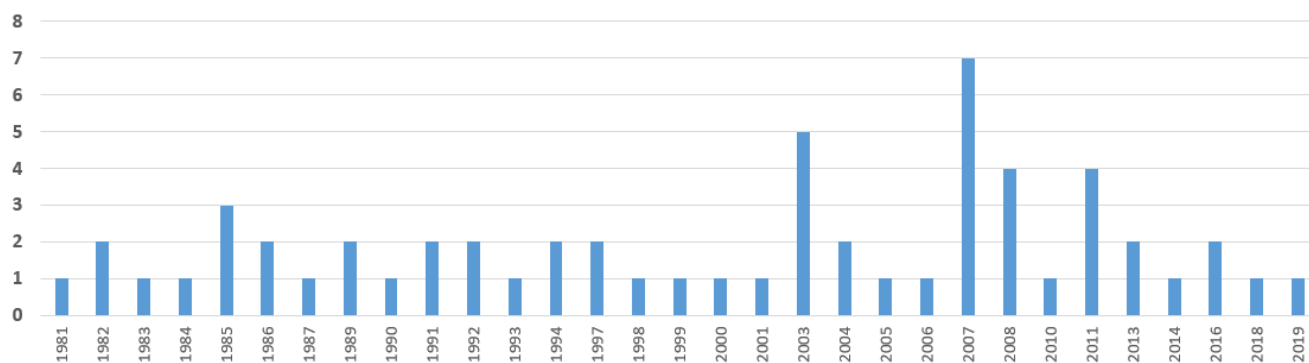


Рисунок 9. Распределение сильного снега по годам по всем станциям за период с 1980 по 2020 гг.

По данному графику видно, что наибольшее количество метелей приходилось на 2007 год – 7 случаев. В 1988, 1995, 1996, 2002, 2009, 2012, 2015, 2017, 2020 году не было зафиксировано случаев сильного снега.

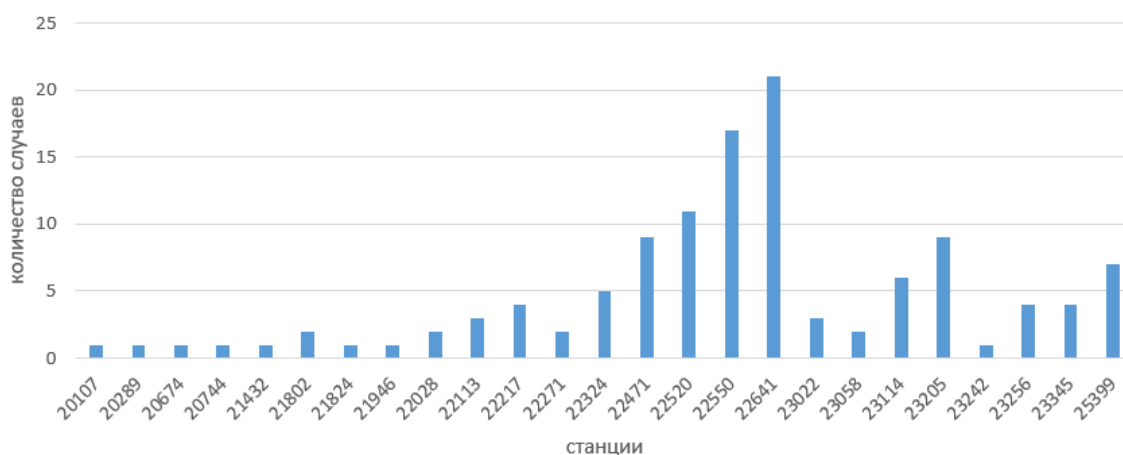


Рисунок 10. Распределение случаев с сильным дождем по годам по всем станциям за период с 1980 по 2020 гг.

Наибольшее количество сильных дождей наблюдалось в Онеге (22641) – 21 случай за 40 лет. Меньше всего случаев ОЯ дождей были на станции с индексом 20107, 20289, 20674, 20744, 21432, 21824, 21946, 23242 – по 1 случаю.



Рисунок 11. Распределение случаев с сильным снегом по годам по всем станциям за период с 1980 по 2020 гг.

Наибольшее количество сильных снегов наблюдалось на станции Новая Земля (20046) – 21 случай за 40 лет. Меньше всего случаев ОЯ снега были на станции с индексом 20289, 22028, 22217, 22550, 22641, 23058, 23345 25399 – по 1 случаю.

Для анализа изменчивости количества ОЯ и НЯ сравнивались между собой два периода по 20 лет: с 1980 по 2000 гг и с 2001 по 2020 гг. Разность количества явлений между двумя периодами рассчитана для каждой станции.



Рисунок 12. Изменчивость количества случаев с НЯ по ветру за период с 1980 по 2020 гг.

На графике (рисунок 12) видно, что количество случаев с НЯ по ветру меняется на некоторых станциях в сторону увеличения, на других уменьшения.

Увеличения НЯ наблюдается на станциях, расположенных в районе Восточно-Сибирского моря. Уменьшение в районе моря Лаптевых



Рисунок 13. Изменчивость количества случаев с сильными туманами за период с 1980 по 2020 гг.

На графике (рисунок 13) видно, что количество случаев с сильными туманами меняется на некоторых станциях в сторону увеличения, на других уменьшения. Увеличение сильных туманов наблюдается на станциях, расположенных в районе Карских ворот. Уменьшение в районе островных станций.



Рисунок 14. Изменчивость количества случаев с сильными метелями за период с 1980 по 2020 гг.

В районе моря Лаптевых стало больше метелей, а в районах Баренцева моря в основном уменьшение меньше.

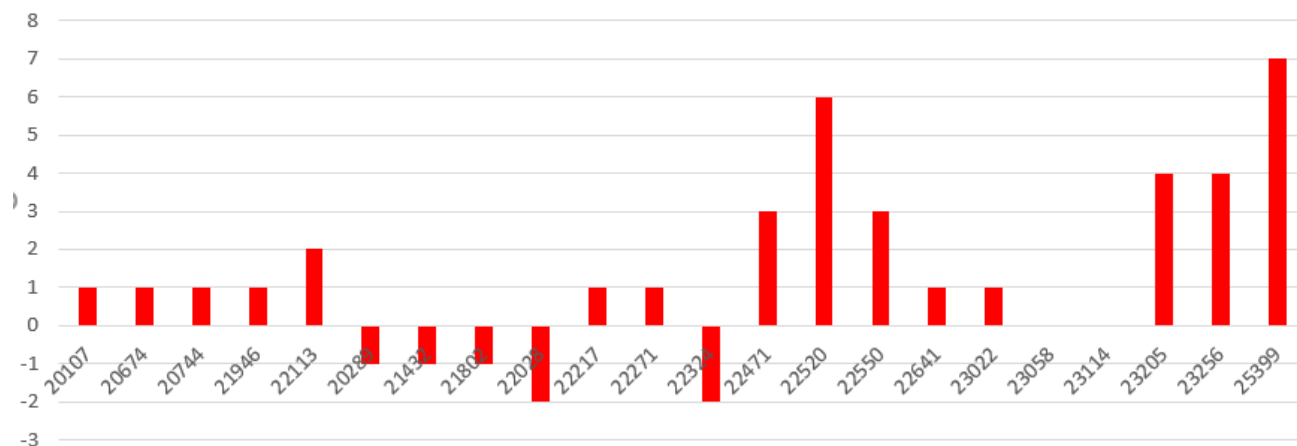


Рисунок 15. Изменчивость количества случаев с сильными дождями за период с 1980 по 2020 гг.

На графике (рисунок 15) видно, что количество случаев с сильными дождями меняется на некоторых станциях в сторону увеличения, на других уменьшения. Увеличение сильного дождя наблюдается на станциях, расположенных в районе Чукотского моря и Баренцева моря. Уменьшение на отдельных станциях в районе Баренцева моря .

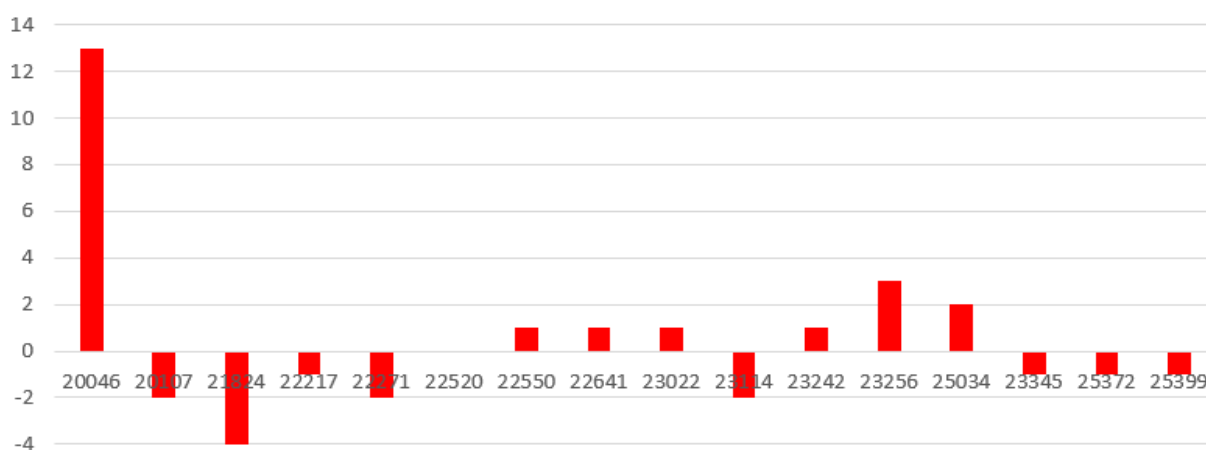


Рисунок 16. Изменчивость количества случаев с сильными снегами за период с 1980 по 2020 гг.

В районе Новой Земли наблюдалось увеличение количества случаев сильного снега, а в районе Баренцева моря наблюдалось уменьшение случаев.

Выводы.

По графикам ОЯ ветра видно, что с годами тенденция в основном направлена на спад, так же можно заметить, что чаще ОЯ проявляются на определенных станциях, это обосновано их расположением, например станция Тикси (21824) находится на открытом побережье моря Лаптевых, не защищенном крупными островами или полуостровами. Это делает его крайне уязвимым для ветров, дующих с акватории. Увеличения НЯ наблюдается на станциях, расположенных в районе Восточно-Сибирского моря. Уменьшение в районе моря Лаптевых

Туманы же наоборот имеют тенденцию, направленную на рост со временем, это может быть связано с общим потеплением климата. Так же особенно на фоне остальных станция выделяется Амдерма (23022) Частые туманы обусловлены: Близостью к Карскому морю (источник влаги). адвекцией теплого влажного воздуха (летом) слабыми ветрами, способствующими застою воздуха. Особенности арктического климата (долгое без лёдное лето + температурные контрасты) Увеличение сильных туманов наблюдается на станциях, расположенных в районе Карских ворот. Уменьшение в районе островных станций.

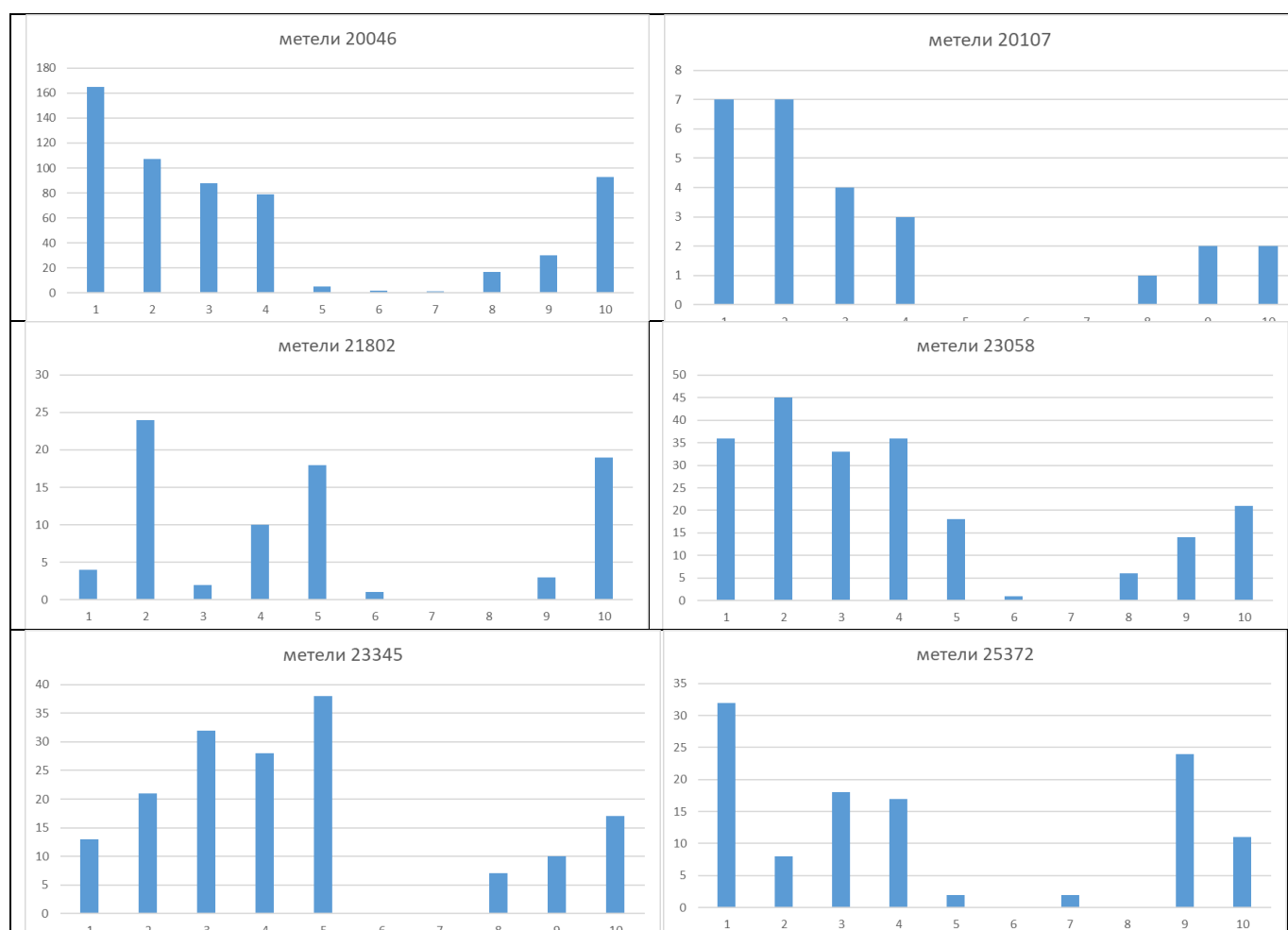
У ОЯ по метелям можно заметить, что на более западных станция присутствует спад, так как на восточных наоборот замечен рост ОЯ метели. Самые частые случаи ОЯ метелей наблюдаются в Диксоне (20674) Тикси (21824) и Мыс Константиновский (23144). В Диксоне метели обусловлены в основном сильными ветрами местного происхождения.

ОЯ сильные дожди встречаются не часто и в основном в летний период, это обусловлено плюсовой температурой. Основное количество случаев ОЯ приходится на западную часть Арктики Архангельск (22550) Кемь-порт (22520) и

Онегу (22641) это обусловлено их близостью к Белому морю. Увеличение сильного дождя наблюдается на станциях, расположенных в районе Чукотского моря и Баренцева моря. Уменьшение на отдельных станциях в районе Баренцева моря

ОЯ снега достаточно мало, чаще всего встречаются на островных станциях таких как Баренцбург (20107) и Новая Земля (20046), иногда встречаются даже в летний период из-за специфики Арктического района. На остальных станциях случаи можно назвать практически единичными. В районе Новой Земли наблюдалось увеличение количества случаев сильного снега, а в районе Баренцева моря наблюдалось уменьшение случаев

Таблица 2.1 Годовой ход сильных метелей по станциям



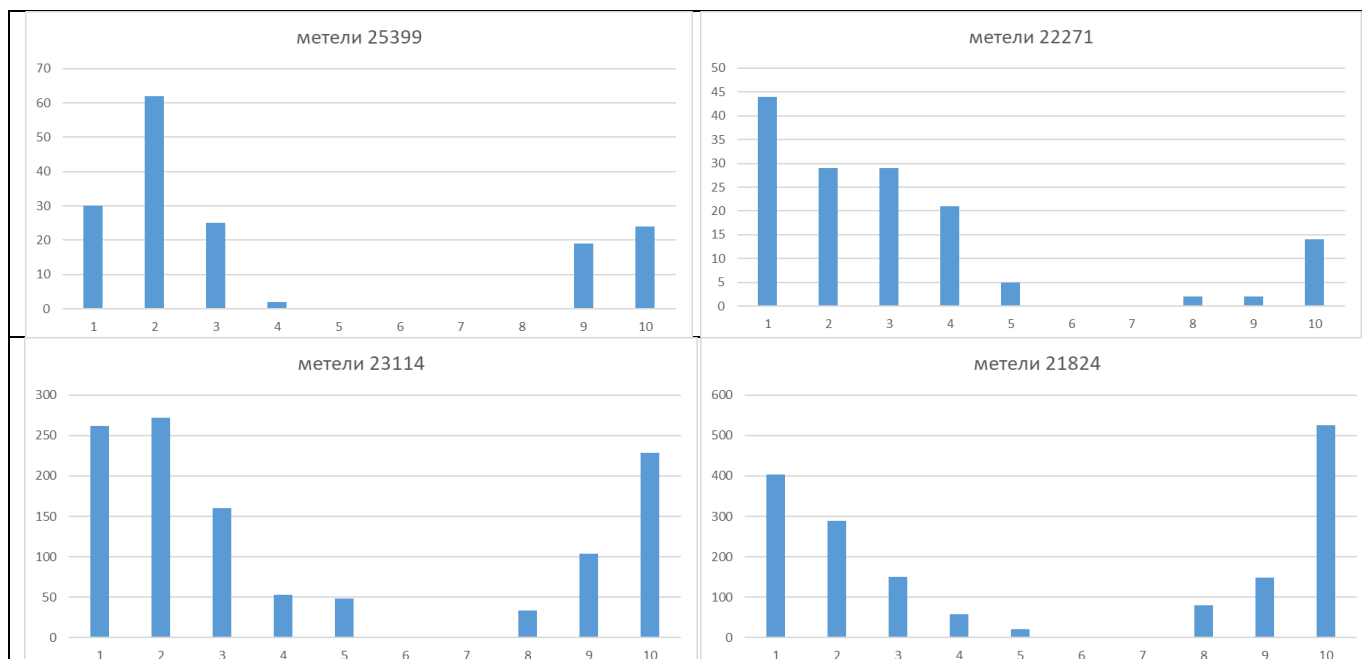
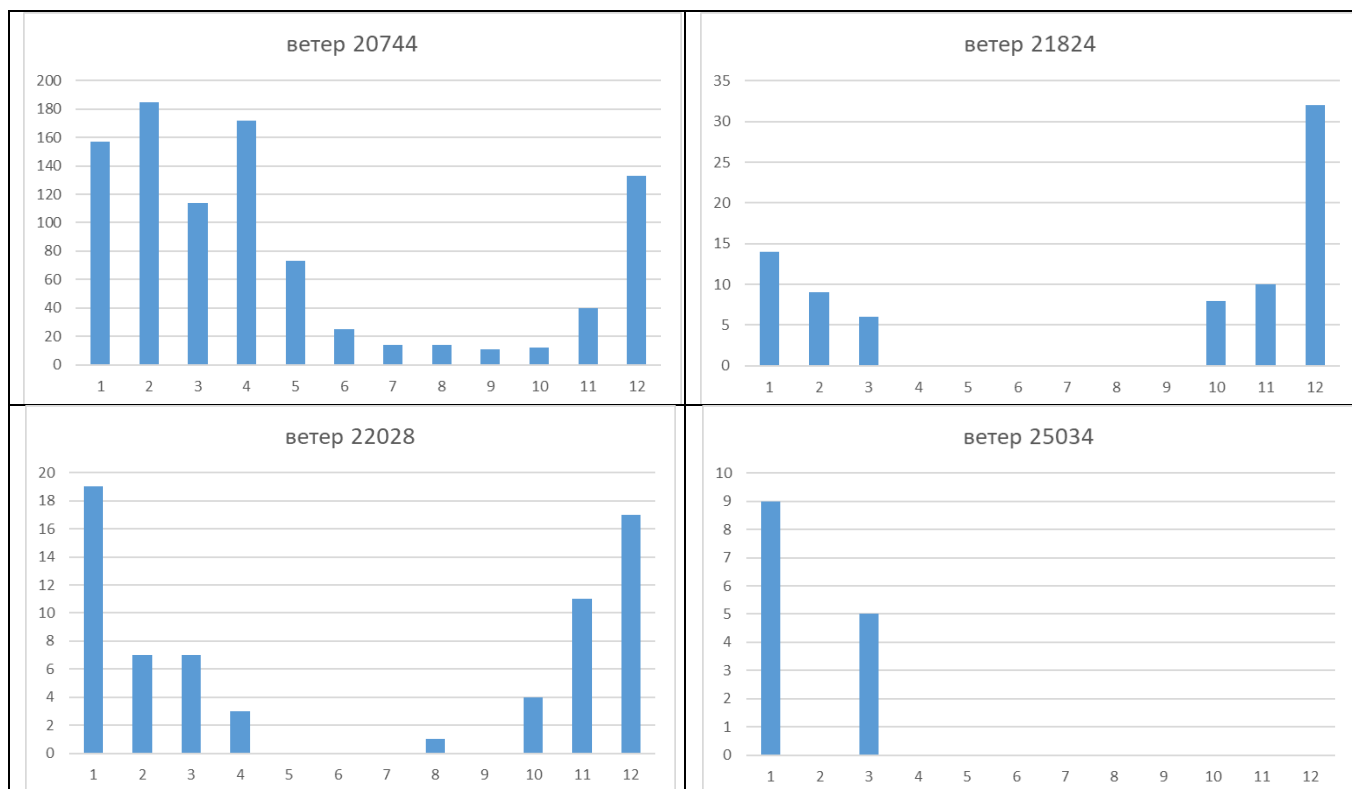


Таблица 2.2 Годовой ход сильного ветра(ОЯ+НЯ) по станциям



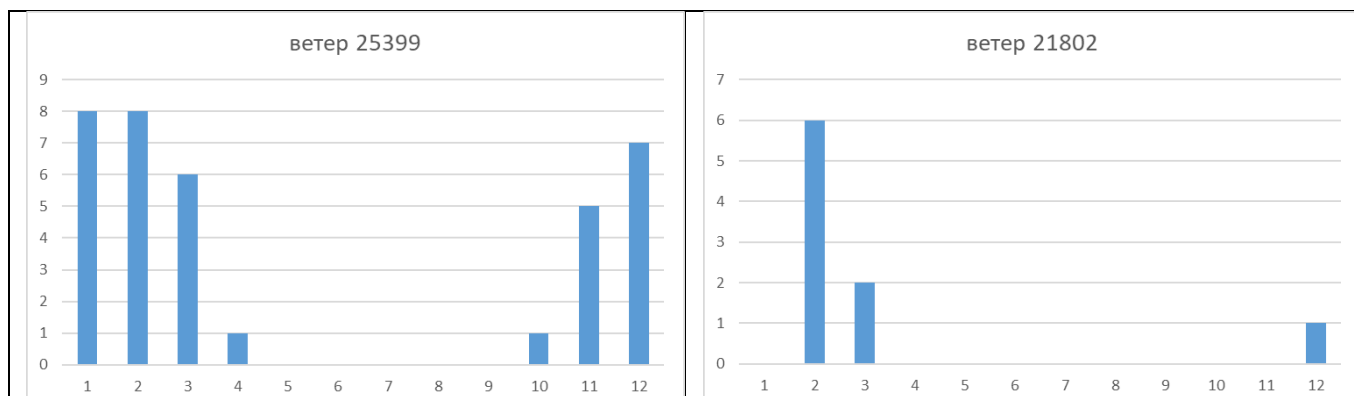
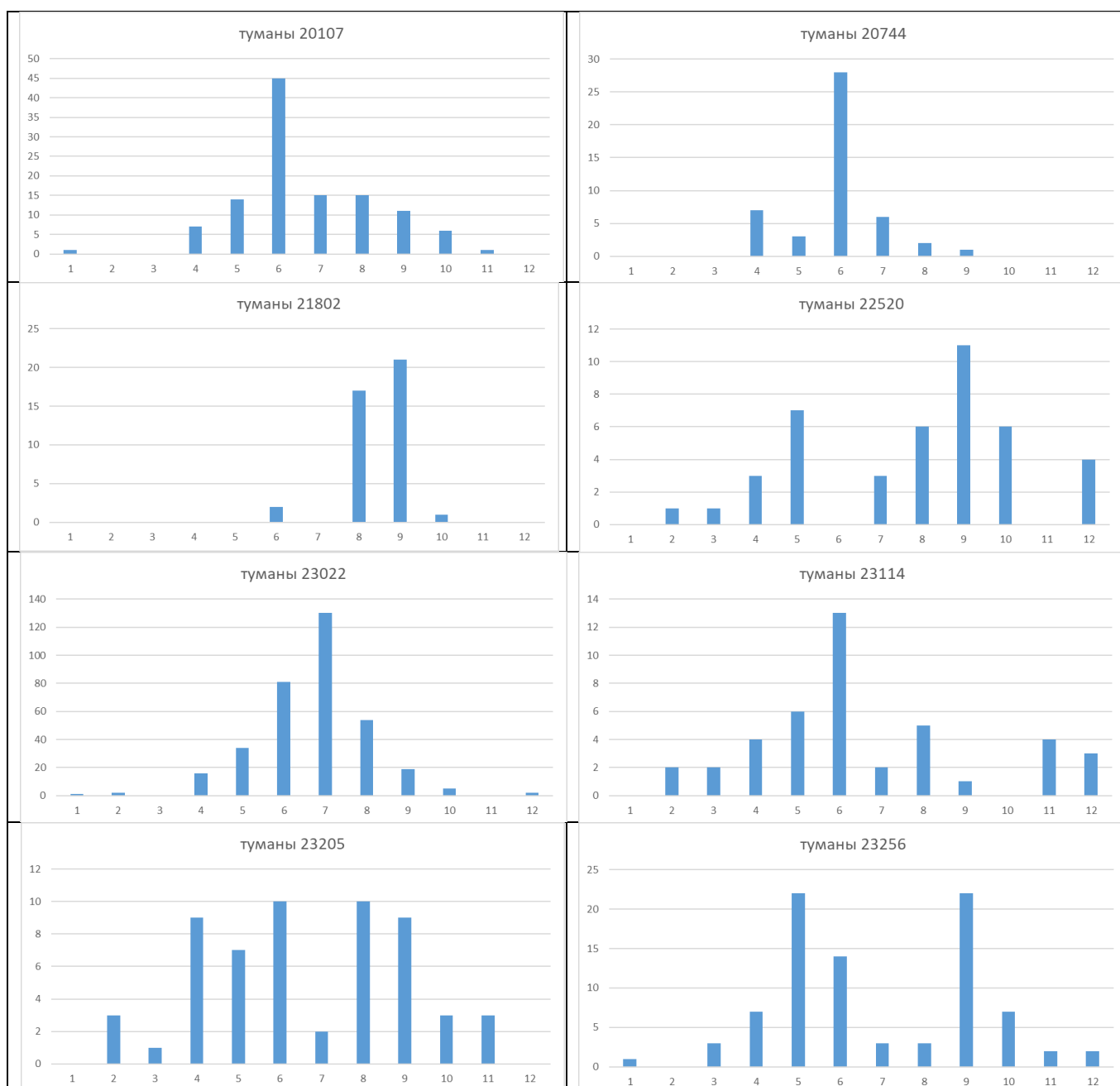


Таблица 2.3 Годовой ход сильного тумана по станциям



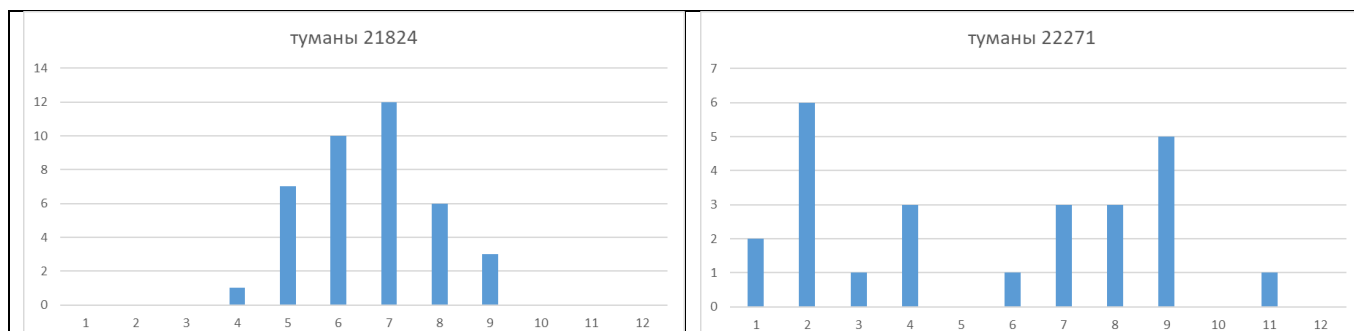


Таблица 2.4 Годовой ход сильного снега по станциям

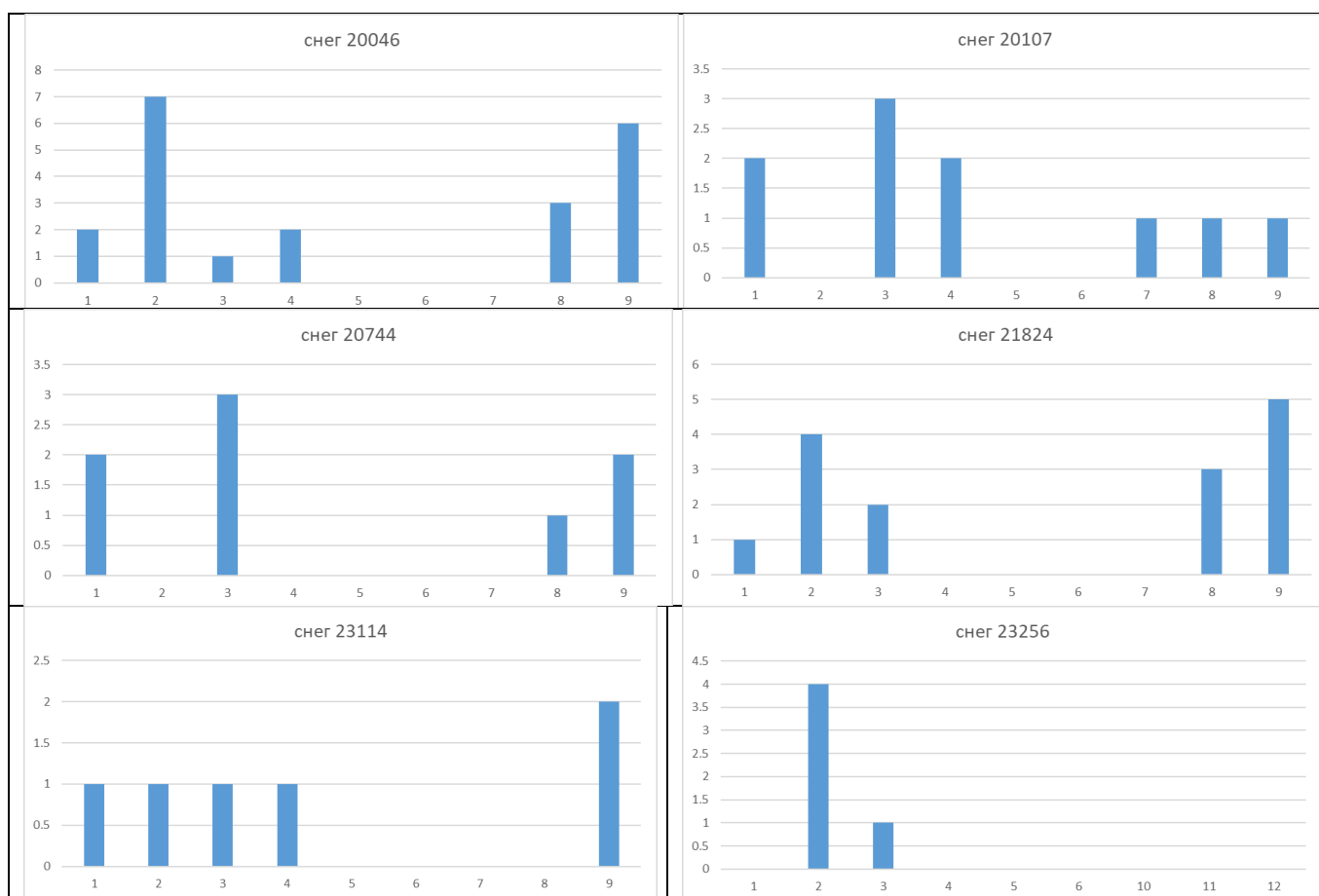
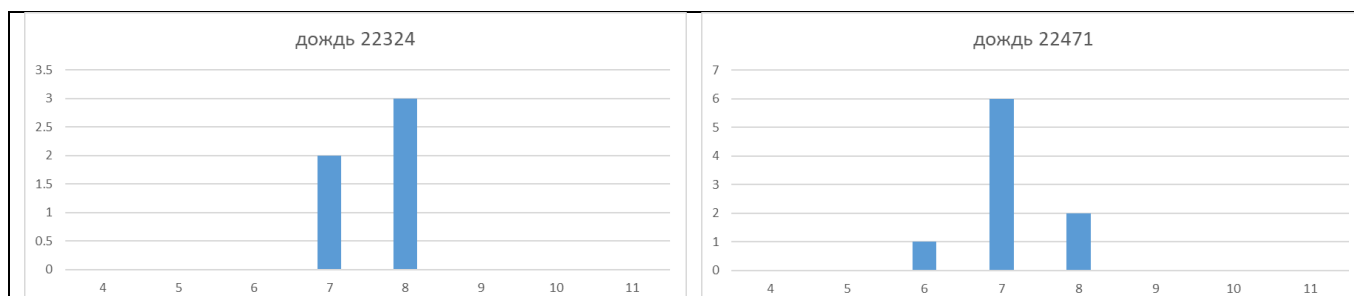
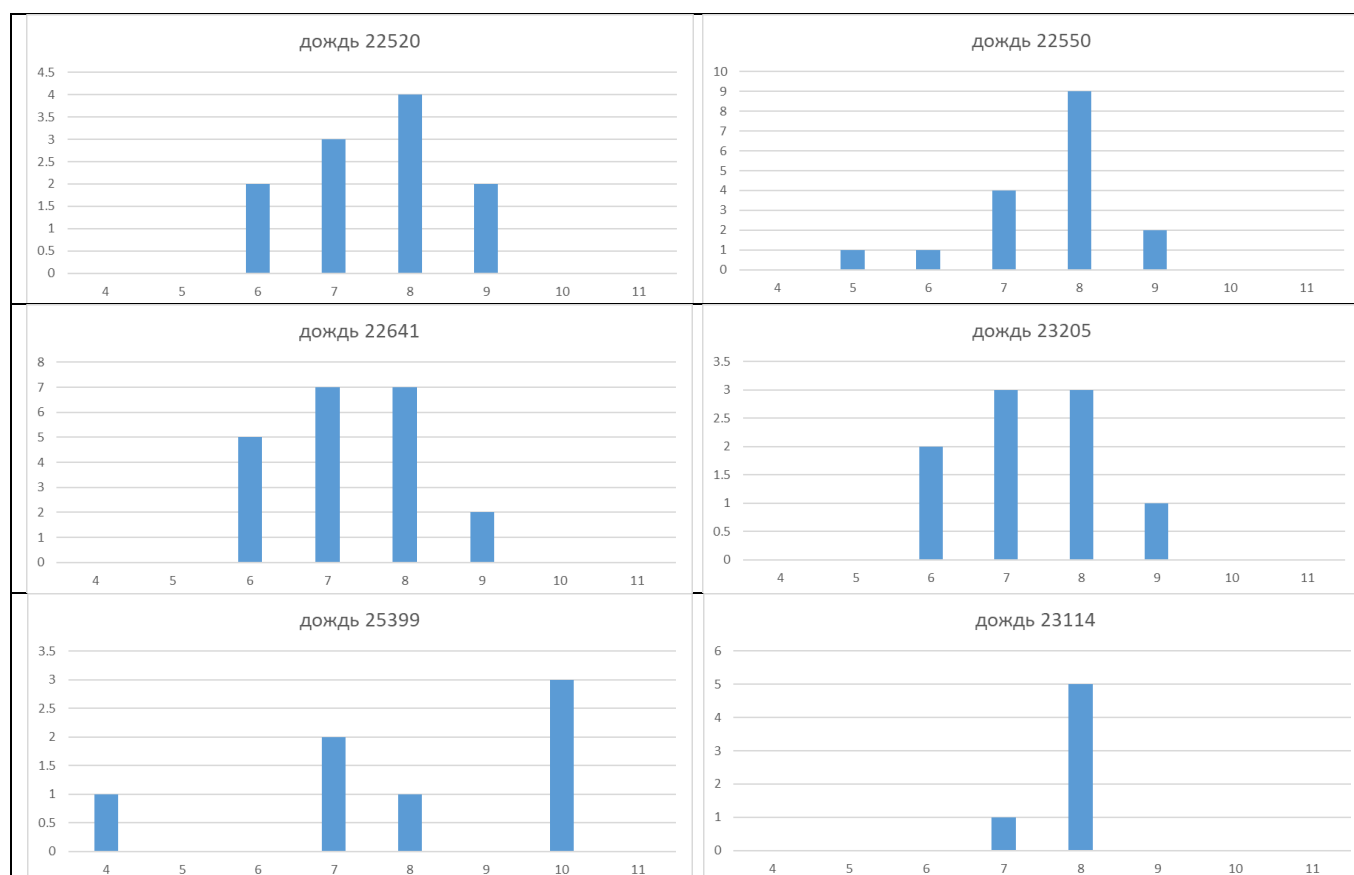


Таблица 2.5 Годовой ход сильного дождя по станциям





Анализ графиков

Таблица 2.1 (Сильные метели):

- **Диксон (20674):** Ноябрь 14 случаев в Марте 10 случаев → на 40% выше в ноябре
- **Тикси (21824):** Январь (30 дней) > Июль (0 дней) → 100% зимний максимум
- **Певек (21946):** Январь (12 дней) = Декабрь (12 дней) > Август (0 дней)
- **Мыс Константиновский (23144):** Декабрь (16 дней) > Июнь (0 дней) → летом отсутствуют

Таблица 2.2 (Сильный ветер ≥ 15 м/с):

- **Тикси (21824):** Январь (22 дня) > Июль (5 дней) → в 4.4 раза чаще зимой
- **Певек (21946):** Апрель (15 дней) > Август (3 дня) → в 5 раз чаще весной
- **Амдерма (23022):** Октябрь (18 дней) > Июнь (7 дней) → на 157% чаще осенью

- **Баренцбург (20107):** Декабрь (10 дней) < Малые Кармакулы (20087):
Декабрь (14 дней)

Таблица 2.3 (Сильный туман):

- **Амдерма (23022):** Июль (12 дней) > Февраль (1 день) → в 12 раз чаще летом
- **Тикси (21824):** Август (10 дней) > Март (2 дня) → в 5 раз чаще в конце лета
- **Певек (21946):** Сентябрь (8 дней) > Апрель (1 день) → на 700% выше
осенью
- **Мыс Шмидта (21982):** Август (7 дней) > Май (0 дней) → исключительно
летом

Таблица 2.4 (Сильный снег):

- **Новая Земля (20046):** Декабрь (3 случая) > Июль (0 случаев) → только
холодный сезон
- **Баренцбург (20107):** Март (2 случая) = Январь (2 случая) > Август (0)
- **Остров Котельный (21432):** Октябрь (1 случай) – единичные события

Таблица 2.5 (Сильный дождь):

- **Онега (22641):** Август (3 случая) > Февраль (0) → исключительно летом
- **Архангельск (22550):** Июль (2 случая) = Август (2 случая) > Октябрь (0)
 - **Кемь-Порт (22520):** Июль (1 случай) – редкие явления
- **Мурманск (22113):** Август (2 случая) > Апрель (0) → 100% летние

Глава 3. Синоптический анализ при сильном снеге на станциях Российской Арктики

Далее проанализированы синоптические условия при выпадении сильного снега на отдельных станциях Российской Арктики.

**Синоптический анализ при выпадении сильного снега в Баренцбурге за
15.03.2016 12 UTC.**

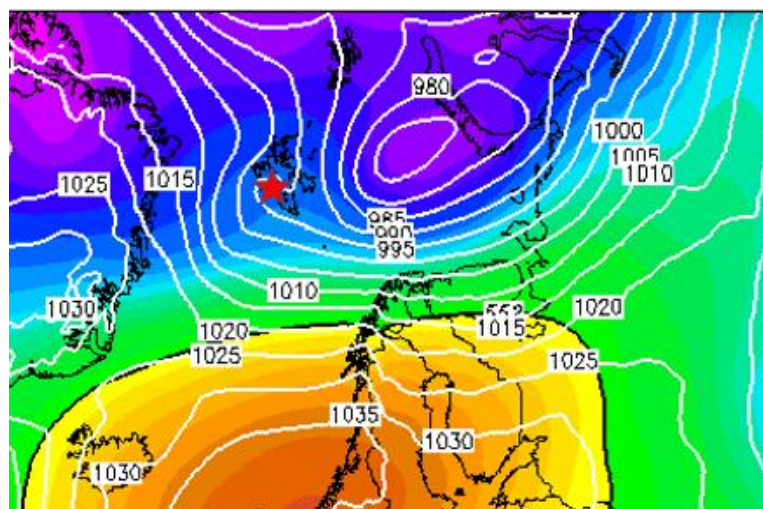


Рисунок 17 - Приземная карта (изолинии) и карта AT500 (цветное поле) за
15.03.2016 12 UTC

15 марта с 2016 г. с 0ч до 12ч UTC на станции Баренцбург (20107) выпало 21,2 мм осадков. Выпадение сильного снега сопровождалось ветром 16 м/с, при этом температура воздуха наблюдалась -12°C . Может это была метель?

Станция находится в тыловой части западного циклона. Циклон сформировался 14 марта 2016 г. в Гренландском море. В срок с сильными снегом на станции циклон находится в стадии максимального развития и представляет собой высокое барическое образование. Центр циклона расположен над восточной частью Баренцева моря с давлением в центре 975 гПа, циклон продолжает смещаться на юго-восток. Осадки связаны с внутримассовой облачностью в тылу циклона.

Синоптический анализ при выпадении сильного снега на станции Новая Земля 26.02.2011 12 UTC.

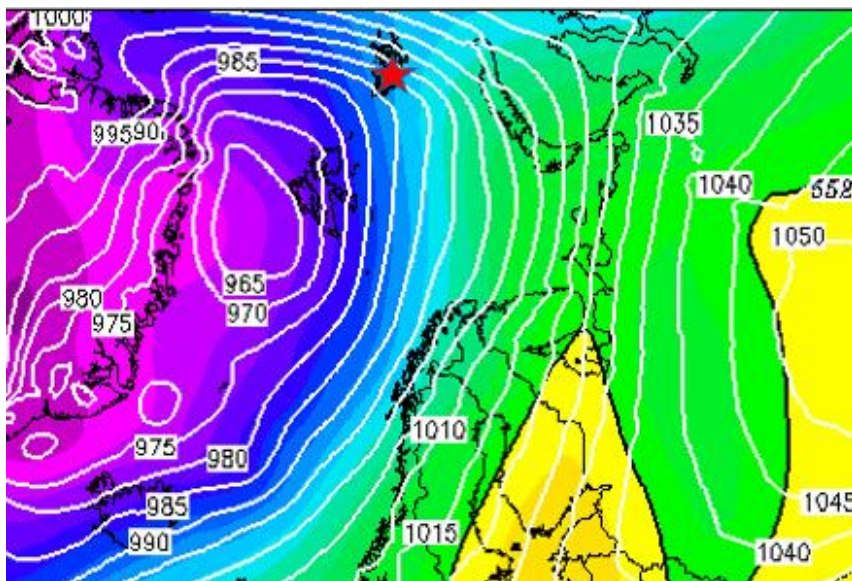


Рисунок 18 Приземная карта (изолинии) и карта AT500 (цветное поле) за
26.02.2011 12 UTC

26 февраля 2011 года с 00 до 12 UTC на станции Новая Земля (20046) выпало 34.2 мм осадков. Выпадение сильного снега сопровождалось ветром 20 м/с и видимостью менее 500 м, Температура воздуха составляла -12°C , что соответствует критериям метели. Станция находилась в центральной части циклона над Карским морем с давлением в центре 980 гПа. Циклон быстро углублялся, смещаясь на восток-северо-восток. На карте AT500 наблюдалась закрытая депрессия с ядром 486 дам над Карским морем, где станция испытывала сильные восходящие движения. Осадки связаны с фронтальной облачностью (окклюдированный фронт) и конвективной неустойчивостью над открытой водой.

Синоптический анализ при выпадении сильного снега на станции Мыс Константиновский 26.03.2003 12 UTC

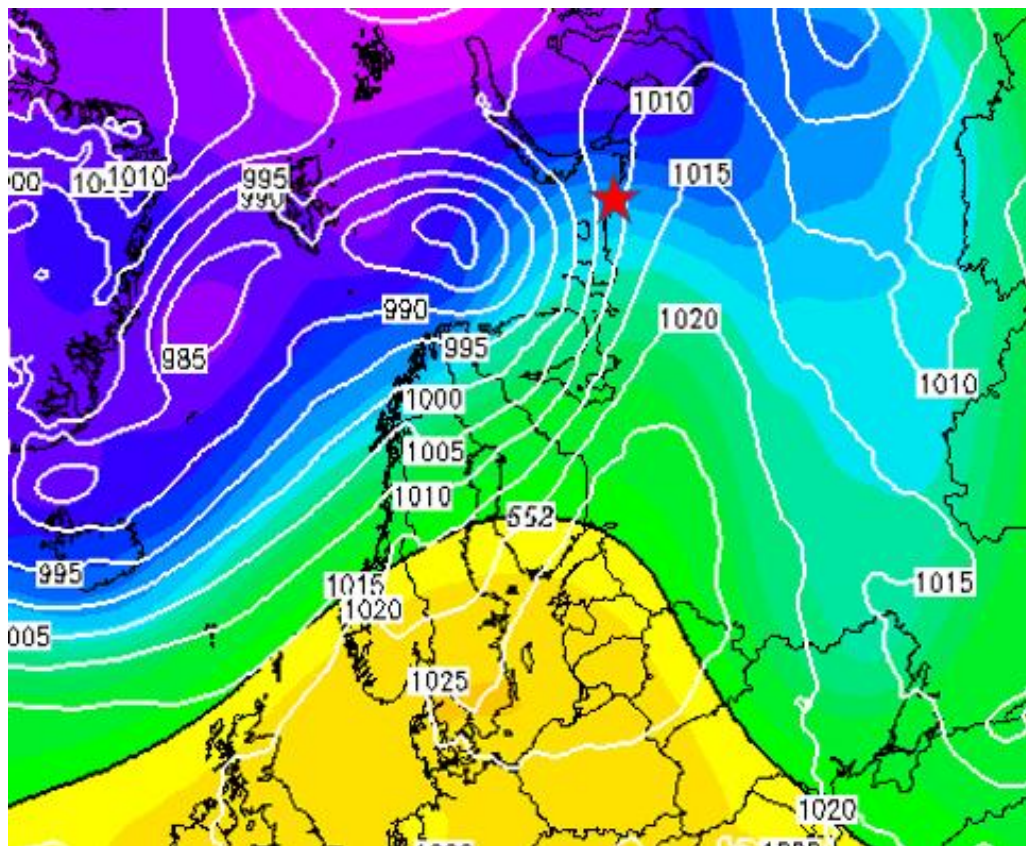


Рисунок 19 Приземная карта (изолинии) и карта AT500 (цветное поле) за 26.03.2003 12 UTC

26 марта 2003 года с 12 UTC до 00 UTC 27 марта на станции Мыс Константиновский (23144) выпало 27.3 мм осадков. Явление сопровождалось ветром 15 м/с, температура воздуха была -8°C что соответствует метели. Станция располагалась на юго-восточной периферии циклона над северным Карским морем (давление ~ 990 гПа), вблизи атмосферного фронта. На карте AT500 над Уралом наблюдалась глубокая ложбина с осью по 65° в.д. (геопотенциал 516 дам). Станция находилась восточнее оси ложбины в южном потоке (180°), осуществлявшем адвекцию влажного воздуха с Карского моря. Осадки усилились орографически при подъеме воздуха на склоны Полярного Урала..

Вывод

Анализ данных 30 береговых метеостанций Российской Арктики за 1980–2020 гг. выявил четкие пространственно-временные закономерности опасных метеорологических явлений (ОЯ). Наиболее значимые изменения отмечены для сильных ветров (≥ 15 м/с): максимальная повторяемость зафиксирована в 1981 г. (23 случая), при этом 78% событий пришлось на станцию Тикси, расположенную на открытом побережье моря Лаптевых. В последующие десятилетия наблюдается снижение частоты ветров на востоке региона (район моря Лаптевых), но рост в западном секторе (Баренцево море), что связано с изменением траекторий циклонов.

Параллельно с этим установлена устойчивая тенденция к увеличению повторяемости сильных туманов (видимость ≤ 50 м, ≥ 12 ч). Пик явлений отмечен в 2002 г. (54 случая), причем половина событий зарегистрирована в Амдерме (Карские Ворота), где ключевую роль играет рост испарения с поверхности прогревающегося Карского моря. Для метелей выявлена разнонаправленная динамика: сокращение частоты в западной Арктике (Баренцево море) контрастирует с ростом в восточных районах (море Лаптевых), где в 1981 г. зафиксирован абсолютный максимум (309 случаев).

Сильные дожди (≥ 30 мм/12 ч) носят выраженный региональный и сезонный характер. Более 60% случаев сосредоточено в западной части побережья (Онега, Архангельск) в июле-августе, что объясняется адвекцией теплых атлантических воздушных масс. При этом в последние два десятилетия их частота возросла в Чукотском море, где ранее подобные явления были редкостью. Сильные снегопады (≥ 20 мм/12 ч) наиболее типичны для островных станций (Новая Земля, Баренцбург), где зафиксировано до 21 случая за период. Здесь же отмечен рост

явлений, в то время как в континентальных районах Баренцева моря их частота снижается.

Синоптический анализ экстремальных снегопадов подтвердил доминирующую роль глубоких циклонов. Так, в Баренцбурге (2016 г.) и на Новой Земле (2011 г.) события были вызваны циклонами с давлением ≤ 975 гПа, сформировавшимися над Баренцевым и Карским морями. На станции Мыс Константиновский (2003 г.) дополнительным фактором стало орографическое усиление осадков при южном переносе влаги с Карского моря.

Полученные результаты подчеркивают выраженную неоднородность изменений ОЯ вдоль арктического побережья России. Учет региональных особенностей — таких как локальная повторяемость ветров на открытых станциях (Тикси), чувствительность восточных районов к осадкам на мерзлоте или рост туманов в зонах сокращения ледового покрова (Амдерма) — критически важен для адаптации критериев опасности и повышения точности прогнозов.

Источники

1. <http://aisori-m.meteo.ru/waisori/index1.shtml>
2. <https://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>
3. <https://www.windy.com>
4. https://rp5.ru/Погода_в_России
5. <https://meteoinfo.ru/mapsynop>
6. <http://chukotmeteo.ru>
7. http://meteomaps.ru/meteostation_codes.html
8. <https://nationalatlas.ru>
9. <https://www.sevmeteo.ru/>
10. Фролов И.Е. и др. (2021) "Изменения климата Арктики и Антарктики". — М.: ААНИИ.
11. Атлас Арктики (1985) / Под ред. Трешникова А.Ф. — М.: ГУГК.
12. <http://www.aari.ru/>
13. <https://earthobservatory.nasa.gov/>
14. Кондратьев К.Я. (2004) "Климатические изменения: роль Арктики". — СПб.: Наука.
15. <https://meteoinfo.ru/images/media/books-docs/RHM/nast-KPP-2019.pdf>