



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

Кафедра метеорологии, климатологии и охраны атмосферы

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

На тему: «Особенности климатических изменений температуры и осадков
над акваторией Баренцева моря»

Исполнитель Гусаков Антон Михайлович
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат технических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)

Лебедев Андрей Борисович
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
заведующий кафедрой

(подпись)

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

Сероухова Ольга Станиславовна
(фамилия, имя, отчество)

« 14 » Июня 2022 г.

Санкт-Петербург
2022

Введение.

Баренцево море является стратегически и экономически важным объектом Российской Федерации. Содержит большие запасы пресной воды в виде ледников вечной мерзлоты на севере. Является важной водной артерией через Белое море связывающей РФ с странами Азии, Европы и Америки посредством Северного морского пути [1].

Именно на побережье Баренцева моря расположен Мурманск, один из крупнейших портов Арктики. Море здесь не замерзает зимой, поэтому порт принимает суда постоянно. Благодаря круглогодичной работе, Мурманск стал перевалочной базой при осуществлении грузоперевозок по Баренцеву морю. Вместе с Архангельском, который находится в акватории Белого моря, оба порта дают около половины общего грузооборота на Северном морском пути [1]. В Мурманске отгружают товары на импорт: металл, мука, сахар, и экспортируют грузы — уголь, апатиты, древесину и руды. Город Полярный является базой, где располагается российский Северный флот.

Целью данной работы является изучение физико-географических и климатических характеристик Баренцева моря. Для дальнейшего изучения климатических изменений в исследуемом регионе.

Работа состоит введения, пяти глав: 1 физико-географическое описание, 2 рельеф и геологическое строение дна, 3. гидрологический режим, 4 и 5 синоптические и климатические особенности акватории соответственно, заключения.

По итогам работам произведен вывод.

Рисунок 1 Географическое расположение Баренцева моря [2]

Является самым значительным по размерам морем в СЛО. Значения площади всей акватории составляют около 1,4 млн. км² и значения объёма воды приблизительно 320 000 кубических километров. Глубины незначительные, порядка 500-600 метров. По границам водоёма располагаются множественные относительно маленькие острова, наибольшая концентрация в архипелаге Франца-Иосифа, самые крупные островные массивы являются частью Новой Земли. Климат и погодные условия беспокойные, оказывают влияние на форму рельефа береговой линии, по большей части крутые, представляющие горизонтальные круто ломанные линии с заливами и заводями. Береговые участки сложные, сильно изрезаны, с многочисленными мысами, заливами, бухтами и фьордами. Береговая линия, преимущественно, механически разрушена и снесена, менее распространены берега, имеющие накопленные наносы в виде береговых, подводных валов и баров, кос, Томболо, аккумулятивных террас. Также значительна линия берега, покрытая ледяным и снежным слоями. Рельеф береговой линии различный. Встречаются высокие, фьордовые, отвесные, скалистые, круто оканчивающиеся к водной глади на севере и на юге. На юго-востоке низкие и холмистые. Зона вечной мерзлоты граничит у северного рубежа.

1.2. Геологическая структура и рельеф дна Баренцева моря

Исследуемое море можно включить в категорию материковые, так как максимальная глубина уровня дна около 600 м, средняя глубина меньше (рис. 2). Н северной и западной границах наблюдаются резкие увеличения глубины до 1000-3000 метров. Однако в сравнении с другими морями приполярной и полярной зоны, является одним из наиболее глубоких. К сухопутным границам уровень глубины местами повышается до нескольких десятков метров.

Рельеф дна холмистый, контрастный и меняющийся по высоте. Но встречаются и ровные места. В рельефе земной поверхности в море можно выделить равнинные территории, такие как плато Центровое, возвышенности ложбины, овраги и впадины. Ближе к береговой линии на юге, рельеф дна принимает спокойную форму с незначительными глубинами. Наиболее глубокие части находятся у границ с Норвежским морем. Посредством гидрологических процессов геологической протяженности происходит дифференциация глубин дна водоёма, а также структурный состав почв. Структура грунтов дна представлена песчаным илом, илистым мелкодисперсным песком по типу речного. Части морского дна покрыты илом, песком, а также нагромождением больших камней, валунами и скалами.

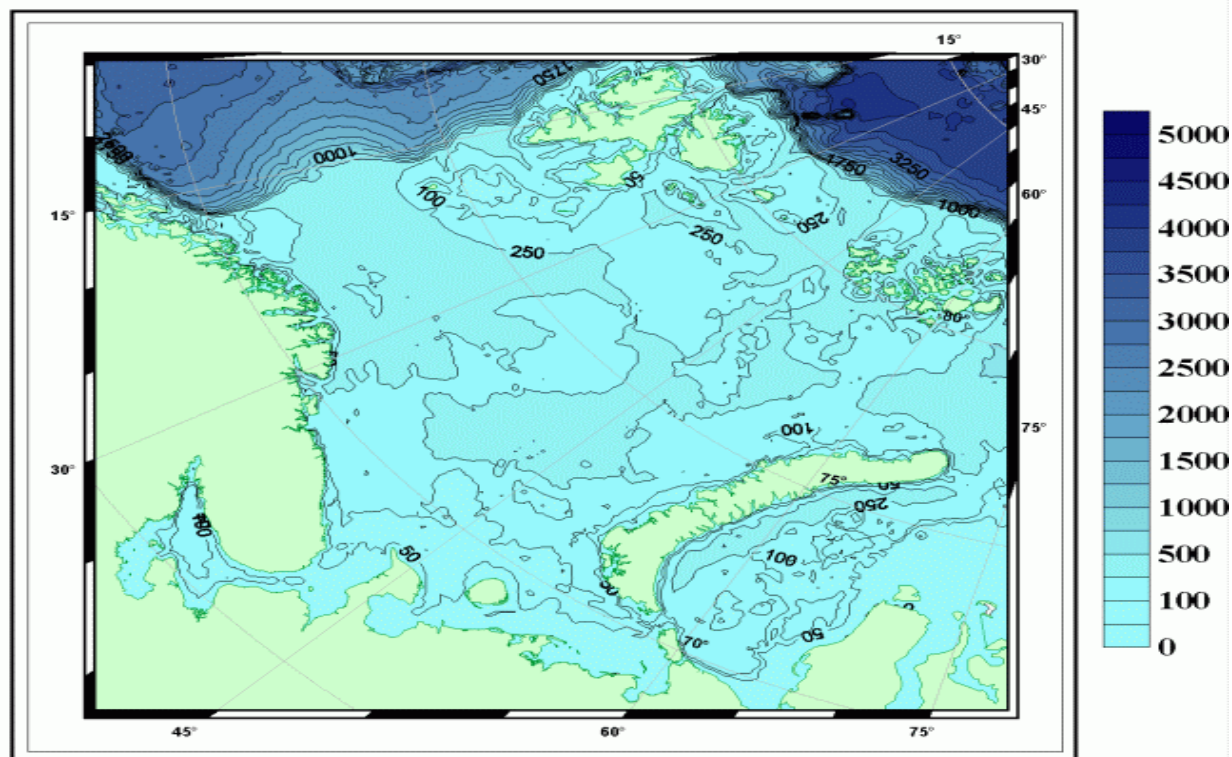


Рисунок 2 Рельеф дна Баренцева моря [2]

1.3. Гидрологический режим Баренцева моря

Акватория моря располагается вдоль основной траектории (помимо второго пути через пролив Фрама) движения атлантической воды в северно-ледовитый океан. Водообменные процессы между двумя океанами крупно формируют климат Европы и, в значительной степени, оказывают влияние на климат по планете в целом. В начале 21 века укрупнилось попадание вод Атлантики на север, то есть усилилась «атлантификация» северно-ледовитого океана, что способствовало потоку тепла в Арктику, соответственно побудило прогнозируемые климатические изменения [4].

В десятилетия между 1998 и 2008 гг. общая площадь льда в Баренцевом море сократилась на половину. Процесс связан с сильным сокращением покровом льда за все сезоны, в том числе, зимой. Предсказать сезонное распространение ледяного покрова легче, чем в других районах Северно-ледовитом океане.

По причине изменения гидро-крио-химических условий БМ, в теплые периоды года наблюдается таяние морского льда на севере акватории, на границе с Северным Ледовитым океаном. Данные процессы побуждают к значительному уменьшению пресноводности, увеличению, с нагревом, плотности воды. Являются фундаментальными индикаторами глобальной климатической динамики.

Атлантические воды понижаются в температуре и становятся пресными в Баренцевом море, вследствие чего это море является основным районом изменения и эволюции водных объёмов региона синоптического масштаба. Теплая вода Северной Атлантики, пересекая баренцевоморский шельф, отдает тепло арктической атмосфере. Выявлено значительное повышение температуры воды (на $\sim 0,2^{\circ}\text{C}$ за 10 лет) БМ за последнее время. Последствием значительного переноса тепла через океан, относительно среднеклиматических норм, стало сокращение образования собственного морского льда в Баренцевом море зимой. Глобальное уменьшение криосферы в северно-ледовитом океане, благоприятствует снижению движения льда в северную часть Баренцева моря.

Теплая часть из Атлантики в Баренцевом море взаимодействует на холодную зоной Северного-Ледовитого океана, благодаря смещению зоны вечной мерзлоты на север. Поэтому, северная морская периферия исследуемого водоёма определяется как критическая точка потепления в Арктике. А также в рамках глобального потепления. Положительные температурные аномалии, увеличение солёности воды отмечается с начала XXI века. С высокой вероятностью можно сделать вывод, что процессы связаны с недавним

снижением поступления морского льда в полярную область БМ и, в результате, снижением вложения положительно щелочного состава воды в результате таяния льда. Сокращение объемов талой пресной воды в водном балансе моря приводит к меньшей выраженности дифференциации по уровням водной толщи, укреплению вертикальной турбулентности и способствованию восходящих потоков тепла и соли на пересечении холодных арктических и тёплых атлантических водных объёмов (рис. 3), способствующие снижению сезонности ледяного покрова и увеличению запаса тепла в океане. Область красного цвета на рис. 3 отличается преобладанием теплой и соленой Атлантической воды (АВ), занимающая весь водный столб, от дна до поверхности, характеризуется большими теплообменом с атмосферой в холодные периоды. Область синего цвета доминирования арктической воды отличается содержанием слоя холодной водной массы у поверхности, широким составом (имеет незначительный слой холодной и пресной воды Арктики (АрВ), залегающей над поверхностью глубинного слоя атлантической) и накрыта ледяной коркой. В данной части поднимающиеся движущиеся объёмы тепла и соли из глубоководного слоя атлантических вод являются наименьшими, так как тут слабее дифференциация по уровням водной толщи, а слой вод Атлантики несет более высокую температуру и соленость в сравнении с центральными Арктическими регионами.

Приток морских ледяных образований из Арктического региона представляет собой стратегически важный источник питьевой воды в пограничном регионе (северной периферии БМ), так как растаявшие водные объёмы морских ледовых структур усиливает снижающиеся переносы пресной воды и балансирует поднимающийся поток соли, таким образом поддерживая распределение воды по уровням. Поднимающийся поток соленой воды уменьшает вертикальное распределение, приводящее к ее разрушению в регионах на границе водораздела, и далее – к изменению климата Арктики на климат Атлантики, если снижающегося потока чистой воды становится меньше. Данные явления могут способствовать значительным последствия для всего северно-ледовитого океана, а также в масштабе всей системы, которые еще слабо изучены.

Выводы биогеохимических и биологических исследований иллюстрируют изменения в экосистеме Баренцева моря, которые происходят в настоящее время. В составе фитопланктона установлены специальные индикаторы увеличения влияния атлантических вод на арктический регион.

Этот перенос теплых воздушных масс обычно прерывается сильными вторжениями полярных антициклонических гребней, сопровождающихся проникновением на юг холодных воздушных масс из Арктики. По сравнению со всеми арктическими морями климат Баренцева моря характеризуется высокими температурами, мягкой зимой и большим количеством осадков. По средним данным суровость климата в океанах увеличивается с юга на север и с запада на восток. Среднегодовая температура воздуха следующая: остров Медвежий $-1,7^{\circ}$, архипелаг Шпицберген $-5,1^{\circ}$, залив Тихая $-10,4^{\circ}$. Значения усредненной температуры наиболее холодных месяцев у берега: -10° , -15° , на островном севере -20° , -23° .

В июле температура колеблется от $+1^{\circ}$ до $+7^{\circ}$ в разных районах. Климат неравномерен под влиянием теплых атлантических водных масс и притоков воды низкой температуры с полярных регионов. Приближаясь к границам с СЛО воздушные массы приобретают арктический характер, ближе к материковому югу воздух имеет характеристику широт умеренного пояса. Выделяется четыре отдельных района климатических условий воздушной массы.

Сильное влияние на *юго-западе* имеет циклоническая деятельность и прогретый водный поток, именуемый Нордкап. Циклоны часто переносят теплые воздушные массы и выделяют тепло моря в атмосферу, формируя район с аномальными положительными отклонениями. Ветер здесь сильный, преобладает юго-западного направления. Температура зимой -1 , -4°C , летом $9,0^{\circ}\text{C}$. Метеоусловия характеризуются маленьким суточными и межгодовыми перепадами температур, устойчивостью направления потоков ветра, регулярными осадками, сильной облачностью.

Для *юго-восточного региона* характерна частая замена прогретого воздуха Атлантики холодным воздухом Евразии. По этой причине тут могут быть высокие градиенты температур. Температура воздуха в восточном и юго-восточном регионах, там, где преобладает оказание термического воздействия пониженных температур акватории Карского бассейна. Поступает охлажденная вода через проливы между архипелагом Новая Земля и материковой территорией. Значения средней за месяц температуры воздуха составляет -7°C в холодный и 7°C в летний периоды.

Северо-Западные территории от архипелага Земля Франца-Иосифа до острова Медвежьего. Получают сильное воздействие полярных холодных вод акватории Арктики.

Район характеризуется прежде всего наличием отрицательных температур воздушной массы и воды, льдин и присутствием айсбергов. Холодный период

отличаются суровостью (значения средней температуры составляют около -20 -24°C), ветровой режим преобладает северо-восточный.

Четвертый район включает в себя центральную и северо-восточную части моря. Атлантические воды в этот регион поступают с северной и Колгуево-Новоземельской ветвями Нордкапского течения. Район испытывает значительные воздействия атлантических воздушных масс, особенно при перемещении циклонов с юго-запада на северо - восток. Среднемесячные температуры в центральном районе варьируются от -4 до -10°C зимой и от 3 до 5°C летом, в юго - восточном районе от -15 до -20°C зимой и от 1 до 3°C летом.

Четвертый регион представлен *центральной и северо-восточной* периферией акватории. Водные массы Атлантики прибывают в данный из двух ветвей течения Нордкап. На регион сильно влияет воздух Атлантики. Наиболее ярко при по мере того, как циклон движется с юго-западного направления на северо-восточное. Средние за месяц значения температур воздуха в данном регионе в холодный период варьируются от -4 до -10°C , в теплый период от 3 до 5°C .

1.5. Климатические особенности акватории Баренцева моря

1.5.1. Облачность.

Облачная периодичность над морской поверхностью возникает благодаря оказанию влияния процессов циркуляции, определяющие основную траекторию переноса воздуха и его влагосодержание, в том числе благодаря оказанию влияния характера приземного и при водного слоев. Большое влияние, также, оказывает вертикальное термическое распределение атмосферы.

БМ является, по значительности облачности, одним из самых выраженных регионов полярного региона в течении всех годовых сезонов.

В холодный сезон самое значительное присутствие общей и нижнего яруса облачного режимов отмечается в центральном, а также юго-западном регионах акватории. Усредненное количество общей облачности тут значится 9, а нижней - 8 баллов (см. рис. 4). В зимний период местоположение зоны самой значительной облачности связывается с влиянием циркуляций морской водной массы в данных регионах, отличающихся по температурному режиму, оказывающие воздействие на проявление и переформирование процессов циклогенеза. Бурная деятельность циклонов в данном регионе благоприятствует образованию и длительному присутствию сплошных, достаточно длинных масс облаков с преобладающим влиянием форм нижнего яруса на атмосферных фронтах и внутримассового характеров. Ситуации со сплошной нижней облачностью можно наблюдать во все месяцы холодного периода как изолированные области увеличенной повторяемости на юге и юго-востоке акватории Баренцева моря. Географическое положение областей ежемесячной периодичности мало динамично.

Районы минимальной облачности в зимнюю половину года находятся в северных регионах объекта (5-6 б. общая, 3-4 б. нижняя), связывается с воздействием тут антициклонов. Влагосодержание воздушной массы в холодный сезон в регионах с устойчивым слоем льда является низким и благоприятствует незначительному формированию облачности.

Вычисленное содержание влаги слоя атмосферы до 5000 метров в эти периоды на северной периферии объекта в полтора-два раза меньше, по сравнению с перифериями на юге Баренцева моря.

При воздействии явлений передвижения границы льдообразования в северном направлении при его таянии, наблюдается увеличение содержания тепла и влаги атмосферы и испарения с верхних слоев моря. В теплый сезон практически над всей поверхностью моря преобладает сплошная облачность всех ярусов, кроме побережья на юге, где облачность снижается до 8 б. Поскольку режим теплого периода всюду возникает при условиях слабоинтенсивной динамики атмосферы, постоянного прибывания тепла от

Солнца на протяжении длительного полярного дня и структурно одинаковой стратификацией приводного слоя.

Изменчивость облачности от сезона к сезону растет с увеличением географической широты в регионе. Разность среднего балла как всей, так и нижнего яруса облачности зимой-летом составляет в южных районах менее 1 б., в северных - 3-4 б. Повторяемость высоты нижней границы облачности в % представлена в табл. 1.

По этим причинам, можно заметить посезонную смену горизонтального градиента облачного режима, в направлении в холодный период с юга на север, а в теплый период – наоборот. Связано с высокой изменчивостью ее в северных районах и более стабильными рамками ее возникновения на южной морской периферии.

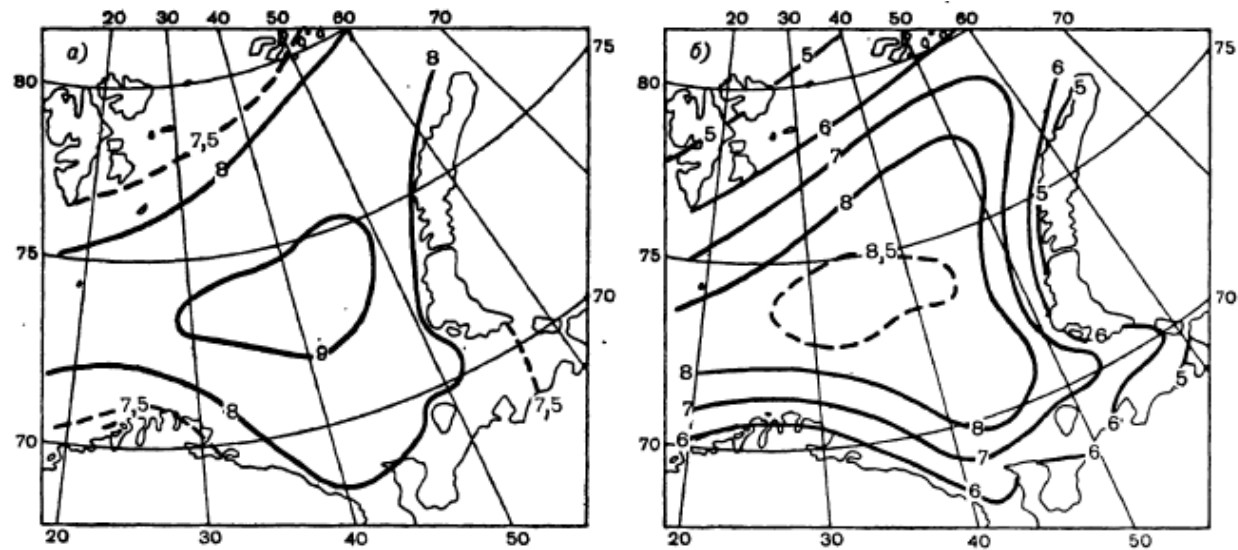


Рисунок 4 Номограмма общая (а) и нижняя (б) облачность акватории Баренцева моря (год), балл.

Таблица 1 Повторяемость высоты нижней границы облачности, %

Высота, м	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Остров Надежды													
≤50	3,2	2,3	1,7	2,9	3,5	12,4	21,1	18,5	8,6	3,1	1,6	3,0	6,7
≤100	4,3	5,7	5,6	6,2	7,1	20,1	35,9	28,9	14,1	6,4	3,1	3,6	11,5
≤200	13,4	15,3	15,3	13,0	16,7	37,1	57,9	50,0	26,8	14,6	9,9	9,0	22,9
≤300	25,5	30,3	30,4	27,2	32,7	55,4	72,1	68,4	42,6	29,4	27,5	22,1	38,1
≤600	58,0	64,9	62,3	61,5	66,8	77,4	82,0	84,2	68,0	70,6	71,0	62,0	68,9
≤2500	81,5	90,3	83,2	84,3	92,9	92,3	95,0	98,0	98,1	95,9	92,0	89,2	90,9
Вардё													
≤50	1,9	1,0	0,9	0,2	0,2	2,1	2,0	1,5	1,0	0,1	0,0	0,9	0,7
≤100	2,7	1,5	0,9	0,2	0,3	4,8	5,6	6,9	1,1	0,3	0,2	1,7	2,2
≤200	5,0	3,0	1,6	0,9	1,1	8,3	10,0	10,5	1,5	1,5	0,6	4,7	4,1
≤300	8,1	4,8	3,0	1,9	4,1	14,9	16,5	17,3	6,7	7,2	4,1	5,4	7,8

1.5.2. Осадки и явления.

Результатов вычисления сумм осадков над самой морской поверхностью достаточно невелико. Из-за отсутствия непосредственных определений сумм осадков над акваторией используют различные посредственные методы их расчета. Здесь применяют, обычно, измеренные значения количества осадков на береговых, плавучих и островных м/с, но их количество насчитывается только в 1/10 части общего числа станций сети мониторинга, когда как раз над поверхностью морей и океанов проливается четыре пятых части общей суммы осадков на Земле.

В ходе анализирования изогий карт повторяемости осадков, можно заключить, что усредненный уровень осадков бассейна БМ составляет 726 миллиметров за год (739 миллиметров за год на материке, 574 миллиметров за год на островах). Активизирование процессов образования осадков в Арктическом регионе «Старого Света» протекает, как правило, при зональном и меридиональном характерах динамики, а уменьшение интенсивности — при восточной форме. Важная задача в возникновении режима осадков над поверхностью моря принадлежит низким барическим образованиям. Повторяемость циклонов в холодный период в четыре-пять раз, а летом в два-три раза выше, чем высотных барических образований, и преобладающее количество осадков тут проливается с деятельностью атмосферных фронтов.

Годовое изменение сумм осадков (рис. 5) противоположно годовому изменению повторяемости осадков, это связано с различной интенсивностью проливания осадков в различные сезоны. В холодный период осадки часты, но их сумма за отрезок времени меньше, чем в летний период. Тогда они наблюдаются относительно реже. Обычно, самые большие суммы осадков на суше приходится на теплый сезон (с конца июня по август). Данный континентальный характер режимов осадков применим, например, для Кольского полуострова. Над водной гладью, также как и в северных атлантических регионах, максимум суммы осадков наблюдаются в начале и середине осени (рис. 6) и связано с активированием деятельности циклонов. Наименьшие суммы осадков, также как и во всем полярно регионе, приходится на первую половину и середину весны и связаны с устоявшимся антициклональным характером условий, связанным с динамикой полярных высотных барических образований.

Туманы. Над акваторией моря наблюдается низкие температуры. Соответственно, для состояния насыщения и возникновения тумана, достаточно незначительного охлаждения воздуха. Дней в году с туманами наблюдается до 70 [7].

Сильные ветры. Наиболее сильные по скорости ветры над акваторией Баренцева моря действуют в западной части моря, продолжая область сильных ветров северной части Атлантического моря. Максимальные скорости абсолютных величин обеспеченностью 5%, 1% и 0,1% составляют 17-19 м/с,

21-23 м/с и 24-25 м/с соответственно. Часто наблюдаются штормы, связанные с прохождением внетропических и мезомасштабных циклонов. Также способствующим сильному ветру является новоземельская бора [7].

Новоземельская бора – процесс обвала холодного горного воздуха острова Новая Земля в сторону восточной части Баренцева моря. Дистанция оказания влияния в сторону моря 30-50 км. Длительностью до 5 суток. С максимальными скоростями ветра 60-80 м/с, порывами 100 м/с. Возникает, главным образом, на атмосферных фронтах, когда холодный ветер перпендикулярен горному хребту или теплый ветер параллелен хребту. Наибольшей интенсивностью при восточных и юго-восточных направлениях ветра.

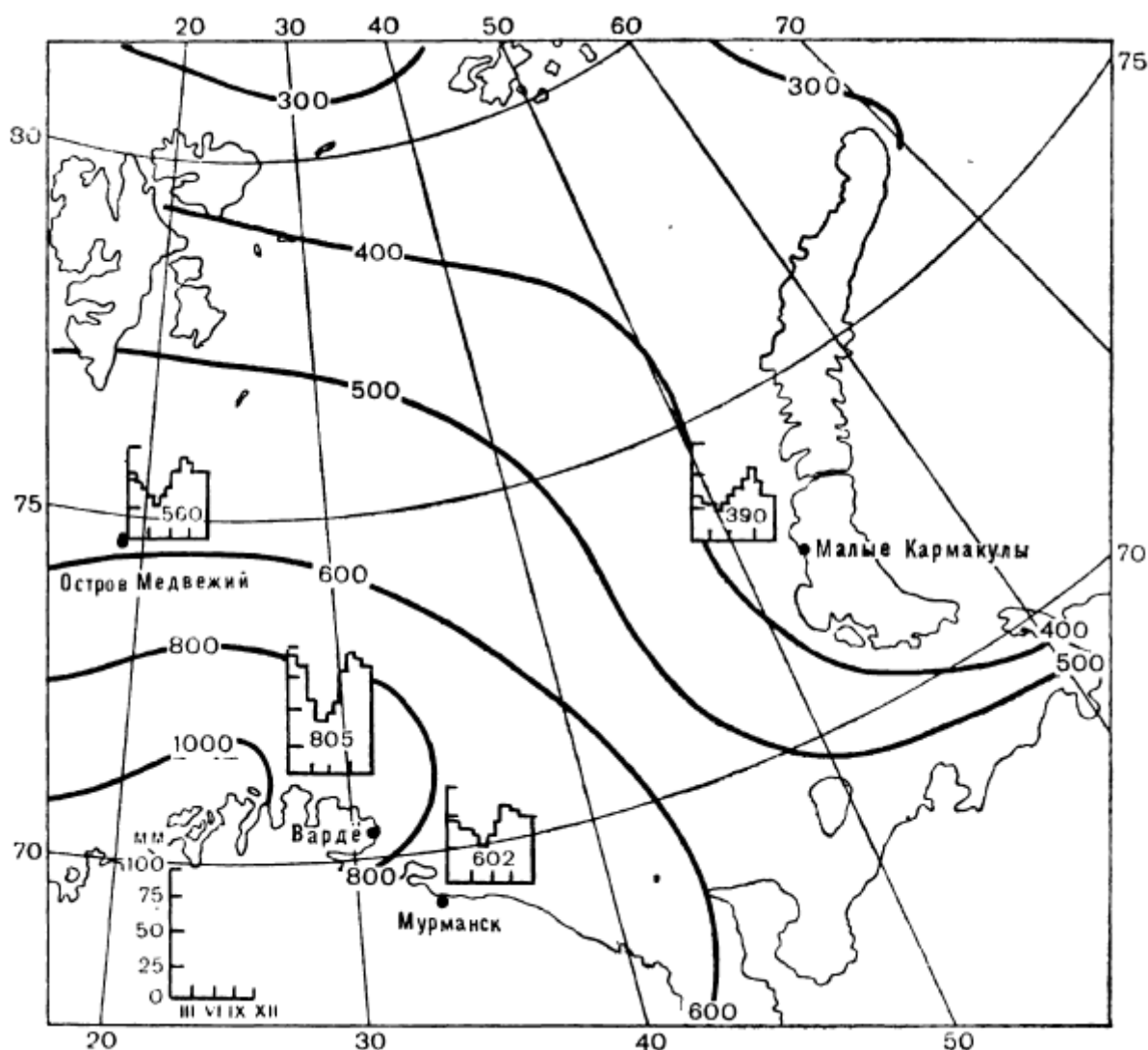


Рисунок 5 Количество осадков по месяцам и годовая сумма осадков на береговых метеостанциях Баренцева моря, мм.

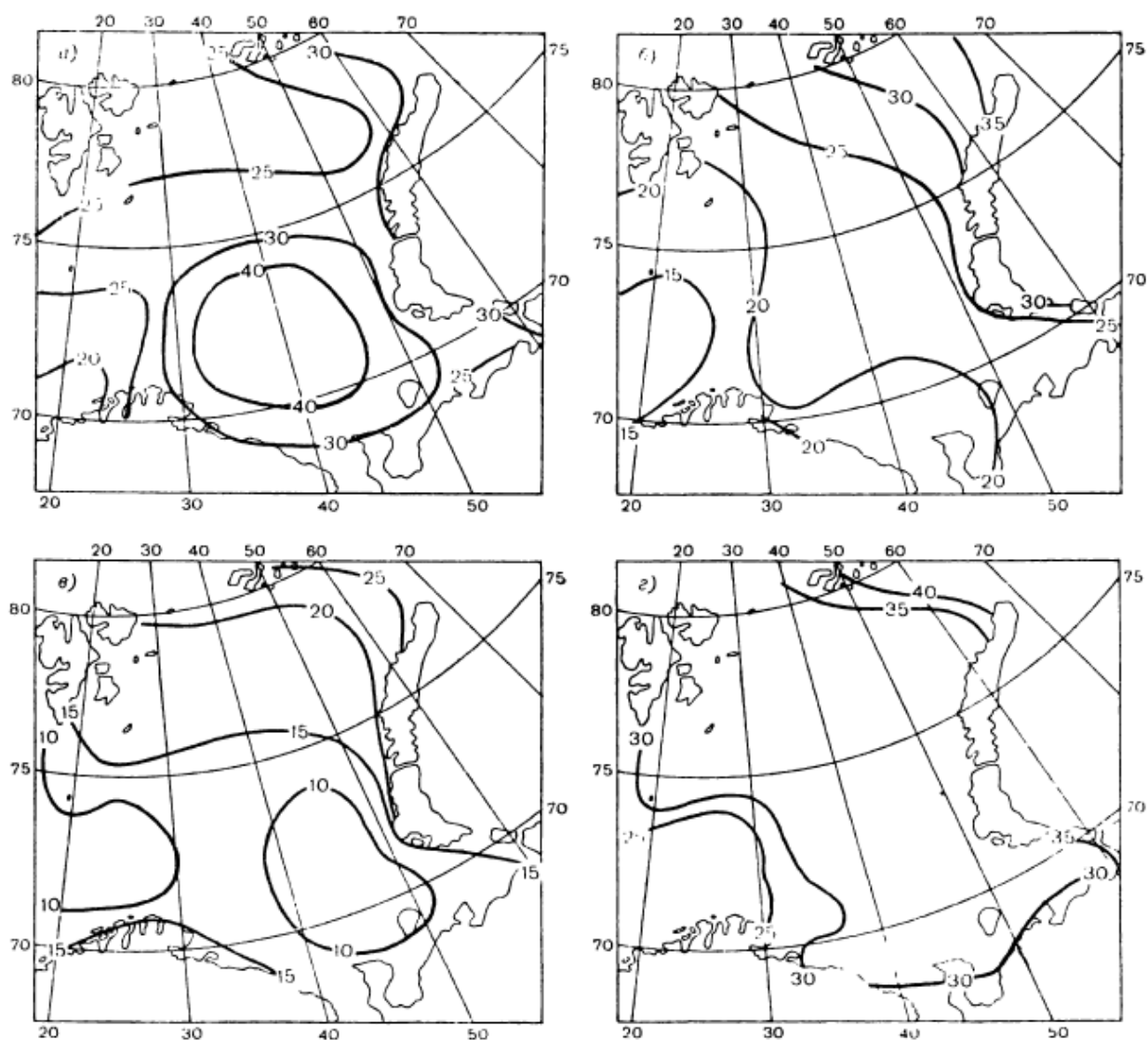


Рисунок 6 Повторяемость осадков, %. а — 1 месяц; б — 5 месяц; в — 7 месяц; г — 10 месяц года.

По причинам сменного режима годового хода Солнца, высотности широты географического положения, сильно развиты явления полярные ночь и день.

1.5.3. Ветер.

Согласно [6] режим ветра над морем связан, в основном, с характером сезонного барического поля, являющегося результатом циркуляции атмосферы. В холодный сезон, в соответствии с глубокой ложбиной, образованной преобладающими траекториями циклонов и простирающейся от исландской депрессии на БМ, в южной части его преобладают ветровые потоки, направленные с юго-запада и юга. Повторяемость юго-западных и южных ветров на берегах Скандинавского региона и Кольского полуострова составляет в сумме около половины всех ветров. С удалением от побережья их

доля несколько уменьшается, и на $71 - 72^\circ$ с. ш. южные и юго-западные ветры составляют 30 – 40%. В районах на востоке, примыкающих к Новой Земле, преобладающими являются юго-восточные и восточные ветры, повторяемость их 3/5 и более. Северная половина моря в холодный сезон находится под действием северо-восточных и восточных потоков воздуха (рис. 7).

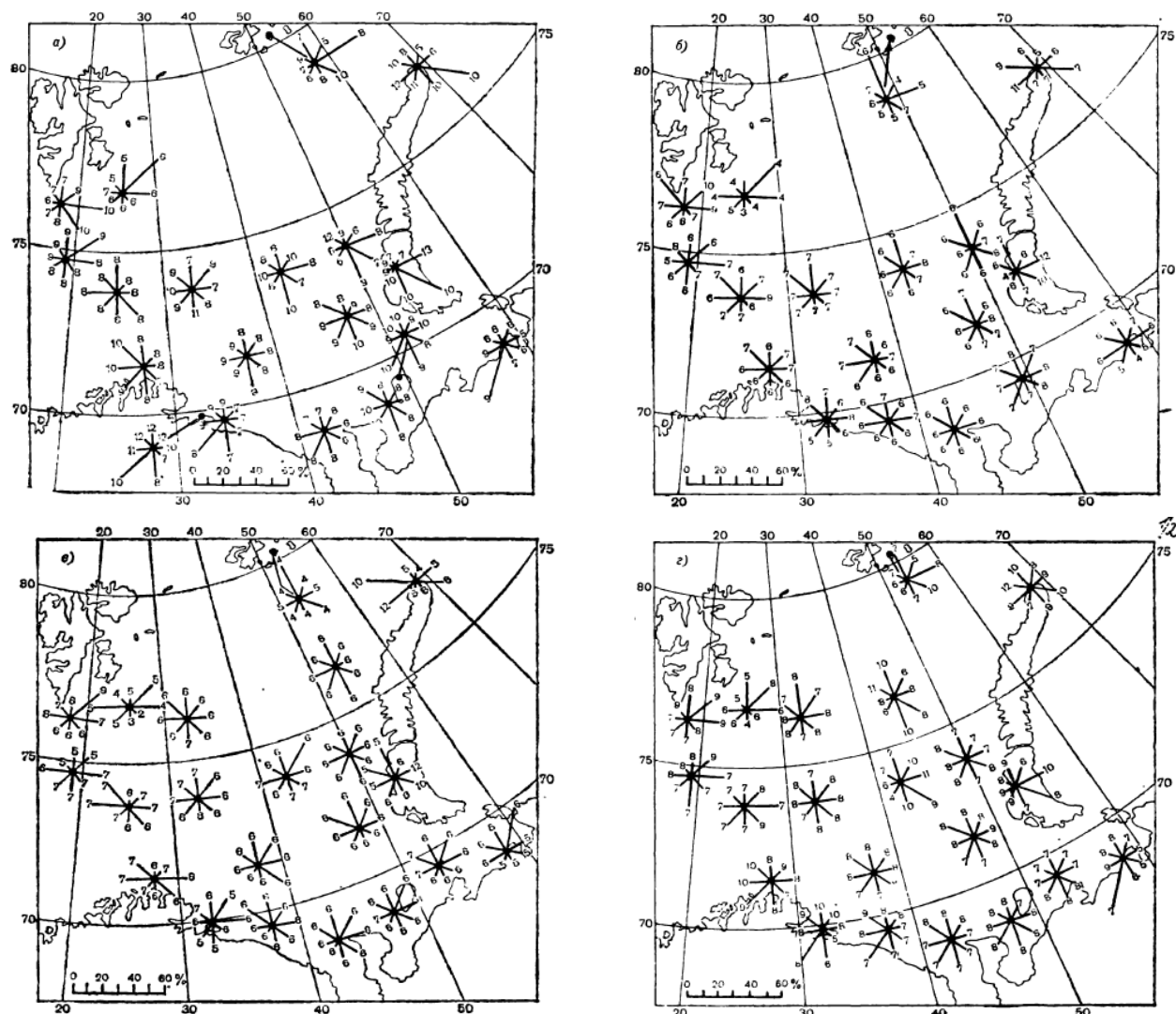


Рисунок 7 Повторяемость направлений и средняя скорость ветра по направлениям. а - 1 месяц; б - 5 месяц; в - 7 месяц; г - 10 месяц года; длина луча - повторяемость ветра данного направления в соответственном объеме, %; численные значения - средняя скорость ветра, м/с.

1.5.4. Температура воздуха

Средняя в годовом ходе температура воздуха над акваторией БМ в период 1979 – 2005 гг. составила -1.25°C [7]. Юго-западная периферия акватории представлена низким годовым изменением температуры воздушной массы (табл. 2). Амплитуда в течение года составляет девять-десять градусов Цельсия. Продолжительности увеличения и уменьшения температуры являются почти симметричными относительно экстремумов, замеченных в

феврале (наименьшие) и в августе (наибольшие). Значительно интенсивное увеличение температуры воздуха приходится от мая к июню на два с половиной-три градуса по Цельсию, а значительно интенсивное падение ее - от сентября к октябрю на два с половиной-четыре градуса по Цельсию (табл. 2).

В центральном регионе БМ, до $74 - 75^\circ$ с. ш. и юго-восточном регионе годовое изменение температуры воздушной массы аналогично. Соответствует месячным наименьшим (в феврале) и наибольшим (в августе) значениям. Однако изменение температуры за год в данных регионах увеличивается соответственно до значений $10 - 12$ и до $20 - 23$ градусов по Цельсию. Севернее названных широт можно заметить смещение наименьших значений температуры на второй месяц весны, по причине того, что над полярным регионом возрастает антициклонические процессы

В это время теплообмен морской поверхности, покрытой слоем льдом, порядком становится меньше. Максимально теплым месяцем в северном регионе центра моря остается третий месяц лета. Изредка наибольшая средняя температура воздуха за месяц может наблюдаться в втором месяце лета, но в большинстве анализируемых лет наблюдается в августе. Увеличение значений температуры продолжается 5 месяцев, снижение - 7 месяцев. Данная несимметричность связана с отличающейся интенсивностью динамики температуры воздушной массы в периоды ее увеличения и снижения. В начале и в конце периода подъема температура увеличивается на $2 - 3^\circ\text{C}$ за месяц, а в середине его (от апреля к маю) - на $5 - 7^\circ\text{C}$. Падение температуры воздуха от максимальных значений к минимальным происходит более равномерно, на $2 - 4^\circ\text{C}$ за месяц.

Значительнее менее симметричен годовое изменение температуры воздушной массы в северной периферии БМ и у восточных прибрежных островов архипелага Шпицберген, минимум температуры замечен во второй половине зимнего периода (в начале весны), и максимум приходится раньше, чем в других регионах - в июле. В третьем месяце лета температура воздушной массы на данных широтах, как правило, уже начинает снижаться, и в маленьком количестве лет наибольшая усредненная температура отмечена в данном месяце. Тем самым, рост температуры длится в течение 4 месяца, а падение происходит 8 месяцев. Изменение годового хода температуры в данном прибрежном и ледовитом районе примерно составляет $18 - 22$ градусов по Цельсию. На протяжении 10 месяцев средняя температура воздушной массы на северной периферии БМ ниже 0°C и лишь в июле и августе приобретает слабо положительные значения на один, два градуса выше нуля.

Таблица 2 Средняя месячная температура воздуха (1-я строка)
и среднее квадратическое отклонение от нее (2-я строка), °С

Станция, период	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Нагурское 1952—1980	−24,0 5,6	−23,5 6,0	−23,7 5,9	−18,1 3,5	−9,4 2,1	−1,8 0,6	0,9 0,4	0,2 0,7	−3,8 1,8	−11,9 3,3	−18,1 5,7	−21,5 4,9	−12,8 1,7
Мыс Желания 1936—1980	−19,8 5,5	−20,2 5,4	−20,6 4,2	−15,7 3,1	−8,0 2,0	−1,2 1,3	1,8 1,0	2,3 1,3	0,1 1,3	−5,7 2,7	−12,6 4,4	−15,8 5,2	−9,6 1,8
Остров Надежды 1947—1979	−13,2 5,5	−12,7 4,7	−13,7 4,9	−10,9 2,9	−4,8 1,5	−0,4 0,8	1,9 0,9	2,2 1,1	0,7 1,2	−2,9 3,1	−7,1 4,8	−10,4 5,3	−5,9 1,9
Русская Гавань 1932—1980	−16,8 5,3	−17,1 4,9	−17,5 4,0	−13,0 2,9	−6,5 1,5	0,4 1,1	3,8 1,3	3,6 1,2	0,8 1,3	−4,8 2,3	−10,6 4,3	−13,7 4,9	−7,6 1,6
Остров Медвежий 1947—1979	−7,7 3,8	−7,3 3,9	−7,4 4,1	−5,4 2,1	−1,5 1,5	1,8 1,2	4,3 1,2	4,4 1,3	2,7 1,0	−0,2 2,2	−2,9 2,6	−5,7 3,5	−2,1 1,5
Малые Кармакулы 1936—1940, 1940—1980	−13,6 4,1	−15,2 4,5	−14,1 4,0	−9,5 3,1	−4,2 1,4	1,8 1,2	7,1 2,0	6,4 1,3	3,2 1,2	−2,3 2,2	−7,8 4,5	−10,5 4,5	−4,9 1,6
Гамвик 1948—1979	−4,3 1,9	−4,7 1,9	−3,1 1,9	−0,8 1,3	2,9 1,3	6,3 1,3	9,3 1,6	9,3 1,1	6,7 1,1	2,4 1,6	−0,7 1,5	−2,9 1,9	1,7 0,8
Болванский Нос 1950—1980	−17,5 3,6	−18,8 4,4	−16,9 5,2	−11,6 4,1	−5,2 2,0	0,6 1,0	5,1 2,0	5,4 2,0	3,2 1,3	−1,6 2,1	−8,1 4,2	−12,4 5,0	−6,4 1,6
Цып-Наволоок 1936—1980	−6,6 1,6	−7,2 2,3	−5,4 2,1	−1,8 1,4	2,2 1,3	6,2 1,3	9,3 1,8	9,7 1,4	6,6 1,2	1,7 1,6	−2,0 2,0	−4,6 2,2	0,7 0,9
Колгуев Северный 1936—1979	−11,0 3,5	−13,3 4,2	−11,7 4,2	−6,8 3,3	−2,1 1,6	2,7 1,6	7,7 2,1	8,0 1,6	5,0 1,2	−0,3 1,8	−4,0 2,5	−7,4 3,6	−2,9 1,7
Ходовариха 1936—1979	−15,7 3,6	−17,1 4,1	−14,7 4,4	−8,2 3,8	−2,9 1,7	2,5 1,7	8,5 2,7	8,5 1,7	5,1 1,4	−1,0 2,1	−7,0 3,7	−11,7 4,0	−4,4 1,4
Остров Харлов 1943—1980	−7,9 1,9	−8,7 2,8	−6,5 2,5	−2,6 1,9	1,4 1,5	5,7 1,5	9,2 2,5	9,4 1,5	6,4 1,5	1,2 1,7	−2,8 1,8	−5,7 2,5	−1,0 1,0
Варандей 1940—1980	−18,0 3,4	−19,0 4,4	−16,6 5,0	−9,5 4,2	−3,3 2,0	2,7 2,1	8,8 3,0	8,8 1,7	4,9 1,4	−2,2 2,5	−9,5 4,2	−14,0 4,5	−5,6 1,4
Канин Нос 1936—1980	−8,3 2,8	−10,1 3,4	−8,6 3,4	−4,6 2,3	−0,8 1,3	4,3 1,8	8,7 2,5	8,7 1,4	5,8 1,2	1,7 1,6	−2,0 2,1	−5,4 2,8	−0,9 1,3

В арктическом пространстве происходят значительные изменения в последние десятилетия. Эти изменения касаются всех компонентов природной системы, от морского льда и характеристик океанской циркуляции до распределения биогенного вещества и водных биологических ресурсов [8]. Особое внимание к Арктическому региону связано, с так называемым, «полярным усилением». Которое проявляется в значительно более быстром изменении, например, температуры воздуха в Арктике, чем в среднем по Земле. Так, годовая аномалия температуры воздуха на высоте 2 метра к северу от 60° с. ш. превысила 3°C за период с 1980 по 2010 гг., в то время как среднее потепление по Земле оценивается как 0.72°C за тот же период. Над акваторией северо-восточной части Баренцева моря температурная аномалия превышает 2°C.

Согласно прогнозам, температура приземного воздуха увеличивается относительного настоящего времени. Процесс идет достаточно быстро по данным сценариев как мягкого, так и жесткого потеплений. Средняя для всего БМ температура зимнего сезона увеличивается с −5,66°C ÷ − 6.1°C в период 2030– 2039 гг. до −1.8°C (+1.7°C) на конец века. Летние температуры тоже растут – от 6.6° ÷ 7.4°C в период 2030– 2039 гг. до 10.3°C (13.1°C) в период 2090– 2099 гг.

1. 2. Анализ многолетних рядов температуры воздуха и осадков.

1.1. Выбор пунктов наблюдений

Для работы выбраны две полярные станции 1. Карасйок, Норвегия, 2. Канин Нос, РФ.

1.1.1. KARASJOK NORWAY (NORWAY), coordinates: 69.47N, 25.52E, 129m, WMO station code: 1065 KARASJOK

Метеостанция располагается на материке, на юго-западе Баренцева моря. У границ с Норвежским морем, куда активно поступают теплые Северо-Атлантические течения, являющиеся значительным фактором динамичности атмосферы в регионе.

Город, в черте которого, располагается метеостанция, расположен недалеко от границы с Финляндией. Данный район находится на плоскогорье, слегка холмистом, на берегу реки Карасйошка. Являющейся притоком реки Танаэльв. В округе, в районе метеостанции, и в особенности на севере и северо-западе, располагается большое количество озер различных размеров.

Климат более континентальный, чем в приморских регионах. Расстояние до побережья около 70 км. Высота над уровнем моря 70 м. Станция была выбрана за широкий диапазон данных по суммам осадков и средней температуры. Источник данных [17].

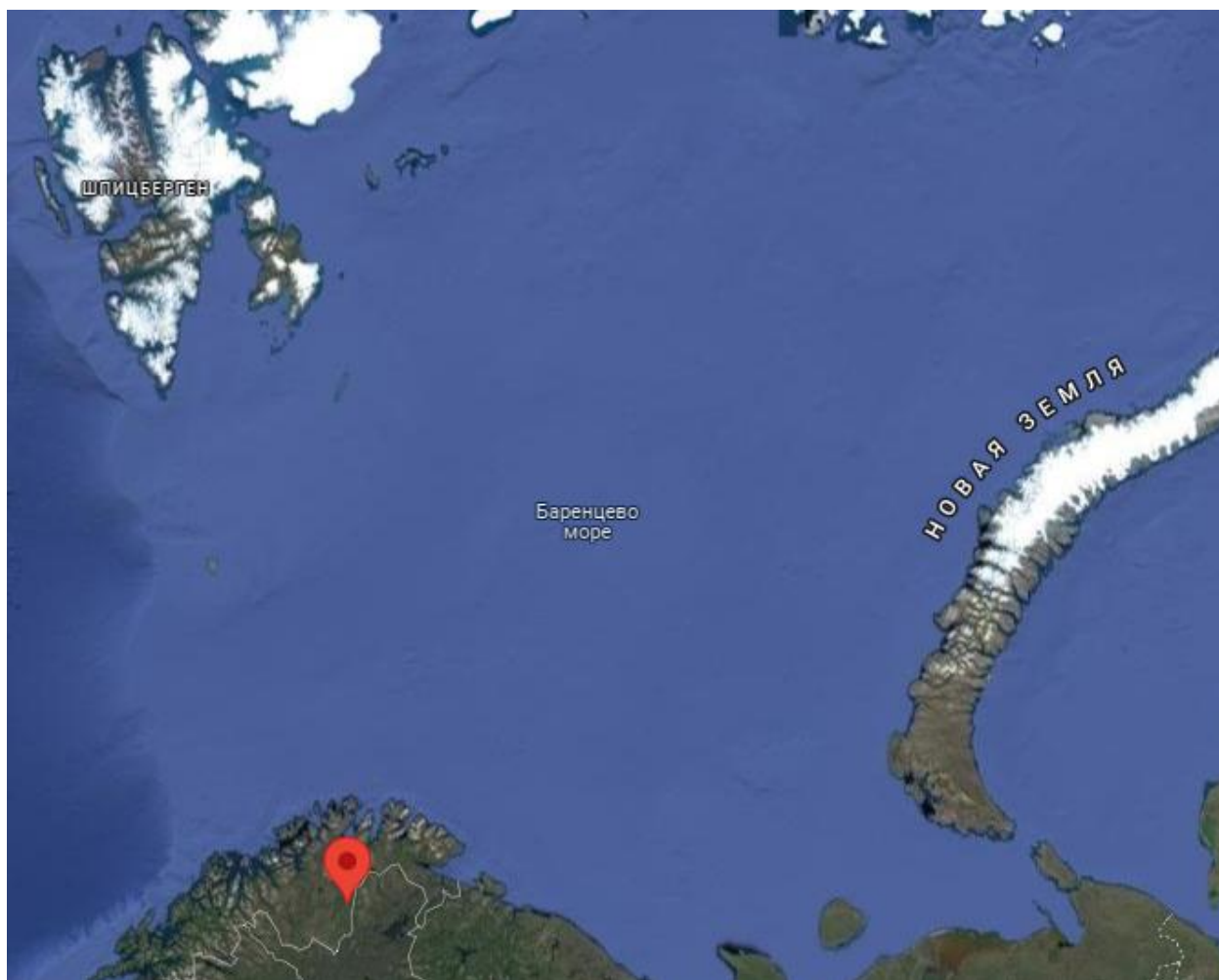


Рисунок 8 Местоположение Карасйок, Норвегия на спутниковом снимке Google

1.1.2. KANIN NOS RUSSIA (RUSSIAN FEDERATION (EUROPEAN SECTOR))

coordinates: 68.65N, 43.30E, 47m

WMO station code: 22165

На северном континентальном рубеже страны располагается метеорологическая станция Канин Нос, на мысе в северо-западной части полуострова Канин. Мыс Канин Нос омывает Белое море с запада и Баренцево море с севера. Метеостанция является полярной, всесезонной Арктической зоны. Принадлежит к субъекту РФ Ненецкому автономному округу. Фотография рельефа скалистого берега размещена на рис.11.

Деятельность станция ведет с начала 20 века. В 1915 г. состоялось открытие одной из первых станций в русской Арктике государственными органами страны. В период гражданской войны той же эпохи станция была «законсервирована». Затем вновь продолжила деятельность.

За время функционирования происходили периодические модернизации и усовершенствования оборудования. Также модернизировалась метеоплощадка, были переносы по месту на более выгодные положения. В 21

веке были построены новые служебные и жилые помещения. Фотография метеостанции представлена на рис. 9.



Рисунок 9 Фотография метеостанции Канин Нос, РФ.

Рельеф почвы в районе станции равнинный с гранитными выступами. Через полтора километра на юго-восток переходит в холмистый (отроги возвышенности Канинский Камень) с абсолютными отметками в радиусе до 10 км и высотой 50-150 м.

Берег мыса достаточно высокий, порядка 40 метров, в виде обрыва, испещрен маленькими бухточками и загроможден обломками скал.

Флора тундровая: мох, карликовая береза, в низких и водянистых участках растут трава и ивы высотой от одного до полтора метров.

В окрестностях станции почва является торфяной на гранитном основании, мощность слоя маленькая. Местами гранитные выступы оголены.

Метеорологическая площадка находится на открытом участке на расстоянии меньше километра к югу от берега Баренцева моря.

На рис. 10 указано местоположение м/с Канин Нос на спутниковом снимке сервиса Google.

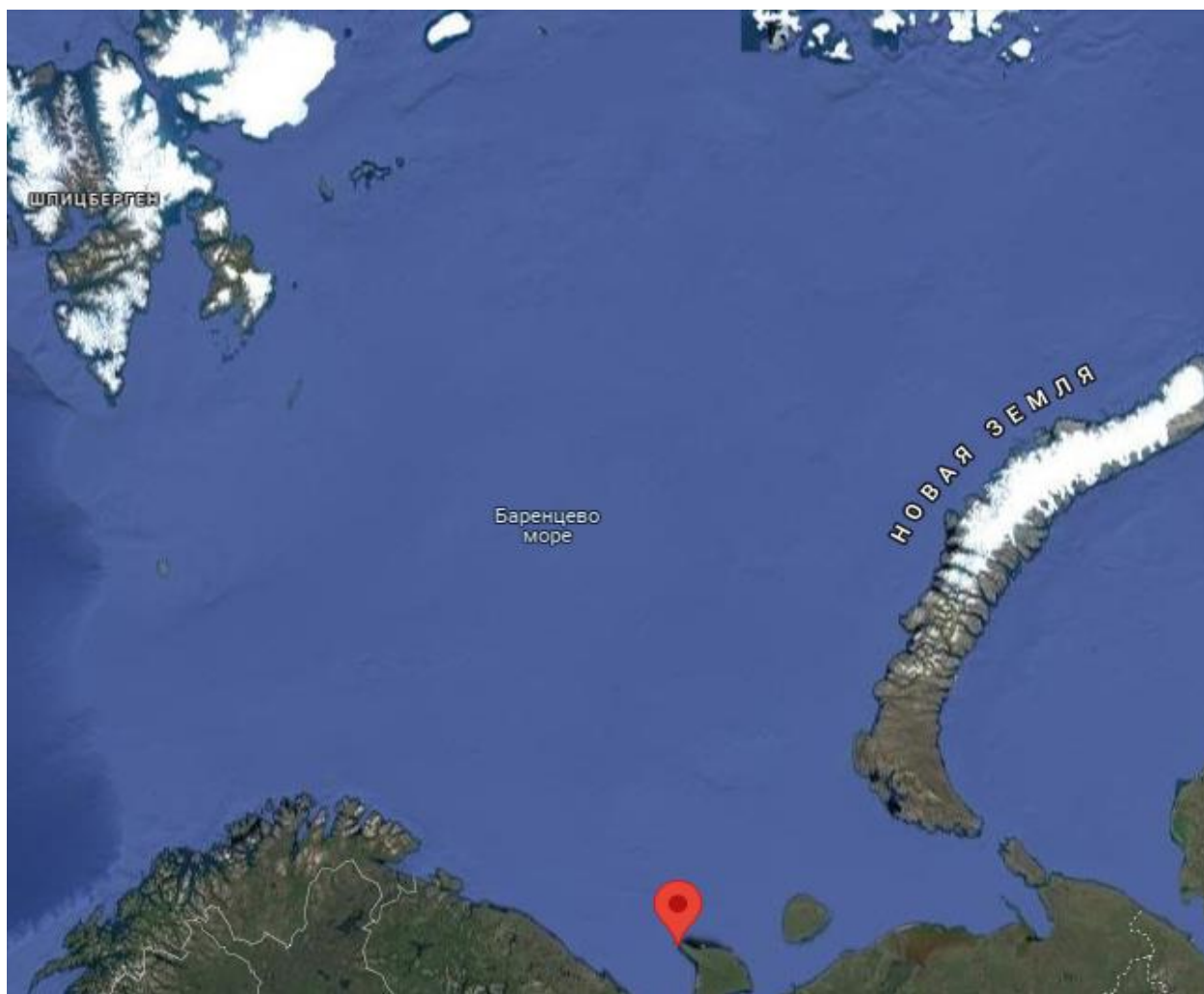


Рисунок 10 Местоположение М/с Канин Нос на спутниковом снимке сервиса Google.



Рисунок 11. Фотография рельефа скалистого берега мыса Канин Нос

1.2. Методика оценивания однородности и стационарности

Методика выполнения работы описана в [13].

Осуществляется расчет, в ходе которого строятся аппроксимации аналитическими кривыми на основе эмпирического распределения.

Данные о различных параметрах погоды систематизируются и приводятся в единые многолетние ряды. По каждому параметру отдельный ряд. Сведения используются как характеристики изменения климата.

Для использования инструментов математической статистики и теоретического распределения функций, требуется оценка адекватности данных условиям.

Условия заключаются в однородности выборки всех величин к отношению одной генеральной совокупности. И в стационарности используемых параметров во времени, т.е. среднего арифметического значения и дисперсии.

1. Выбираются ряды метеорологических данных со значительными периодами данных, достаточных для проведения анализа климатических изменений. Данные сортируются в возрастающем порядке;

2. Вычисляются статистики критериев Диксона на основе эмпирических данных по формулам (1)—(10) [14] определяются расчетные значения статистик критериев Диксона для максимальных и минимальных членов последовательности. По табл. 1-10 [14] определяются критические значения для максимальных и минимальных членов;

3. Для оценки однородности и стационарности выбранных данных, производится расчет среднего значения ряда и стандартного отклонения выборки, используемой для анализа, руководствуясь формулами (13) и (14);

4. Производится расчет статистики параметрического критерия Смирнова-Граббса согласно предложенным формулам для максимального члена последовательности (11) и минимального (12) в [14].

5. Определяются значения коэффициентов асимметрии и автокорреляции, учитывается коэффициент вариации по формулам (15)—(16) и оценивается статистическая значимость коэффициента автокорреляции по формуле (18) и табл. 1 [14]. Учитывается удвоенная стандартная случайная погрешность и рассматривается доверительный интервал.

6. Расчетные значения статистик Диксона и Смирнова-Граббса сравниваются с критическими (таблицы Приложения) при уровне значимости 5 % и выявленных значениях коэффициента асимметрии и коэффициента автокорреляции для принятия нулевой гипотезы об однородности эмпирического распределения или ее отклонения.

7. Ряд наблюдений фрагментируется сначала на две равных ряда и для каждого ряда находится дисперсия, затем по формуле (19) следует вычислить расчетное значение статистики критерия Фишера, в котором в числителе располагается максимальная из двух дисперсий временного ряда данных.

8. Вычисляются степени свободы по формулам (20)—(21) и табл. 2, на их основании определяется (по таблицам [14]) критическое значение статистики Фишера и сравнивается с расчетным для принятия или отклонения нулевой гипотезы о стационарности дисперсий временного ряда данных.

9. Проведение оценки стационарности дисперсий по критерию Фишера выполняется повторно для второго случая, при условиях, что дата дифференциации выборки назначается произвольно в точке максимального отличия дисперсий.

10. Согласно уравнению (22) вычисляется расчетное значение статистики Стьюдента в первую очередь в процессе градации временного ряда на пару равных частей, и далее, во время произвольного градации ряда в месте потенциального изменения среднего значения временного ряда.

11. Согласно уравнению (23), табл. 3 и табл. 16 [14] вычисляется критическое значение статистики Стьюдента, которое сравниваются с расчетным в целях отклонения или принятия нулевой гипотезы о стационарности средних значений временного ряда данных.

12. Процедура оценки стационарности средних значений по критерию Стьюдента может быть повторена для второго случая, в то время, когда дата разбиения выборки устанавливается хаотично в месте самого значительного различия средних значений.

1.3. Оценка однородности и стационарности температур воздуха.

1.3.1. Оценка однородности и стационарности средней температуры воздуха за июнь на станции Карасйок, Норвегия.

Хронологическая последовательность ежегодной средней температуры воздуха на метеостанции Карасйок, Норвегия представлена на рис. 12.

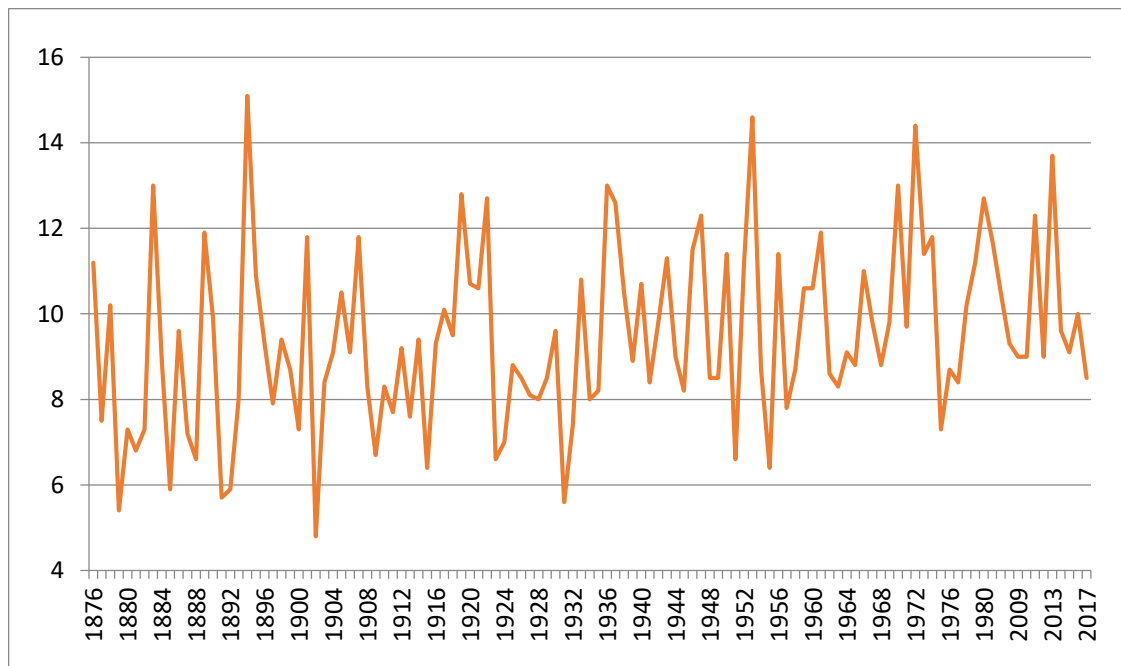


Рисунок 12 Хронологический график средних температур в июне на станции Карасйок, Норвегия, °C

Рассчитанные значения эмпирической обеспеченности и ряд ранжированных средних температур за июнь по метеостанции Карасйок, Норвегия представлены в табл. 3.

Таблица 3 эмпирической обеспеченности и ряд ранжированных средних температур за июнь по метеостанции Карасйок, Норвегия

Год	Значение ранжированной средней температуры, °C	Обеспеченность, P %
1894	15,1	0,847
1953	14,6	1,695
1972	14,4	2,542
2013	13,7	3,390
1883	13	4,237
1936	13	5,085
1970	13	5,932

1919	12,8	6,780
1922	12,7	7,627
1980	12,7	8,475
1937	12,6	9,322
1947	12,3	10,169
2011	12,3	11,017
1889	11,9	11,864
1961	11,9	12,712
1901	11,8	13,559
1907	11,8	14,407
1974	11,8	15,254
2006	11,7	16,102
1946	11,5	16,949
1950	11,4	17,797
1956	11,4	18,644
1973	11,4	19,492
1943	11,3	20,339
1876	11,2	21,186
1952	11,2	22,034
1979	11,2	22,881
1966	11	23,729
1895	10,9	24,576
1933	10,8	25,424
1920	10,7	26,271
1940	10,7	27,119
1921	10,6	27,966
1959	10,6	28,814
1960	10,6	29,661
1905	10,5	30,508
1938	10,5	31,356
2007	10,5	32,203
1878	10,2	33,051
1978	10,2	33,898
1917	10,1	34,746
2016	10	35,593
1890	9,9	36,441
1942	9,8	37,288
1967	9,8	38,136
1969	9,8	38,983
1971	9,7	39,831
1886	9,6	40,678
1930	9,6	41,525
2014	9,6	42,373
1918	9,5	43,220
1898	9,4	44,068
1914	9,4	44,915

1896	9,3	45,763
1916	9,3	46,610
2008	9,3	47,458
1912	9,2	48,305
1904	9,1	49,153
1906	9,1	50,000
1964	9,1	50,847
2015	9,1	51,695
1944	9	52,542
2009	9	53,390
2010	9	54,237
2012	9	55,085
1884	8,9	55,932
1939	8,9	56,780
1925	8,8	57,627
1965	8,8	58,475
1968	8,8	59,322
1899	8,7	60,169
1954	8,7	61,017
1958	8,7	61,864
1976	8,7	62,712
1962	8,6	63,559
1926	8,5	64,407
1929	8,5	65,254
1948	8,5	66,102
1949	8,5	66,949
2017	8,5	67,797
1903	8,4	68,644
1941	8,4	69,492
1977	8,4	70,339
1908	8,3	71,186
1910	8,3	72,034
1963	8,3	72,881
1935	8,2	73,729
1945	8,2	74,576
1927	8,1	75,424
1893	8	76,271
1928	8	77,119
1934	8	77,966
1897	7,9	78,814
1957	7,8	79,661
1911	7,7	80,508
1913	7,6	81,356
1877	7,5	82,203
1932	7,4	83,051
1880	7,3	83,898

1882	7,3	84,746
1900	7,3	85,593
1975	7,3	86,441
1887	7,2	87,288
1924	7	88,136
1881	6,8	88,983
1909	6,7	89,831
1888	6,6	90,678
1923	6,6	91,525
1951	6,6	92,373
1915	6,4	93,220
1955	6,4	94,068
1885	5,9	94,915
1892	5,9	95,763
1891	5,7	96,610
1931	5,6	97,458
1879	5,4	98,305
1902	4,8	99,153

Эмпирическое распределение средних температур за июнь на метеостанции Карасйок, Норвегия представлено на рис. 13.

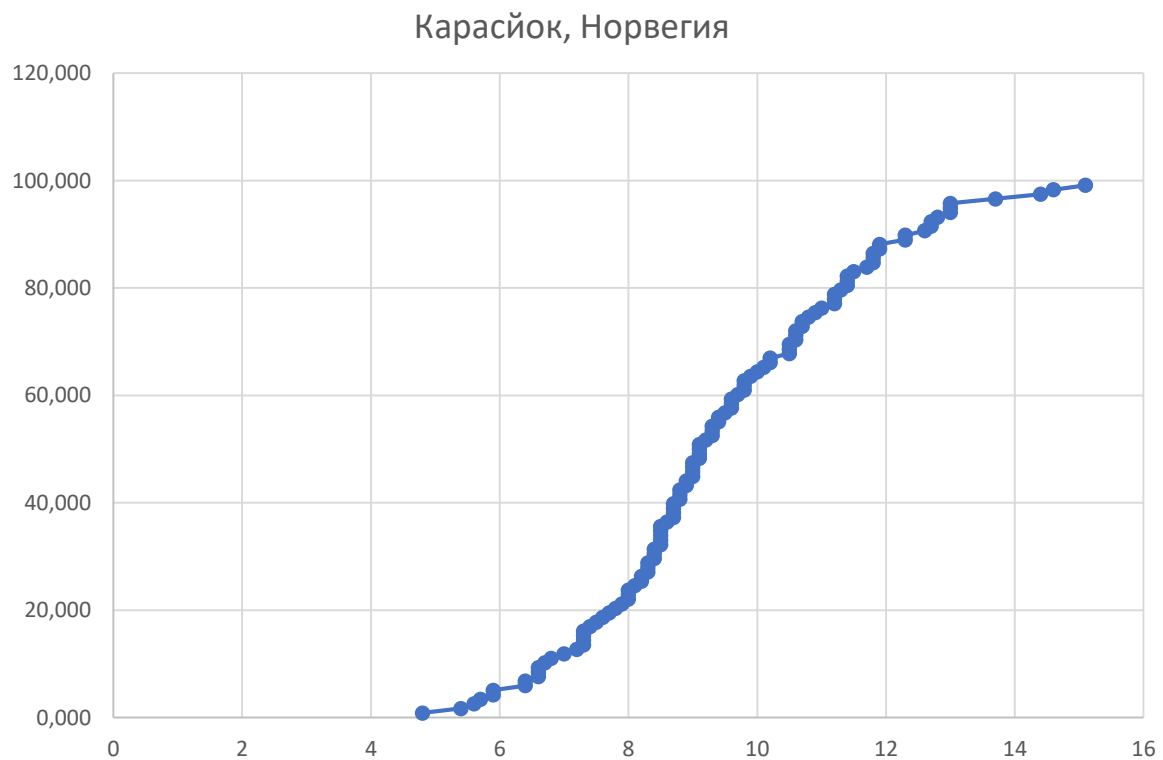


Рисунок 13 Эмпирическое распределение средних температур в июне на станции Карасйок, Норвегия.

По ряду наблюдений средней температуры за июнь по метеостанции Карасйок, Норвегия за период 1876-2017 гг. были получены следующие значения параметров: среднее ряда = 9,4 °С, коэффициент вариации $C_v = 0,2214$, коэффициент асимметрии $C_s = 0,3155$, их разность $C_s/C_v = 1,42502$, коэффициент автокорреляции $r(1) = 0,3667$. При объеме выборки 117 лет (для автокорреляции $n = 116$ лет) и числе степеней свободы 115 ($n - 2$) автокорреляция, как следует из формулы (18) [14] и табл. 1, является статистически значимой величиной. По формулам (1)—(12) [14] были вычислены расчетные значения статистик Диксона и Смирнова-Граббса, которые приведены в табл. 4. Критические значения были получены из таблиц Приложения при имеющемся объеме ряда наблюдений (117 лет), вычисленным значениям коэффициентов асимметрии и автокорреляции и принятом уровне значимости 5 %. Полученные критические значения статистик критериев также приведены в табл. 4.

Из графиков можно сделать вывод что резких экстремумов нет.

1.3.1.1. Результаты оценки однородности .

Таблица 4 Результаты оценки однородности эмпирического распределения сумм осадков за ноябрь на метеостанции Карасйок, Норвегия по критериям Диксона и Смирнова-Граббса

Экстремум	Критерий	Расчетное значение	Критическое значение	Вывод
max	Диксон1	0,048544	0,16	Однороден
max	Диксон 2	0,051546	0,17	Однороден
max	Диксон 3	0,072165	0,20	Однороден
max	Диксон 4	0,073684	0,22	Однороден
max	Диксон5	0,067961	0,21	Однороден
min	Диксон1	0,058252	0,14	Однороден
min	Диксон 2	0,058252	0,15	Однороден
min	Диксон 3	0,07767	0,19	Однороден
min	Диксон4	0,07767	0,20	Однороден
min	Диксон5	0,07767	0,18	Однороден
max	Смирнов-Граббс	2,707847715	3,05	Однороден
min	Смирнов-Граббс	2,220754129	3,05	Однороден

Выполняя вывод, можно заключить, что расчётные значения критериев Диксона для максимальных ниже критических, поэтому ряд наблюдений однороден. Минимальные значения критериев Диксона ниже критических, значит ряд наблюдений однородный. Минимальные значения Смирнова-Граббса ниже критических значений, при уровне значимости 5%, из этого делается вывод, что ряд наблюдений однороден. Максимальные значения Смирнова-Граббса ,т также, ниже критических значений, при уровне значимости 5%, из этого делается вывод, что ряд наблюдений однороден.

1.3.1.2. Оценка стационарности дисперсий и средних значений

Многолетний ряд наблюдений вначале был разбит на две части: первая – с 1902 по 1906 гг., вторая – с 1964 по 1953 гг. Для каждой подвыборки были рассчитаны средние значения и дисперсии, которые соответственно равны: $\bar{Y}_{cp1} = 7,786 \text{ }^{\circ}\text{C}$, Дисп.1 = $1,180 \text{ }^{\circ}\text{C}^2$ и $\bar{Y}_{cp2} = 10,998 \text{ }^{\circ}\text{C}$, Дисп.2 = $1,893 \text{ }^{\circ}\text{C}^2$.

По полученным дисперсиям и средним значениям были определены расчетные значения статистик Фишера и Стьюдента.

Анализ параметров ряда наблюдений для температур за июнь представлен в табл. 5.

Таблица 5 Анализ параметров ряда наблюдений для температур за июнь на метеостанции Корсёйок, Норвегия

$r1$	t	$t_{кр}$	Вывод
0,68	10,01	0,181	Нулевая гипотеза принимается

Параметр является статистически значимым.

Оценка стационарности посредством критериев Фишера и Студента представлена в табл. 6.

Таблица 6 Оценка стационарности посредством критериев Фишера и Студента

Критерий	Расчетное значение	Критическое значение	Вывод
Критерий Фишера	0,623126082	1,35	однороден
Критерий Стьюдента	-952,2152362	4,6728	однороден

Вывод: критерии ниже критических значений, значимость 5%. Ряд наблюдений стационарен.

Вывод:

Ряды наблюдений сумм осадков в температуры на метеостанции были исследованы. Были рассчитаны средние дисперсии, критерии Диксона, Смирнова-Граббс, представленные в итоговой табл. 7.

Таблица 7 Итоговая оценка однородности и стационарности данных о средней температуре на метеостанции Корсёйок, Норвегия

Ряд	G_n	G_1	Диксон	Фишер	Стьюдент
Температура	+	+	+	+	+

По каждому параметру исследуемый ряд отвечает однородности и стационарности.

1.3.2. Оценка однородности и стационарности средней температуры воздуха за июнь на станции Канин нос, РФ.

Хронологическая последовательность ежегодной средней температуры воздуха на метеостанции Канин Нос представлена на рис. 14.

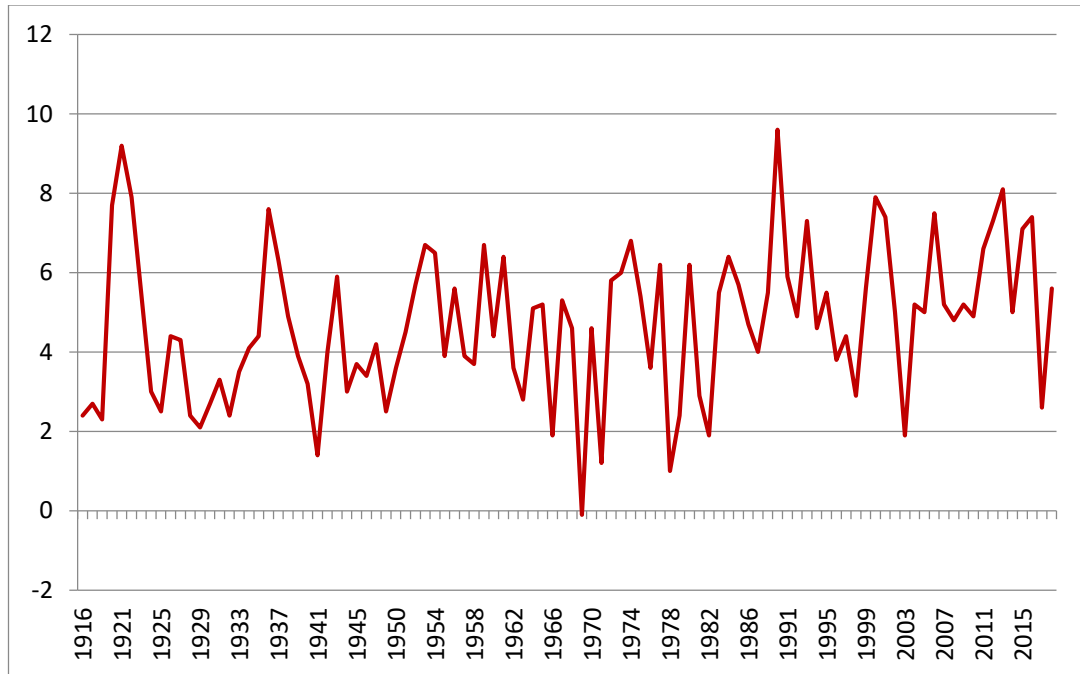


Рисунок 14 Хронологический график средних температур в июне на станции Канин нос, РФ °C.

Рассчитанные значения эмпирической обеспеченности и ряд ранжированных средних температур за июнь по метеостанции Канин нос, РФ представлены в табл. 8 .

Таблица 8 Рассчитанные значения эмпирической обеспеченности и ряд ранжированных средних температур за июнь по метеостанции Канин нос, РФ

Год	Значение ранжированной средней температуры, °C	Обеспеченность, P %
1989	9,6	0,990099
1921	9,2	1,980198
2013	8,1	2,970297
1922	7,9	3,960396
2000	7,9	4,950495
1920	7,7	5,940594
1936	7,6	6,930693
2006	7,5	7,920792
2001	7,4	8,910891
2016	7,4	9,90099
1993	7,3	10,89109

2012	7,3	11,88119
2015	7,1	12,87129
1974	6,8	13,86139
1953	6,7	14,85149
1959	6,7	15,84158
2011	6,6	16,83168
1954	6,5	17,82178
1961	6,4	18,81188
1984	6,4	19,80198
1937	6,3	20,79208
1977	6,2	21,78218
1980	6,2	22,77228
1973	6	23,76238
1943	5,9	24,75248
1991	5,9	25,74257
1972	5,8	26,73267
1952	5,7	27,72277
1985	5,7	28,71287
1956	5,6	29,70297
1999	5,6	30,69307
2018	5,6	31,68317
1923	5,5	32,67327
1983	5,5	33,66337
1988	5,5	34,65347
1995	5,5	35,64356
1975	5,4	36,63366
1967	5,3	37,62376
1965	5,2	38,61386
2004	5,2	39,60396
2007	5,2	40,59406
2009	5,2	41,58416
1964	5,1	42,57426
2002	5	43,56436
2005	5	44,55446
2014	5	45,54455
1938	4,9	46,53465
1992	4,9	47,52475
2010	4,9	48,51485
2008	4,8	49,50495
1986	4,7	50,49505
1968	4,6	51,48515
1970	4,6	52,47525
1994	4,6	53,46535
1951	4,5	54,45545
1926	4,4	55,44554
1935	4,4	56,43564

1960	4,4	57,42574
1997	4,4	58,41584
1927	4,3	59,40594
1947	4,2	60,39604
1934	4,1	61,38614
1942	4	62,37624
1987	4	63,36634
1939	3,9	64,35644
1955	3,9	65,34653
1957	3,9	66,33663
1996	3,8	67,32673
1945	3,7	68,31683
1958	3,7	69,30693
1950	3,6	70,29703
1962	3,6	71,28713
1976	3,6	72,27723
1933	3,5	73,26733
1946	3,4	74,25743
1931	3,3	75,24752
1940	3,2	76,23762
1924	3	77,22772
1944	3	78,21782
1981	2,9	79,20792
1998	2,9	80,19802
1963	2,8	81,18812
1917	2,7	82,17822
1930	2,7	83,16832
2017	2,6	84,15842
1925	2,5	85,14851
1949	2,5	86,13861
1916	2,4	87,12871
1928	2,4	88,11881
1932	2,4	89,10891
1979	2,4	90,09901
1918	2,3	91,08911
1929	2,1	92,07921
1966	1,9	93,06931
1982	1,9	94,05941
2003	1,9	95,0495
1941	1,4	96,0396
1971	1,2	97,0297
1978	1	98,0198
1969	-0,1	99,0099

Эмпирическое распределение температур за июнь на по метеостанции Канин нос, РФ представлены на рис. 15.

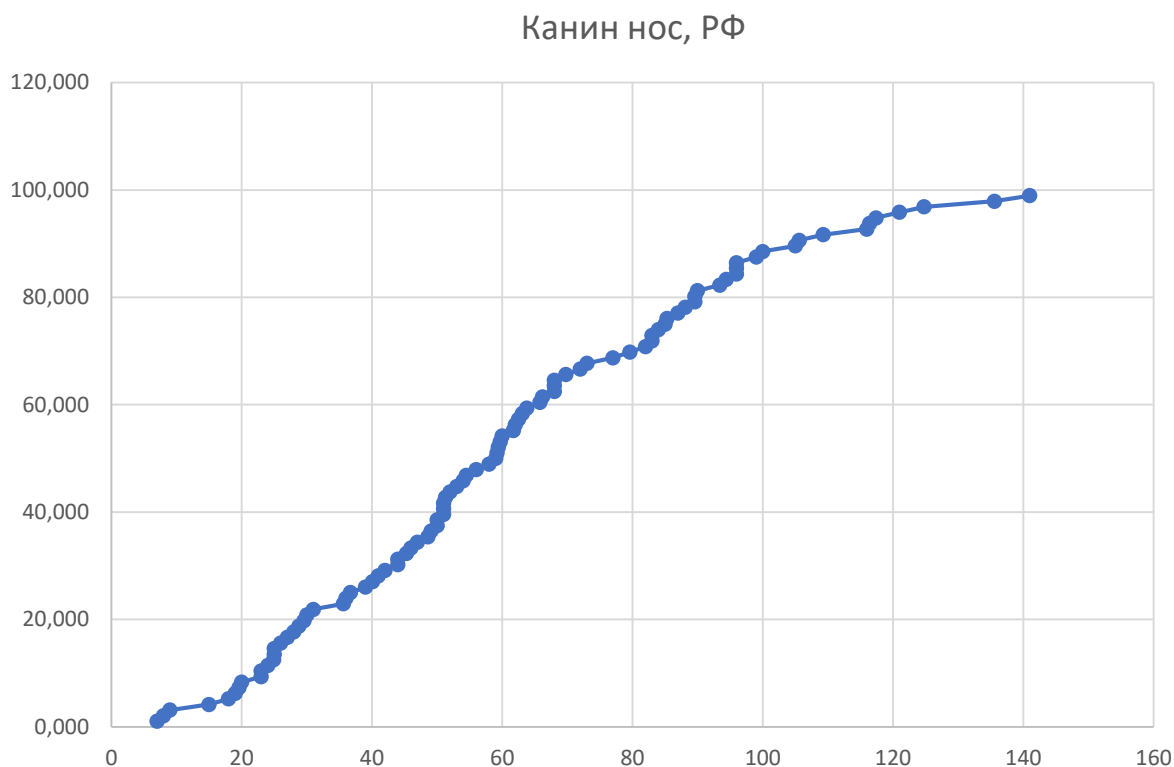


Рисунок 15 Эмпирическое распределение средних температур в июне на станции Карасйок, Норвегия

По ряду наблюдений средней температуры за июнь по метеостанции Канин нос, РФ за период 1916-2018 гг. были получены следующие значения параметров: среднее ряда = 4,7 °C, $C_v = 0,5433$, $C_s = 7,9273$, $C_s/C_v = 4,3069$, $r(1) = 0,6624$. При объеме выборки 100 лет (для автокорреляции $n = 100$ лет) и числе степеней свободы 98 ($n - 2$) автокорреляция, как следует из формулы (18) и табл. 1, является статистически значимой величиной. По формулам (1)—(12) были вычислены расчетные значения статистик Диксона и Смирнова-Грabbса, которые приведены в табл. 9. Критические значения были получены из таблиц Приложения при имеющемся объеме ряда наблюдений (117 лет), вычисленным значениям коэффициентов асимметрии и автокорреляции и принятом уровне значимости 5 %. Полученные критические значения статистик критериев также приведены в табл. 9.

Из графиков можно сделать вывод что резких экстремумов нет.

Результаты оценки однородности представлены в табл. 10 .

По полученным дисперсиям и средним значениям были определены расчетные значения статистик Фишера и Стьюдента, таб. 11.

Таблица 9 Результаты оценки однородности эмпирического распределения средних температур за июнь на метеостанции Канин Нос, РФ по критериям Диксона и Смирнова-Граббса

Экстремум	Критерий	Расчетное значение	Критическое значение	Вывод
max	Диксон1	0,041237	0,15	Однороден
max	Диксон 2	0,046512	0,16	Однороден
max	Диксон 3	0,174419	0,2	Однороден
max	Диксон 4	0,178571	0,22	Однороден
max	Диксон5	0,154639	0,21	Однороден
min	Диксон1	0,113402	0,14	Однороден
min	Диксон 2	0,113402	0,15	Однороден
min	Диксон 3	0,134021	0,19	Однороден
min	Диксон4	0,134021	0,2	Однороден
min	Диксон5	0,134021	0,18	Однороден
max	Смирнов-Граббс	1,912721686	3,05	Однороден
min	Смирнов-Граббс	1,87987855	3,05	Однороден

Вывод: расчётные значения критериев Диксона для максимальных ниже критических, поэтому ряд наблюдений однороден. Минимальные значения критериев Диксона ниже критических, значит ряд наблюдений однородный. Минимальные значения Смирнова-Граббса ниже критических значений, при уровне значимости 5%, из этого делается вывод, что ряд наблюдений однороден. Максимальные значения Смирнова-Граббса ниже критических значений, при уровне значимости 5%, из этого делается вывод, что ряд наблюдений однороден.

Для оценки стационарности дисперсий и средних значений многолетний ряд наблюдений вначале был разбит на две части: первая – с 1969 по 1986

гг., вторая – с 2008 по 1989г. В порядке убывания значений температуры. Для каждой подвыборки были рассчитаны средние значения и дисперсии, которые соответственно равны: $\bar{Y}_{cp1} = 3,182\text{ }^{\circ}\text{C}$, Дисп.1 = $1,177\text{ }^{\circ}\text{C}^2$ и $\bar{Y}_{cp2} = 6,234\text{ }^{\circ}\text{C}$, Дисп.2 = $1,327\text{ }^{\circ}\text{C}^2$.

По полученным дисперсиям и средним значениям были определены расчетные значения статистик Фишера и Стьюдента

Анализ параметров ряда наблюдений для температур за июнь.

Таблица 10 Анализ параметров ряда наблюдений для температур за июнь на метеостанции Канин Нос, РФ

$r1$	t	$t_{кр}$	Вывод
0,66	8,76	0,195	Нулевая гипотеза принимается

Оценка стационарности

Таблица 11 Оценка стационарности посредством критериев Фишера и Студьента м/с Канин Нос, РФ

Критерий	Расчетное значение	Критическое значение	Вывод
Критерий Фишера	0,887157439	1,62	однороден
Критерий Стьюдента	-704,97513	4,5144	однороден

Вывод: критерии ниже критических значений, значимость 5%. Ряд наблюдений однороден.

Вывод:

Ряды наблюдений сумм осадков в температуры на метеостанции были исследованы. Были рассчитаны средние дисперсии, критерии Диксона, Смирнова-Граббса. Итоговая таблица:

Таблица 12 Итоговая оценка однородности и стационарности данных о средней температуре на метеостанции Канин Нос, РФ

Ряд	G_n	G_1	Диксон	Фишер	Стьюдент
Температура	+	+	+	+	+

По каждому параметру исследуемый ряд отвечает однородности и стационарности.

2.4. Оценка однородности и стационарности количества осадков.

2.4.1. Оценка однородности и стационарности суммы осадков за июнь на станции Карасйок, Норвегия.

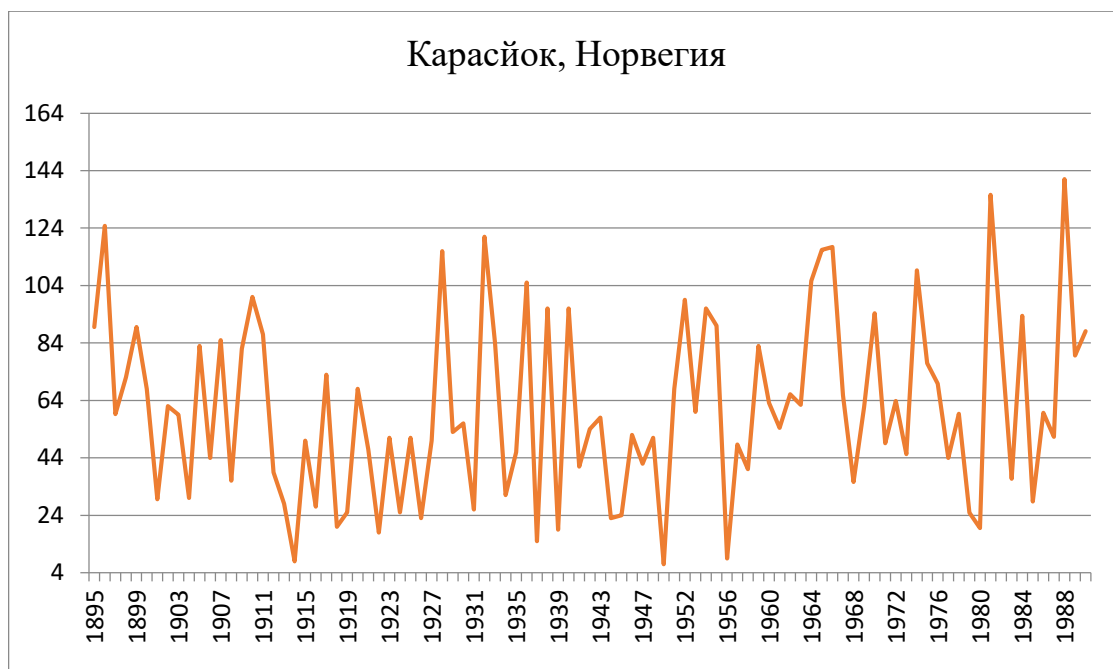


Рисунок 16 Хронологический график суммы осадков в июне на станции Карасйок, Норвегия, мм.

Рассчитанные значения эмпирической обеспеченности и ряд ранжированных сумм осадков за июль по метеостанции Карасйок, Норвегия представлены в табл. .

Таблица 13 Рассчитанные значения эмпирической обеспеченности и ряд ранжированных сумм осадков за июль по метеостанции Карасйок, Норвегия

Год	Значение ранжированных сумм осадков, мм	Обеспеченность, P %
1988	141	1,042
1981	135,6	2,083
1896	124,8	3,125
1932	121	4,167
1966	117,4	5,208
1965	116,4	6,250
1928	116	7,292
1974	109,3	8,333
1964	105,6	9,375
1936	105	10,417
1910	100	11,458

1952	99	12,500
1938	96	13,542
1940	96	14,583
1954	96	15,625
1970	94,4	16,667
1984	93,4	17,708
1955	90	18,750
1895	89,6	19,792
1899	89,6	20,833
1990	88,1	21,875
1911	87	22,917
1982	85,3	23,958
1907	85	25,000
1933	84	26,042
1905	83	27,083
1959	83	28,125
1909	82	29,167
1989	79,6	30,208
1975	77	31,250
1917	73	32,292
1898	72	33,333
1976	69,8	34,375
1900	68	35,417
1920	68	36,458
1951	68	37,500
1962	66,2	38,542
1967	65,8	39,583
1972	63,8	40,625
1960	63,1	41,667
1963	62,5	42,708
1902	62	43,750
1969	61,7	44,792
1953	60	45,833
1986	59,7	46,875
1978	59,4	47,917
1897	59,2	48,958
1903	59	50,000
1943	58	51,042
1930	56	52,083
1961	54,5	53,125
1942	54	54,167
1929	53	55,208
1946	52	56,250
1987	51,3	57,292
1923	51	58,333
1925	51	59,375

1948	51	60,417
1915	50	61,458
1927	50	62,500
1971	49,1	63,542
1957	48,6	64,583
1921	47	65,625
1935	46	66,667
1973	45,3	67,708
1906	44	68,750
1977	44	69,792
1947	42	70,833
1941	41	71,875
1958	40,1	72,917
1912	39	73,958
1983	36,7	75,000
1908	36	76,042
1968	35,6	77,083
1934	31	78,125
1904	30	79,167
1901	29,6	80,208
1985	28,8	81,250
1913	28	82,292
1916	27	83,333
1931	26	84,375
1919	25	85,417
1924	25	86,458
1979	24,9	87,500
1945	24	88,542
1926	23	89,583
1944	23	90,625
1918	20	91,667
1980	19,6	92,708
1939	19	93,750
1922	18	94,792
1937	15	95,833
1956	9	96,875
1914	8	97,917
1950	7	98,958

Эмпирическое распределение сумм осадков в июне на метеостанции Карасйок, Норвегия представлены в табл. .

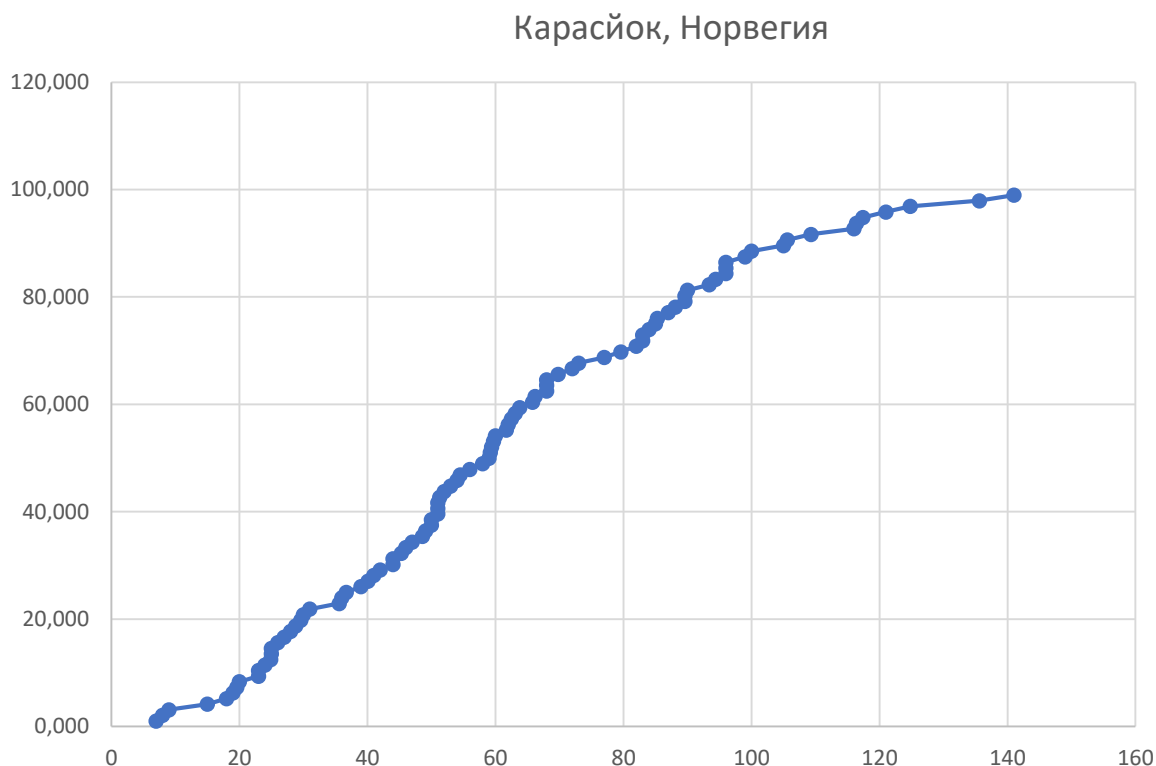


Рисунок 17 Эмпирическое распределение сумм осадков в июне
на станции Карасйок, Норвегия

По ряду наблюдений сумм осадков за июнь по метеостанции Карасйок, Норвегия за период 1895-1990 гг. были получены следующие значения параметров: среднее ряда = 61,25 мм, $C_v = 0,5058$, $C_s = 0,4093$, $C_s/C_v = 0,8093$, $r(1) = 0,6794$. При объеме выборки 95 лет (для автокорреляции $n = 95$ лет) и числе степеней свободы 93 ($n - 2$) автокорреляция, как следует из формулы (18) и табл. 1, является статистически значимой величиной. По формулам (1)—(12) были вычислены расчетные значения статистик Диксона и Смирнова-Граббса, которые приведены в табл. 14. Критические значения были получены из таблиц Приложения при имеющемся объеме ряда наблюдений (95 лет), вычисленным значениям коэффициентов асимметрии и автокорреляции и принятом уровне значимости 5 %. Полученные критические значения статистик критериев также приведены в табл. 14.

Из графиков можно сделать вывод что резких экстремумов нет.

Результаты оценки однородности представлены в табл. 15.

Таблица 14 Результаты оценки однородности эмпирического распределения сумм осадков за июнь на метеостанции Карасйок, Норвегия, РФ по критериям Диксона и Смирнова-Граббса

Экстремум	Критерий	Расчетное значение	Критическое значение	Вывод
max	Диксон1	0,040299	0,15	Однороден
max	Диксон 2	0,040602	0,16	Однороден
max	Диксон 3	0,121805	0,2	Однороден
max	Диксон 4	0,122727	0,22	Однороден
max	Диксон5	0,120896	0,21	Однороден
min	Диксон1	0,007463	0,14	Однороден
min	Диксон 2	0,007463	0,15	Однороден
min	Диксон 3	0,014925	0,19	Однороден
min	Диксон4	0,014925	0,2	Однороден
min	Диксон5	0,014925	0,18	Однороден
max	Смирнов-Граббс	2,574339218	3,05	Однороден
min	Смирнов-Граббс	1,750996453	3,05	Однороден

Вывод: расчётные значения критериев Диксона для максимальных ниже критических, поэтому ряд наблюдений однороден. Минимальные значения критериев Диксона ниже критических, значит ряд наблюдений однородный. Минимальные значения Смирнова-Граббса ниже критических значений, при уровне значимости 5%, из этого делается вывод, что ряд наблюдений однороден. Максимальные значения Смирнова-Граббса ниже критических значений, при уровне значимости 5%, из этого делается вывод, что ряд наблюдений однороден.

Для оценки стационарности дисперсий и средних значений многолетний ряд наблюдений вначале был разбит на две части: первая – с 1950 по 1943 гг., вторая – с 1903 по 1988 гг. В порядке возрастания сумм осадков. Для каждой подвыборки были рассчитаны средние значения и дисперсии, которые соответственно равны: $Y_{cp1} = 28$ мм, Дисп.1 = 204,9591 мм² и $Y_{cp2} = 60,3979$ мм, Дисп.2 = 410,6304 мм².

По полученным дисперсиям и средним значениям были определены расчетные значения статистик Фишера и Стьюдента
Анализ параметров ряда наблюдений для сумм осадков за июнь.

Таблица 15 Анализ параметров ряда наблюдений для сумм осадков за июнь на метеостанции Коросйок, Норвегия

$r1$	t	$t_{кр}$	Вывод
0,68	8,97	0,201	Нулевая гипотеза принимается

Оценка стационарности

Таблица 16 Оценка стационарности посредством критериев Фишера и Студьента сумм осадков за июнь на метеостанции Коросйок, Норвегия

Критерий	Расчетное значение	Критическое значение	Вывод
Критерий Фишера	0,499132784	1,32	однороден
Критерий Стьюдента	-10187,58101	4,6964	однороден

Вывод: критерии ниже критических значений, значимость 5%.
Ряд наблюдений однороден.

Вывод:

Ряды наблюдений сумм осадков в температуры на метеостанции были исследованы. Были рассчитаны средние дисперсии, критерии Диксона, Смирнова-Граббса. Итоговая таблица:

Таблица 17 Итоговая оценка однородности и стационарности данных о сумме осадков за июнь на метеостанции Коросйок, Норвегия

Ряд	Gn	$G1$	Диксон	Фишер	Стьюдент
Температура	+	+	+	+	+

По каждому параметру исследуемый ряд отвечает однородности и стационарности.

2.4.2. Оценка однородности и стационарности суммы осадков за июнь на станции Канин Нос, РФ.

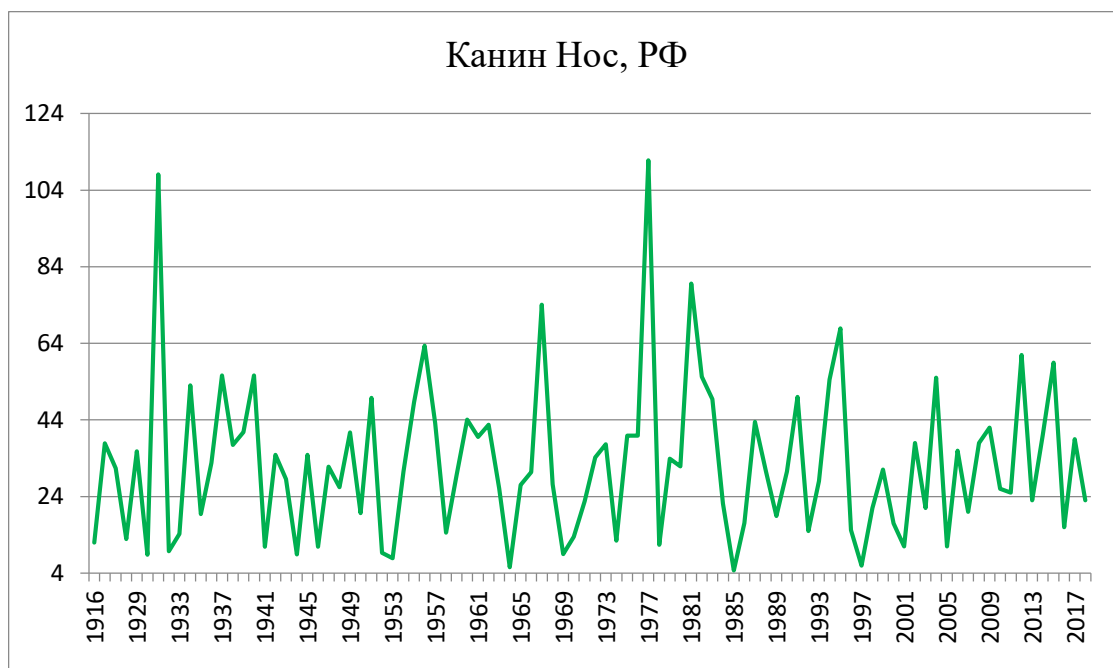


Рисунок 18 Хронологический график суммы осадков в июне на станции Канин Нос, РФ, мм.

Рассчитанные значения эмпирической обеспеченности и ряд ранжированных сумм осадков за июнь по метеостанции Канин Нос, РФ представлены в табл. 18.

Таблица 18 Рассчитанные значения эмпирической обеспеченности и ряд ранжированных сумм осадков за июнь на метеостанции Канин Нос, РФ

Год	Значение ранжированных сумм осадков, мм	Обеспеченность, P %
1977	111,8	1,053
1931	108,1	2,105
1981	79,6	3,158
1967	74,1	4,211
1995	67,9	5,263
1956	63,4	6,316
2012	61	7,368
2015	59	8,421
1937	55,6	9,474
1940	55,6	10,526
1982	55,3	11,579
2004	55	12,632
1994	54,5	13,684

1934	53	14,737
1991	50	15,789
1951	49,8	16,842
1983	49,4	17,895
1955	48,6	18,947
1960	44,1	20,000
1987	43,5	21,053
1957	43,2	22,105
1962	42,7	23,158
2009	42	24,211
1939	40,8	25,263
1949	40,7	26,316
2014	40	27,368
1975	39,9	28,421
1976	39,9	29,474
1961	39,6	30,526
2017	39	31,579
2002	38	32,632
2008	38	33,684
1925	37,9	34,737
1973	37,6	35,789
1938	37,5	36,842
2006	36	37,895
1929	35,8	38,947
1942	34,9	40,000
1945	34,9	41,053
1972	34,2	42,105
1979	33,9	43,158
1936	32,8	44,211
1980	31,9	45,263
1947	31,8	46,316
1926	31,4	47,368
1999	31	48,421
1988	30,7	49,474
1954	30,5	50,526
1990	30,5	51,579
1966	30,4	52,632
1959	29,6	53,684
1943	28,5	54,737
1993	28	55,789
1968	27,2	56,842
1965	27	57,895
1948	26,4	58,947
1963	26,1	60,000
2010	26	61,053
2011	25	62,105

2013	23	63,158
2018	23	64,211
1971	22,8	65,263
1984	22,2	66,316
1998	21	67,368
2003	21	68,421
2007	20	69,474
1950	19,7	70,526
1935	19,4	71,579
1989	18,9	72,632
1986	17,1	73,684
2000	17	74,737
2016	16	75,789
1996	15,2	76,842
1992	15	77,895
1958	14,6	78,947
1933	14,2	80,000
1970	13,5	81,053
1927	12,9	82,105
1974	12,5	83,158
1916	12	84,211
1978	11,4	85,263
2001	11	86,316
2005	11	87,368
1941	10,9	88,421
1946	10,9	89,474
1932	9,7	90,526
1952	9,3	91,579
1969	9	92,632
1944	8,9	93,684
1930	8,8	94,737
1953	7,9	95,789
1997	6	96,842
1964	5,5	97,895
1985	4,7	98,947

Эмпирическое распределение сумм осадков за июнь на метеостанции Канин Нос, РФ представлены на рис. 19.

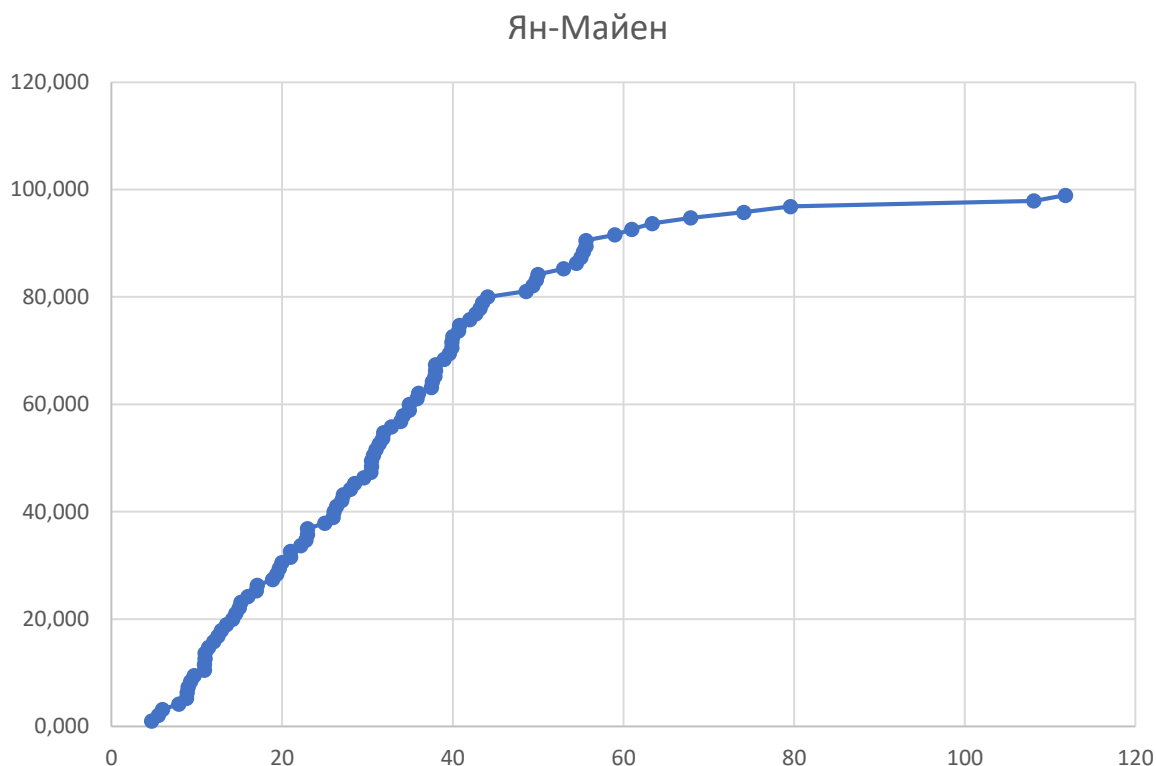


Рисунок 19 Эмпирическое распределение сумм осадков в июне на станции Канин Нос, РФ

По ряду наблюдений средней температуры за июнь по метеостанции Канин Нос, РФ за период 1916-2018 гг. были получены следующие значения параметров: среднее ряда = 32,62 мм, $C_v = 0,6163$, $C_s = 1,35465$, $C_s/C_v = 2,1980$, $r(1) = 0,700$. При объеме выборки 94 года (для автокорреляции $n = 94$ лет) и числе степеней свободы 92 ($n - 2$) автокорреляция, как следует из формулы (18) и табл. 1, является статистически значимой величиной. По формулам (1)—(12) были вычислены расчетные значения статистик Диксона и Смирнова-Граббса, которые приведены в табл. 19. Критические значения были получены из таблиц Приложения при имеющемся объеме ряда наблюдений (95 лет), вычисленным значениям коэффициентов асимметрии и автокорреляции и принятом уровне значимости 5 %. Полученные критические значения статистик критериев также приведены в табл. 19.

Из графиков можно сделать вывод что резких экстремумов нет.

Результаты оценки однородности представлены в табл. 20.

Таблица 19 Результаты оценки однородности эмпирического распределения сумм осадков за ноябрь на метеостанции Канин Нос, РФ по критериям Диксона и Смирнова-Граббса

Экстремум	Критерий	Расчетное значение	Критическое значение	Вывод
max	Диксон1	0,034547	0,15	Однороден
max	Диксон 2	0,034807	0,16	Однороден
max	Диксон 3	0,302916	0,2	Однороден
max	Диксон 4	0,304348	0,22	Однороден
max	Диксон5	0,300654	0,21	Однороден
min	Диксон1	0,00747	0,14	Однороден
min	Диксон 2	0,00747	0,15	Однороден
min	Диксон 3	0,012138	0,19	Однороден
min	Диксон4	0,012138	0,2	Однороден
min	Диксон5	0,012138	0,18	Однороден
max	Смирнов-Граббс	3,937970404	3,05	Неоднороден
min	Смирнов-Граббс	1,388813683	3,05	Однороден

Вывод: расчётные значения критериев Диксона для максимальных ниже критических, поэтому ряд наблюдений однороден. Минимальные значения критериев Диксона ниже критических, значит ряд наблюдений однородный. Минимальные значения Смирнова-Граббса ниже критических значений, при уровне значимости 5%, из этого делается вывод, что ряд наблюдений однороден. Максимальные значения Смирнова-Граббса выше критических значений, при уровне значимости 5%, из этого делается вывод, что ряд наблюдений неоднороден.

Для оценки стационарности дисперсий и средних значений многолетний ряд наблюдений вначале был разбит на две части: первая – с 1985 по 1990 гг., вторая – с 1988 по 1977 гг. В порядке возрастания сумм осадков. Для каждой подвыборки были рассчитаны средние значения и дисперсии, которые соответственно равны: $Y_{cp1} = 17,68$ мм, Дисп.1 = 59,03 мм² и $Y_{cp2} = 47,56$ мм, Дисп.2 = 311,04 мм².

По полученным дисперсиям и средним значениям были определены расчетные значения статистик Фишера и Стьюдента
Анализ параметров ряда наблюдений для сумм осадков за июнь.

Таблица 20 Анализ параметров ряда наблюдений сумм осадков за июнь на метеостанции
Канин Нос, РФ

$r1$	t	$t_{кр.}$	Вывод
0,70	9,45	0,203	Нулевая гипотеза принимается

Оценка стационарности

Таблица 21. Оценка стационарности посредством критериев Фишера и Студента сумм осадков за июнь на метеостанции Канин Нос, РФ

Критерий	Расчетное значение	Критическое значение	Вывод
Критерий Фишера	0,189776825	1,36	Неоднороден
Критерий Стьюдента	-7521,38121	2,568	Однороден

Вывод: расчетное значение критерия Фишера оказалось выше критического, из чего можно заключить, что ряд неоднороден. Критерий Стьюдента ниже критических значений, значимость 5%.
Ряд наблюдений однороден.

Вывод:

Ряды наблюдений сумм осадков в температуры на метеостанции были исследованы. Были рассчитаны средние дисперсии, критерии Диксона, Смирнова-Граббса. Итоговая таблица:

Таблица 22 Итоговая оценка однородности и стационарности данных о сумме осадков за июнь на метеостанции Канин Нос, РФ

Ряд	G_n	G_1	Диксон	Фишер	Стьюдент
Температура	-	+	+	-	+

По трем параметрам исследуемый ряд отвечает однородности и стационарности.

Вычисленный критерий Смирнова-Граббса для максимального члена ранжированной последовательности (Y_n) 3,938 превысил критическое значение 3,05. По данному критерию ряд неоднороден.

Также расчетное значение статистического критерия Фишера 0,1898 оказалось выше критического 1,36, из чего можно заключить, что ряд неоднороден

3. Оценка современной динамики климата на основе данных о температуре воздуха и сумм осадков в Баренцевом море

3.1 Статистические методы оценивания современных климатических изменений

Методика описана в [15].

Для начала анализа возьмёмся выбрать ряды многолетних данных. Требуются данные, прежде всего, с широким временным рядом. Достаточным ежегодным количеством значений. Выбраны многолетние ряды сумм осадков за июнь по метеостанциям Корсёйок, Норвегия 1065 и Канин Нос, Российская Федерация 22165.

Выбраны взаимно короткие и взаимно продолжительные многолетние ряды изменения сумм осадков на двух м/с:

- ряд наблюдений и аналог – метеостанция город Корсёйок, Норвегия (1895-1990). $n = 95$ г.

- ряд-аналог и наблюдений – метеостанция Канин Нос, Российская Федерация (1916-2015). $n = 99$ г.

В первую очередь вычислен коэффициент корреляции R между двумя рядами температуры за одинаковый промежуток времени для восстановления данных м/с Корсёйок, Норвегия. $R = 0,378$, что выше критического значения корреляции 0,18. И свидетельствует о высоком уровне значимости.

При построении матриц анализа для м/с Канин Нос, Российская Федерация, был вычислен коэффициент корреляции $R = 0,173$, что ниже критического значения корреляции 0,18.

График ежегодного хода сумм осадков на м/с Корсёйок за июнь представлен на рис. .

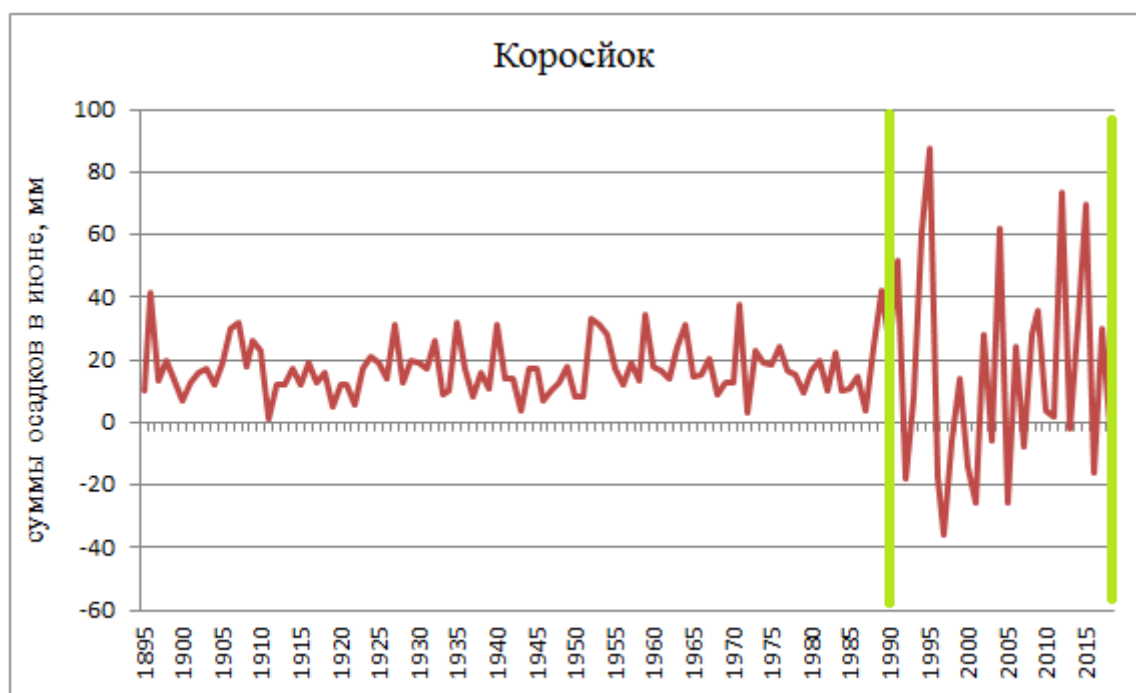


График ежегодного хода сумм осадков на м/с Канин Нос за июнь представлен на рис. .

Заключение.

По итогу выполнения работы, можно сделать следующие выводы. Акватория Баренцева моря отличается от остальной территории РФ климатическими характеристиками. Связано прежде всего с примыканием к территориям вечной мерзлоты у северного полярного круга Земли. Прохождение потоков Северного ледовитого океана, несущих воды низких температур. Это обуславливает специфику развития флоры и фауны региона. А также специфику деятельности человека, сильно ограниченную условиями климата региона. Однако в последние годы, а также прогностические модели, свидетельствуют о значительном изменении климата в сторону потепления. За период с 1990 по 2020 гг. среднегодовая температура повысилась на $2,8^{\circ}$. Вызывая соответствующие процессы. В целом можно констатировать, что климат региона становится более благоприятным. В связи с данными изменениями можно предположить о увеличении комфортности и возможности ведения деятельности в регионе.

Выбранные временные ряды средних температур и сумм осадков на анализируемых метеостанциях, в основном отвечают условиям однородности и стационарности. По данным сумм осадков на метеостанции Канин Нос, Российская Федерация, согласно статистическим критериям Смирнова-Грабса для максимального члена ранжированной последовательности, ряд данных неоднороден. Также расчетный критерий Фишера оказался выше критических значения. По данному показателю ряд данных неоднороден. Из чего можно сделать вывод, что по трем критериям ряд однороден, по двум неоднороден. Выявлен средний уровень доверительности данных для анализа.