

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«ПЕРМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Географический факультет

*Кафедра метеорологии
и охраны атмосферы*

**ДИНАМИКА КЛИМАТИЧЕСКОГО РЕЖИМА
ЯНАО**

Бакалаврская работа

Заведующий кафедрой,
д.г.н., профессор

Н.А. Калинин

Научный руководитель,
д.г.н., профессор

Н.А. Калинин

Выпускник

М.Д. Симакин

Пермь 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. ТЕМПЕРАТУРЫЙ РЕЖИМ	5
1.1. Обзор температурного режима за 1990 год.....	8
1.2. Анализ межгодовой изменчивости средней температуры воздуха за период с 1990 по 2016 год	9
2. СОСТОЯНИЕ ЛЕДОВОГО РЕЖИМА РЕГИОНА	14
2.1. Общая динамика состояния ледового режима.....	14
2.2. Выявленные изменения циркуляционных условий	17
3. ДИНАМИКА ОСАДКОВ	23
3.1. Обзор синоптических и метеоусловий на территории ЯНАО за 06- 12.11.2013	31
3.2. Обзор синоптических и метеоусловий за 13-16.12.18.....	36
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	42
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	43

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время интерес всего мира к Арктическому региону значительно вырос, так как Арктика является наиболее чувствительной частью глобальной климатической системы, в которой развиваются сильные естественные флуктуации климата с неарктическими её частями вследствие взаимодействий между компонентами арктической системы и изменений за пределами климатической системы в целом [11]. Вся территория Ямало-Ненецкого автономного округа входит в Арктическую зону России и является одним из передовых субъектов в освоении и изучении Арктики. В регионе Ямало-Ненецкого АО в настоящее время разворачиваются крупнейшие проекты, по добыче нефти и газа. На территории субъекта располагаются буровые платформы таких крупных российских компаний, как «Норильский никель», «Газпром нефть» и «Роснефть», активно развёртывает свою кампанию Ямал СПГ на Сабетте, запущено второе по величине газовое месторождение - Харасавэй. Кроме того, остро стоит вопрос об освоении Северного морского пути, который является кратчайшим путём, соединяющим европейскую часть и Дальний восток. А также строительство Северного широтного хода: магистрали, соединяющей северо-запад и восток. Но Ямал – это не только сердце добычи углеводородов, буровые платформы, геотехника и морской транспорт. Ямал – это хрупкая и уникальная экосистема Арктики, которая неизбежно изменяется по естественным закономерностям, а также под возрастающей антропогенной нагрузкой на регион. Ни для кого не секрет, что сокращение площади ледяных полей Карского моря, рост среднегодовой температуры воздуха, позеленение Арктики, а так же случаи выпадения дождя в холодный период – есть следствия изменения климатического режима региона. Наша цель заключается в выявлении и оценке динамики гидрометеорологических параметров в регионе. Для этого в работе были представлены следующие задачи:

- Построение временных рядов со среднегодовыми значениями температуры приземного воздуха на связке станций Тарко-Сале – Салехард – Марре-Сале – о-в Белый.

- Построение значений аномалий средней температуры воздуха по сезонам на станциях вдоль Обской губы.

- Оценка состояния льдов Карского моря.

- Построение временных рядов со среднегодовыми значениями осадков.

- Типизация синоптических процессов при формировании ледяного дождя (по данным глобальной модели GFS).

1. ТЕМПЕРАТУРЫЙ РЕЖИМ

Температурный режим приземного слоя атмосферы Ямало-Ненецкого автономного округа рассматривается на основе анализа данных из архива метеорологических наблюдений на береговых, островных и внутриматериковых станциях за период с 1990 по 2016 год.

В качестве объекта анализа были выбраны четыре метеостанции, расположенные меридионально с минимальным разбросом по широте, в четырёх климатически неоднородных районах субъекта: метеостанция им. Попова на острове Белом, станция Марре-Сале на одноимённом мысу, метеостанция в г. Салехард, метеостанция Тарко-Сале (рис.1).

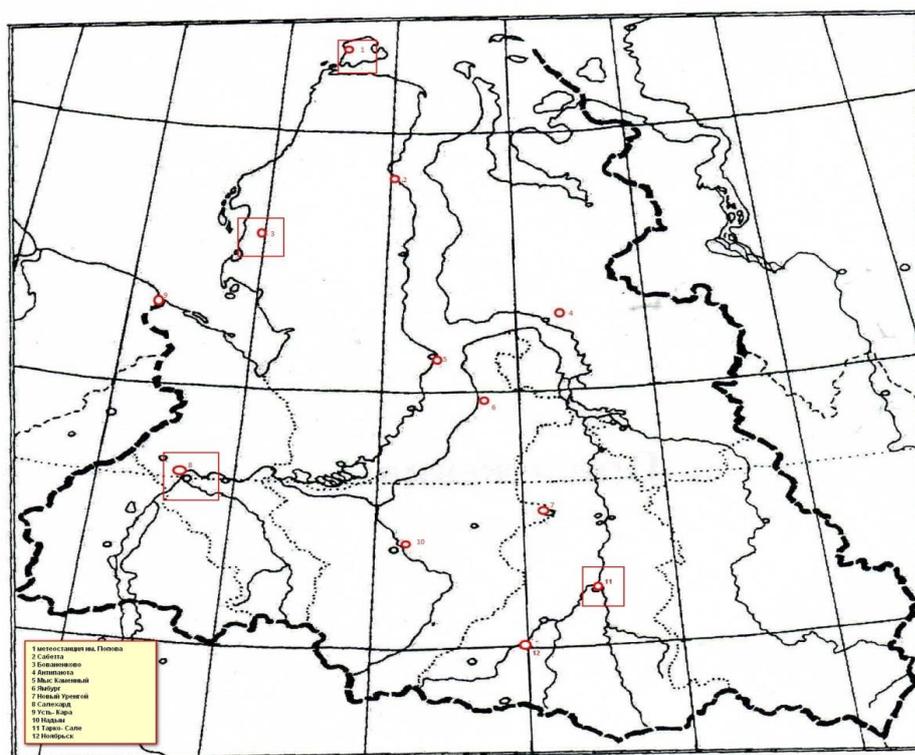


Рис. 1. Карта-схема расположения метеостанций.

Ямало-Ненецкий автономный округ расположен в Зауралье, на севере Западной Сибири, в нижнем течении реки Оби. Омывается на севере Карским морем. Регион включает в себя большую часть Гыданского полуострова,

полуостровов Ямал и Тазовский, а так же прилегающие острова акватории Карского моря.

Рельеф округа сложен из двух частей: горной и равнинной. Равнинная часть почти на 90% лежит в пределах высот до 100 м над уровнем моря, этим обуславливается большое количество озёр и болот. Левый берег Оби представляет собой пересеченный рельеф: заболоченные пространства между водоразделами с отметками высот более 200 м над уровнем моря. Правый берег представляет собой слегка всхолмленное плато с небольшим уклоном. Наиболее приподнятые участки находятся на юге округа, в районе Сибирских увалов. Рельеф Ямала, Гыдана и Тазовского полуострова формирует сеть оврагов, ложбин и мелких речных долин.

Горная часть района занимает небольшую территорию вдоль Полярного Урала от Константинова Камня на севере до верховьев реки Хулга на юге. Представляет собой крупные горные массивы с протяженностью свыше 200 км. Средние высоты южных массивов составляют 600 – 800 м. Наивысшие точки: Колокольня (1305 м.), Пайер (1499 м.). Севернее высота гор составляет 1000-1300 метров.

Высокоширотное расположение территории округа, небольшой приток солнечной радиации, значительная удаленность от теплых воздушных и водных масс Атлантического и Тихого океанов, равнинный рельеф, открытый для вторжения воздушных масс с Арктики в летнее время и переохлажденных воздушных масс зимой, определяют резкую континентальность и суровость климата.

Температурный режим формируется под влиянием циркуляционных процессов в акватории Северно-Ледовитого океана и северной Атлантики, а также адвекцией тепла и влаги на северо-западе. К юго-востоку всё большее влияние оказывают сибирский центр действия атмосферы, большее количество солнечной радиации, а так же арктические воздушные массы. Большое влияние на состояние температурного режима в регионе оказывают ледовые условия в

Карском море и состоянии многолетнемерзлых пород. В таблице 1 представлены амплитуды колебания температуры за 1990 год.

Таблица 1

Амплитуды колебания температуры в Ямало-Ненецком автономном округе за 1990 г.

Тарко-Сале	Салехард	Марре-Сале	Им. Попова
53,1	49,2	41,5	34,0

Здесь видна тенденция к увеличению амплитуды в материковой части и уменьшению в прибрежной части района. Относительная близость Атлантического океана слегка смягчает суровость климата Карского моря, однако острова Новой Земли являются преградой на пути адвекции тепла.

Для более чёткого представления характера температурного режима были построены графики распределения среднегодовой температуры воздуха по месяцам (рис.2.)

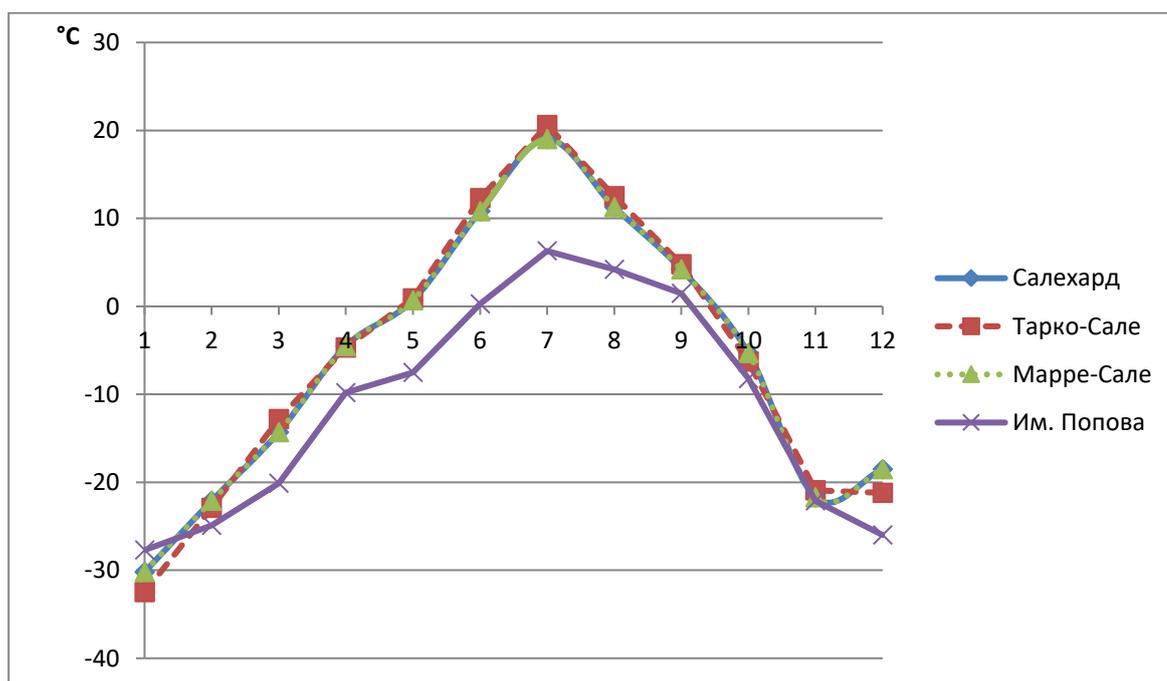


Рис. 2. График распределения температуры за 1990 г.

По причине нефункционирования некоторых станций в определённые годы, для визуализации был выбран 1990 год, как год с наиболее полной информацией со станций.

1.1. Обзор температурного режима за 1990 год

Метеорологическая станция Тарко-Сале расположена в северной части Западно-Сибирской низменности на правом берегу р. Пяку-Пур, которая на расстоянии 3 км к северу от станции сливается с р. Айвоседе-Пур, образуя реку Пур. Рельеф местности равнинный, местами заболоченный. Район станции находится в зоне урманной тайги. Леса смешанных пород с преобладанием хвойных пород (ели и кедра). Почвы в районе станции слабоподзолистые песчаные. На метеоплощадке – песчаные. Уровень грунтовых вод 1,5 – 2 м.

На графике видно практически прямолинейное распределение температуры с пиковым значением $+20,6^{\circ}\text{C}$ в июле. Минимальная температура воздуха отмечалась в январе и составила $-32,5^{\circ}\text{C}$. Среднегодовая температура воздуха в приземном слое атмосферы составила $-5,9^{\circ}\text{C}$. Амплитуда между максимальным и минимальным значением составила 53°C . Нормальная температура воздуха для пункта Тарко-Сале (относительно нормам 1961–1990гг.) составляет $-6,1^{\circ}\text{C}$.

Метеостанция Салехард находится вблизи окружного центра. Расположена на Полульской возвышенности Западно-Сибирской равнины. В месте слияния Полуя и Оби.

График распределения температуры по месяцам станции Салехард имеет схожий вид с графиком температуры на станции Тарко-Сале. По анализу данных, максимальное значение температуры приходилось на июль ($+19,0^{\circ}\text{C}$). Минимальная отметка достигала значения в январе ($-30,2^{\circ}\text{C}$). Средняя амплитуда колебаний же составила $49,2^{\circ}\text{C}$, что немногим ниже значения предыдущей станции. Среднегодовая температура воздуха для города Салехард составляет $-5,7^{\circ}\text{C}$.

Метеорологическая станция Марре-Сале находится на юго-западной оконечности полуострова Ямал, недалеко от устья реки Марре-Яга, на мысе Марре-Сале. Является одной из старейших полярных метеорологических

станций. Согласно графику, мы видим, что самым тёплым месяцем является июль (+13,4°C), самым холодным – январь (-28,1°C). Менее ярко выраженный градиент температуры обуславливается географическим положением метеостанции и, непосредственно, близостью Карского моря. На графике видны более сглаженные значения температуры в марте-апреле.

Метеостанция им. М.В. Попова расположена на северо-западной оконечности острова Белый, в Карском море. Функционирует с 1933 года. Является единственным местом обитания людей на острове. Поверхность острова покрыта тундровой растительностью. Имеется много термокарстовых озёр. От Ямальского полуострова остров Белый отделен проливом Малыгина, ширина которого в самом узком месте 9 км. Температурный режим острова существенно смягчается за счёт своего уникального месторасположения. На графике распределения среднегодовой температуры по месяцам за 1990 год (рис. 8) наблюдается ярко выраженное сглаживание кривой. Своих максимальных показателей температура достигала в июле 6,3°C. Минимальное значение приходилось на январь и достигало отметки -27,7°C. Амплитуда колебаний температуры составила 34°C.

1.2. Анализ межгодовой изменчивости средней температуры воздуха за период с 1990 по 2016 год

На рис. 3 представлены межгодовые колебания температуры воздуха в пункте Тарко-Сале.

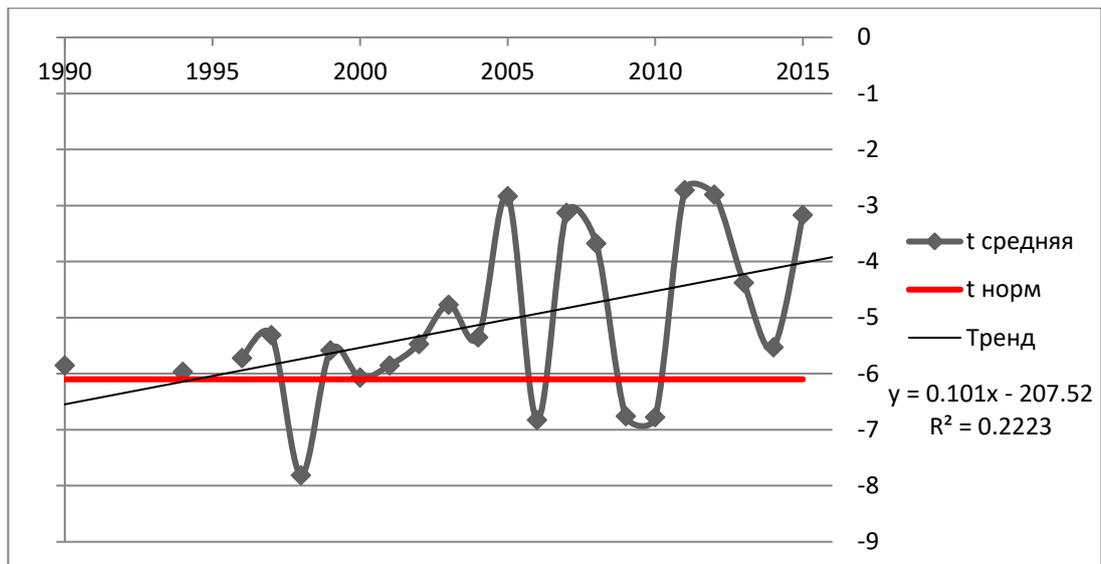


Рис. 3. межгодовые колебания температуры воздуха Тарко-Сале.

Сравнение показателей проведено относительно нормы. Нормальная температура воздуха для пункта Тарко-Сале (относительно нормам 1961-1990гг.) составляет $-6,1^{\circ}\text{C}$. Построены линейный тренд и уравнение тренда. Согласно графику, за период с 2001 по 2015 год (за исключением 2006, 2009 и 2010 годов) аномалия температуры воздуха сохраняла положительный знак. Наибольшая аномалия температуры отмечалась в 2011 году и составила $3,4^{\circ}\text{C}$ выше нормы. Согласно расчётам, рост температуры за рассматриваемый временной период (1990-2015 гг.) составляет $0,1^{\circ}\text{C}/\text{год}$ или $2,7^{\circ}\text{C}/25$ лет.

На рис. 4 можно увидеть общий тренд изменения температуры за период с 1990 по 2015 год в пункте Салехард.

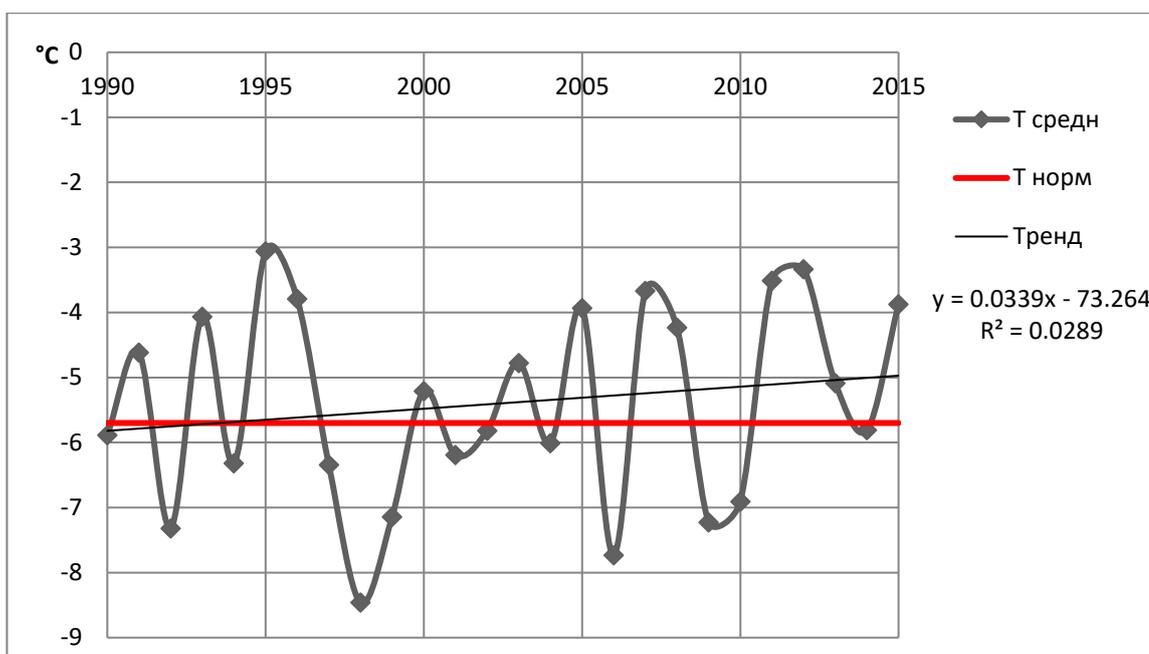


Рис. 4. Межгодовая изменчивость. Салехард.

Норма 1961-1990 гг. для города Салехард составляет $-5.7\text{ }^{\circ}\text{C}$. Наибольшие положительные аномалии температуры наблюдались в 1995 и 2012 годах ($2,7^{\circ}\text{C}$ и $2,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ соответственно) Согласно тренду, рост температуры составляет $2^{\circ}\text{C}/25$ лет.

По имеющимся обрывочным данным был построен график межгодового распределения температуры в пункте Марре-Сале (рис.5.). Так можно отметить, что в общей картине, наблюдается положительный тренд температуры воздуха. Согласно графику, самым тёплым годом был 1995, когда среднегодовая температура составляла $-4,8\text{ }^{\circ}\text{C}$. Самым холодным же оказался 1998 ($-10,7^{\circ}\text{C}$).

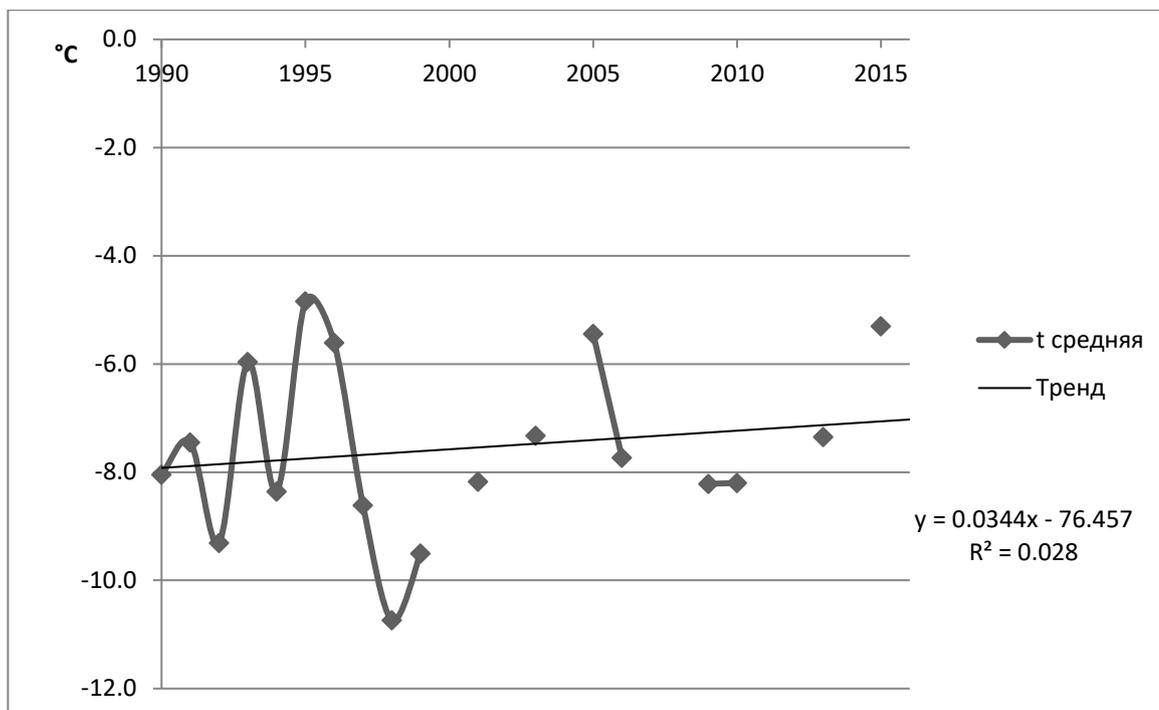


Рис.5. Среднегодовые значения температуры 1990- 2015 гг.

Так можно отметить, что в общей картине, наблюдается положительный тренд температуры воздуха. Согласно графику, самым тёплым годом был 1995, когда среднегодовая температура составляла $-4,8\text{ }^{\circ}\text{C}$. Самым холодным же оказался 1998 ($-10,7^{\circ}\text{C}$).

Опираясь на имеющиеся данные с метеостанции им. Попова во ВНИИГМИ-МЦД, был построен график межгодовых колебаний температуры и была проведена линия тренда (рис.6). По данным с шести лет, у которых можно было высчитать среднегодовую температуру воздуха, виден положительный тренд изменчивости среднегодовой температуры. Согласно расчётам, рост температуры составляет $0,2^{\circ}\text{C}/\text{год}$ или $4^{\circ}\text{C}/25\text{ лет}$.

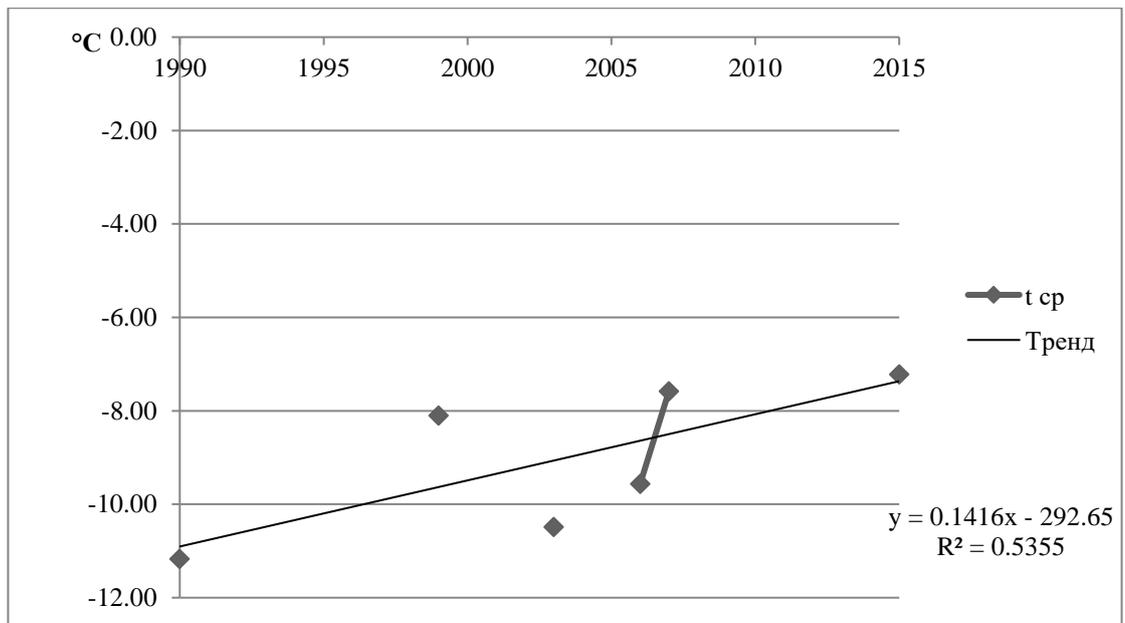


Рис. 6. Межгодовое распределение средней температуры на метеостанции им Попова.

2. СОСТОЯНИЕ ЛЕДОВОГО РЕЖИМА РЕГИОНА

2.1. Общая динамика состояния ледового режима

Как мы видим, на всех четырёх графиках межгодового распределения средней температуры воздуха за период с 1990 по 2016 год – на станциях наблюдается положительный знак тренда межгодовой изменчивости температуры. На формирование температурного режима в изучаемом районе в тот или иной год оказывают своё влияние множество факторов. В том числе, состояние ледовых условий в Карском море. Вследствие географического положения Карское море ежегодно замерзает. Лед образуется в самом море, а также поступает из Центрального Арктического бассейна. Большую часть года Карское море покрыто сплошным ледяным покровом. В юго-западной части моря лед наблюдается в течение 7-8 месяцев, с ноября по июнь-июль. Северо-восточная часть моря в летний период не полностью очищается ото льда. Ледообразование в Карском море обычно начинается в сентябре в северных районах и в октябре - ноябре на юге. Зимой неподвижный лед бывает только вблизи берегов в виде припая. За припаем обычно располагаются плавучие льды. В большинстве это обширные ледяные поля. За зиму лед достигает толщины 0.5 - 1.5 м. Таяние ледяного покрова в Карском море начинается в его юго-западной части в среднем в конце мая. В июне вытаскивают молодые и однолетние тонкие льды в полыньях и в разводьях и частично однолетние средние льды. В процессе таяния ледяного покрова происходит взлом и постепенное разрушение припая и распадение его на обширные дрейфующие поля. Припай начинает разрушаться раньше всего в Амдерминском районе, где он в 80 % случаев окончательно разрушается в течение июня. В основном в середине июля взламывается припай вдоль Ямальского побережья и в Обь-Енисейском районе. К концу июля половина юго-западной части моря под

влиянием тепловых и динамических процессов очищается ото льда. В конце августа - начале сентября в 80 % случаев этот район полностью освобождается ото льда. В прибрежных районах таяние льда происходит более интенсивно, чем в мористых районах. Поэтому в июне-июле в юго-западной части моря лед в среднем располагается в центральных районах. Таяние льда и очищение северо-восточной части моря происходит медленнее, чем юго-западной части моря. Взлом припая в среднем начинается в начале июня со стороны его кромки. Основная площадь припая взламывается в течение июля, и к началу августа припай сохраняются только в узкой прибрежной зоне между шхерами Минина и южной частью архипелага Норденшельда. К концу периода таяния (в сентябре) в среднем около половины района остается занятой остаточными льдами. Очищение моря наиболее интенсивно происходит в июле и августе. В среднем к концу августа ото льда очищается около 60 % акватории моря, в основном это происходит за счет юго-западной части моря. В сентябре процессы таяния замедляются. В течение сентября вследствие таяния и дрейфа льда очищается еще 10-15 % моря. В северных районах моря в это время начинается ледообразование. В период таяния сплоченные (7-10 баллов) льды моря локализуются в ледяные массивы. В юго-западной части моря - это Новоземельский массив, в северо-восточной части - Североземельский и Северный Карский массивы. В начале летнего периода Новоземельский массив часто блокирует пролив Карские Ворота. Однако в августе в 80 % случаев он исчезает. Разделение сплоченных льдов северо-восточной части моря на два массива в большинстве лет происходит в середине августа. Северный Карский массив занимает северо-западные районы моря, его льды разрушаются медленнее остальных ледяных массивов моря, и до 40 % его площади не вытаивают в летний период. Североземельский массив большую часть летнего периода блокирует западные подходы к Североземельскому архипелагу и к проливу Вилькицкого, и в среднем до 20-25 % массива сохраняются до начала ледообразования [4].

Как мы можем увидеть на рис.7, за период с 1990 по 2016 год наблюдается отрицательная динамика тренда ледовитости Карского моря, что говорит об общей тенденции снижения ледовитости.

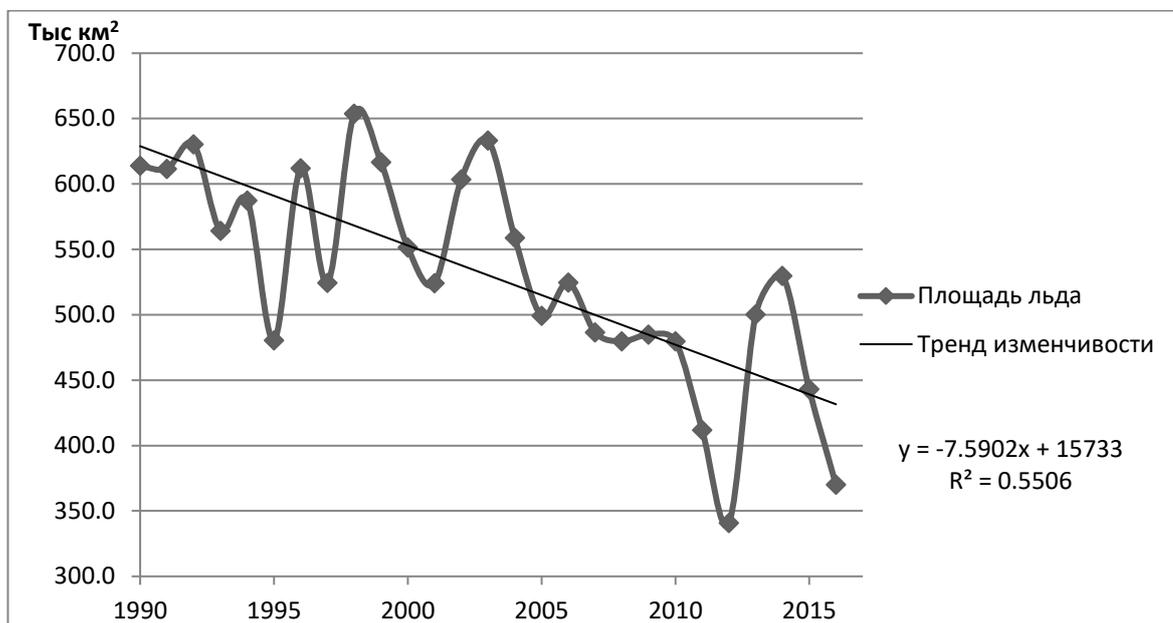


Рис.7. Динамика ледовитости Карского моря.

Наименьшие значения, из общей динамики, приходятся на максимальные значения среднегодовой температуры в 1995 и 2012 годах. На рис. 8 видна ледовая обстановка во всей СПО на 12-14 февраля 2012 года.

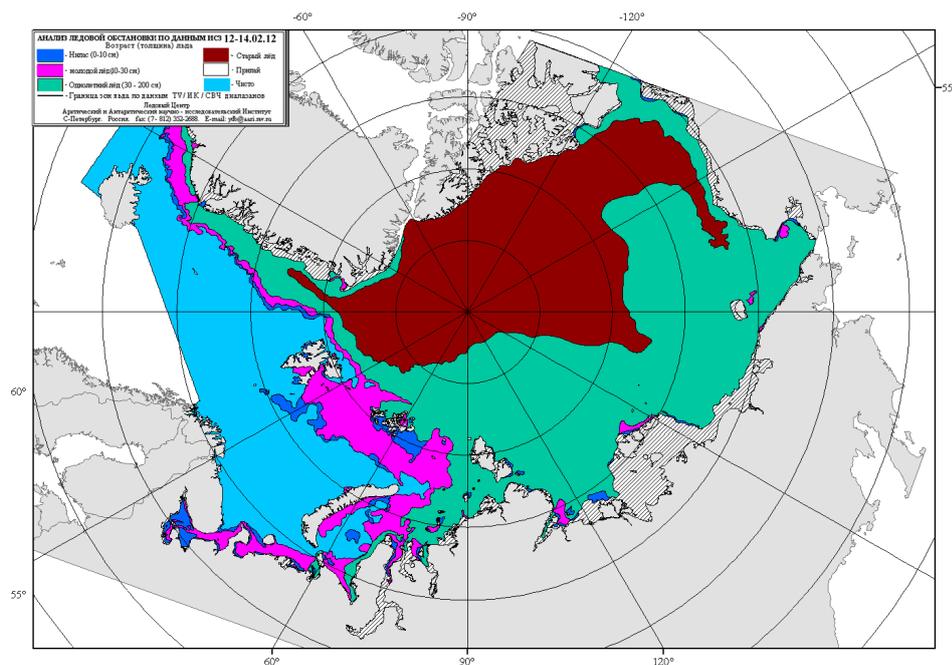


Рис.8. Ледовые условия северной полярной области.

На нём видно, что большая часть юго-западной части Карского моря не покрыта льдом, а остальная часть схвачена молодым льдом, толщиной менее 30 см.

2.2. Выявленные изменения циркуляционных условий

Общее снижение площади льдов Карского моря происходит на фоне общего потепления климата. На фоне изменения температурного режима приповерхностного слоя воздуха происходят так же и изменения в ледообразовании. От температуры воздуха в октябре-апреле и в июне, зависит толщина наросшего льда зимой и интенсивность его таяния летом [4]. Толщина морского льда в Арктическом бассейне также уменьшилась с 1980-х годов в среднем более чем на 40%, главным образом, вследствие уменьшения количества многолетних льдов. Продолжение согласованных тенденций повышения температуры воздуха и уменьшения площади льда при сохранении наблюдаемых темпов потепления указывает на 2030-е годы как на период, начиная с которого лед в сентябре может исчезать. Выявленные тенденции согласуются с изменениями атмосферной циркуляции. Для Арктики характерно преобладание антициклона над Арктическим бассейном. В начале 90-х годов поступили первые сведения о необычно высоких температурах в слое воды атлантического происхождения к северу от Карского моря [10]. В апреле 93-го года экспедиция “Север-45” зафиксировала температуру на 1°С выше средней. В середине 1990-х годов произошла перестройка системы циркуляции, при которой сформировались циклоническая циркуляция над Карским морем и морем Лаптевых и область повышенного давления над Канадским Арктическим архипелагом и Гренландией. Такая циркуляция сопровождается повышением температуры воздуха, усилением таяния льда летом и его выноса за пределы Арктического бассейна [7]. Авторы работ [12-13] по данным реанализа

ERA/Interim установили, что тренды температуры воздуха максимальны у поверхности и поэтому считают, что главная роль в усилении потепления в Арктике принадлежит сокращению площади морского льда, а увеличение содержания водяного пара в атмосфере в результате сокращения ледяного покрова может усилить потепление летом и в начале осени. Однако, тренды среднемесячной температуры воздуха в Арктике не подтверждают усиления в эти месяцы, а показывают максимальное усиление поздней осенью и в начале зимы [1, 2, 3, 14]. Тренды и среднемесячные температурные значения для метеостанции Салехард представлены на рис. 9-10.

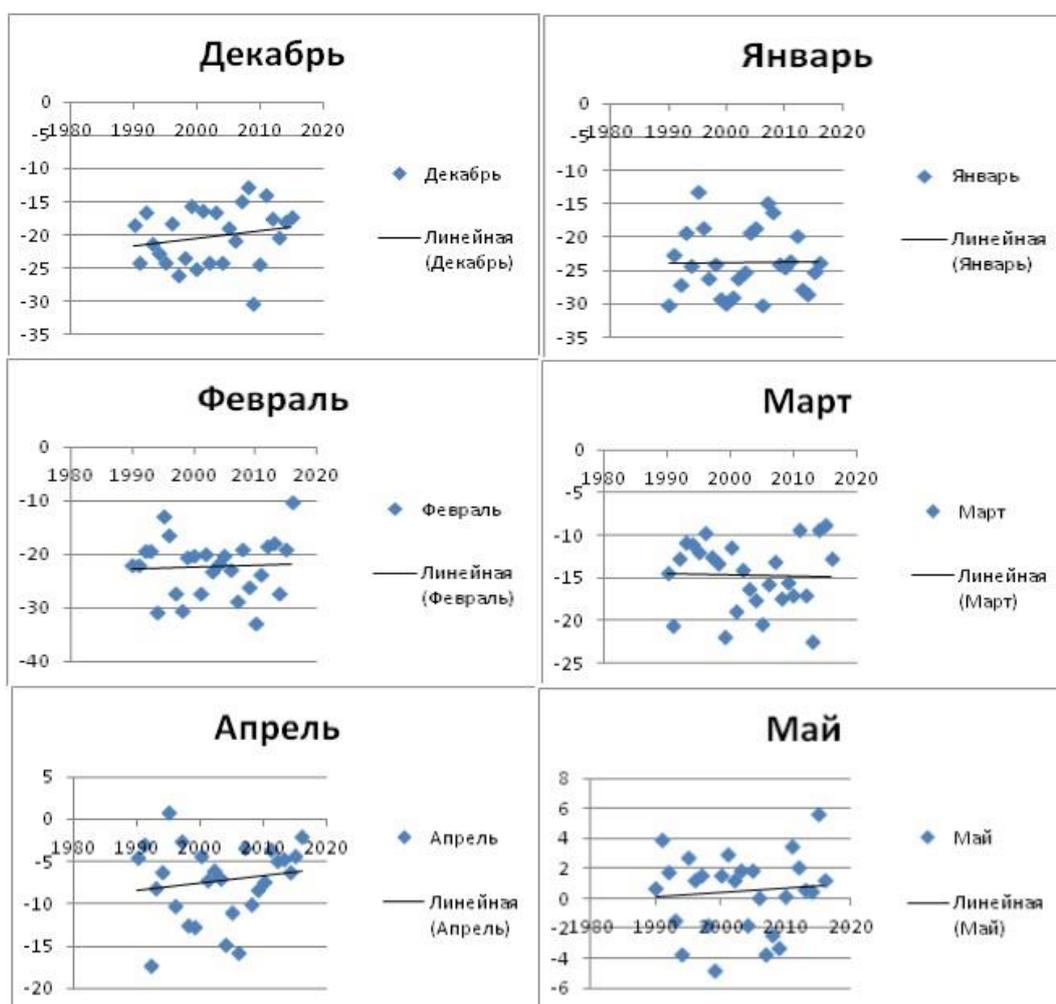


Рис. 9. Динамика среднемесячной температуры. Первое полугодие.

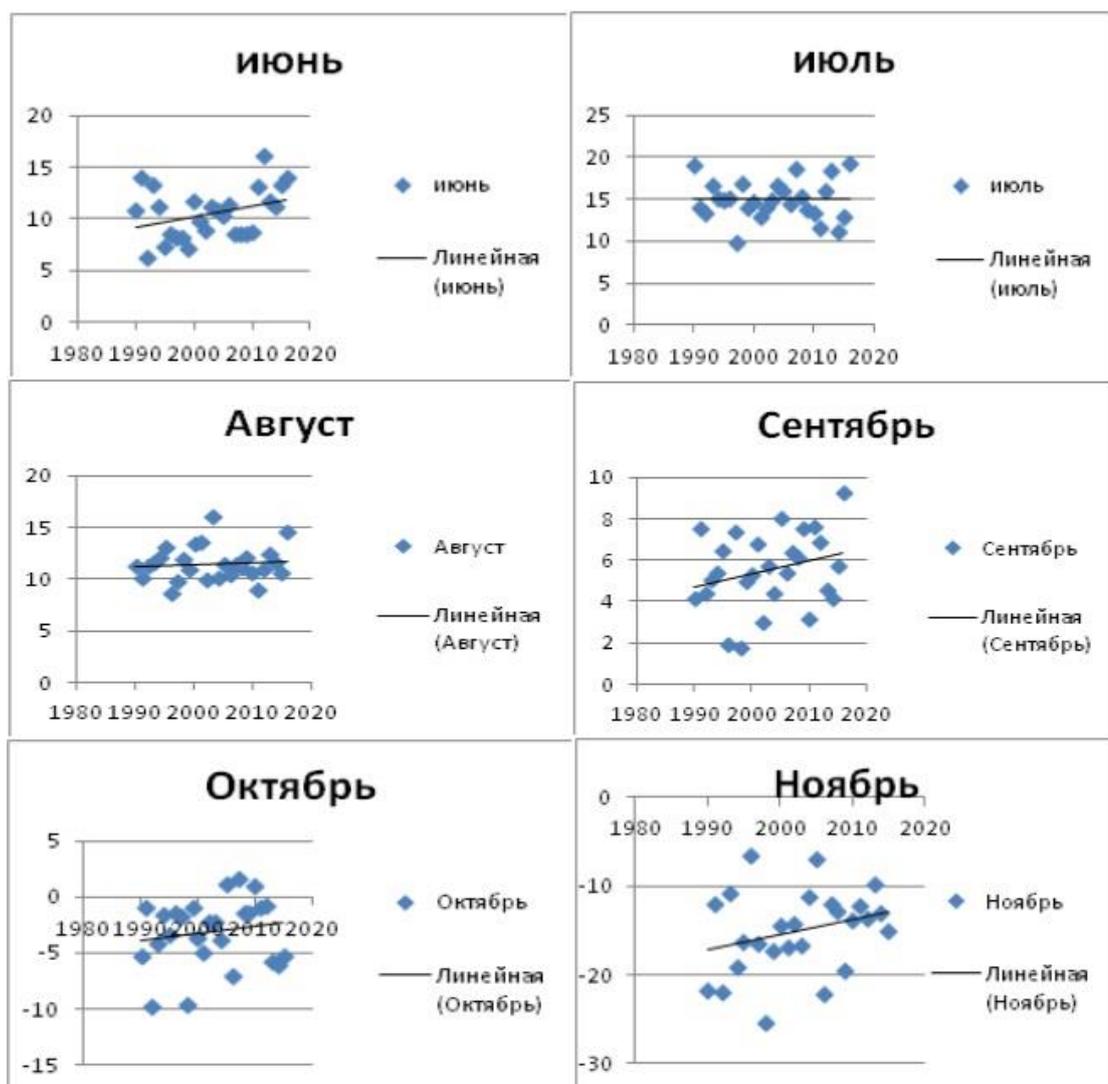


Рис. 10. Динамика среднемесячной температуры. Второе полугодие.

Ниже представлены показатели среднегодовых и среднесезонных значений температурных аномалий на меридиональной связке станций о. Белый – Тамбей – Сеяха. Как можно увидеть, наибольшие аномалии так же наблюдались в зимние месяцы (рис. 11.)

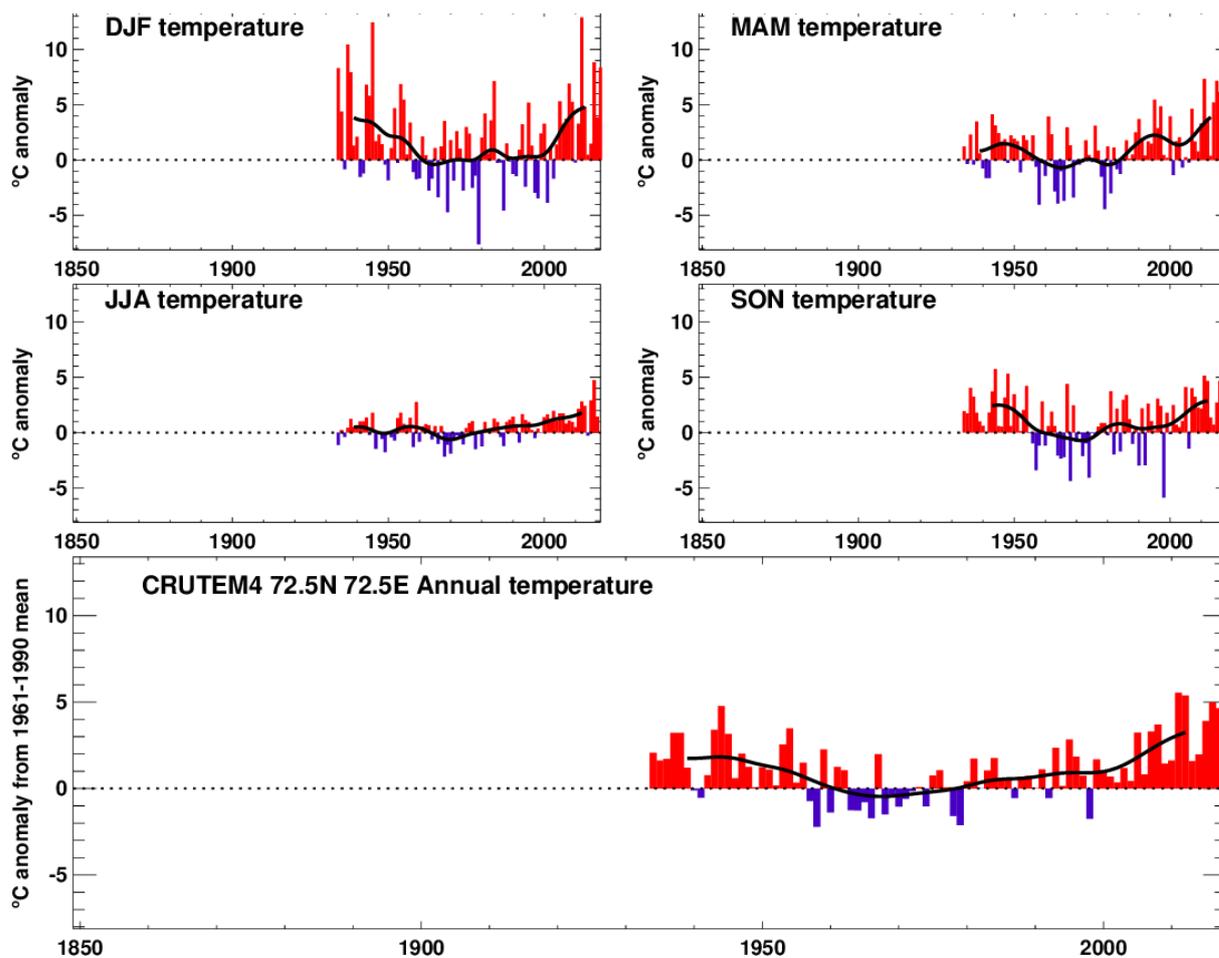


Рис. 11. Сезонные аномалии Сеяха.

Аналогичную картину можно наблюдать и на станциях Ныда – Надым – Новый Порт – Мыс Каменный (рис. 12.)

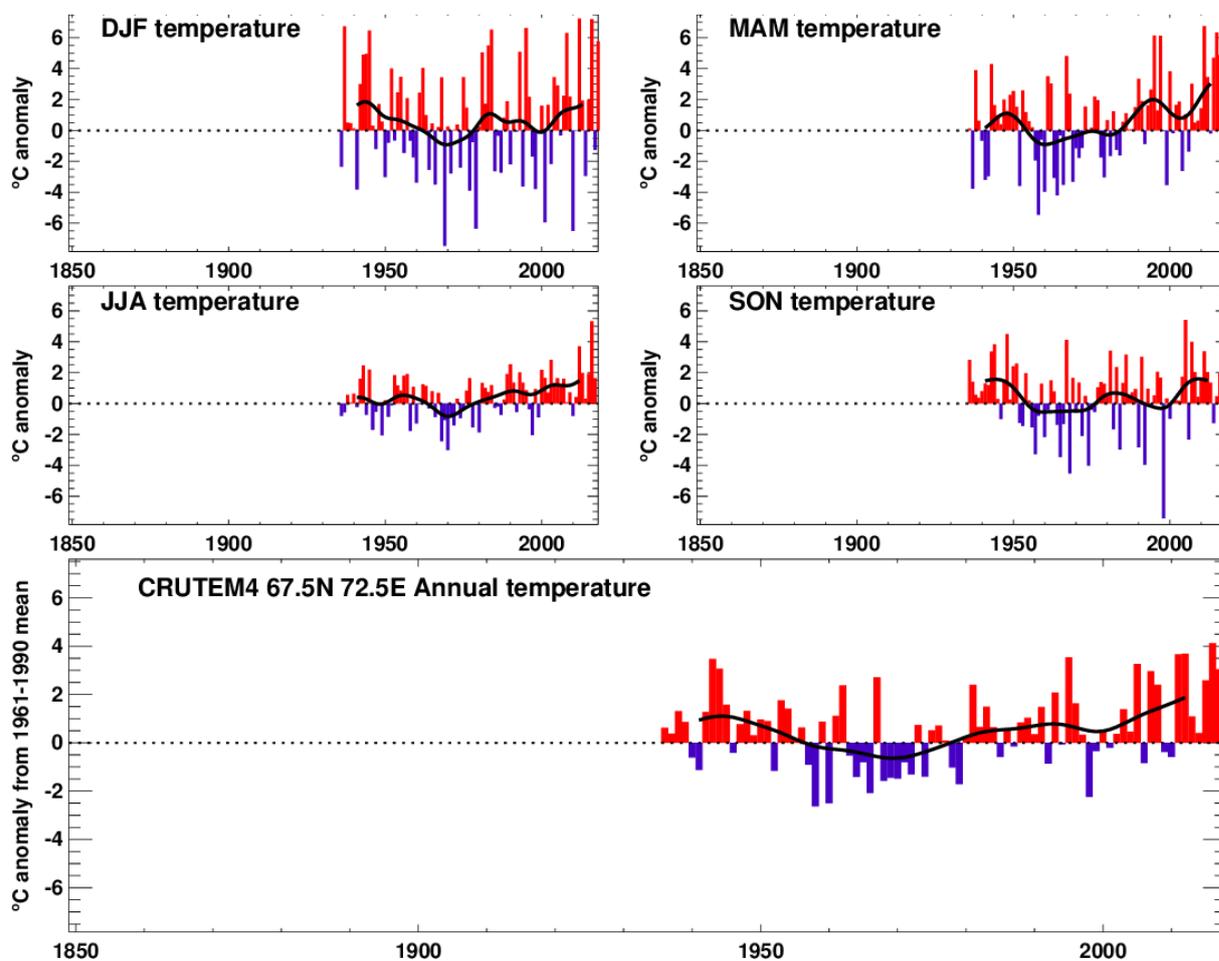


Рис. 12. Сезонные аномалии Новый Порт.

Согласно этим показателям, хорошо видно, что более южная связка станций в весенние месяцы так же наблюдает значительный разброс температурных значений.

Были высчитаны коэффициенты корреляции для анализируемых станций в районах субъекта, чтобы оценить степень воздействия ледовых условий на среднегодовую температуру воздуха. Результаты вычислений можно увидеть в таблице 2.

Таблица 2

Корреляционная связь температурного и ледового режимов региона
в пунктах

Тарко-Сале	Салехард	Марре-Сале	Им. Попова
-0,6	-0,5	-0,5	-0,7

Как мы видим из расчётов, ледовые условия оказывают непосредственное воздействие на температуру в районе метеостанции им. Попова, что очевидно, исходя из её месторасположения. Корреляционная связь ослабевает до средних значений в центре региона и вновь возрастает до 63% в районе Тарко-Сале.

3. ДИНАМИКА ОСАДКОВ

Количество осадков и их фазовое состояние находятся в непосредственной зависимости с местными природно-климатическими условиями: наличием необходимого количества влаги в атмосфере, циркуляционными факторами и рельефом местности.

Согласно синоптической классификации, осадки принято делить на внутримассовые и фронтальные. За рассматриваемый период, преобладающая часть осадков на территории Ямало-Ненецкого АО имеет фронтальный характер. Преобладающими типами барических образований по траектории смещения, которые вносят основной вклад в общее количество осадков, являются северо-западные и северные циклоны.

Согласно климатическим нормам 1981-2010 гг., график распределения осадков в столице субъекта имеет следующий вид (рис.14.).

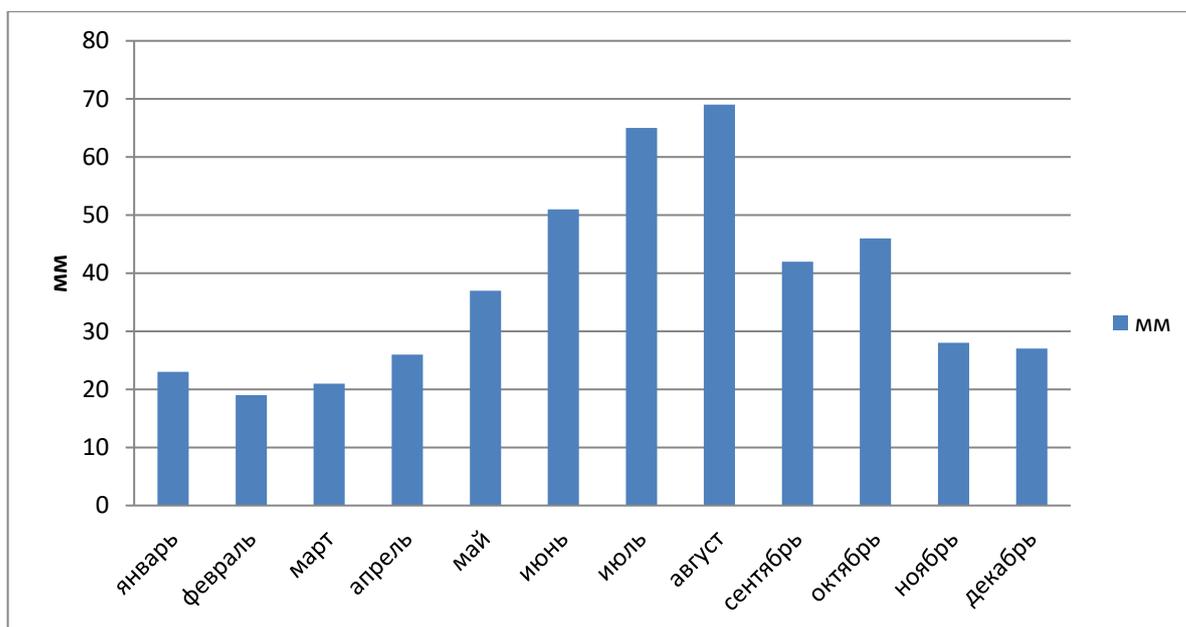


Рис.14. Распределение осадков по нормам 1981-2010 гг. Салехард.

Основной вклад в формирование годовой суммы осадков на территории Ямало-Ненецкого АО вносит летне-осенний период, как период, в который наблюдаются наиболее частые вторжения воздушных масс с территории северной Атлантики и морской Арктики. Относительно сухой зимне-весенний период обуславливает азиатский континент, который обеспечивает регион

переохлаждёнными воздушными массами сибирского антициклона. На рис.14 показано распределение суммы осадков на метеостанции Салехард за 2017 год и сравнение их, относительно нормы.

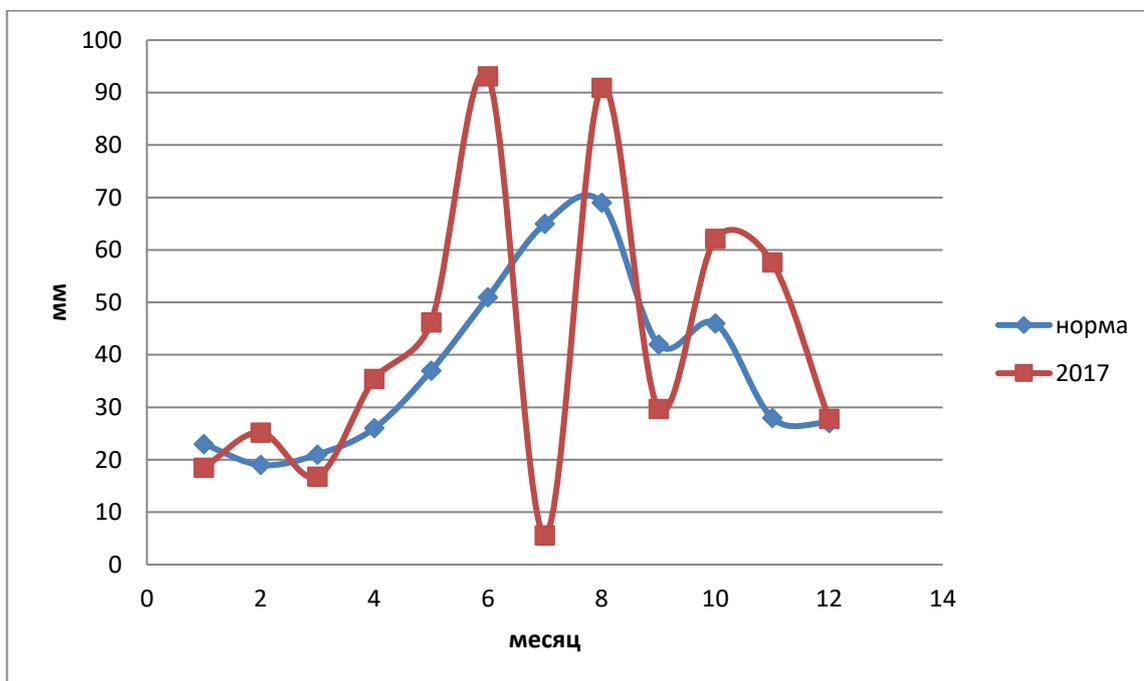


Рис.14. Сравнение 2017 года относительно нормы. Салехард.

На графике виден значительный дефицит осадков в июле ($-59,4$ мм). Такая крупная аномалия обусловлена устоявшейся областью повышенного давления над регионом на протяжении большей части месяца (рис.15.).

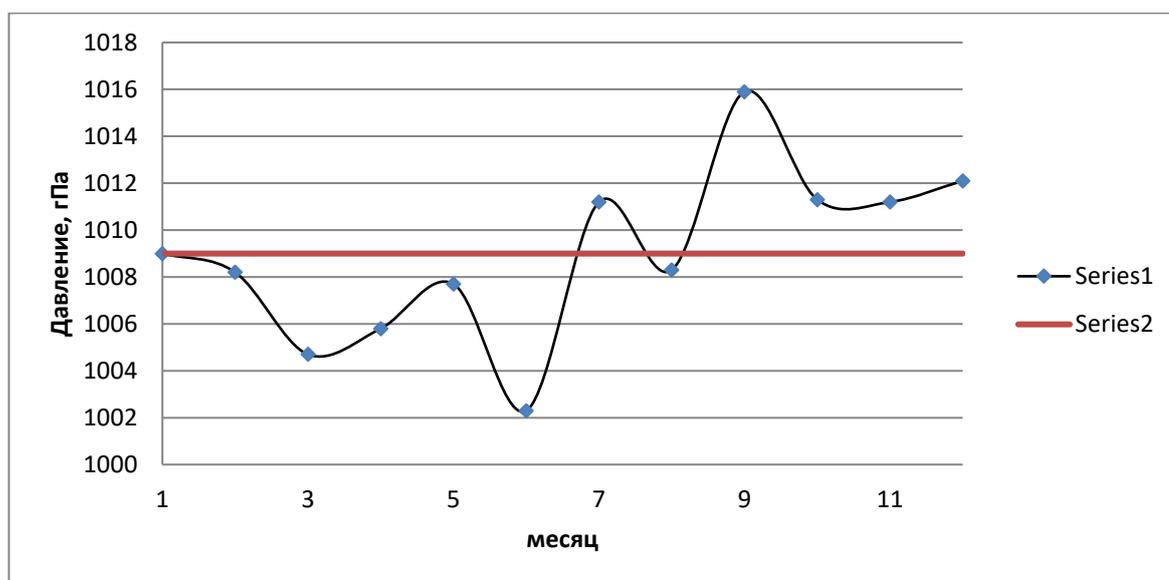


Рис. 15. Среднемесячное давление на уровне станции за 2017 год и сравнение его, относительно нормы.

Кроме того, в июне и августе отмечался избыток осадков с аномалиями 42,1 и 21,9. Существенный вклад в среднее значение июня внесло опасное явление - сильный ливень, отмеченное на станции Салехард 29 числа (рис. 16.), которое произошло на фоне прохождения фронта окклюзии, связанного с северной ветвью полярной фронтальной системы (рис.17.).

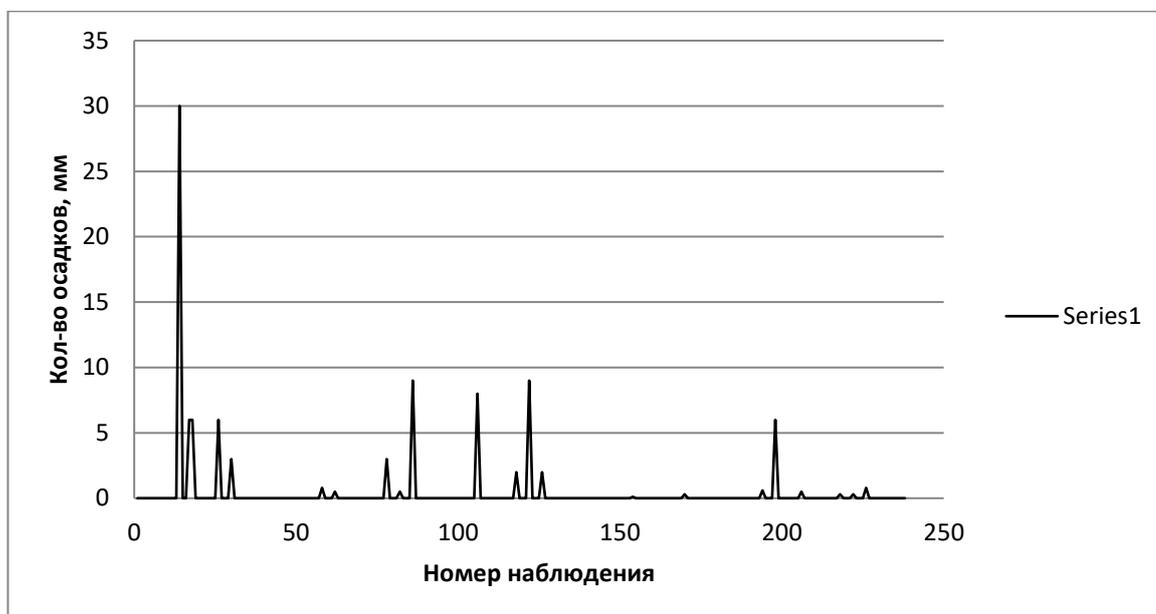


Рис.16. Количество выпавших осадков в июне 2017 на метеостанции Салехард.

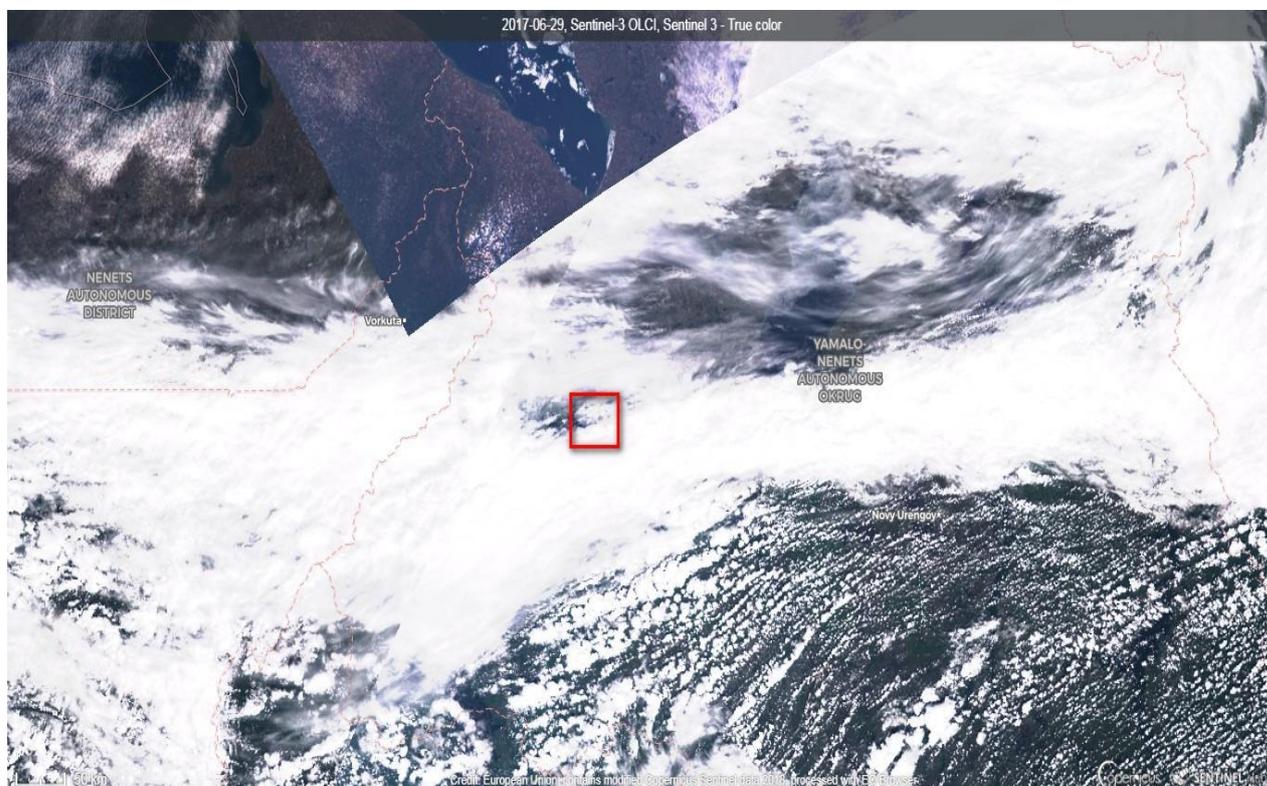


Рис.17. Спутниковый снимок облачности над Ямалом 29 июня. Фронт окклюзии. Sentinel-2.

На остальных метеостанциях были так же отмечены осадки различной интенсивности, однако суммарное их количество не превысило порогового значения для критерия ОЯ.

В целом, можно наблюдать крайне неоднородное распределение осадков на всей территории субъекта. При достаточно влажном июне в Салехарде, наблюдался острый дефицит осадков на метеостанциях Новый Порт и Марре-Сале (рис.18.).

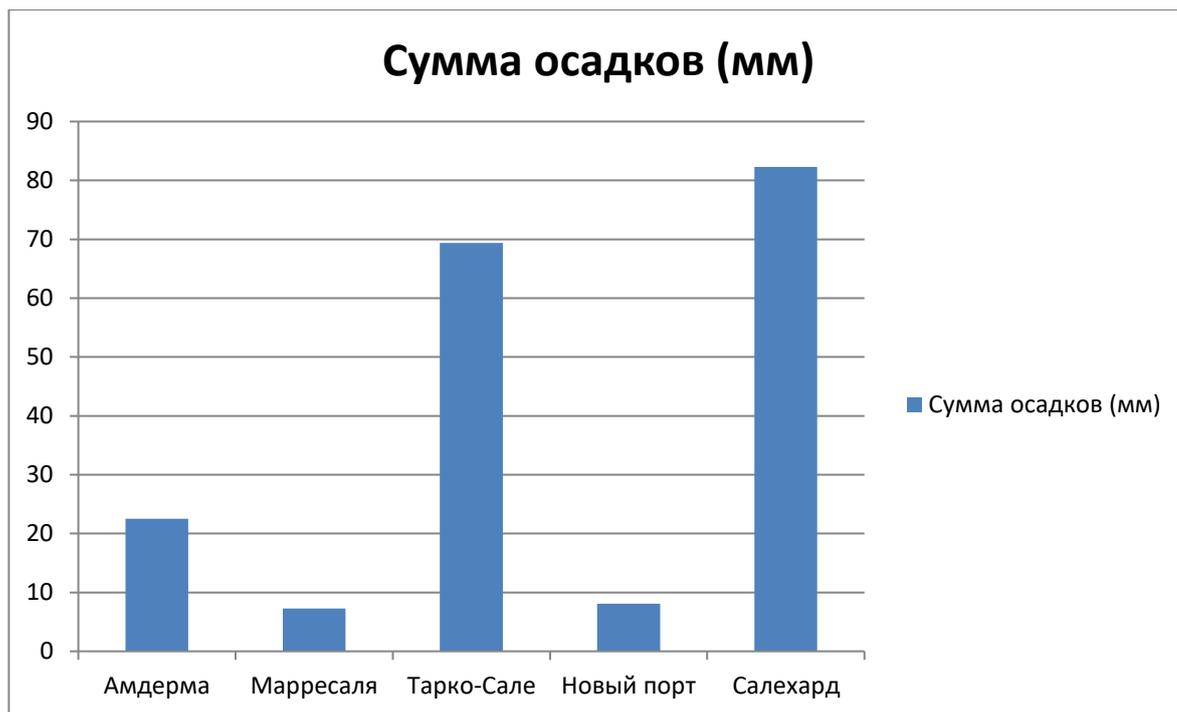


Рис.18. Сравнение сумм осадков в июне на различных МС субъекта.

Распределение осадков на территории Ямало-Ненецкого АО характеризуется особенностями географического положения и особенностями рельефа. Обширная зона наибольших сумм осадков наблюдается в центральной и южной частях региона. Можно предположить, что непосредственное влияние на распределение данных значений оказывает преобладающий северо-западный ведущий поток, который “обходит” стороной северные части субъекта (рис. 19.).

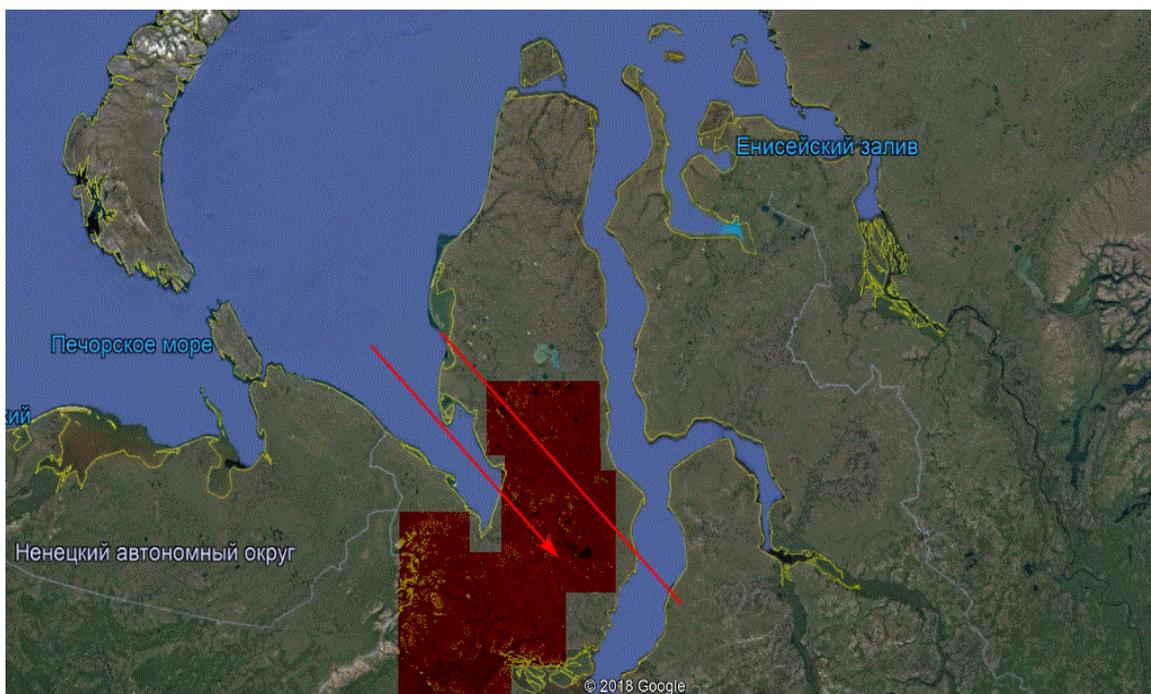


Рис.19. Карта-схема и основная траектория осадков.

Рассматривая 20-ти летние временные ряды, в целом, можно увидеть незначительные тренды роста годовых сумм осадков на южных и центральных МС и тенденции к снижению количества осадков к северу (рис.20.) .

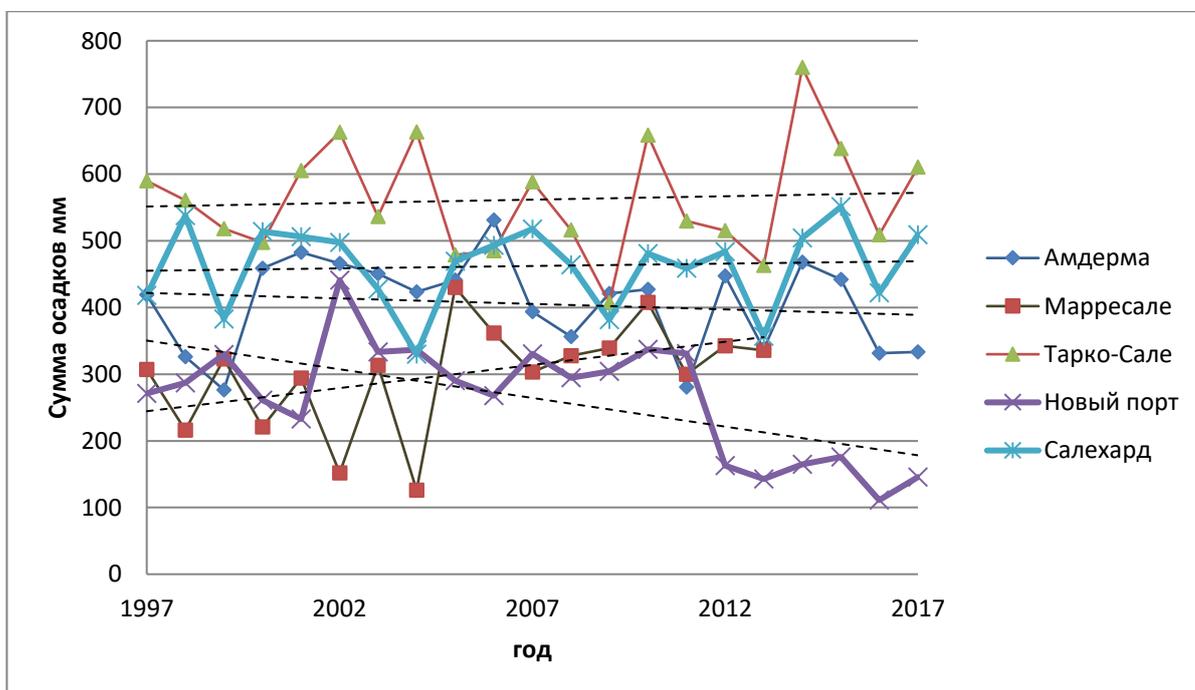


Рис.20. Общие тенденции осадков на МС субъекта по результатам 20-ти летних наблюдений.

Рассматривая более длинные временные ряды, в целом, наблюдается та же самая картина. Ниже представлены модели динамики осадков в узлах регулярной сетки с размерами $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ по интерполированным данным со всех метеостанций в округе для района Сабетты (рис.21), Яр-Сале (рис.22) и Тарко-Сале (рис.23.).

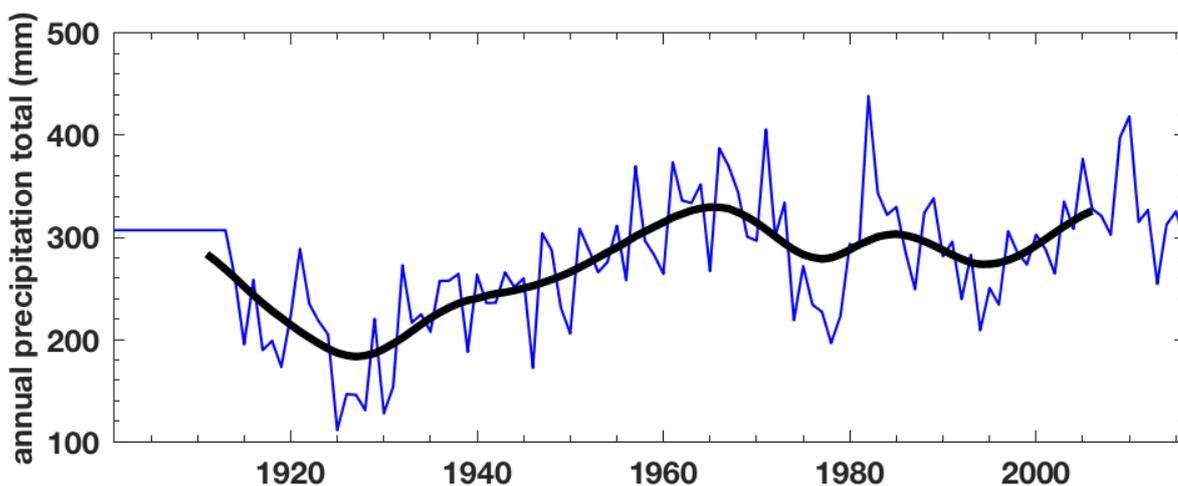


Рис. 21. Динамика осадков Сабетта.

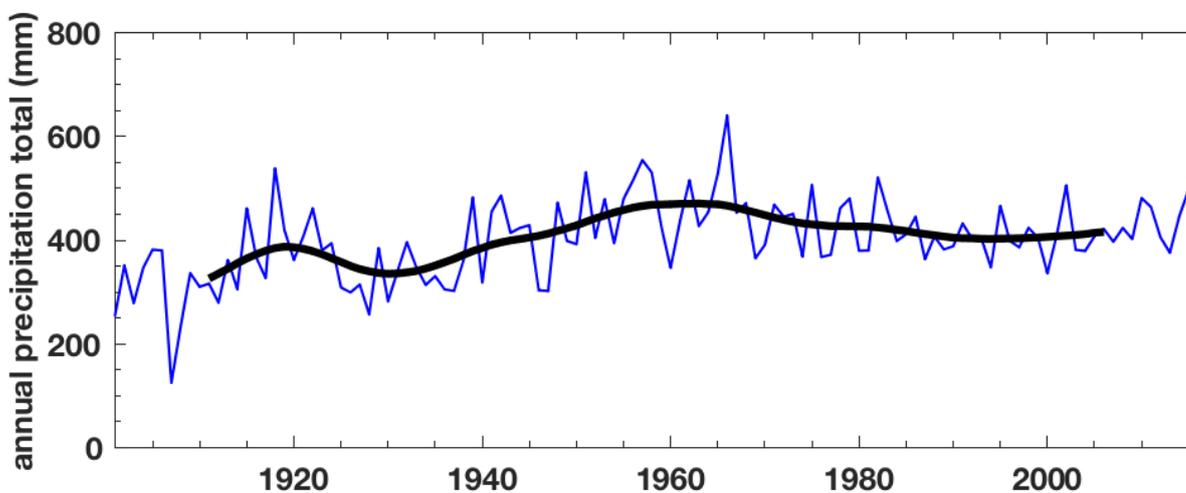


Рис. 22 Динамика осадков Яр-Сале.

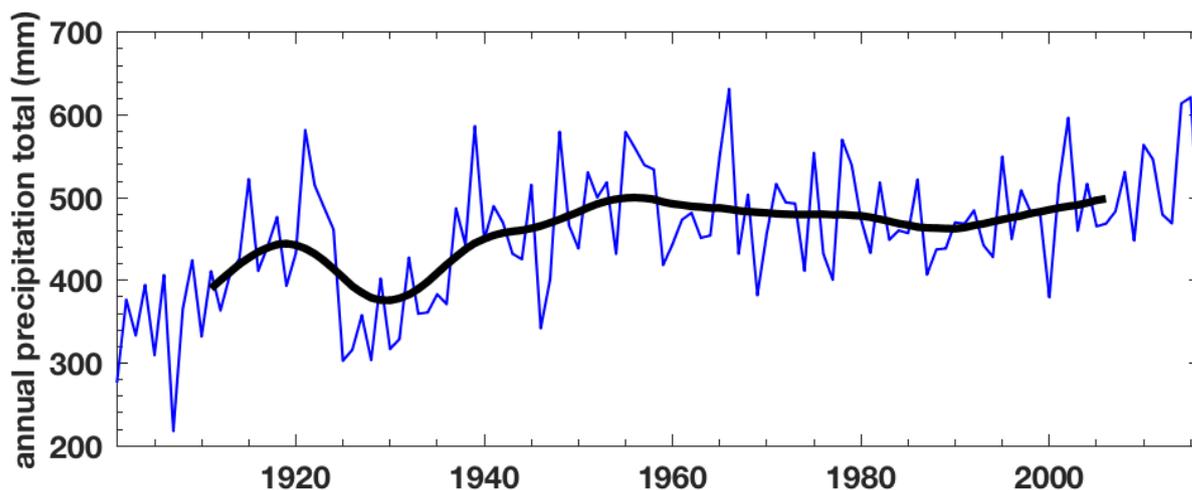
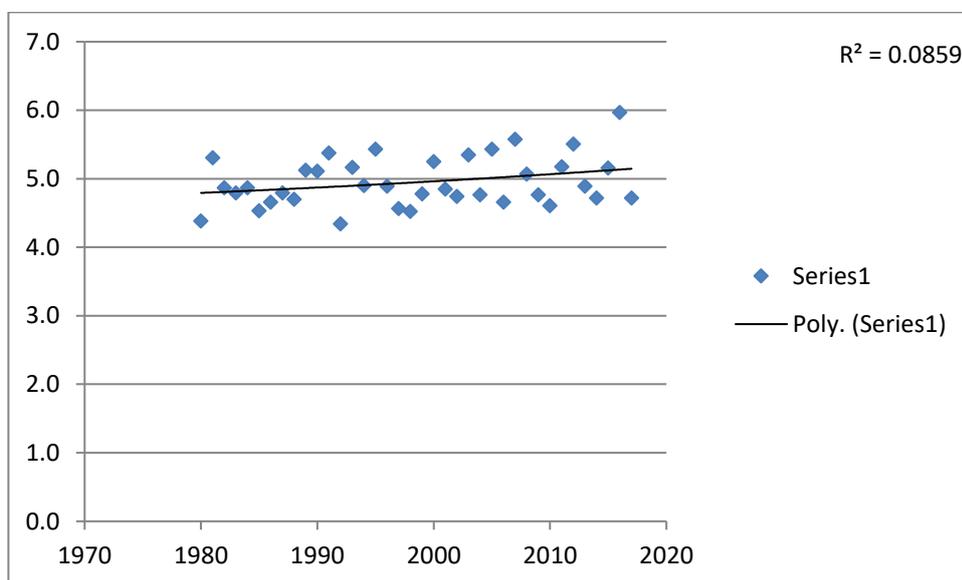


Рис. 23 Динамика осадков Тарко-Сале.

На фоне общего сокращения Баренцева и Карского морей, растёт так же и общее влагосодержание атмосферы, что ведёт к неизбежному увеличению количества осадков. На группе графиков (рис. 24). Представлена динамика парциального давления водяного пара на станциях Салехард, Марре-Сале, о-в Белый.



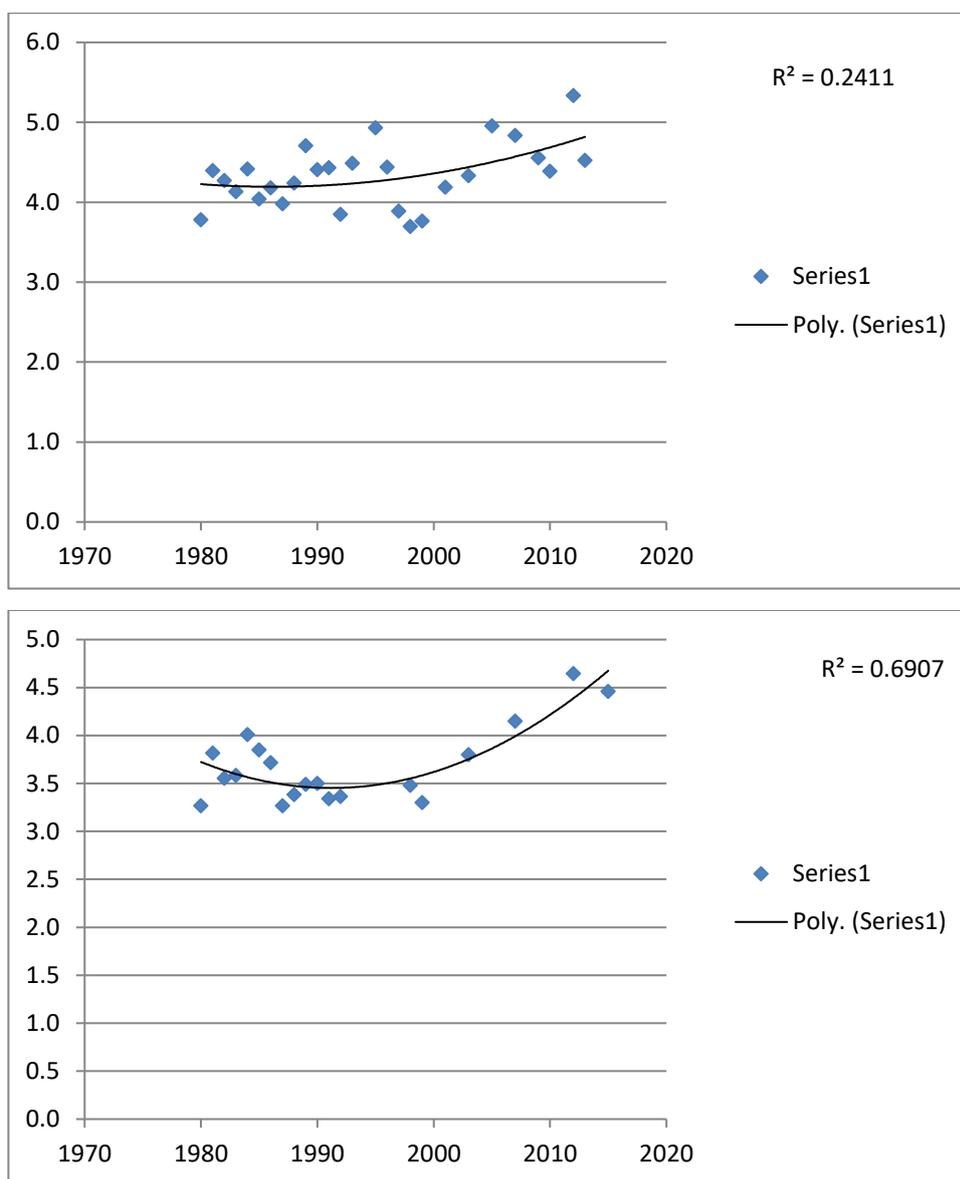


Рис. 24. Группа графиков парциального давления. Сверху вниз: Салехард, Марре-Сале, о-в Белый.

Остро стоит тема об участившихся случаях выпадения переохлаждённого и ледяного дождя в осенне-зимний период. В некоторых источниках данное явление трактуется, как *rain-on-snow* (ROS). По всей территории западной Сибири участились и стали более интенсивными случаи выпадения ледяных дождей. Интервью с оленеводами показали, что участившиеся случаи выпадения жидких осадков в зимний период имеют сильные, как экологические, так и социально-экономические последствия. В ненецком языке существует термин этого явления *салаба*. Так, во время ледяного дождя в ноябре 2013 года, образовалась ледяная корка, которая стала причиной падежа

61 тыс. оленей, из общей численности в 275 тысяч. Это крупнейшая потеря численности в истории региона [25]. Ниже представлен обзор синоптических и метеорологических условий в районе полуострова Ямал на основе глобальной модели GFS в период с 6 по 12 ноября 2013 года.

3.1 Обзор синоптических и метеоусловий на территории ЯНАО за 06-12.11.2013

По состоянию за 06.11.13 00:00 ч. ВСВ, территория ЯНАО находилась под влиянием северо-западной периферии старого сибирского антициклона. Преимущественно облачно, небольшой снег. Ветер слабый, южных румбов 0-3 м/с. (рис. 25)

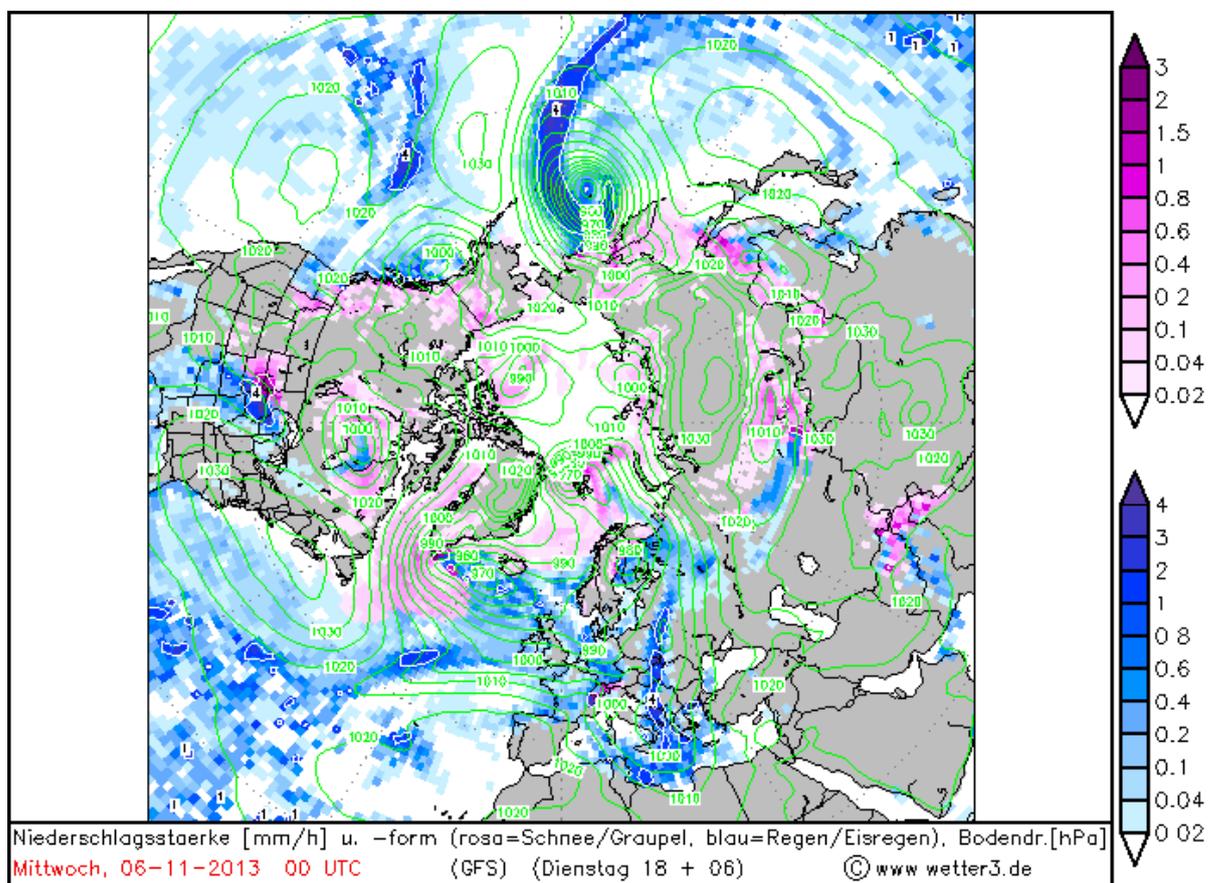


Рис. 25. Синоптическая обстановка за 06.11.13 00:00 UTC.

К 23:00 территория округа оказалась в передней части протяжённой барической ложбины. По мере приближения оси ложбины к антициклону сформировались высокоградиентные поля, благоприятствующие усилению ветра у земли (рис. 26).

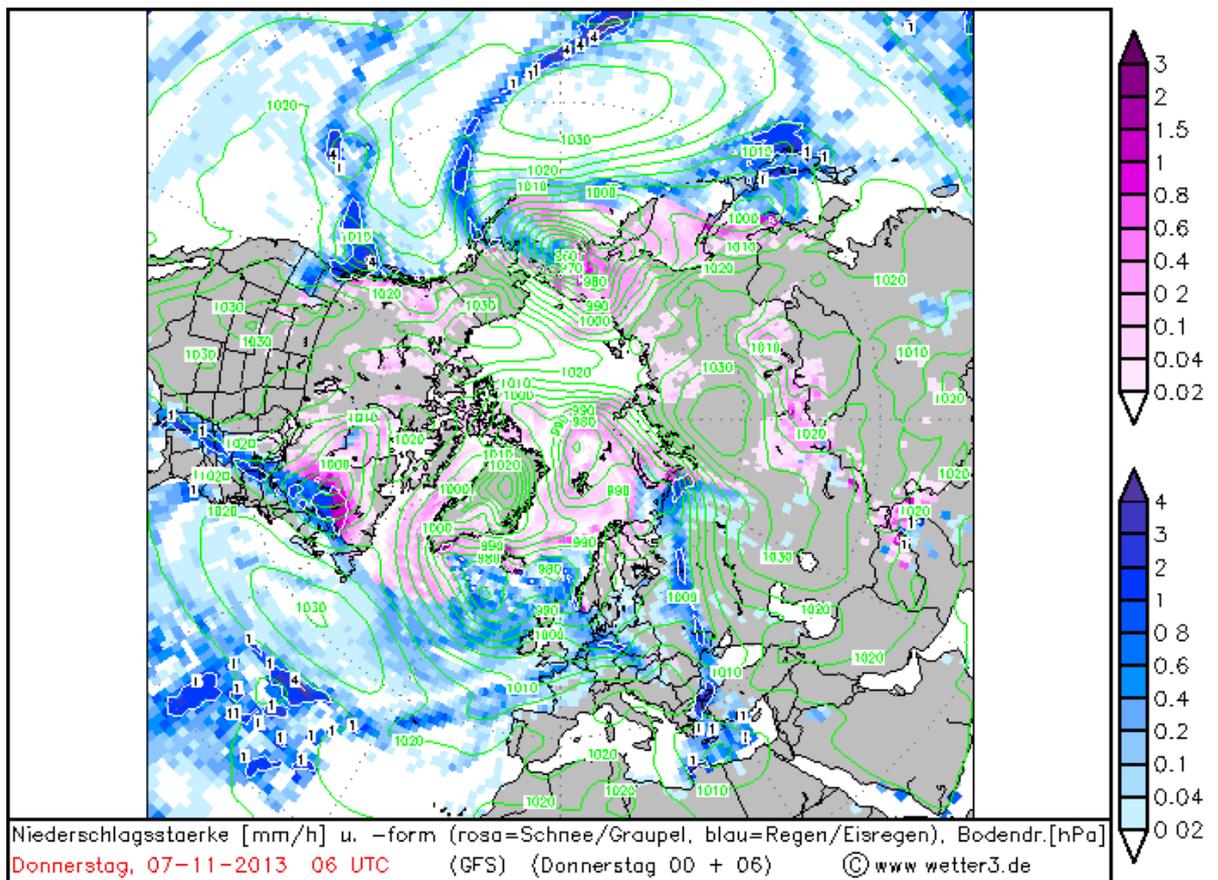


Рис.26. Синоптическая обстановка за 07.11.13. 06:00 UTC.

С 02:00 отмечалась отрицательная барическая тенденция 2гПа/3 часа. Началась мощная адвекция тепла. К 14:00 метеостанция Салехард зафиксировала порывы до 11 м/с. Ночами зафиксирован обратный ход температуры воздуха (рис. 27).



Рис. 27. Динамика температуры на МС Салехард, начиная с 07.11.13 00:00 UTC+5.

К 23:00 территория субъекта находилась на оси барической ложбины атлантического циклона, расположенного над северным полюсом. В то же время, по территории региона проходила ось термического гребня с нулевой изотермой на уровне 850 гПа. Так, на высоте 768 метров, наблюдалась температура + 4,4°C (рис. 28). Что способствовало выпадению жидких осадков при прохождении тёплого фронта.

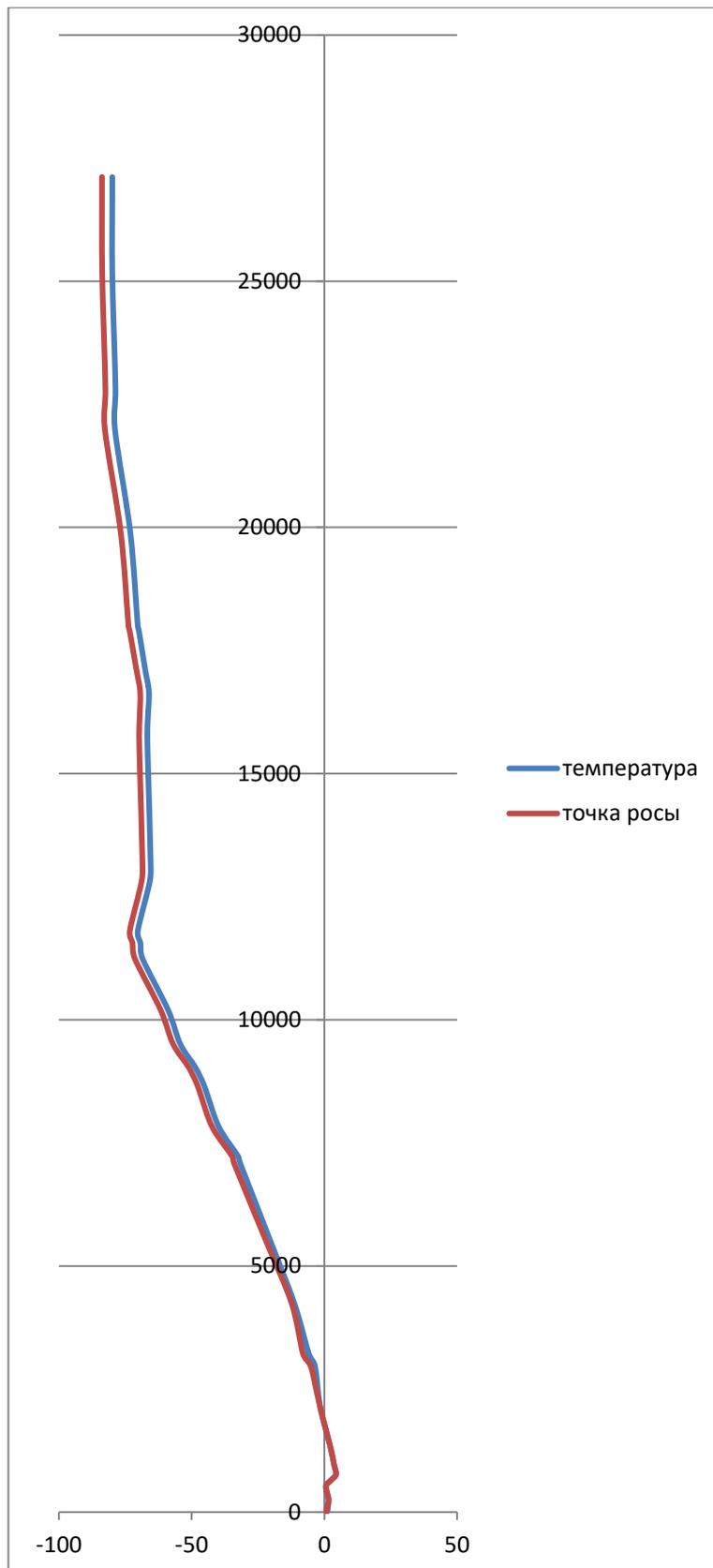


Рис. 28. Вертикальный разрез температуры воздуха по данным радиозондирования.

К 09.11.13 00:00 в акватории Карского моря, на фоне волновых возмущений, образовался новый циклон, который являлся частным образованием в общем поле атлантической депрессии. За 12 часов прошёл расстояние от Новой Земли до Гыданского полуострова, где остановился и заполнился, не получив развития. Однако, в это время, на фронтальной волне, в районе Предуралья образуется новый циклон, с которым связана система интенсивных осадков смешанной фазы (ледяные дожди прошли в р-нах северного и приполярного Урала). Данный циклон смещается, согласно ведущему потоку, на северо-восток и к 05:00 10.11.13 заходит на территорию ЯНАО (рис. 29).

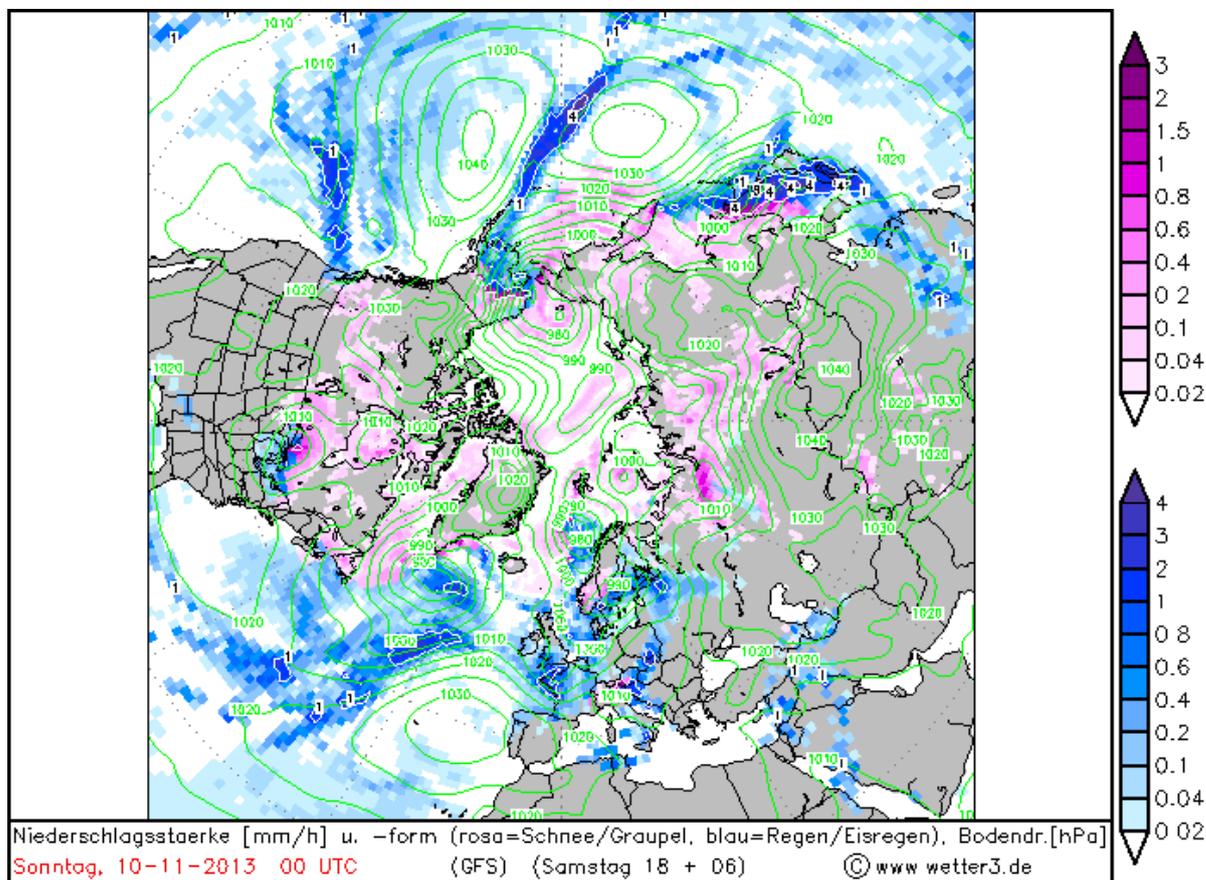


Рис. 29. Синоптическая обстановка 10.11.13 00:00 UTC.

Направление ветра сменяется на северное, наблюдается слабая адвекция тепла, температура воздуха достигает отметки $+0,4^{\circ}\text{C}$ во время дневного прогрева. К 00:00 11.11.13 циклон уходит в р-н плато Путорана. ЯНАО оказывается в тыловой его части и в передней части барического гребня антициклона, расположенного над Казахстаном, ось которого постепенно

смещается на регион. Данные синоптические условия являются благоприятными для радиационного выхолаживания: облачность рассеивается, наблюдаются слабые скорости ветра (1-2 м/с), происходит понижение температуры до -10°C (рис. 30).

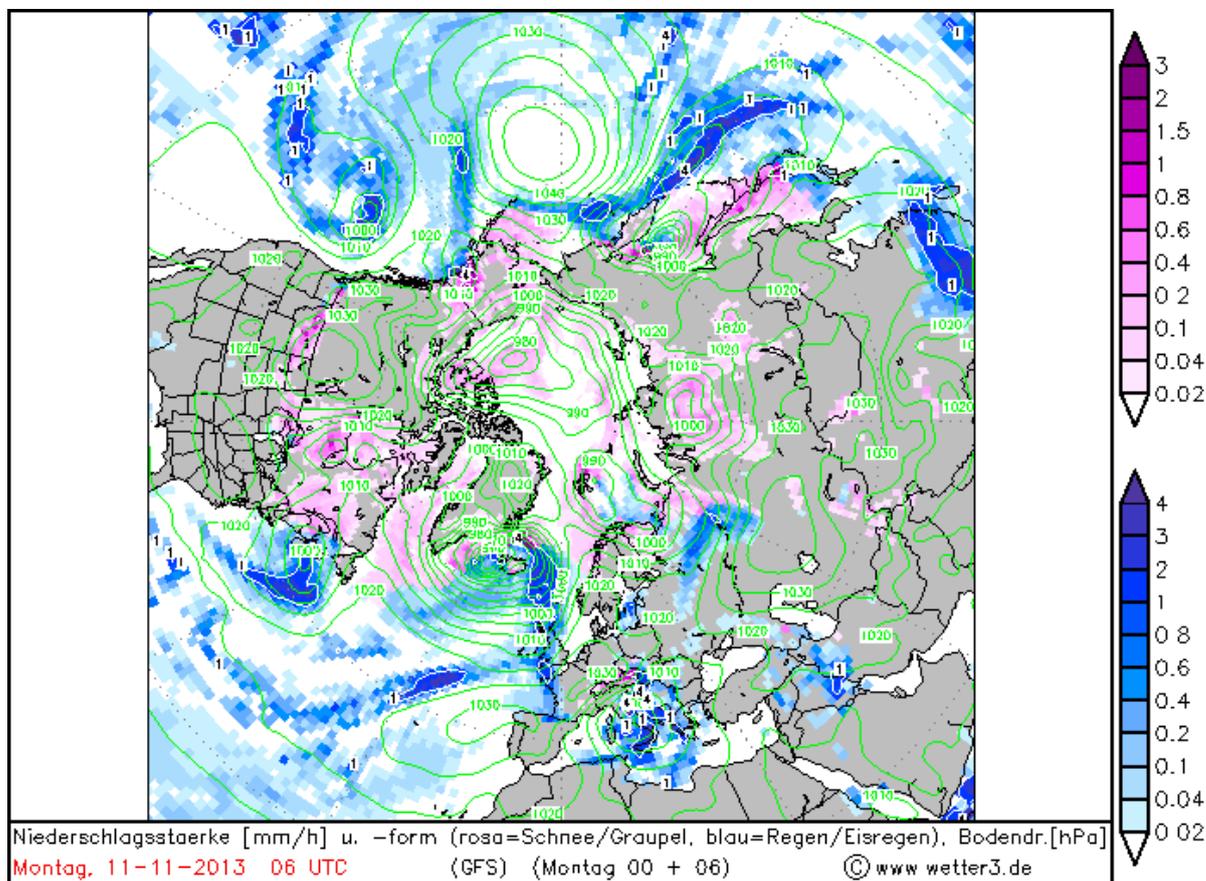


Рис. 30. Синоптическая обстановка 11.11.13 06:00 UTC.

3.2. Обзор синоптических и метеоусловий за 13-16.12.18

Циклон зародился около западных берегов Шпицбергена и на картах за 13.12.18 00:00 ВСВ уже отмечался, как усиливающийся, с давлением в центре 985 гПа. В это время, территория ЯНАО находится под влиянием барической ложбины и связанного с ней тёплого фронта другого циклона, с центром над Таймыром. Наблюдаются обложные осадки в виде снега (рис. 32).

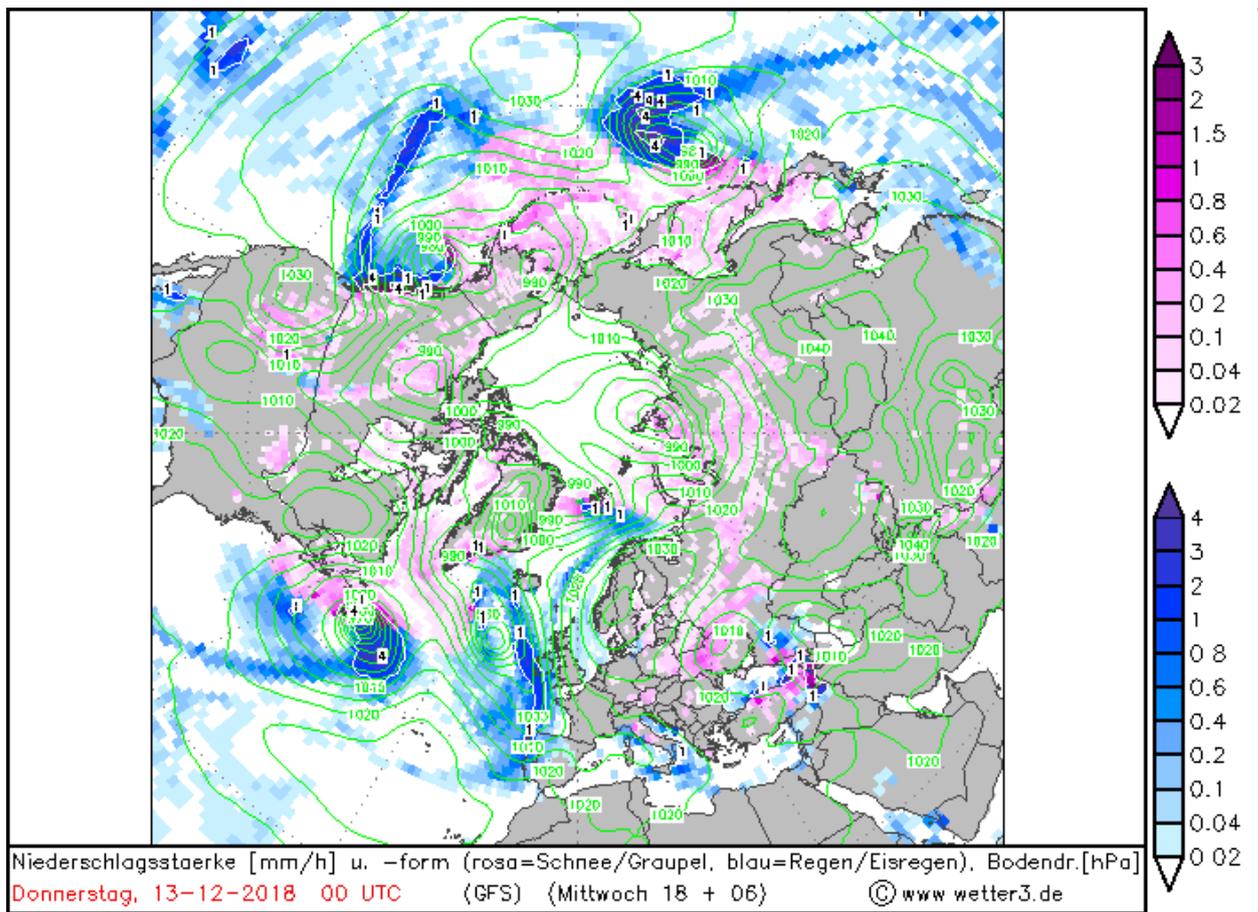


Рис. 31. Синоптическая обстановка 13.12.18 00:00 UTC.

К 12:00 циклон с центром над Таймыром перестаёт оказывать своё влияние на регион. Район Ямала оказывается на оси гребня северо-западного антициклона. В этой время циклон со Шпицбергена доходит до Новой Земли (рис. 32).

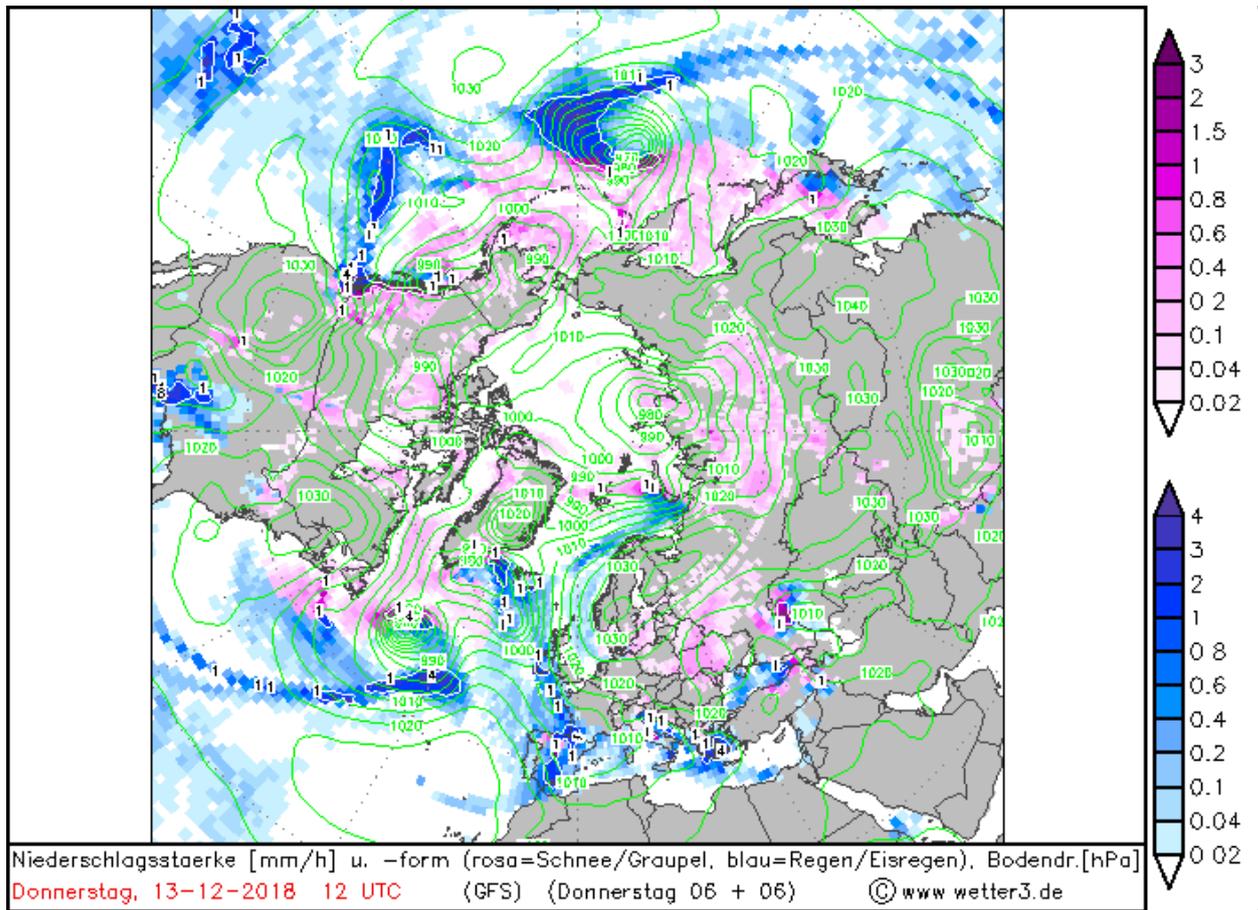


Рис. 32. Синоптическая обстановка 13.12.18 12:00 UTC.

Происходит вытягивание изобар по оси смещения.

К 13:00 проходит процесс сегментации. Первый центр остаётся в районе Шпицбергена, а второй переваливает через острова Новой Земли. Давление в обоих центрах составляет 980 гПа. К 14.12.18 00:00 центр циклона заходит на территорию п-ва Ямал. Ось ложбины, связанная с циклоном проходит по материковой части субъекта. На фоне прохождения тёплого фронта отмечаются осадки до 1 мм/час, смешанной фазы. Нулевая изотерма проходит на высоте 100 метров. Влажность составляет 90% (рис. 34).

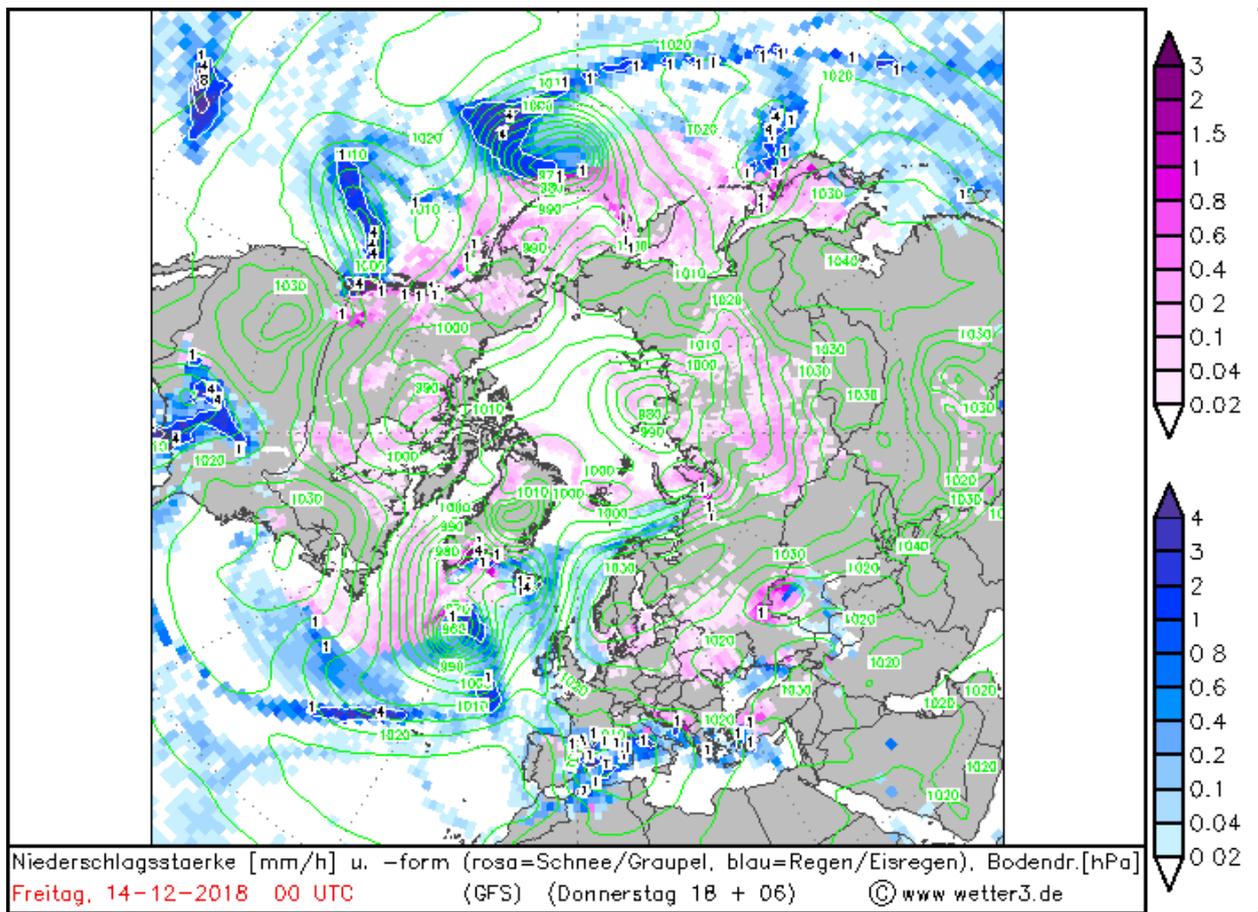


Рис. 33 синоптическая обстановка 14.12.18. 00:00 UTC.

Визуализатор атмосферы и прогностическая модель показывают, что к 06:00 по ВСВ центр циклона проходит в р-не Яр-Сале (рис. 34).

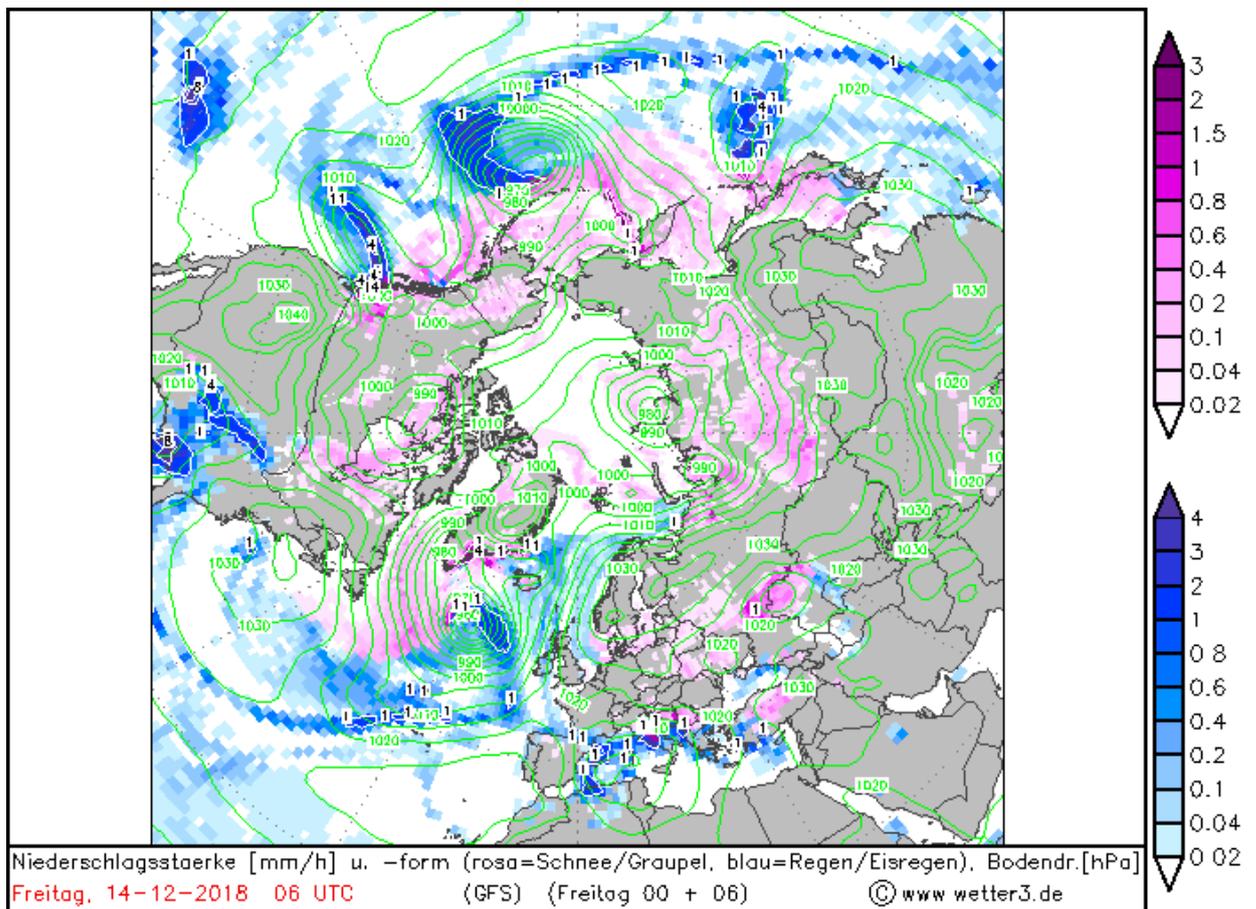


Рис. 34. Синоптическая обстановка 14.12.18 06:00 UTC.

С 18:00 14 числа по 18:00 15 числа регион находится в малоградиентном поле повышенного давления. 00:00 16.12.18 территория ЯНАО оказывается под влиянием тёплого фронта, лежащего в барической ложбине циклона, находящегося в районе Земли Франца-Иосифа. По мере приближения фронта наблюдается адвекция тепла, температура в центральной части полуострова и в р-не Салехарда варьируется в пределах $-2...+2^{\circ}\text{C}$, а высота нулевой изотермы лежит в пределах 100-600 метров, что свидетельствует о наличии приземной инверсии различной мощности (рис. 35). Данные условия являются благоприятными для выпадения переохлаждённого и ледяного дождя.

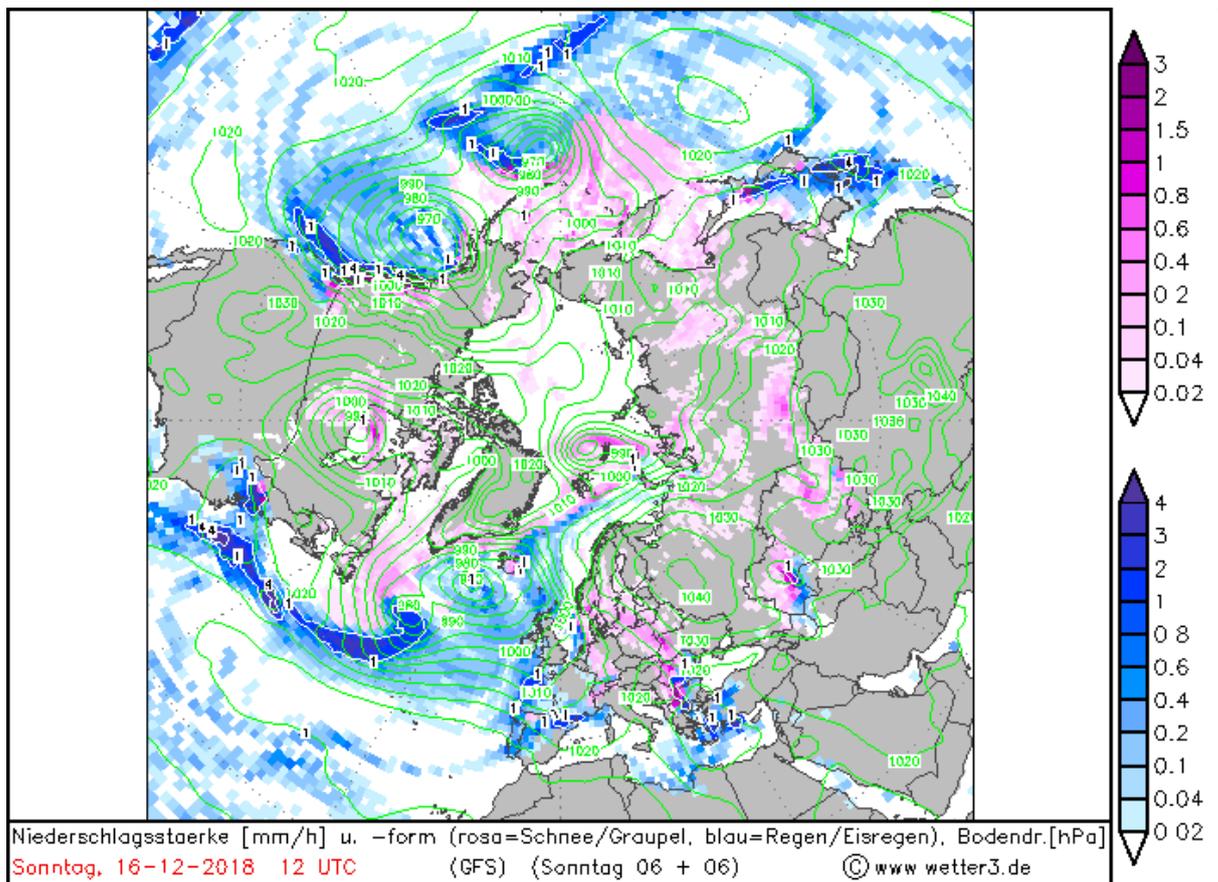


Рис. 35. Синоптическая обстановка 16.12.18. 12:00 UTC.

В целом, на основе полученных данных можно провести типизацию синоптической ситуации и выделить основные факторы, благоприятствующие формированию переохлаждённых и ледяных дождей в регионе и формирование ледяной корки в тундре:

1. Формирование глубокого атлантического циклона в акватории СЛО
2. Наличие мощной адвекции тепла с приземными инверсиями на тёплом фронте и смещение последнего на регион
3. Стоящий неподалёку Сибирский или Скандинавский антициклон, либо наличие гребней вышеуказанных, с последующим смещением оси в районы Ямала.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам поставленных задач было определено, что:

- Построенные тренды указывают на повсеместный рост среднегодовой температуры в регионе. Причем основной вклад в трендовую компоненту вносит осенний сезон. Интенсивность потепления изменяется с севера на юг и составляет от $0,16^{\circ}\text{C}/\text{год}$ на севере до $0,08^{\circ}\text{C}/\text{год}$ на юге. Изменения температуры воздуха над областью морской Арктики, к которой относится Ямало-Ненецкий АО, характеризуются быстрым потеплением с конца 1990-х годов с абсолютным рекордом температуры летом 2012 г. Определено, что причинами очага роста температуры в акватории Карского моря является перестроение системы атмосферной циркуляции.

- Данные спутникового зондирования показали, что в рассматриваемый временной период в акватории Карского моря увеличилось время открытой воды. Даже в зимний период на некоторых участках в районе Новой Земли и полуострова Ямал море долго не замерзало. Площадь ледового покрова за 15 лет уменьшилась с 650 до 340 тыс. км². Продолжительный безлёдный период привел к увеличению влаги в атмосфере и, как следствие, изменению метеорологических условий в регионе.

- Сокращение площади ледяных полей вносит существенный вклад в формирование осадков в районе округа. При уменьшении общей площади ледовитости увеличивается общее влагосодержание атмосферы. Полученные тренды указывают на неравномерность распределения осадков. При общей тенденции к увеличению среднегодовой температуры воздуха – сокращение осадков в районе Сеяхинской тундры пагубно сказывается на динамике всех экосистем. Установленный “коридор” прохождения основных линий осадков, а так же определённая типизация синоптических условий при формировании ROS может быть полезна для коренных жителей во время каслания для планирования маршрутов кочёвий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алексеев Г.В., Иванов Н.Е., Панюшков А.В., Харланенкова Н.Е. Климатические изменения в морской Арктике в начале XXI века. Том «Метеорологические и геофизические исследования». М.: Европейские издания, 2011. С. 3–25.
2. Алексеев Г.В., Кузмина С.И., Уразгильдеева А.В., Бобылев Л.П. Влияние атмосферных переносов тепла и влаги на потепление в Арктике в зимний период. // Фундаментальная и прикладная климатология. 2016. Т. 1. С. 43–63.
3. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет), 2014. URL: <http://www.meteorf.ru>.
4. Государственный научный центр "Арктический и антарктический научно-исследовательский институт». URL: <http://www.aari.ru> / (дата обращения: 11.12.17)
5. Доклад о социально-экономической ситуации муниципального образования Ямальский район за 2014 год. Департамент экономики муниципального образования пос. Яр-Сале, Ямальский район, 2015. URL: <http://www.mo-yamal.ru/portal/ekonomika/eko/280>
6. Метео-архивы. Удаленный доступ к ЯОД-архивам. URL: <http://aisori.meteo.ru/ClimateR>
7. Разуваев В.Н. Анализ климатических данных на территории Ямало-Ненецкого АО за последние годы. Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 2012
8. Симакин М.Д. Формирование и динамика температурного режима приземного слоя атмосферы ЯНАО. // Современные проблемы и перспективы развития гидрометеорологии в России, ИГУ, 2018. С. 200–207.

9. Старцева А.В. Изменчивость ледового покрова Карского моря. СПб: РГГМУ, 2016. 64 с.
10. Форбс Б.К. и др. Влияние сокращения ледовитости Баренцева и Карского морей на традиционное оленеводство полуострова Ямал. // Известия Русского Географического Общества. 2018. Вып. 1. С. 3–19.
11. Формирование и динамика современного климата Арктики. // Под ред. Алексеева Г.В. СПб: Гидрометеиздат, 2004. 265 с.
12. Bartsch A., Kumpula T., Forbes B. C., Stammer F. Detection of snow surface thawing and refreezing using QuikSCAT: implications for reindeer herding // *Ecol. Appl.* 2010. N 20. P. 2346—2358.
13. Bekryaev R.V., I.V. Polyakov and V.A. Alexeev. 2010. Role of Polar Amplification in Long-Term Surface Air Temperature Variations and Modern Arctic Warming. // *Journal of Climate*, vol. 23, p. 3888–3906.
14. Hansen B. B., Aanes R., Herfindel I., Kohler J., Father B. E. Climate, icing, and wild arctic reindeer: past relationships and future prospects // *Ecology*. 2011. N 92. P. 1917—1923.
15. Hansen B. B., Isaksen K., Benestad R. E., Kohler J., Pedersen Å. I., Loe L. E., Coulson S. J., Larsen J. O., Varpe Ø. Warmer and wetter winters: characteristics and implications of an extreme weather event in the High Arctic // *Env. Res. Letters*. 2014. N 9. Doi: 10.1088/1748–9326/9/11/114021
16. Inoue J., Hori M. E., Takaya K. The role of Barents Sea ice in the wintertime cyclone track on emergence of a warm-Arctic cold-Siberian anomaly // *J. Climate*. 2012. N 25. P. 2561—2568. Doi: 10.1175/JCLI-D-11-00449.
17. National Oceanic and Atmosphere Administration (NOAA's Climate Program Office) URL: <http://www.noaa.gov>
18. Osborn T.J. and Jones P.D., 2014: The CRUTEM4 land-surface air temperature dataset: construction, previous versions and dissemination via Google Earth. // *Earth System Science Data* 6, 61-68. doi: 10.5194/essd-6-61-2014
19. Quadfasel D. Warming in the Arctic Nature. 1991. N 350. P 385.

20. Screen J.A., Deser C., Simmonds I. Local and remote controls on observed Arctic warming. // *Geophysical Research Letter*. 2012. Vol. 39. No 10. L10709. doi:10.1029/2012GL051598.
21. Screen J.A., Simmonds I. The central role of diminishing sea ice in recent Arctic temperature amplification. // *Nature*. 2010 v. 464, p. 1334–1337. doi:10.1038/nature09051.
22. Serreze M., Barry, R. Processes and impacts of Arctic Amplification: A research synthesis. // *Global and Planetary Change*. 2011. Vol. 77. No 1–2. P.85–96.
23. Sokolov A.A., Sokolova N.A., Ims R.A., Ludovic Brucker L., Ehrich D. Emergent rainy winter warm spells may promote boreal predator expansion into the Arctic // *Arctic*. 2016. N 69. P. 121—129. Doi: 10.14430/arctic4559
24. Stien A. et al. Congruent responses to weather variability in High Arctic herbivores // *Biol. Lett*. 2012. N 8. P. 1002—1005. Doi: 10.1098/rsbl.2012.0764
25. Tens of thousands of reindeer die of extreme weather in Russia's North // *The Moscow Times*, 13 May 2014. URL: <http://www.themoscowtimes.com/news/article/tens-of-thousands-of-reindeer-die-of-extreme-weather-in-russias-north/500060.html>