

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра метеорологии и климатологии

**Изменения температуры приземного воздуха и атмосферных осадков
и их тенденции для района полуострова Ямал
по данным метеорологических станций им. М.В. Попова, Марресалья и Салехард**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студента 3 курса 321ИП группы
направления 05.03.05 – Прикладная гидрометеорология
географического факультета
Майорова Тимофея Валерьевича

Научный руководитель
доцент, к.г.н. Н.В. Короткова

Зав. кафедрой,
к.г.н., доцент М.Ю. Червяков

Саратов 2020

Введение. Изучение региональных климатических изменений территорий Крайнего Севера Российской Федерации имеет огромное научное и практическое значение. В настоящее время в связи с интенсивным освоением нефтегазовых месторождений на полуостровах Ямал, Тазовский, Гыданский, Ямало-ненецкого автономного округа Тюменской области Российской Федерации, повсеместного развития строительства и всех видов транспорта, значительно возросла потребность в изучении изменений климатических условий этих районов. Задача особенно актуальна в отношении таких параметров, как приземные температуры воздуха и атмосферные осадки, отличающихся значительной изменчивостью во времени и пространстве, и оказывающих существенное, непосредственное влияние на применяемые в строительстве проектные решения, технологии, эксплуатацию зданий и сооружений. Взаимосвязь температурного режима приземного слоя атмосферного воздуха и грунтов оказывает влияние на проектирование фундаментов в зонах сплошного распространения многолетнемёрзлых грунтов (термостабилизация), температурными условиями определяются экономические затраты на теплозащиту зданий и сооружений, их теплотехнические характеристики, установление отопительного периода. Существенное влияние связь температурного режима атмосферы и морских вод оказывает на сроки и период эксплуатации северного морского пути, навигации. Осадки определяют проектные решения в области водоотведения, экстремальность паводков регламентирует требования к типам и инженерной защите водопропускных сооружений.

Задачи: изучить общие физико-географические особенности территории, в том числе особенности климата и циркуляции атмосферы в районе полуострова Ямал; установить современное состояние метеорологической сети, выбрать три опорные метеорологические станции на полуострове, расположенные на разных широтах; выполнить сбор исходной гидрометеорологической информации в виде суточной рядов по температуре приземного воздуха и атмосферным осадкам; рассчитать средние месячные и среднегодовые температуры воздуха по годам, за последние 30 лет и за весь анализируемый период наблюдений, историческую и оперативную климатическую норму; установить абсолютные

минимальные и максимальные, средние минимальные и средние максимальные температуры воздуха по месяцам и годам, а также за весь период наблюдений; установить многолетние тренды среднегодовой температуры и средних месячных температур за анализируемый период; установить многолетнюю изменчивость (отклонения от нормы) температуры приземного воздуха на выбранных метеорологических станциях; рассчитать средние месячные и среднегодовые суммы атмосферных осадков по годам, за последние 30 лет и за весь анализируемый период наблюдений, историческую климатическую норму; установить месячные и годовые максимумы и минимумы слоя атмосферных осадков, суточные максимумы по месяцам и за год, а также за весь анализируемый период; установить суммы атмосферных осадков тёплого и холодного периодов года по годам и за весь анализируемый период; установить многолетние тренды годовых и месячных сумм атмосферных осадков за анализируемый период; установить многолетнюю изменчивость (отклонения от нормы) атмосферных осадков по месяцам на выбранных метеорологических станциях; установить широтные рассчитанных характеристик.

Цель работы: систематизация данных многолетних наблюдений с установлением современных климатических особенностей территории и анализом тенденции многолетних изменений приземных температур воздуха и атмосферных осадков, в том числе с учётом широтного простираания полуострова Ямал на примере трёх метеорологических станций, расположенных в районе наиболее интенсивного современного освоения нефтегазовых месторождений за общий период наблюдений.

Основное содержание работы. Полуостров Ямал располагается в арктической части Западно-Сибирской равнины между 66 и 73° с. ш., 66 и 74° в. д., длина полуострова около 700 км, ширина около 240 км. Административно полуостров входит в состав Ямальского района Ямало-Ненецкого автономного округа Тюменской области [1, 2].

Циркуляция атмосферы над Ямало-Ненецким автономным округом формируется преимущественно под влиянием арктического воздуха и воздуха умеренных широт. В холодное время года значительную роль в циркуляционных и погодных условиях играет обширная ложбина от исландской депрессии,

которая охватывает Баренцево и Карское моря, а также северную часть Западной Сибири. В конце осени - начале зимы над центральными районами Азии формируется обширная область высокого давления. Один отрог ее распространяется на юг Западной Сибири, Казахстан, другой занимает Якутию и Красноярский край. Взаимодействие депрессии над северными арктическими морями с азиатским антициклоном обуславливает преобладание западного, юго-западного переноса в средней тропосфере [4]. В конце зимнего периода азиатский антициклон ослабевает, циклоническая деятельность над Баренцевым и Карским морями становится менее интенсивной из-за снижения активности исландской депрессии. С увеличением межширотных термических градиентов усиливается меридиональный перенос воздушных масс. В летнее время Западная Сибирь находится под влиянием северо-западной периферии обширной области низкого давления, над арктическими морями формируется антициклоническое поле. Над Ямало-Ненецким автономным округом господствует преимущественно арктический воздух, с запада и юго-запада с циклонами поступают теплые массы воздуха умеренных широт. В осенне-зимний период смещение циклонов происходит главным образом от исландской депрессии вдоль северного побережья Евразии, по северным морям. Когда ослабевает западный отрог азиатского антициклона, происходит подъём южных циклонов к северу, где они сливаются с областью депрессий арктического фронта, активизируют фронтальную деятельность.

Климатические условия полуостровов Ямал обусловлены неравномерным поступлением в течение года солнечной радиации, атмосферной циркуляцией и близостью холодного моря. Для климата Ямала характерны суровая продолжительная зима с длительным залеганием снежного покрова, короткие переходные сезоны - весна и осень, короткое холодное лето, поздние весенние и ранние осенние заморозки полное отсутствие в отдельные годы безморозного периода.

На гидрометеорологических станциях Росгидромета на полуострове Ямал все наблюдения проводятся в соответствии с «Наставлениями гидрометеорологическим станциям и постам». Метеорологические наблюдения на постах.» температура воздуха в стандартные сроки наблюдений измеряется

психрометрическим термометром или платиновыми электрическими термометрами сопротивления. Температуры измеряются в диапазоне от минус 60 (70) °С до 60 (70) °С с точностью до $\pm 0.1^\circ\text{C}$. Для проведения измерений количества осадков применяются дождемеры – осадкомеры (например, осадкомер Третьякова О-1).

Метеорологическая сеть Ямало-Ненецкого автономного округа насчитывает 16 метеорологических станций и постов. На территории непосредственно полуострова Ямал располагается 8 действующих метеорологических станций.

Было выбрано три метеорологические станции, относящихся к категории реперных: Имени М.В. Попова (индекс ВМО – 20667, координаты 73.33° с.ш. 70.05° в.д.), Марресаля (23032, 69.72° с.ш. 66.80° в.д.), Салехард (23330, 66.56° с.ш. 66.68° в.д.). На рисунке 1 приведены климатограммы для метеорологических станций.

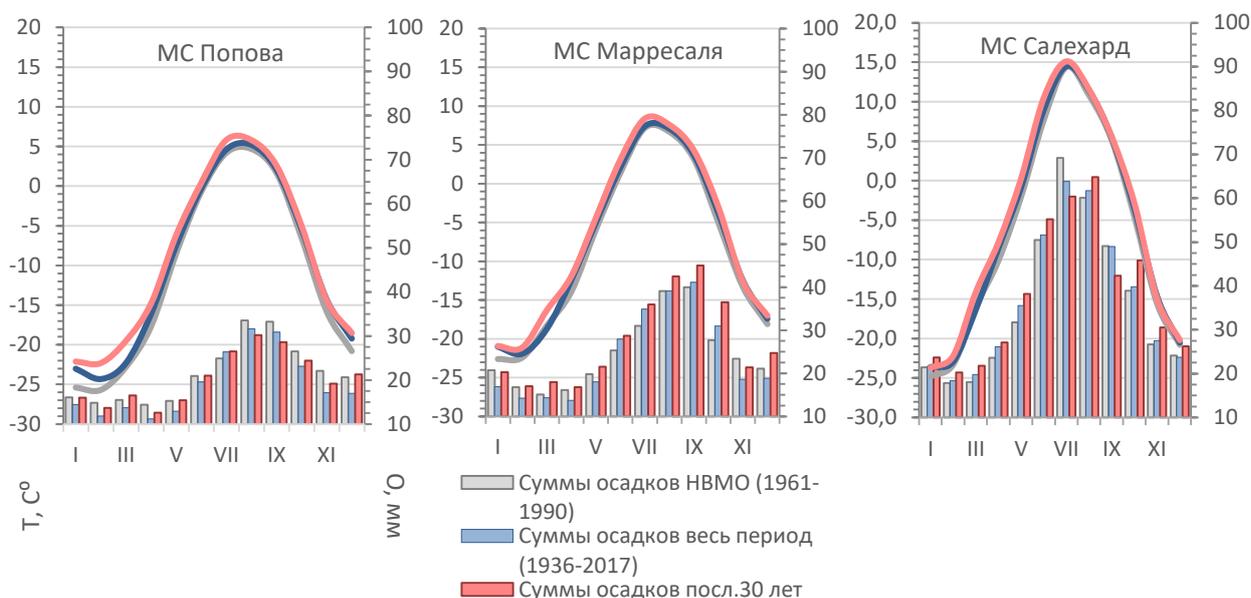


Рисунок 1 – Климатограммы для МС Попова, Марресаля и Салехард (составлено автором)

Совместный ряд наблюдений с 1936 по 2017 гг. В качестве исходного материала использован многолетний ряд суточных данных по температурам

воздуха и осадкам ФБГУ «ВНИИГМИ-МЦД» за общий период наблюдений с 1936 по 2017 гг - всего 81 год [20].

Суточные данные по температуре приземного воздуха были обработаны с применением программы Microsoft Excel, автором получены значения среднемесячных температур воздуха за каждый год (1936 - 2017), среднегодовые температуры воздуха, установлены абсолютные минимальные и максимальные температуры за каждый месяц для каждого года из рассматриваемого периода наблюдений, рассчитаны средние максимальные и средние минимальные температуры, а также средние из абсолютных максимальных и минимальных температур (годовые значения). Установлена историческая климатическая норма для метеорологических станций 1961 – 1990 гг., оперативная климатическая норма 1981 – 2000 гг. (таблица 1).

Таблица 1 – Средние месячные и средние годовые температуры, климатические нормы и экстремумы температуры воздуха различных периодов для метеорологических станций (составлено автором)

Показатель	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
МС Попова													
Норма за период 1961-1990	-25.4	-25.7	-22.8	-17.7	-8.5	-0.7	4.2	4.7	1.7	-6.5	-15.8	-20.8	-11.1
Ср.температура за период 1936-2017	-23.0	-24.3	-22.3	-16.1	-7.5	-0.3	4.6	5.2	2.1	-5.5	-14.3	-19.2	-10.1
Абс. Min 1934-2017	-47.5	-48.0	-46.4	-40.8	-34.7	-13.8	-4.7	-4.1	-14.6	-29.3	-41.7	-45.8	-48.0
	1965	1936	1963	1984	1964	1966	1966	1947	1958	1966	1964	1978	1936
Абс. Max 1934-2017	1	1.4	2.1	6.5	3.8	19.1	26.2	23	16	8.5	2.2	1.1	26.2
	1934	1984	1993	2016	1954	1938	2016	2003	2016	1947	1944	1943	2016
МС Марресаля													
Норма за период 1961-1990	-22.6	-22.4	-18.3	-13.9	-5.9	1.4	7.2	6.7	3.2	-5.0	-13.3	-18.1	-8.4
Ср.температура за период 1936-2017	-21.0	-21.8	-18.5	-12.4	-5.1	2.1	7.4	7.1	3.7	-3.8	-12.5	-17.3	-7.7
Абс. Min 1914-2017	-45.7	-50.2	-46.5	-39.1	-29.6	-10.7	-5.2	-3.7	-9.5	-30.8	-39.8	-47.0	-50.2
	1929	1929	2007	1963	1987	1968	1926	1917	1996	1992	1964	1978	2010
Абс. Max 1914-2017	1.1	1.1	4.3	5.4	15	24	29.5	25.7	18.9	10.7	4.5	1.1	29.5
	1972	1984	2008	1995	2011	1941	1990	1942	1931	1947	2007	1953	1990

Продолжение таблицы 1

МС Салехард													
Норма за период 1961-1990	-24.8	-23.3	-16.0	-10.1	-2.0	7.7	14.4	10.8	5.1	-4.6	-15.6	-20.8	-6.6
Ср. температура за период 1936-2017	-23.6	-22.9	-16.3	-8.5	-0.8	9.0	14.4	11.4	5.4	-3.6	-14.8	-20.5	-5.9
Абс. Min 1893-2017	-51.3	-54.0	-49.0	-38.7	-26.1	-12	-2.0	-5.5	-12.0	-35.7	-42.0	-52.0	-54.0
	1973	1895	1902	1963	1970	1925	1937	1970	1903	1976	1972	1893	1895
Абс. Max 1893-2017	3.5	3.3	7.3	15.5	24.5	31.6	32.9	29.9	24.8	18.2	5.2	4.1	32.9
	2008	2015	2016	1995	1991	2012	1990	1946	2009	1974	1967	2006	1990

Для оценки изменений температуры построены совмещённые графики колебания среднегодовых температур воздуха за весь совместный период наблюдений с 1936 по 2017 год и линейные тренды (Рисунок 2), а также отдельно графики за период наблюдений с 1961, установленного в качестве начальной границы исторической климатической нормы, по 2017 год.

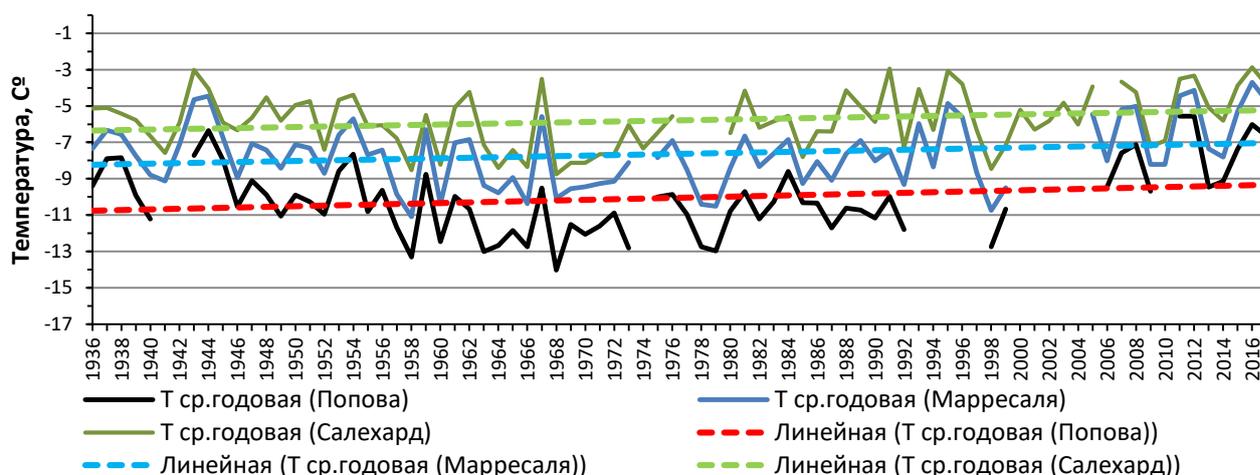


Рисунок 2 - Среднегодовые значения температуры за период с 1936 по 2017 годы и линейные тренды их изменения (составлено автором)

Среднегодовая температура за многолетний период при сравнении с климатической нормой установилась выше на 1.0, 0.7 и 0.7°C соответственно. Линии линейного тренда указывают на общую тенденцию повышения температуры воздуха. Для МС Попова температура повысилась на 1.25°C с 1936 года и на 4.7°C при оценке от начальной границы исторической нормы ВМО –

1961 года. Для МС Марресаля – 1.25°C и на 3.3°C. Для МС Салехард 1.2°C и 2.7°C соответственно. Оценки линейного тренда за более длительный период – 81 год более сглажены, за 56 лет рост температур увеличивается от 2 до 4 раз к северу. Изменение тренда имеет характерный рост с юга на север, т.е. для северных территорий Ямала рост температур воздуха с 1961 года составил в два раза больше, чем для южных с постепенным увеличением изменений с юга на север. Аналогично рассмотрены изменения среднемесячных значений температуры за каждый месяц, с установлением тенденций изменения по тренду с 1936 по 2017 год.

Суточные данные по атмосферным осадкам были обработаны с применением программы Microsoft Excel, автором получены значения месячных сумм атмосферных осадков за каждый год (1936 - 2017), среднегодовые суммы осадков, установлены месячные минимальные и максимальные суммы осадков за каждый месяц для каждого года из рассматриваемого периода наблюдений, суммы осадков за тёплый и холодный период года, а также одна из важнейших характеристик в строительном проектировании – суточные максимумы осадков. Полученные результаты расчётов основных климатических характеристики осадков по рассматриваемым метеорологическим станциям, приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Основные характеристики атмосферных осадков по данным метеорологической станции (составлено автором)

Показатель	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
МС Попова													
Норма за период 1961-1990	16.1	14.8	15.5	14.4	15.3	20.9	24.9	33.5	33.2	26.5	22.1	20.6	256.3
Суммы за период 1936-2017	14.4	11.8	13.7	11.2	12.9	19.6	26.4	31.6	30.9	23.1	17.1	17.0	232.0
Сут. max 1934-2017	21.1	17.1	28.6	25.2	16.1	29.3	26.2	31.4	23.2	12.4	46.1 (1971)	23.5	46.1
МС Марресаля													
Норма за период 1961-1990	20.7	16.8	15.1	16.1	19.8	25.3	31.0	39.1	40.0	27.7	23.4	21.1	298.3

Продолжение таблицы 2

Суммы за период 1936-2017	16.9	14.2	14.3	13.7	18.0	27.9	34.9	39.1	41.1	31.0	18.6	18.8	288.5
Сут. max 1914-2017	13.0	17.2	28.0	10.2	19.8	38.0	40.4	45.2 (1998)	28.2	11.2	17.3	16.2	45.2
МС Салехард													
Норма за период 1961-1990	21.4	17.9	18.1	23.6	31.7	50.5	69.2	60.1	49.1	38.9	26.7	24.1	431.3
Суммы за период 1936-2017	21.7	18.4	19.8	26.1	35.5	51.6	63.8	61.7	49.0	39.8	27.5	23.7	438.6
Сут. max 1882-2017	11.0	22.3	12.1	21.9	36.1	46.9	72.7 (1967)	52.5	44.1	34.0	19.3	18.0	72.7

Для оценки многолетней тенденции изменений годового количества осадков были построены совмещённые графики колебаний годовых сумм за период наблюдений с 1936 по 2017 год (Рисунок 3) и за период от начала климатической нормы ВМО 1961 – 1990 гг. с 1961 по 2017 год.

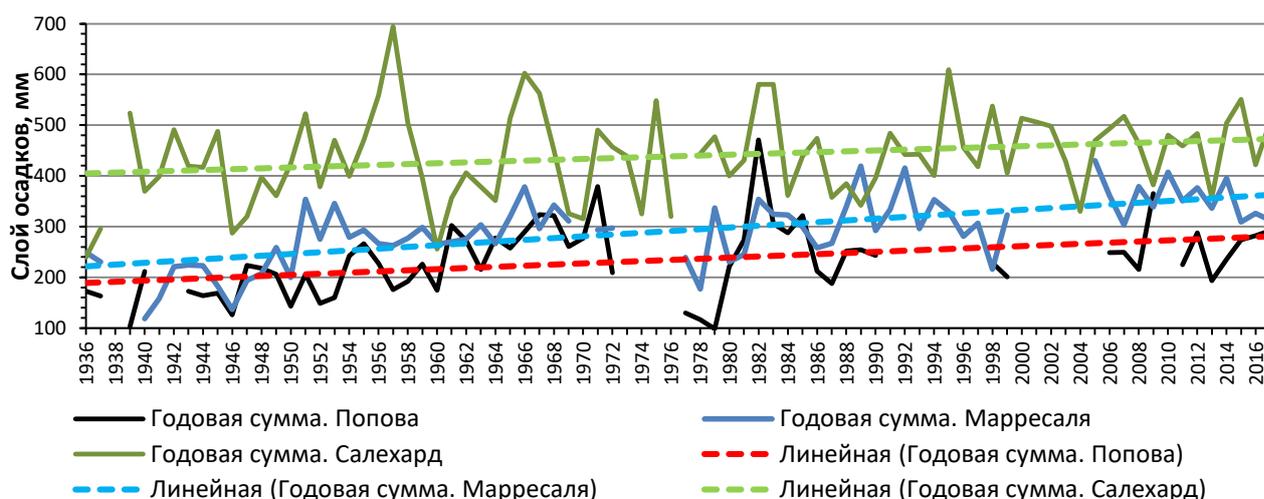


Рисунок 3 - Среднегодовые суммы осадков за период с 1936 по 2017 годы и линейные тренды их изменения (составлено автором)

В среднем за год на анализируемых метеорологических станциях выпадает от 232, 288.5 до 438.6 мм осадков. Годовое количество осадков возрастает с севера на юг от МС Попова к МС Салехард.

Выполняя отдельный анализ тенденций изменения среднегодовых сумм осадков за весь анализируемый период наблюдений с 1936 по 2017 год на всех

метеорологических станциях наблюдается стабильный рост атмосферных осадков. Для МС Попова изменение тренда годовой суммы осадков составило 100 мм с 1936 года, однако, при оценке от начальной границы исторической нормы ВМО – 1961 года наблюдается ровный тренд, что может свидетельствовать о стабилизации в динамике климатической характеристики.

Для МС Марресалья – 140 мм с 1936 г. и на 75 мм с 1961 г. Для МС Салехард 60 мм и 40 мм соответственно. Оценки линейного тренда за более длительный период – 81 год более сглажены, за 56 лет рост годового количества осадков увеличивается до 2.5 раз к северу.

Для оценки экстремальных суточных значений осадков по отношению к исторической норме 1961 – 1990 гг. были построены гистограммы соответствующих характеристик. Наибольшие превышения наблюдаются в переходные сезоны года, снижаясь от весны к концу года, за исключением начала осенне-зимнего периода на МС Попова. Явного тренда роста или снижения суточных максимумов не выявляется ни на одной из метеорологических станций, незначительное снижение на МС Салехард.

Заключение. По результатам обработки данных установлено, что среднемноголетнее годовое значение температуры воздуха превышает историческую климатическую норму 1961 – 1990 гг. на 0.7-1.0°C. По широте годовые температуры уменьшаются с -5.9°C на юге до -10.1°C на севере. Линейный климатический тренд среднегодовой температуры (1936 – 2017 г.) направлен на повышение на 1.1°C (на МС Салехард) - 1.5°C (МС Попова). Тенденция изменения среднемноголетних температур на полуострове нарастает с широтой к северу и в несколько раз превосходит рост температур в глобальном масштабе. В годовом ходе температур самым холодный месяц - январь на юге и февраль на севере. Для МС Марресалья холодный месяц по сравнению с периодом исторической климатической нормы изменился с января на февраль (увеличение длительности тёплого периода года за счёт изменчивого осеннего периода и сокращение суровых зимних месяцев). Январь для МС Салехард теплее исторической климатической нормы на 1.2°C, а февраль для МС Марресалья и Попова на 0.6 и 1.4°C. Наиболее тёплые месяцы в году - июль на юге (МС Салехард и МС Марресалья) и август на севере (МС Попова). Июль для МС

Салехард и Марресалья теплее исторической климатической нормы на 0.03 и 0.2°C, август для МС Попова на 0.5°C. Экстремумы среднегодовых температур для МС Попова, МС Марресалья и МС Салехард: минимумы в 1968 (-14.0), 1958 (-11.1), 1968 (-8.8), максимумы в 2011 (-5.6), 2016 (-3.7), 2016 (-2.9). Абсолютные максимумы отмечены для станций МС Попова, МС Марресалья и МС Салехард в июле 2016 г. 26.2°C, июле 1990 г. 29.5°C и июле 1990 г. 32.9°C. Абсолютные минимумы - для станций МС Попова, МС Марресалья и МС Салехард в феврале 1936 г. -48.0°C, феврале 1929 г. -50.2°C и феврале 1895 г. -54.0°C. Амплитуда температуры между абсолютным максимумом и минимумом нарастает к югу с удалением от моря. При помесечном анализе установлено повышение температур в сравнении с климатической нормой почти во все месяцы года, кроме марта на МС Марресалья и МС Салехард (похолодание на 0.2°C и 0.3°C соответственно). Наибольшие отклонения среднемесячных температур от климатической нормы в сторону потепления: для МС Попова в зимние месяцы (холодный период года) - январь 2.4°C, для МС Марресалья – январь 1.6°C, а для МС Салехард – в январе 1.2°C и месяцы тёплого периода года – апрель 1.6°C. По широте наибольшие отклонения от нормы - на северной МС Попова (2.4°C в январе). При анализе линейных трендов среднемесячных температур в половине месяцев года отмечена тенденция к потеплению. Самый значительный положительный тренд - во второй половине холодного периода года, с максимальными значениями для марта (весенние месяцы на Крайнем Севере относятся к зимнему сезону) на МС Попова - около 5.0°C, МС Марресалья 5.5°C, МС Салехард 5.5°C. В ряде месяцев выявлен небольшой тренд на похолодание в пределах 1-2°C (в январе и ноябре). В октябре и декабре на МС Попова, в апреле и декабре на МС Марресалья и в феврале, апреле, сентябре, декабре на МС Салехард тренд ровный.

Осадки выпадают в течение года и по территории неравномерно, в зависимости от широты, а также влияния местных условий. Большая часть осадков выпадает в тёплый период года (67.1% – 74.7% от севера к югу). Среднемноголетний (1936-2017 гг.) годовой слой осадков на полуострове нарастает к югу и составляет 232 - 438.6 мм. Линейный климатический тренд

среднегодовой температуры по результатам оценки периода 1936 – 2017 гг. направлен на повышение: 95 мм на МС Попова, 145 мм на МС Марресалья и на 75 мм на МС Салехард. В случае оценки более короткого ряда от начала климатической нормы (1961 г.) до 2017 г. тренд на рост осадков в 2 раза меньше – 40 и 70 мм для МС Салехард, Марресалья, а для МС Попова тренд ровный. Экстремумы годового количества осадков для станций МС Попова, МС Марресалья и МС Салехард: минимумы в 1979 (97.9 мм), 1940 (118.3 мм), 1936 (239.9 мм), максимумы в 1982 (470.6 мм), 2005 (430.1 мм), 1957 (694.6 мм). Суточные максимумы осадков отмечены для станций МС Попова, МС Марресалья и МС Салехард в ноябре 1971 (46.1 мм – 209% от месячной нормы), августе 1998 г. (45.2 мм – 116% от нормы) и июле 1967 г. (72.7 мм – 105% от нормы). Суточные максимумы выше в летние месяцы, чем в зимние. При помесечном анализе установлено понижение средней месячной суммы осадков в сравнении с месячными нормами периода климатической нормы почти во все месяцы года, кроме июля на МС Попова (1.5 мм), периода июнь-октябрь на МС Марресалья (до 3.9 мм) и июля, сентября и декабря для МС Салехард (до 5.4 мм) - наблюдается перераспределение количества осадков между холодным и тёплым периодами года. Наибольшие отклонения средней месячной суммы осадков от нормы 1961-1990 гг. в сторону снижения отмечены в переходные сезоны года для МС Попова осенью в ноябре (5 мм), для МС Марресалья – ноябрь (4.8 мм), для МС Салехард – май (3.8 мм). По широте наибольшие отклонения от нормы выявлены на северной МС Попова (5 мм в ноябре). При анализе линейных климатических трендов месячных сумм осадков установлено, что за период 1936 - 2017 гг. почти во всех месяцах наблюдается положительный тренд, указывающий на рост количества осадков. При этом в июле, августе и сентябре на МС Попова, июне на МС Марресалья, апреле и июле на МС Салехард тренды ровные. В сентябре на МС Салехард (на 45 мм) и июле на МС Марресалья (на 10 мм), наблюдается отрицательный тренд. В центральной части полуострова, с декабря по апрель (в холодный период), многолетний тренд месячных сумм осадков МС Марресалья более чем в 2 раза превышает аналогичные на МС Попова и МС Салехард. Наибольший положительный тренд отмечен на МС Салехард в июне (150 мм).