



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 «Влияние изменения климата на температуру Арктики Западного
полушария (восточный сектор)»

Исполнитель Рямонен Татьяна Евгеньевна

Руководитель доктор технических наук, профессор кафедры МКОА
Лобанов Владимир Алексеевич

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой


Подпись

Кандидат физико-математических наук, доцент
Сероухова Ольга Станиславовна

« 02 » июня 2021г.

Санкт-Петербург
2021

Оглавление

Глава 1. Физико-географическое описание района исследования.....	4
1.1. Географические особенности территории	4
1.2. Климат района исследований	5
1.3. Пункты наблюдений и информация	6
1.4. Методика исследований.....	8
Глава 2. Оценка качества данных и пространственные закономерности в стационарных условиях.....	10
2.1. Оценка однородности и стационарности эмпирических распределений	10
2.2. Восстановление пропусков и приведение непродолжительных рядов к многолетнему периоду	16
2.3. Пространственные климатические закономерности температур воздуха	19
Глава 3. Оценка проявлений современных климатических изменений в холодное полугодие (зима – весна).....	22
3.1. Теоретические положения	22
3.3. Оценка устойчивости во времени показателей нестационарности.....	29
3.4. Пространственные обобщения показателей нестационарности.....	30
3.5. Количественная оценка современного потепления Арктики	35
Глава 4. Оценка проявлений современных климатических изменений.....	43
в теплое полугодие (лето – осень).....	43
4.1 Результаты моделирования временных рядов в пунктах наблюдений..	43
4.2. Оценка устойчивости во времени показателей нестационарности.....	46
4.3. Пространственные обобщения показателей нестационарности.....	47
4.4. Количественная оценка современного потепления Арктики	52
Заключение	60
Список литературы	62

Введение

В Арктике потепление происходит примерно в два раза быстрее, чем в среднем по миру. Каждый год Арктика теряет площадь ледяного покрытия. За последние годы объемы её ледников сократились на 13%. Степень потепления, наблюдаемая в Арктике с 1980 года, в два раза выше, чем в остальном мире. Температура в большинстве районов Арктики значительно повысилась за последние несколько десятилетий, особенно зимой. Зимнее повышение температуры на Аляске и в западной Канаде за последние полвека составило около 3-4°C. Это происходит в основном потому, что таяние снега и льда обнажает более темную поверхность и увеличивает количество солнечной энергии, поглощаемой в этих областях (эффект альбедо). Это значительное региональное потепление приводит к продолжающейся потере морского льда, таянию ледников и ледяной шапки Гренландии.

Данная бакалаврская работа посвящена актуальной теме – оценке современных климатических изменениях на территории Арктики Западного полушария (восточный сектор).

Целью настоящей работы является выявление проявлений изменений климата в рядах температур воздуха на 17 метеостанциях Арктики Западного полушария (восточный сектор) как на территории Канады, так и Гренландии и пространственные обобщения полученных изменений. Также, в работе предполагается оценить современное потепление Арктики 1960-2020 годов.

Глава 1. Физико-географическое описание района исследования

1.1. Географические особенности территории

Арктика – единый физико-географический район Земли, примыкающий к Северному полюсу и включающий окраины материков Евразии и Северной Америки, почти весь Северный Ледовитый океан с островами, а также прилегающие части Атлантического и Тихого океанов. Границу Арктики проводят как по Северному полярному кругу ($66^{\circ} 33'$ с. ш.), так и по южной границе зоны тундры. В зависимости от того, какими критериями пользоваться, меняется даже площадь Арктики. Если ограничивать Арктику Северным полярным кругом, то ее площадь составит 21 млн км².

В Арктике холодный климат. Это происходит главным образом потому, что ось Земли наклонена относительно солнца и меньше солнечной энергии достигает полярных областей. Кроме того, Арктика большую часть года покрыта снегом и льдом. Снег и лед обладают высокой отражательной способностью, альбедо, что помогает сохранять арктическую прохладу.

Арктический климат классифицируется как полярный, характеризующийся долгой и холодной зимой и коротким и прохладным летом. Полярный климат можно разделить на климатические особенности тундры (где средняя температура самого теплого месяца составляет 0°C - 10°C), а также климатические условия в районах с ледниками (температура в течение всего года составляет в среднем 0°C , и почти всегда идет дождь в виде снега, очень редко, годовое количество осадков на всей территории составляет менее 51 см. Постоянный ветер сметает уже выпавший снег, создавая иллюзию непрерывного снегопада. На климат повлияло побережье, и близлежащие температуры Атлантического и Тихого океанов, как правило, выше, а снегопады, также как правило, выше, в отличие от холодных и сухих внутренних районов. Большая часть Северного Ледовитого океана покрыта

льдом в течение всего года, хотя размер и толщина летнего ледяного покрова значительно уменьшаются по сравнению с показателями начала 1980-х годов.

К северу от Полярного круга наблюдаются значительные сезонные колебания продолжительности дня и ночи. Разница в том, что 24 часа подряд могут длиться день (так называемое "Полуночное солнце"), а также ночь (Полярный круг), или день может длиться шесть месяцев подряд, а также ночь в самой Арктике. Однако из-за низкого угла наклона солнца над горизонтом большую часть дня в регионе очень мало солнечного света. Известное событие в арктическом ночном небе – Северное сияние.

1.2. Климат района исследований

Климатически Гренландия разделена на два региона: прибрежный регион, большая часть которого свободна ото льда, и внутренний ледяной покров. Гренландский ледяной щит покрывает около 80% территории Гренландии, местами простираясь до побережья, имеет среднюю высоту 2100 м (6900 футов) и максимальную высоту 3200 м (10 500 футов). Большая часть ледникового покрова круглый год остается ниже нуля, а климат здесь самый холодный из всех частей Арктики. Прибрежные районы могут подвергаться воздействию близлежащих открытых вод или нагревания через морской лед из океана, многие части летом теряют свой снежный покров, что позволяет им поглощать больше солнечной радиации и нагреваться больше, чем внутренняя часть.

Прибрежные районы северной части Гренландии испытывают зимние температуры, аналогичные или немного более высокие, чем на Канадском архипелаге, со средней температурой января от -30 до -25 °C. Эти регионы немного теплее, чем архипелаг, из-за их более близкой близости к районам тонкого однолетнего морского ледяного покрова или к открытому океану в Баффиновом заливе и Гренландском море.

Прибрежные районы южной части острова больше подвержены влиянию открытого воды океана и частого прохождения циклонов, которые позволяют удерживать там температуру ниже минимума на севере. В результате этого увеличивается средняя температура в этих регионах, примерно от -20 до -4°C .

Внутренний ледяной покров в большей степени ослабляет влияние воздуха со стороны океана или циклонов, его большая высота также способствует более холодному климату, поскольку температура имеет тенденцию к понижению с высотой. В результате зимние температуры ниже, чем где-либо еще в Арктике, со средней температурой января от -45 до -30°C в зависимости от местоположения и набора данных. Минимальные температуры зимой в более высоких частях ледникового щита могут опускаться ниже -60°C (CIA, 1978).

Летом (в июле) в прибрежных районах Гренландии температуры на островах Канадского архипелага в среднем на несколько градусов выше нуля и выше, чем на севере и востоке. Внутренний ледяной щит остается покрытый снегом в течение лета, хотя на его части наблюдается и таяние снега. Этот снежный покров в сочетании с возвышенностью ледникового покрова помогает поддерживать здесь низкие температуры: в среднем в июле от -12 до 0°C . Вдоль побережья температура не меняется слишком сильно из-за сдерживающего воздействия близлежащей воды или таяния морского льда. Внутри температура не может подняться выше нуля из-за заснеженной поверхности, но может упасть до -30°C даже в июле. Температура выше 20°C бывает редко, но иногда повышается на крайнем юге и прибрежных юго-западных районах.

1.3. Пункты наблюдений и информация

Для пространственного анализа климатических изменений температуры воздуха на территории Восточной Арктики Западного полушария было

выбрано 17 метеостанций (Таблица 1.3.1). Геоинформационный слой координат метеостанций, сформированный в ГИС MapInfo, отражается на карте расположения метеостанций по территории исследования (Рис.1.3.1). На нем представлена информация о том, что территория охвачена наблюдениями довольно неравномерно, в основном на восточном и западном побережье Гренландии, также станции разбросаны по островам Канадского архипелага.



Рис.1.3.1. Расположение пунктов наблюдения на территории Восточной Арктики Западного полушария

Таблица 1.3.1.

Продолжительность и период наблюдений за среднемесячной температурой воздуха на 17 метеорологических станциях на территории Восточной Арктики Западного полушария.

Код поста	Наименование	Продолжительность наблюдений	Кол-во лет	Широта, град	Долгота, град
4210	Упернавик, Гренландия	1873 – 2012	139	72,8	-56,2
4216	Илулиссат, Гренландия	1807 – 2010	195	69,2	-51,1
4231	Кангерлуссуак, Гренландия	1941 – 2020	79	67,2	-50,7
4310	Норд, Гренландия	1952 – 2018	66	81,5	-16,8
4320	Данмарксхавн, Гренландия	1949 – 2020	71	76,8	-18,7

4330	Данеборг, Гренландия	1945 – 2020	65	74,3	-20,2
4339	Иллоктортоормиут, Гренландия	1923 – 2020	96	70,5	-21,9
71082	Алерт, Канада	1950 – 2006	56	82,5	-62,3
71090	Клайд-Ривер, Канада	1942 – 2020	78	70,4	-68,5
71094	Кейп-Дайер, Канада	1956 – 2019	63	66,6	-61,6
71095	Понд-Инлет, Канада	1922 – 2020	98	72,6	-77,9
71096	о.Бротон, Канада	1959 – 2018	58	67,5	-63,8
71498	Глеичен, Канада	1903 – 2020	116	66,1	-96,5
71826	Пангниртунг, Канада	1925 – 2020	90	66,2	-65,7
71911	Шеперд-Бей, Канада	1957 – 2020	63	68,8	-93,4
71924	Аэропорт Ресольют Бэй, Канада	1947 – 2020	73	74,7	-94,9
71925	Кембридж-Бей, Канада	1929 – 2020	89	69,1	-105,1

Данные наблюдений и многолетние ряды были загружены в ПК «Гидрорасчеты» и в результате была сформирована региональная база климатических данных. Анализируя информативные характеристики базы данных, представленных в табл.1.3.1, можно отметить, что продолжительность наблюдений широко варьируется от 56 лет на метеостанции Алерт (Канада) до 195 лет на метеостанции Илулиссат (Гренландия) и в среднем составляет 87 лет.

1.4. Методика исследований

Данная работа начинается со сбора и обработки информации о среднемесячной температуре воздуха на территории Восточной Арктики Западного полушария. Затем формируется база данных многолетних рядов среднемесячных температур за 12 месяцев на 17 выбранных метеостанциях.

Далее осуществляется оценка качества данных, их однородности или неоднородности и осуществляется приведение рядов к многолетнему периоду примерно одинаковой продолжительности.

Следующим пунктом идет расчет параметров стационарной и нестационарных моделей для каждого многолетнего ряда наблюдений, после чего необходимо сделать вывод о преимуществе той или иной модели. Также,

нужно осуществить пространственное обобщение полученных показателей нестационарных моделей.

В заключительной части проводится вычисление изменения средних многолетних температур за счет современного последнего потепления Арктики, а также выявление пространственных закономерностей этого потепления.

В процессе выполнения работ применены статистические и математические методы и модели, такие как:

- a) Статистический критерий Диксона для оценки однородности эмпирических распределений и их проверки на неоднородные экстремумы.
- b) Статистические критерии Фишера и Стьюдента для оценки стационарности дисперсий и средних значений временных рядов.
- c) Методика восстановления пропусков и приведения непродолжительных рядов наблюдений к многолетнему периоду.
- d) Модель стационарного среднего и нестационарные модели линейного тренда и ступенчатых изменений.
- e) Методы пространственной интерполяции для картирования норм температур воздуха.

Глава 2. Оценка качества данных и пространственные закономерности в стационарных условиях

2.1. Оценка однородности и стационарности эмпирических распределений

Первым этапом исследования является оценка однородности эмпирического распределения метеорологических характеристик. Это распределение может быть нарушено из-за резкого отклонения от эмпирического распределения максимальных и минимальных значений. Оценка однородности рядов наблюдений по метеорологическим характеристикам основана на генетическом и статистическом анализе исходных данных наблюдений. Генетический анализ основывается в обнаружении физических причин, вызывающих неоднородность исходных данных наблюдений. Для оценки статистической значимости однородности используются критерии Диксона и Смирнова-Граббса. Вот три основные причины неоднородности эмпирического распределения метеорологических характеристик:

- резко отклоняющиеся метеовеличины могут иметь особые условия формирования, такие как тайфуны, ураганы и т. д.;
- экстремальное событие имеет более редкую вероятность появления, нежели та, которая определяется по эмпирической формуле для короткого ряда наблюдений, при включении экстремума в общую последовательность наблюдений;
- из-за значительных погрешностей измерения могут возникать резко отклоняющиеся величины.

При оценке однородности, вначале сомнительные резко отклоняющиеся от эмпирического распределения экстремумы проверяются по статистическим критериям, и если нарушается однородность, устанавливается ее причина на основе генетического анализа.

Статистики критериев Диксона рассчитываются на основании эмпирических данных по следующим формулам:

а) для максимального члена ранжированной в возрастающем порядке выборки (Y_n):

$$D1_n = (Y_n - Y_{n-1}) / (Y_n - Y_1) \quad (2.1)$$

$$D2_n = (Y_n - Y_{n-1}) / (Y_n - Y_2) \quad (2.2)$$

$$D3_n = (Y_n - Y_{n-2}) / (Y_n - Y_2) \quad (2.3)$$

$$D4_n = (Y_n - Y_{n-2}) / (Y_n - Y_3) \quad (2.4)$$

$$D5_n = (Y_n - Y_{n-2}) / (Y_n - Y_1) \quad (2.5)$$

б) для минимального члена ранжированной в возрастающем порядке выборки (Y_1):

$$D1_1 = (Y_1 - Y_2) / (Y_1 - Y_n) \quad (2.6)$$

$$D2_1 = (Y_1 - Y_2) / (Y_1 - Y_{n-1}) \quad (2.7)$$

$$D3_1 = (Y_1 - Y_3) / (Y_1 - Y_{n-1}) \quad (2.8)$$

$$D4_1 = (Y_1 - Y_3) / (Y_1 - Y_{n-2}) \quad (2.9)$$

$$D5_1 = (Y_1 - Y_3) / (Y_1 - Y_n) \quad (2.10)$$

где $Y_1 < Y_2 < \dots < Y_n$; n - объем выборки.

Статистика критерия Смирнова-Граббса для максимального члена ранжированной последовательности (Y_n) рассчитывается по формуле:

$$G_n = (Y_n - Y_{cp}) / \sigma_y \quad (2.11)$$

и для минимального (Y_1):

$$G_1 = (Y_{cp} - Y_1) / \sigma_y \quad (2.12)$$

где Y_{cp} , σ_y - среднее значение и среднее квадратическое отклонение анализируемой выборки, определяемые по формулам:

$$Y_{cp} = \Sigma Y_i / n \quad (2.13)$$

$$\sigma^2_y = \Sigma (Y_i - Y_{cp})^2 / (n - 1) \quad (2.14)$$

где σ^2_y – дисперсия.

Оценку однородности по критериям определяют, сравнивая расчетное значение статистики критерия, полученное по эмпирическим данным, с критическим значением из таблиц. К тому же, задается уровень значимости (α) равный 5 %, что соответствует принятию нулевой гипотезы об однородности с вероятностью 95 %, и объем выборки (n). В результате гипотеза однородности может быть принята в том случае, если расчетное значение статистики меньше соответствующего критического.

Оценку стационарности средних значений и дисперсий для двух последовательных частей ряда выполняют с помощью критериев Стьюдента и Фишера, которые соответственно обобщены для особенностей гидрометеорологической информации. Анализ по этим критериям осуществляется после оценки отсутствия резко отклоняющихся экстремумов, существенно влияющих на средние значения и на дисперсию.

Для оценки стационарности дисперсий и средних значений соответственно по критериям Фишера и Стьюдента временной ряд разделяется на две и более частей одинаковой или разной длины, причем границы разбиения желательно связать с датами предполагаемого нарушения стационарности. По каждой подвыборке вычисляются значения средних (Y_{cpj}) и дисперсий (σ^2_j), которые используются для получения расчетных значений статистики Фишера:

$$F = \sigma^2_j / \sigma^2_{j+1} \quad (2.15)$$

при $\sigma^2_j > \sigma^2_{j+1}$, где σ^2_j , σ^2_{j+1} – соответственно дисперсии двух следующих друг за другом подвыборок (j и $j+1$) объемом n_1 и n_2 .

Уровень значимости F-распределения для нормально распределенных независимых случайных величин: $\alpha = 5 \%$.

Для того, чтобы оценить стационарность двух средних значений последовательных подвыборок применяется значение статистики критерия Стьюдента, вычисляемое по формуле:

$$t = \frac{Y_{cp1} - Y_{cp2}}{\sqrt{n_1 \sigma_1^2 + n_2 \sigma_2^2}} \sqrt{\frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 - 2)}{n_1 + n_2}} \quad (2.16)$$

где $Y_{cp1}, Y_{cp2}, \sigma_1^2, \sigma_2^2$ – средние значения и дисперсии двух последовательных выборок; n_1, n_2 – объемы выборок.

Оценка стационарности по критерию Стьюдента производится также путем сравнения расчетных и критических значений статистик. Если расчетное значение меньше критического при заданном уровне значимости, гипотеза об однородности (стационарности) принимается.

Вывод о принятии гипотезы однородности и стационарности для холодно сезона (январь, апрель) и для теплого сезона (июль, октябрь) представлен в таблице 2.1.1.

Таблица 2.1.1

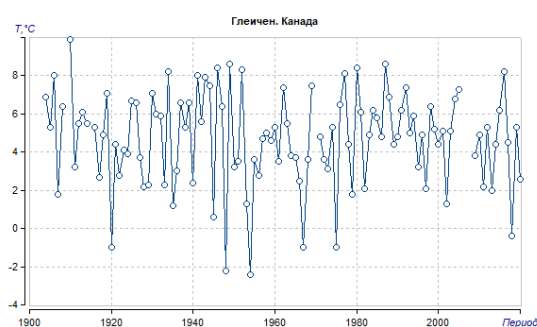
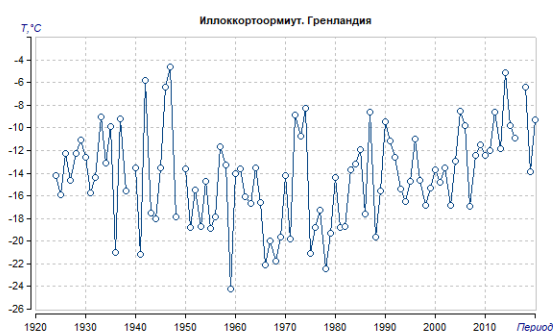
Результаты оценки однородности и стационарности среднемесячных температур воздуха холодного и теплого сезонов по критериям Диксона (д), Фишера (ф) и Стьюдента (ст) на метеостанциях Восточной Арктики Западного полушария.

код станции	название	январь			апрель			год
		д	ф	ст	д	ф	ст	
4210	Уперनावик, Гренландия	+	+	-	+	+	+	
4216	Илулиссат, Гренландия	+	+	-	+	-	-	
4231	Кангерлуссуак, Гренландия	+	+	+	+	(-)4,9	+	
4310	Норд, Гренландия	-	(-)2,4	+	-	-	+	1952,2006, 2013

4320	Данмарксхавн, Гренландия	+	+	+	+	-	(-)4,6	
4330	Данеборг, Гренландия	+	+	+	+	+	(-)3,9	
4339	Иллоктортоормиут, Гренландия	+	+	+	+	+	(+)5,7	
71082	Алерт, Канада	+	+	+	-	+	+	1995, 1953, 1990
71090	Клайд-Ривер, Канада	+	+	+	+	+	+	
71094	Кейп-Дайер, Канада	+	-	+	+	+	+	
71095	Понд-Инлет, Канада	+	(-)4,8	+	+	+	+	
71096	о.Бротон, Канада	+	(-)4,2	+	+	+	(-)1,5	
71498	Глеичен, Канада	+	+	+	+	+	+	
71826	Пангниртунг, Канада	+	(-)3,1	+	+	+	+	
71911	Шеперд-Бея, Канада	+	+	+	(-)3,7	+	(-)4,6	2010,1995, 2005
71924	Аэропорт Ресольют Бэй, Канада	+	+	+	+	+	-	
71925	Кембридж-Бей, Канада	(-)3,4	+	-	(-)3,6	+	+	1939,1981, 2018
код станции	название	июль			октябрь			год
		д	ф	ст	д	ф	ст	
4210	Уперनावик, Гренландия	+	+	+	+	+	+	
4216	Илулиссат, Гренландия	+	+	-	+	+	(-)3,1	
4231	Кангерлуссуак, Гренландия	+	+	+	(-)4,0	+	+	1960,2003, 1966
4310	Норд, Гренландия	+	+	(-)2,8	(-)1,7	+	(-)3,4	2002,2016, 2015
4320	Данмарксхавн, Гренландия	+	+	-	+	+	+	
4330	Данеборг, Гренландия	+	+	-	+	+	(-)2,0	
4339	Иллоктортоормиут, Гренландия	+	(-)4,7	+	+	+	+	
71082	Алерт, Канада	+	-	+	+	+	+	
71090	Клайд-Ривер, Канада	+	+	(-)3,7	+	+	+	1986,1978, 1990
71094	Кейп-Дайер, Канада	+	+	+	+	+	+	
71095	Понд-Инлет, Канада	+	+	-	+	+	+	
71096	о.Бротон, Канада	+	+	-	+	+	-	1986,1959, 1972
71498	Глеичен, Канада	+	+	-	+	+	+	

71826	Пангниртунг, Канада	+	+	+	+	+	+	
71911	Шеперд-Бея, Канада	+	+	(-)2,0	+	(-)2,5	-	1978,1972, 1986
71924	Аэропорт Ресольют Бэй, Канада	+	(-)4,2	+	+	+	(-)2,3	1978,1986, 1956
71925	Кембридж-Бей, Канада	+	+	+	+	+	+	1929,1978, 1948

В таблице 2.1.1 знак «+» указывает на принятие гипотезы однородности и стационарности, знак «-» указывает на отклонение. Если расчетное значение критерия статистики близко к критическому значению, но превышает его, то в таблице также отображается уровень значимости, соответствующий расчетному значению критерия. В этом случае вывод о принятии или отклонении гипотезы однородности и стационарности сомнителен и заключен в скобки. Если уровень значимости, соответствующий расчетному значению стандартной статистики, меньше 5%, но больше или равен 3%, необходимо поставить знак «(+»». Знак «(-)» ставится, если уровень значимости меньше 3%, но больше 1%. Знак «+» ставится, если уровень значимости, соответствующий расчетному значению стандартной статистики, равен или превышает 5%. Если расчетная статистика равна или больше критической при уровне значимости 1%, то ставиться знак «-», т. е. в этих двух случаях нулевая гипотеза или достаточно надежно принимается или надежно отклоняется. Примеры нестационарных рядов показаны на рис.2.1.1.



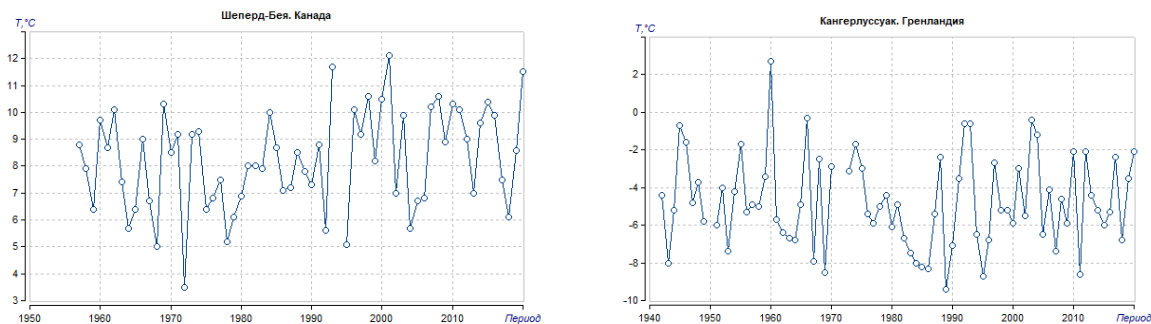


Рис.2.1.1. – Примеры нестационарных и неоднородных рядов наблюдений

Проанализировав полученные данные, можно сделать вывод, что данный регион исследования в основном содержит однородные данные наблюдений, а выявленная нестационарность будет исследована на основе статистических моделей временных рядов.

2.2. Восстановление пропусков и приведение непродолжительных рядов к многолетнему периоду

Основанием для восстановления недостающих наблюдений и приведения ряда к многолетнему периоду является нахождение уравнения регрессии, содержащего три гипотетических аналога, как более длительных периодов наблюдений, так и лет наблюдений.

Уравнение множественной линейной регрессии для восстановления имеет следующий вид:

$$Y = k_0 + k_1 Y_1 + k_2 Y_2 + \dots + k_j Y_j + \dots + k_l Y_l \quad (2.17)$$

где Y – значения метеорологической характеристики в приводимом пункте; Y_j – значения метеорологической характеристики в пунктах-аналогах;

k_0 – свободный член; k_j – коэффициенты уравнения регрессии при $j = 1, 2, \dots, l$; l – число пунктов-аналогов.

Для эффективного уравнения связи рассматриваемого пункта с аналогами использовались следующие условия:

$$n' \geq 6-10$$

n' – число совместных лет наблюдений в проводимом пункте и пунктах аналогах равно 10, т.к. количество пунктов аналогов было выбрано 3 ($n' \geq 6$ при одном пункте аналоге);

$$R \geq R_{кр}$$

R – коэффициент парной или множественной корреляции между значениями гидрометеорологической величины в проводимом пункте и их значениями в пунктах-аналогах; $R_{кр}$ – критическое значение коэффициента парной или множественной корреляции (было взято значение равное 0,85);

$$k/\sigma_k \geq B_{кр}$$

k – коэффициенты уравнения регрессии; σ_k – средняя квадратическая погрешность коэффициента уравнения регрессии $B_{кр}$ – критическое значение отношения k/σ_k , задается $\geq 2,0$.

Результаты восстановления данных и приведения непродолжительных рядов температур воздуха к многолетнему периоду приведены в таблице 2.2.1. за холодный сезон (январь, апрель) и теплый сезон (июль, октябрь).

Таблица 2.2.1.

Результаты восстановления пропусков и приведения непродолжительных рядов температур воздуха к многолетнему периоду.

Январь					
Код	Наименование	Кол-во факт.	Кол-во восст.	к-т корреляции	кол-во аналогов
4210	Уперनावик, Гренландия	134	65	0,878-0,904	5
4216	Илулиссат, Гренландия	190	10	0,947-0,976	5
4231	Кангерлуссуак, Гренландия	76	124	0,942-0,945	3
4320	Данмарксхавн, Гренландия	72	1	0,956	3
4330	Данеборг, Гренландия	58	15	0,956-0,973	4

4339	Иллоктортоормиут, Гренландия	94	1	0,877	2
71090	Клайд-Ривер, Канада	79	14	0,895	2
71094	Кейп-Дайер, Канада	58	36	0,889-0,946	9
71095	Понд-Инлет, Канада	70	23	0,886-0,934	7
71096	о.Бротон, Канада	57	36	0,931-0,973	7
71911	Шеперд-Бея, Канада	49	36	0,857-0,911	5
Средние значения		85	32		
Апрель					
Код	Наименование	Кол-во факт.	Кол-во восст.	к-т корреляции	кол-во аналогов
4210	Уперनावик, Гренландия	131	60	0,856	1
4216	Илулиссат, Гренландия	189	10	0,872-0,921	5
4231	Кангерлуссуак, Гренландия	75	124	0,872-0,895	2
4310	Норд, Гренландия	62	6	0,866	3
4320	Данмарксхавн, Гренландия	72	1	0,888	1
4330	Данеборг, Гренландия	58	15	0,888-0,922	2
71090	Клайд-Ривер, Канада	78	12	0,878-0,903	5
71094	Кейп-Дайер, Канада	59	30	0,852-0,965	11
71095	Понд-Инлет, Канада	62	28	0,863-0,938	6
71096	о.Бротон, Канада	58	32	0,857-0,970	8
71911	Шеперд-Бея, Канада	59	21	0,851-0,888	5
71924	Аэропорт Ресольют Бэй, Канада	74	6	0,891	3
Средние значения		81	29		
Июль					
Код	Наименование	Кол-во факт.	Кол-во восст.	к-т корреляции	кол-во аналогов
4216	Илулиссат, Гренландия	178	1	0,872	3
4330	Данеборг, Гренландия	57	14	0,880	2
71094	Кейп-Дайер, Канада	59	2	0,859	2
71095	Понд-Инлет, Канада	72	17	0,853	3
71096	о.Бротон, Канада	57	21	0,885	4
Средние значения		85	11		
Октябрь					
Код	Наименование	Кол-во факт.	Кол-во восст.	к-т корреляции	кол-во аналогов
4216	Илулиссат, Гренландия	189	10	0,958	3
4231	Кангерлуссуак, Гренландия	76	123	0,927-0,929	2
4310	Норд, Гренландия	62	9	0,879-0,915	6
4320	Данмарксхавн, Гренландия	71	1	0,928	1
4330	Данеборг, Гренландия	56	37	0,906-0,965	5
4339	Иллоктортоормиут, Гренландия	92	1	0,912	2
71090	Клайд-Ривер, Канада	77	16	0,904-0,932	3

71094	Кейп-Дайер, Канада	58	30	0,853-0,858	6
71095	Понд-Инлет, Канада	71	22	0,903-0,953	6
71096	о.Бротон, Канада	57	35	0,877-0,927	9
71911	Шеперд-Бей, Канада	62	30	0,903-0,953	8
71924	Аэропорт Ресольют Бэй, Канада	74	12	0,889	2
Средние значения		79	27		

Из данных таблицы 2.2.1 установлено, что с помощью процедуры восстановления пропусков и приведения рядов температур воздуха к многолетнему периоду среднее число лет наблюдений увеличилось:

- в январе с 85 до 117, на 32 года;
- в апреле с 81 до 110, на 29 лет;
- в июле с 85 до 96, на 11 лет;
- в октябре с 79 до 106, на 27 лет.

Пример сравнения наблюденного и восстановленного рядов показан на рис.2.2.1.

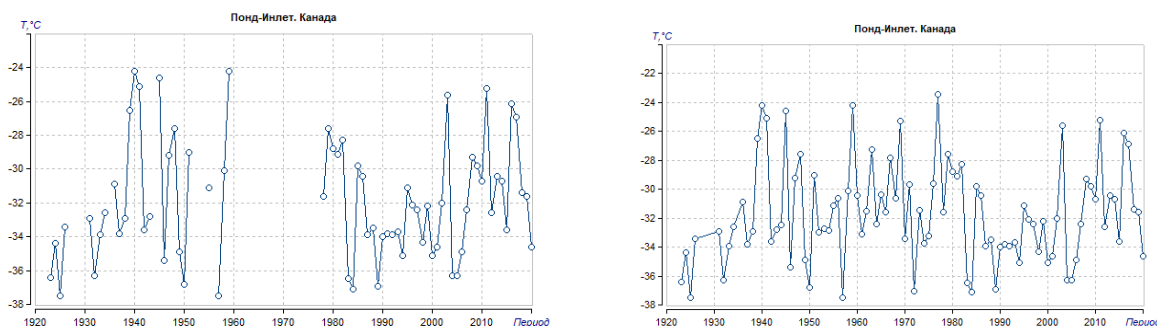


Рис.2.2.1. Графики данных наблюденных и восстановленных многолетних рядов температуры января на метеостанции Понд-Инлет (Канада)

2.3. Пространственные климатические закономерности температур воздуха

Результатом расчетов в стационарных условиях является пространственная интерполяционная модель средней температуры в холодное

и теплое время года. Средняя температура, выбранных для исследования месяцев для каждой станции приведена в таблице 2.3.1.

Таблица 2.3.1.

Средние многолетние температуры воздуха за отдельные месяцы

Код станции	Название	Широта	Долгота	Январь	Апрель	Июль	Октябрь
4210	Уперनावик, Гренландия	72,8	-56,2	-18,6	-13,0	5,3	-3,8
4216	Илулиссат, Гренландия	69,2	-51,1	-14,4	-8,2	6,5	-3,5
4231	Кангерлуссуак, Гренландия	67,2	-50,7	-17,6	-7,0	10,5	-4,5
4310	Норд, Гренландия	81,5	-16,8	-26,5	-20,4	3,5	-17,0
4320	Данмарксхавн, Гренландия	76,8	-18,7	-22,3	-16,7	3,9	-12,5
4330	Данеборг, Гренландия	74,3	-20,2	-14,5	-10,5	3,4	-7,0
4339	Иллоктортоормиут, Гренландия	70,5	-21,9	-13,7	-9,7	4,5	-5,0
71082	Алерт, Канада	82,5	-62,3	-32,1	-24,1	3,6	-19,0
71090	Клайд-Ривер, Канада	70,4	-68,5	-27,2	-18,1	4,7	-6,5
71094	Кейп-Дайер, Канада	66,6	-61,6	-21,1	-14,1	4,8	-6,7
71095	Понд-Инлет, Канада	72,6	-77,9	-28,6	-16,8	5,7	-8,6
71096	о.Бротон, Канада	67,5	-63,8	-22,0	-15,2	4,8	-6,7
71498	Глеичен, Канада	66,1	-96,5	-10,8	4,4	16,7	5,2
71826	Пангниртунг, Канада	66,2	-65,7	-20,8	-7,5	9,8	-1,2
71911	Шеперд-Бея, Канада	68,8	-93,4	-26,4	-20,2	8,1	-10,2
71924	Аэропорт Ресольют Бэй, Канада	74,7	-94,9	-31,9	-22,4	4,5	-13,9
71925	Кембридж-Бей, Канада	69,1	-105,1	-30,7	-20,5	8,1	-10,5

По данным о среднемесечной температуре построены пространственные распределения, представленные на рисунках 2.3.1.-2.3.4:

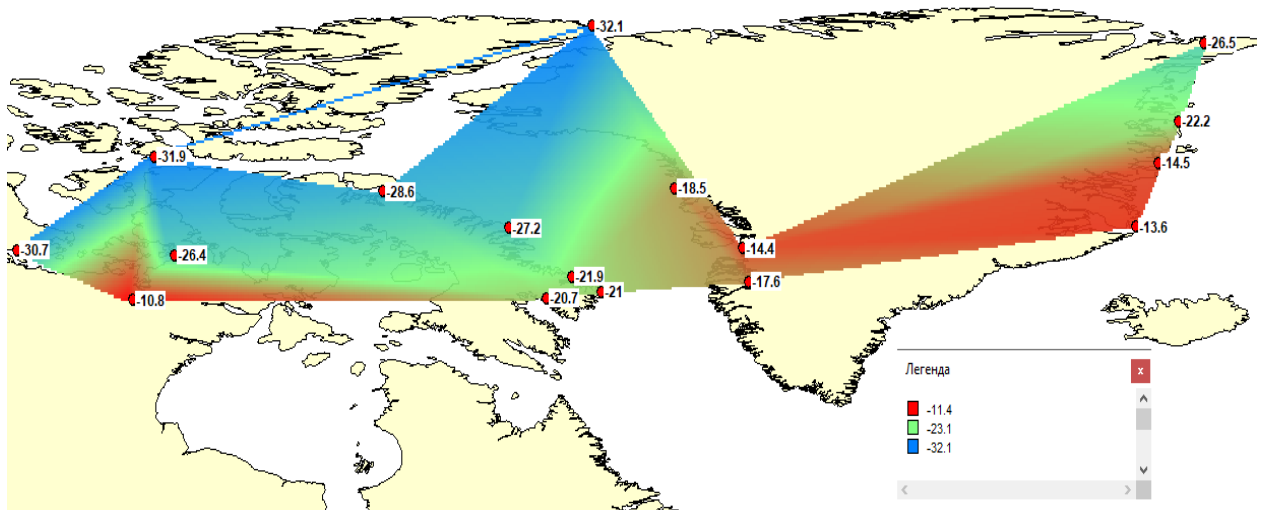


Рис 2.3.1. Пространственная модель средних многолетних температур января

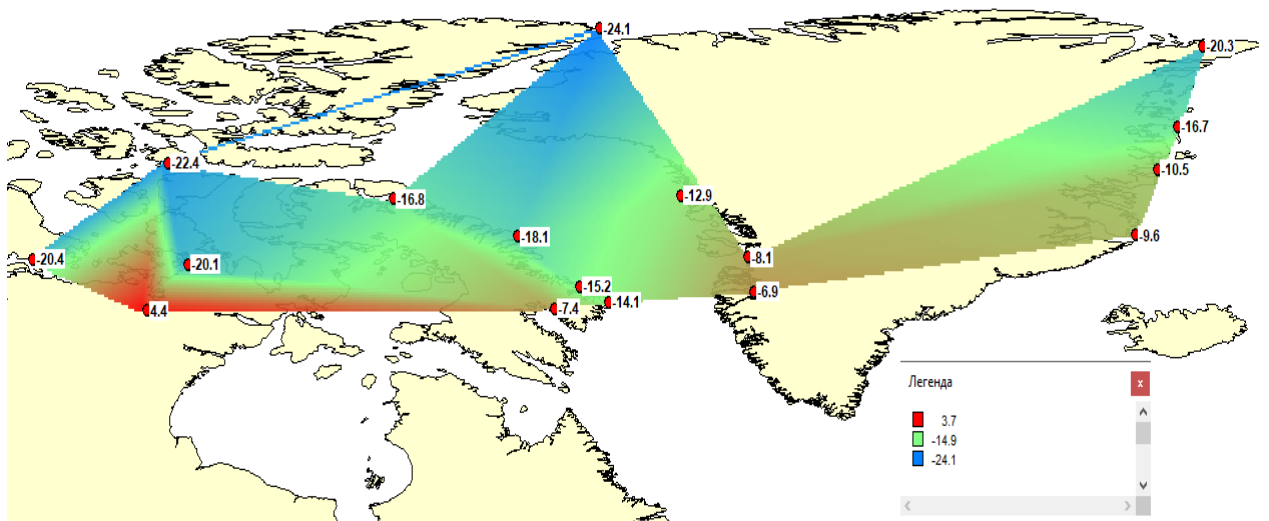


Рис 2.3.2. Пространственная модель средних многолетних температур апреля

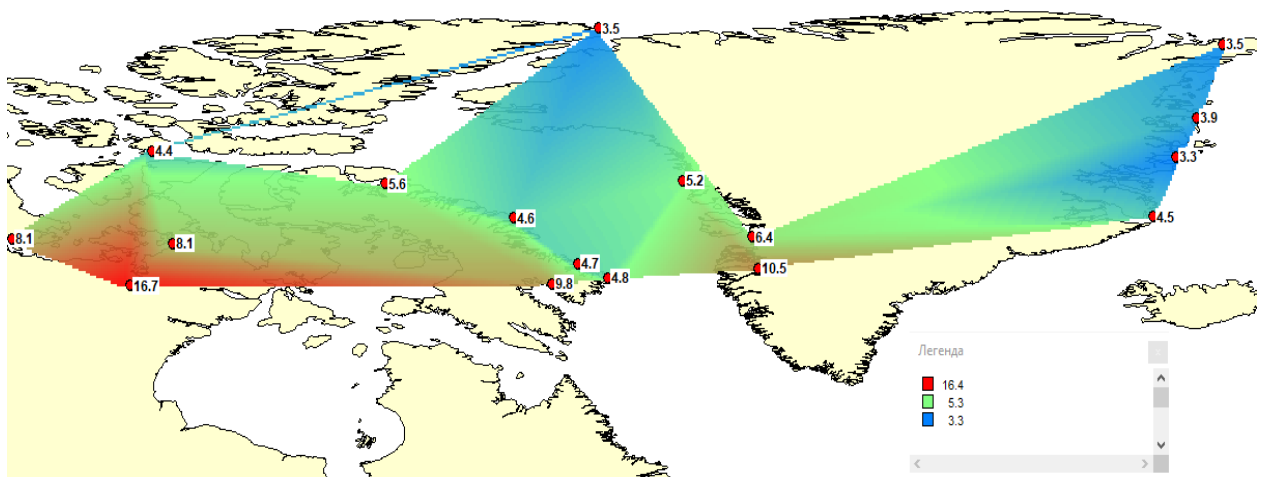


Рис 2.3.3. Пространственная модель средних многолетних температур июля

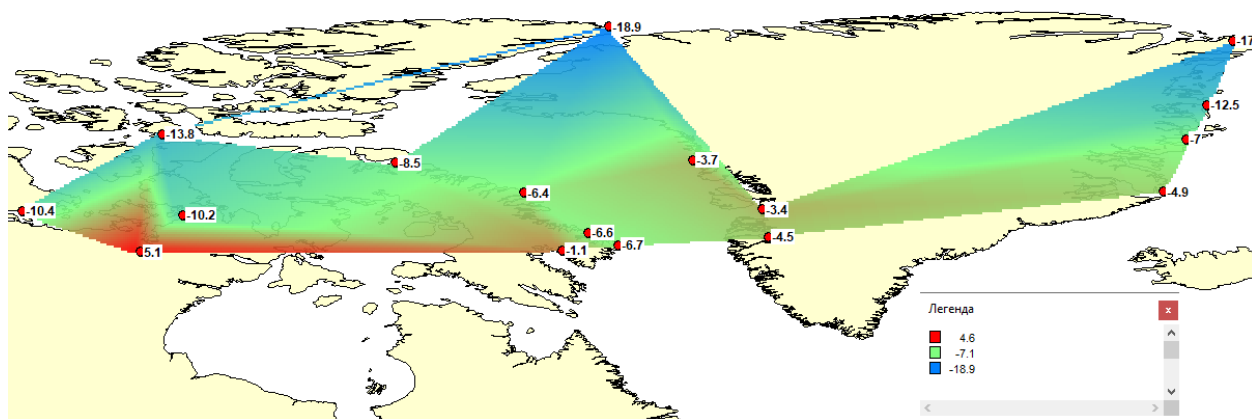


Рис 2.3.4. Пространственная модель средних многолетних температур октября

Из рисунков следует, что зональное распределение температур наиболее хорошо выражено в январе. В апреле распределение уже ближе к летнему (большой нагрев материка), а в апреле и октябре более однородно, так как идет перестройка к летнему и зимнему сезону.

Глава 3. Оценка проявлений современных климатических изменений в холодное полугодие (зима – весна)

3.1. Теоретические положения

Климатическая система Земли, включающая атмосферу, гидросферу, криосферу, биосферу и литосферу, нестабильна и постоянно меняется. Ее изменчивость оценивается на основе набора показателей, к которым относятся атмосферные характеристики (температура, осадки, давление и другие), а также показатели других природных зон (мировой уровень моря, речной сток, площадь морского льда, выброс органического углерода и др.), а также внешние факторы (например, колебания солнечной постоянной, параметры орбиты Земли, геофизические характеристики). При этом масштаб или период колебаний компонентов климатической системы существенно варьирует: от

нескольких секунд атмосферных микровихрений до сотен тысяч лет параметров орбиты Земли, которые формируют сложный спектр колебаний климатических характеристик на любом заданном временном интервале.

Структура временных рядов может быть представлена двумя основными типами моделей: стационарными и нестационарными. В стационарной модели основные параметры временного ряда, такие как среднее значение и дисперсия, либо постоянны, либо стационарны во времени. Для этого случая можно рассчитать среднее значение многолетнего периода наблюдений, которое является климатической нормой. Даже в условиях современного изменения климата считается, что колебания климатических характеристик квазистабильны для некоторых небольших отрезков временного ряда, например для 30 лет.

Однако помимо случайных отклонений во временных рядах климатических характеристик могут существовать и нестационарные компоненты с большими временными масштабами, обусловленными факторами климатической системы. В общем, существует три основных типа нестационарных моделей:

- монотонные изменения в виде линейного тренда;
- циклические колебания;
- ступенчатые переходы от одного стационарного состояния к другому.

На самом деле все нестационарные изменения в природе цикличны, и тренд является частью цикла процесса достаточно большого масштаба, который проявляется как ветвь подъема или падения в пределах рассматриваемого ограниченного временного интервала.

Если предположить, что нестационарные компоненты являются реакцией климатической системы на внешние воздействия, то показатели этих воздействий могут быть двух основных типов: монотонные (трендовые или циклические колебания) и ступенчатые изменения. Механизм монотонного изменения происходит в равновесной системе, которая почти сразу реагирует на внешние воздействия ориентации. Триггерный механизм или пусковой

механизм ступенчатого изменения характеризует неравновесную систему, способную нейтрализовать внешние воздействия или противостоять им в течение определенного периода времени до тех пор, пока их суммарный эффект не поднимет систему на новый уровень. Поэтому стационарные временные ряды могут быть частным случаем равновесных и неравновесных систем, существующих одновременно. В первом случае это проявление случайных внешних воздействий, во втором - период устойчивого существования, когда система еще достаточно инерционна, чтобы противостоять внешним воздействиям.

Модель линейного тренда характеризуется зависимостью рассматриваемой климатической характеристики (Y) от времени (t):

$$Y(t)=b_1t+b_0 \quad (3.1)$$

где b_1 , b_0 – коэффициенты уравнения регрессии, определяемые методом наименьших квадратов (МНК):

$$b_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - Y_{cp})(t_i - t_{cp})}{\sum_{i=1}^n (t_i - t_{cp})^2} \quad (3.2)$$

$$b_0 = Y_{cp} - b_1 t_{cp} \quad (3.3)$$

где Y_{cp} , t_{cp} – средние значения для рядов климатической характеристики и времени.

Статистическая значимость модели линейного тренда оценивается по статистической значимости коэффициента b_1 или коэффициента корреляции R зависимости (1), который рассчитывается по формуле:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - Y_{cp})(t_i - t_{cp})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - Y_{cp})^2 \sum_{i=1}^n (t_i - t_{cp})^2}} \quad (3.4)$$

Модель ступенчатых изменений аналогична двум (или нескольким) стационарным моделям для двух (или нескольких) частей временного ряда, что характеризуется неизменностью во времени среднего значения и среднего квадратического отклонения для каждой части ряда:

$$Sr1(t1) = const1, \sigma1(t1) = const1, \quad (3.5)$$

$$Sr2(t2) = const2, \sigma2(t2) = const2, \quad (3.6)$$

где $Sr1, \sigma1$ – среднее значение и среднее квадратическое отклонение первой части ряда при изменении $t1$ от 1 до t_n ; $Sr2, \sigma2$ – среднее значение и среднее квадратическое отклонение второй части ряда при изменении $t2$ от $t_n + 1$ до n , n – объем ряда.

Время изменения стационарного уровня (t_n) определяется визуально или на основании дополнительной информации о факторе и дате нарушения стационарности (например, изменения индекса атмосферной циркуляции, даты изменения регистрирующего устройства), а также может быть определено итерациями при достижении минимального значения сумм квадратов отклонений двух частей временного ряда:

$$\sigma_1^2(n_1-1) + \sigma_2^2(n_2-1) = \min, \quad (3.7)$$

где n_1, n_2 – объемы каждой из двух частей временного ряда.

3.2. Результаты моделирования временных рядов в пунктах наблюдений

На основе методики, изложенной в разделе 3.1, рассчитаны характеристики стационарных и нестационарных моделей для среднемесячной температуры в холодный сезон на 17 метеостанциях. Жирным шрифтом в таблице подчеркивают эффективную разницу по сравнению со стационарной моделью выборки при $\Delta > 10\%$, статистически значимое значение критерия Фишера и коэффициент корреляции линейного тренда.

В таблицах 3.2.1 и 3.2.2. приведены результаты расчетов по моделям временных рядов для января и апреля. Жирным выделены случаи нестационарных моделей при $\Delta > 10\%$ и статистики критерия Фишера (Fтр. и Fст.) при уровне значимости 5%, а также статистически значимые коэффициенты уравнений линейного тренда R. В табл. 3.2.1, 3.2.2 также представлены: Год ст.- год перехода от одной стационарной части ряда к другой по модели ступенчатых изменений; Год Н., Год. К. – годы начала и окончания наблюдений, n – количество лет наблюдений; R – коэффициент корреляции модели линейного тренда.

Таблица 3.2.1.

Результаты оценки эффективности нестационарных моделей для
многолетних рядов температур января на станциях

Код	$\Delta_{тр},\%$	$\Delta_{ст},\%$	Fтр	Fст	Tст	Tнач	Tк	n	R
4210	7,0	12,8	1,16	1,32	1926	1874	2012	134	0,37
4216	5,8	10,3	1,13	1,24	1926	1808	2010	190	0,34
4231	0,1	1,4	1,00	1,03	1996	1942	2020	76	-0,04
4310	0,4	5,3	1,01	1,12	2005	1952	2018	62	0,09
4320	3,0	5,7	1,06	1,13	2005	1949	2020	72	0,24
4330	4,3	7,9	1,09	1,18	2005	1946	2020	58	0,29
4339	1,5	7,6	1,03	1,17	2005	1924	2020	94	0,17
71082	0,0	0,6	1,00	1,01	1983	1950	2006	57	0,02

71090	0,2	4,1	1,00	1,09	1983	1942	2020	79	-0,07
71094	0,8	4,0	1,02	1,09	2007	1957	2019	58	0,12
71095	0,1	3,7	1,00	1,08	1939	1923	2020	70	0,05
71096	0,1	3,1	1,00	1,07	2008	1959	2018	57	0,03
71498	2,4	5,6	1,05	1,12	1983	1904	2020	112	0,22
71826	0,5	3,5	1,01	1,07	1943	1926	2020	83	0,10
71911	2,0	8,3	1,04	1,19	2006	1958	2020	49	0,20
71924	5,7	6,8	1,12	1,15	2002	1947	2020	74	0,33
71925	3,7	8,6	1,08	1,20	2000	1929	2020	87	0,27
Среднее значение	2,2	5,8	1,04	1,13	2005	1947	2020	83	0,16

Из результатов таблицы 3.2.1 следует, что из 17 рядов наблюдений температур января нестационарными при $\Delta > 10\%$ являются 2 ряда с моделью ступенчатых изменений. Статистически значимых по критерию Фишера при уровне значимости 5% нет. Статистически значимыми коэффициентами корреляции, при значении $R > 0,26$, являются 5 рядов. Примеры графиков временных рядов нестационарных моделей приведены на рисунке 3.2.1.

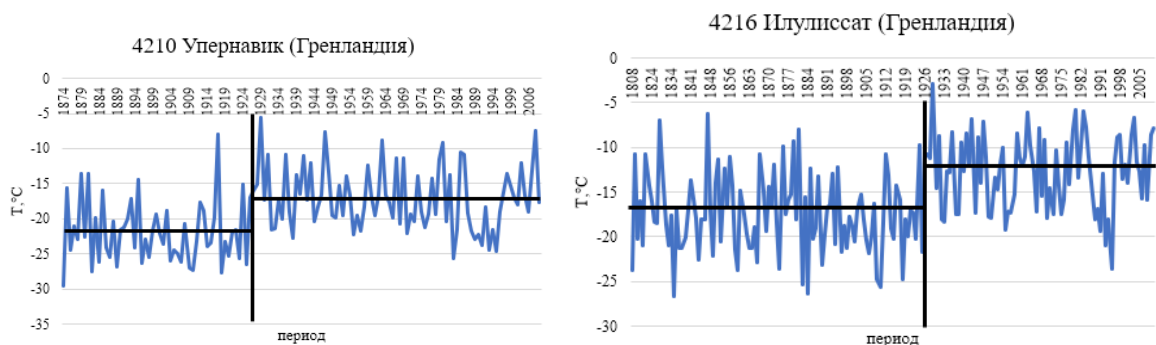


Рисунок 3.2.1. Графики временных рядов нестационарных моделей температур января

Таблица 3.2.2.

Результаты оценки эффективности нестационарных моделей для многолетних рядов температур апреля на станциях

Код	$\Delta_{тр},\%$	$\Delta_{ст},\%$	$F_{тр}$	$F_{ст}$	$T_{ст}$	$T_{нач}$	$T_{к}$	n	R
4210	0,9	3,7	1,02	1,08	1920	1875	2012	131	0,13
4216	1,4	3,7	1,03	1,08	1922	1808	2010	189	0,17
4231	2,9	5,7	1,06	1,12	1994	1942	2020	75	0,24

4310	0,5	3,1	1,01	1,07	1987	1952	2018	62	0,10
4320	3,2	6,2	1,07	1,14	1987	1949	2020	72	0,25
4330	7,4	12,5	1,17	1,31	1987	1946	2020	58	0,38
4339	1,9	8,0	1,04	1,18	1993	1924	2020	94	0,20
71082	0,1	4,6	1,00	1,10	1988	1951	2006	56	0,05
71090	0,4	3,1	1,01	1,06	2005	1943	2020	78	0,09
71094	0,2	2,7	1,00	1,06	1995	1956	2019	59	0,06
71095	0,5	5,0	1,01	1,11	1995	1923	2020	62	0,10
71096	2,8	8,0	1,06	1,18	1995	1959	2018	58	0,23
71498	0,1	1,2	1,00	1,02	1917	1904	2020	111	-0,05
71826	3,8	21,5	1,08	1,62	1994	1926	2020	83	-0,27
71911	4,4	7,1	1,09	1,16	1995	1957	2020	59	0,29
71924	6,0	12,5	1,13	1,30	1988	1947	2020	74	0,34
71925	2,0	4,9	1,04	1,11	1988	1929	2020	88	0,20
Среднее значение	2,2	6,6	1,04	1,15	1995	1947	2020	82	0,14

Из результатов таблицы 3.2.2 следует, что из 17 рядов наблюдений температур января нестационарными при $\Delta > 10\%$ являются 3 ряда с моделью ступенчатых изменений. Статистически значимых по критерию Фишера при уровне значимости 5% нет. Статистически значимыми коэффициентами корреляции, при значении $R > 0,26$, являются 3 ряда. Примеры графиков временных рядов нестационарных моделей приведены на рисунке 3.2.2.

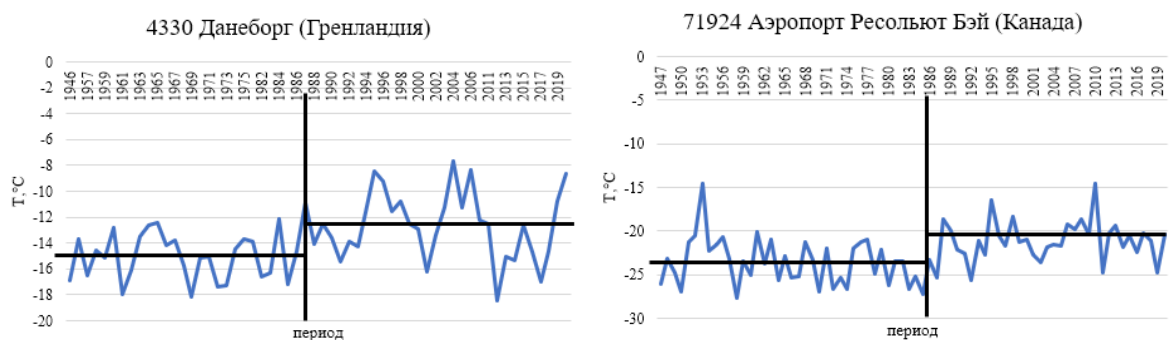


Рисунок 3.2.2. Графики временных рядов нестационарных моделей температур апреля

3.3. Оценка устойчивости во времени показателей нестационарности

Чтобы оценить стабильность показателей нестационарности во времени, используя программу TIMOD1, были выбраны ряды наблюдений с началом в 1900, 1920, 1940 и 1960 годах и до конца наблюдений. Результаты исследования временной стабильности нестационарных показателей за январь и апрель приведены в таблицах 1 и 2 приложения. Исходя из данных январской таблицы 1 приложения, можно сделать вывод, что показатели нестационарности нестабильны, поскольку при смещении начального года наблюдений с 1900 до 1960 года показатели нестационарности увеличиваются и это означает, что в последний период потепление выражено значительно сильнее.

Таким же образом, при анализе данных таблицы за апрель месяц так же хорошо заметно, что показатели нестационарности неустойчивы, т.к. они растут при сдвиге начала наблюдений к последнему периоду с началом в 1960 году.. Также можно отметить, что на всех станциях из 17 рядов наблюдений средних температур апреля нестационарными при $\Delta > 10\%$, начиная с 1960 года, для модели ступенчатых изменений являются только ряды на трех станциях: 4330 (Данеборг. Гренландия), 71826 (Пангниртунг. Канада) и 71924 (Аэропорт Ресольют Бэй. Канада).

По результатам расчетов можно сделать вывод, что показатели нестационарности в таблицах для модели ступенчатых изменений за январь и апрель значительно выше, чем для модели линейного тренда, поскольку она имеет большее значение Δ и более корректно отражает изменения средних значений.

3.4. Пространственные обобщения показателей нестационарности

Для того, чтобы оценить области наибольшей нестационарности для линейной модели тренда и ступенчатых изменений среднего рассматривались показатели нестационарности Δ за период с 1960 по последний год наблюдений. Именно этот период в Восточной Арктике Западного полушария связан с современным потеплением, которое не учитывает естественное потепление середины 20-го века.

В таблицах 3.4.1 и 3.4.2 показаны результаты расчетов по моделям линейного тренда ($\Delta_{тр}$) и ступенчатых изменений ($\Delta_{ст}$) временных рядов за январь и апрель месяцы. Для обобщения рассчитанных параметров были построены пространственные распределения отклонений нестационарных моделей от модели стационарной выборки в процентах ($\Delta_{тр}$ и $\Delta_{ст}$) и коэффициента корреляции для температуры января и апреля, показанные на рисунках 3.4.1 и 3.4.2.

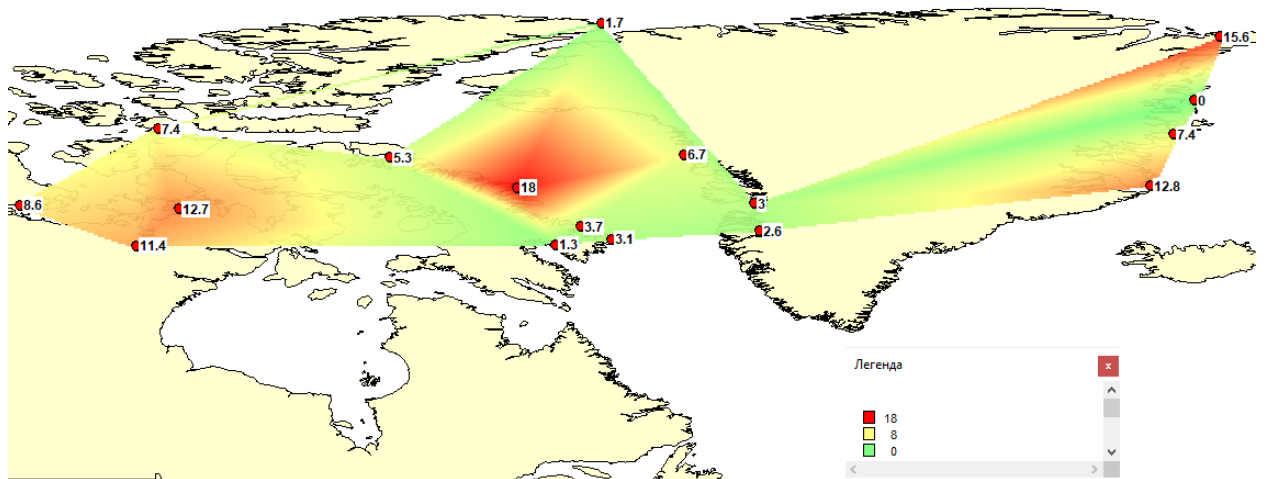
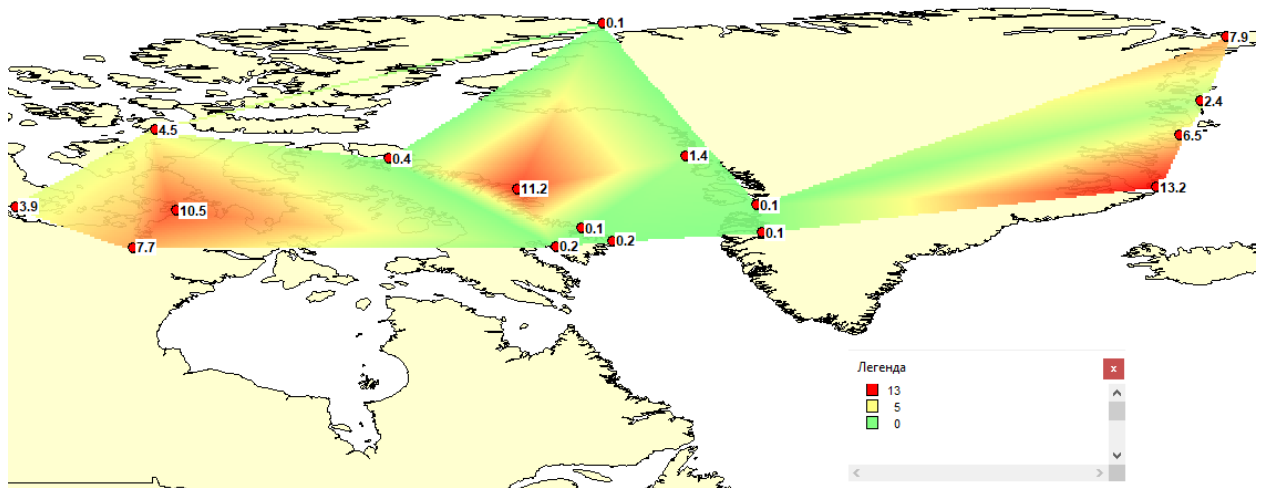
Таблица 3.4.1.

Показатели нестационарности температур января на станциях

Код станции	Название	Широта	Долгота	$\Delta_{тр},\%$	$\Delta_{ст},\%$	R
4210	Упернавик, Гренландия	72,8	-56,2	1.4	6.7	0.16
4216	Илулиссат, Гренландия	69,2	-51,1	0.1	3	0.03
4231	Кангерлуссуак, Гренландия	67,2	-50,7	0.1	2.6	0.04
4310	Норд, Гренландия	81,5	-16,8	7.9	15.6	0.39
4320	Данмарксхавн, Гренландия	76,8	-18,7	2.4	0	0.22
4330	Данеборг, Гренландия	74,3	-20,2	6.5	7.4	0.36
4339	Иллоктортоормиут, Гренландия	70,5	-21,9	13.2	12.8	0.5
71082	Алерт, Канада	82,5	-62,3	0.1	1.7	0.04
71090	Клайд-Ривер, Канада	70,4	-68,5	11.2	18	0.46
71094	Кейп-Дайер, Канада	66,6	-61,6	0.2	3.1	0.06
71095	Понд-Инлет, Канада	72,6	-77,9	0.4	5.3	0.08

71096	о.Бротон, Канада	67,5	-63,8	0.1	3.7	0.05
71498	Глейчен, Канада	66,1	-96,5	7.7	11.4	0.39
71826	Панггиртунг, Канада	66,2	-65,7	0.2	1.3	0.06
71911	Шеперд-Бей, Канада	68,8	-93,4	10.5	12.7	0.45
71924	Аэропорт Ресольют Бэй, Канада	74,7	-94,9	4.5	7.4	0.3
71925	Кембридж-Бей, Канада	69,1	-105,1	3.9	8.6	0.28

На рис.3.4.1. представлены пространственные распределения отклонений нестационарных моделей от модели стационарной выборки в январе по трем показателям: $\Delta tr.$, $\Delta ст.$, R .



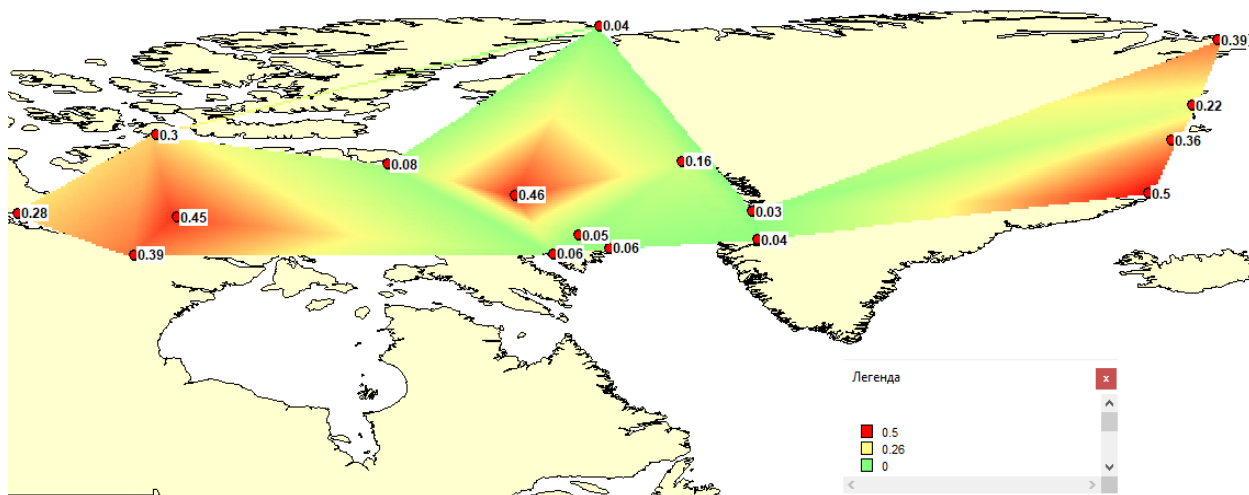


Рисунок 3.4.1. Пространственные распределения отклонений нестационарных моделей от модели стационарной выборки $\Delta_{тр}$ в % (верхний), $\Delta_{ст}$ в % (средний) и коэффициента корреляции (нижний) для температуры января.

Анализируя пространственные распределения видно, что по территории исследования стационарность наблюдается на южных и северных станциях. Нестационарность наблюдается всего на трех станциях 4339 (Иллоккортоормиут, Гренландия), 71090 (Клайд-Ривер, Канада) и 71911 (Шеперд-Бей, Канада) для модели линейного тренда. Модель ступенчатых изменений показывает нестационарность уже для пяти станций 4310 (Норд, Гренландия), 4339 (Иллоккортоормиут, Гренландия), 71090 (Клайд-Ривер, Канада), 71498 (Глеичен, Канада), 71911 (Шеперд-Бей, Канада).

Пространственное распределение значений коэффициента корреляции линейного тренда четко указывает на то, что восточный арктический регион разделен на 3 части. Коэффициент корреляции со значением, превышающим 0,26, обнаружен в трех (Западная, Восточная и центральная) частях региона, в то время как на южной и северной частях он незначителен.

Исходя из этого распределения, можно сделать вывод, что зимой современное потепление незначительно проявляет себя и только на нескольких станциях в средней части рассматриваемого региона.

Таблица 3.4.2.

Показатели нестационарности рядов температур апреля на станциях

Код станции	Название	Широта	Долгота	$\Delta_{тр},\%$	$\Delta_{ст},\%$	R
4210	Упернавик, Гренландия	72,8	-56,2	1.6	4.1	0.18
4216	Илулиссат, Гренландия	69,2	-51,1	2.8	7	0.24
4231	Кангерлуссуак, Гренландия	67,2	-50,7	3.1	6.6	0.25
4310	Норд, Гренландия	81,5	-16,8	8.6	13.6	0.41
4320	Данмарксхавн, Гренландия	76,8	-18,7	3	5.8	0.24
4330	Данеборг, Гренландия	74,3	-20,2	4.8	10.1	0.31
4339	Иллоккортоормиут, Гренландия	70,5	-21,9	15.6	16.7	0.54
71082	Алерт, Канада	82,5	-62,3	2.8	9.6	0.24
71090	Клайд-Ривер, Канада	70,4	-68,5	3.4	5.9	0.26
71094	Кейп-Дайер, Канада	66,6	-61,6	1.4	4	0.17
71095	Понд-Инлет, Канада	72,6	-77,9	5.6	8.3	0.33
71096	о.Бротон, Канада	67,5	-63,8	3.7	8.2	0.27
71498	Глеичен, Канада	66,1	-96,5	1.4	3.7	0.17
71826	Пангниртунг, Канада	66,2	-65,7	9.4	0.5	0.4
71911	Шеперд-Бея, Канада	68,8	-93,4	4.5	7.4	0.3
71924	Аэропорт Ресольют Бэй, Канада	74,7	-94,9	10.7	16.6	0.45
71925	Кембридж-Бей, Канада	69,1	-105,1	5.9	9.9	0.34

На рис.3.4.2. представлены пространственные распределения отклонений нестационарных моделей от модели стационарной выборки в апреле по трем показателям: $\Delta_{тр}$., $\Delta_{ст}$., R.

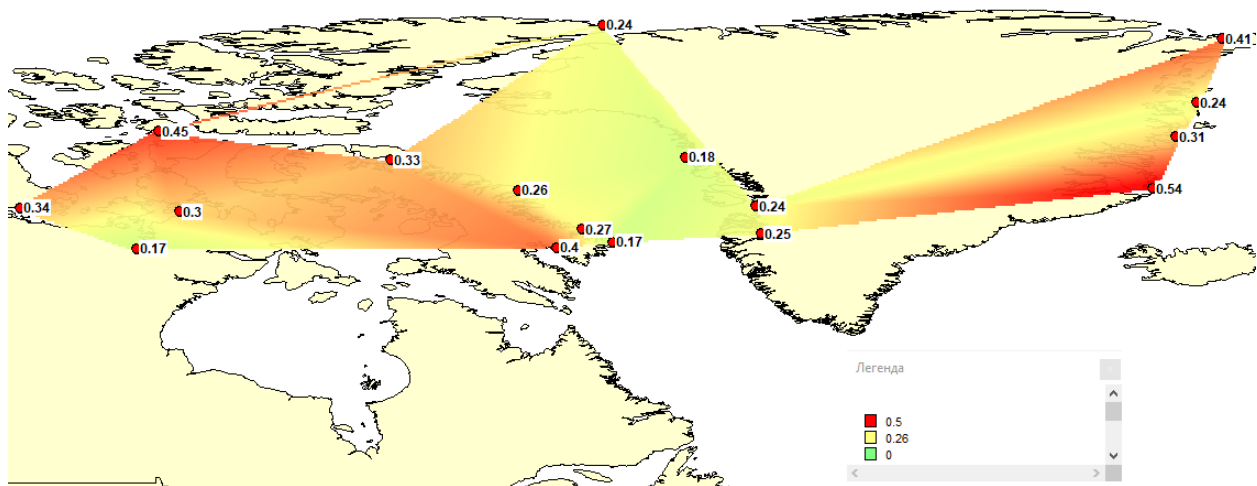
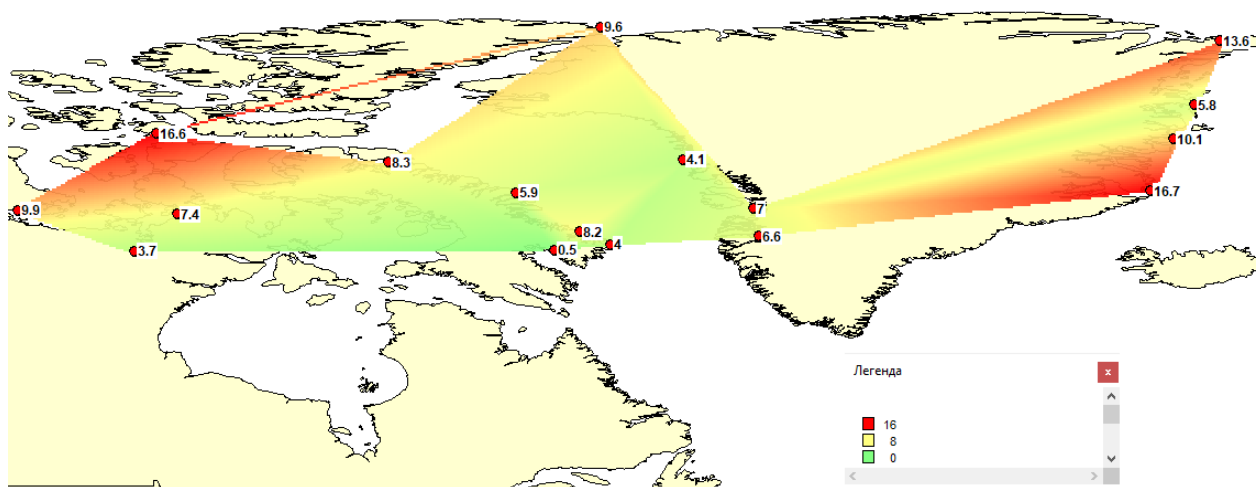
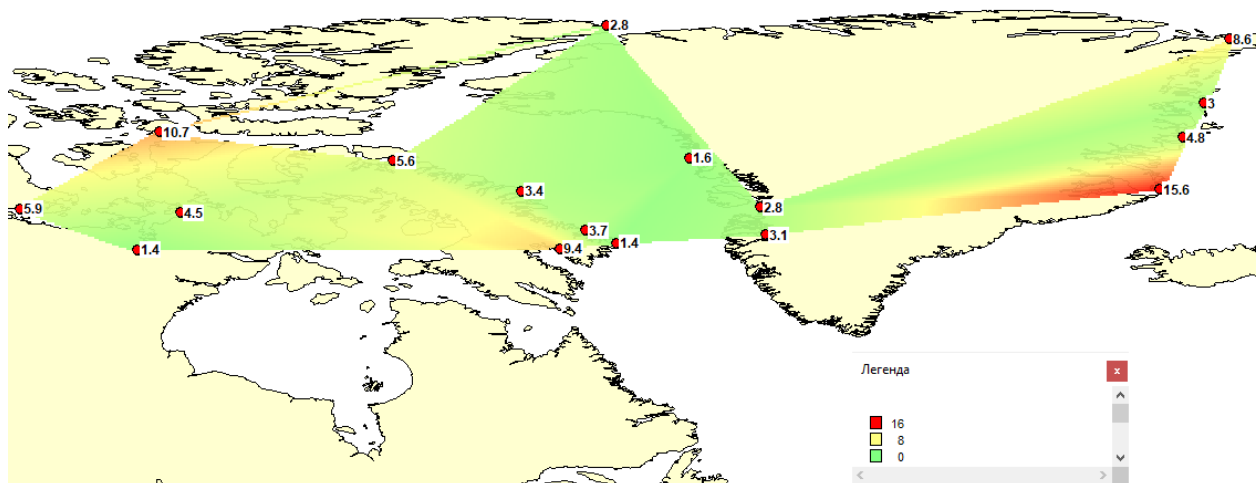


Рисунок 3.4.2. Пространственные распределения отклонений нестационарных моделей от модели стационарной выборки $\Delta \tau$, в % (верхний), $\Delta \sigma$, в % (средний) и коэффициента корреляции (нижний).

Из рисунка 3.4.2 следует, что стационарность наблюдается в апреле месяце в виде модели линейного тренда почти повсеместно, кроме двух

нестационарных станций 4339 (Иллоктортоормиут, Гренландия) и 71924 (Аэропорт Ресольют Бэй, Канада). Для модели ступенчатых изменений уже четыре нестационарные станции 4310 (Норд, Гренландия), 4330 (Данеборг, Гренландия), 4339 (Иллоктортоормиут, Гренландия), 71924 (Аэропорт Ресольют Бэй, Канада). Исходя из этого можно сделать вывод, что нестационарность наблюдается только на северо-западе, северо-востоке и юго-востоке территории данного региона. Максимальные значения $\Delta_{тр, \%}$ и $\Delta_{ст, \%}$ около 17% находятся на островах Канадского архипелага и на побережье континента Гренландии.

Пространственное распределение коэффициента корреляции указывает на то, что бóльшая часть значений $\geq 0,26$, поэтому в апреле незначимых коэффициентов корреляции меньше половины, что составляет 7 станций, на которых коэффициент корреляции в среднем равен 0,21.

3.5. Количественная оценка современного потепления Арктики

Для того, чтобы выявить современное потепление ряды среднемесячных температур в январе и апреле рассматривались с 1960 года, чтобы модели линейного тренда и ступенчатых изменений не показывали предыдущего потепления 1920-1940х годов. Наоборот для выявления предыдущего потепления 1920-1940х годов ряды рассматривались только до 1960 г. Результаты моделирования за эти два интервала времени (с начала наблюдений по 1960 г. и с 1960 г. по последний год наблюдений, например, 2020 г.) приведены в таблицах 3.5.1 и 3.5.2.

Таблица 3.5.1.

Сравнение современного потепления Восточной Арктики Западного полушария с потеплением 1920-1940х годов для температуры января

Код станции	Период	$\Delta t_p, \%$	$\Delta t_c, \%$	Год ступенчатых изменений	Год начала измерений	Год окончания набл-й	Число лет	R
4210	с 1960	1,4	6,7	1997	1960	2012	52	0,16
	до 1960	3,6	11,4	1926	1808	1960	152	0,27
4216	с 1960	0,1	3,0	1996	1960	2010	50	0,03
	до 1960	3,3	9,8	1926	1808	1960	152	0,25
4231	с 1960	0,1	2,6	1996	1960	2020	60	0,04
	до 1960	3,9	11,2	1926	1808	1960	152	0,27
4310	с 1960	7,9	15,6	1998	1960	2018	58	0,39
	до 1960							
4320	с 1960	2,4	0,0	1998	1960	2020	60	0,22
	до 1960							
4330	с 1960	6,5	7,4	2005	1960	2020	60	0,36
	до 1960							
4339	с 1960	13,2	12,8	2004	1960	2020	60	0,50
	до 1960	3,4	8,1	1948	1924	1960	36	0,26
71082	с 1960	0,1	1,7	1983	1960	2006	46	0,04
	до 1960							
71090	с 1960	11,2	18,0	2007	1960	2020	60	0,46
	до 1960							
71094	с 1960	0,2	3,1	2007	1960	2019	59	0,06
	до 1960	3,6	8,7	1939	1923	1960	37	0,26
71095	с 1960	0,4	5,3	1983	1960	2020	60	0,08
	до 1960	4,5	9,3	1939	1923	1960	37	0,30
71096	с 1960	0,1	3,7	2007	1960	2018	58	0,05
	до 1960	3,7	10,6	1939	1923	1960	37	0,27
71498	с 1960	7,7	11,4	1981	1960	2020	60	0,39
	до 1960	0,0	2,9	1949	1904	1960	56	0,01
71826	с 1960	0,2	1,3	1994	1960	2020	60	0,06
	до 1960	11,3	7,4	1943	1926	1960	34	0,46
71911	с 1960	10,5	12,7	2006	1960	2020	60	0,45
	до 1960	4,9	12,6	1946	1936	1960	44	0,31
71924	с 1960	4,5	7,4	2002	1960	2020	60	0,30
	до 1960							
71925	с 1960	3,9	8,6	2002	1960	2020	60	0,28
	до 1960	2,6	7,5	1945	1929	1960	31	0,23
Среднее значение	с 1960	4,1	7,1	2007			57	0,23
	до 1960	3,8	8,3	1939			65	0,25

На рис.3.5.1. представлены временные ряды с характерным выявлением потеплений.

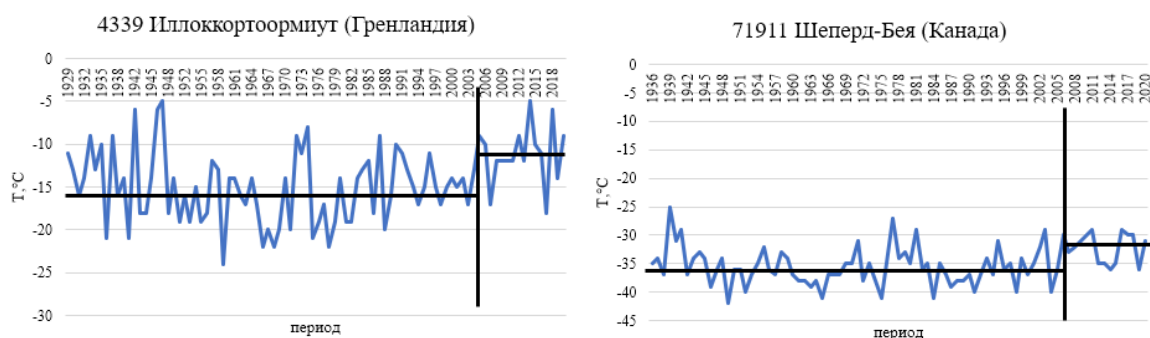


Рисунок 3.5.1. Временные графики температуры января на станциях и их аппроксимация моделью ступенчатых изменений

На графиках прослеживается хорошо выраженный подъем температуры после года ступенчатых изменений. На станции Иллоккортоормиут (Гренландия) среднее потепление после 2004 года составило на целых 4,1°C. Также, на станции Шеперд-Бея (Канада) потепление составило 3,8°C.

Для количественной оценки современного потепления произведен расчет средних температур и их разницы по следующим формулам:

$$\Delta_I = \bar{t}_{1960-2006} \quad (3.8)$$

$$\Delta_{II} = \bar{t}_{2007-2020} \quad (3.9)$$

$$\Delta' = \Delta_{II} - \Delta_I, \quad (3.10)$$

где Δ_I – средняя многолетняя температура за стационарный период, предшествующий современному потепления (за 1960-2006 гг.), Δ_{II} – средняя многолетняя температура современного периода потепления (2007-2020 гг.), Δ' – разность средних температур, характеризующая количественную оценку современного потепления.

Результаты расчетов представлены в таблице 3.5.2. для января месяца. Также на основе данных таблицы построено пространственное распределение Δ' .

Получившееся пространственное распределение показывает разницу между Δ_{II} и Δ_I .

Таблица 3.5.2.

Количественная оценка современного потепления Восточной Арктики Западного полушария для температур января в °С.

Код станции	Название	Широта	Долгота	Δ_I	Δ_{II}	Δ'
4210	Упернавик, Гренландия	72,8	-56,2	-17,6	-15,0	2,6
4216	Илулиссат, Гренландия	69,2	-51,1	-13,5	-12,1	1,4
4231	Кангерлуссуак, Гренландия	67,2	-50,7	-19,2	-17,7	1,5
4310	Норд, Гренландия	81,5	-16,8	-29,8	-26,8	3,0
4320	Данмарксхавн, Гренландия	76,8	-18,7	-22,7	-20,9	1,8
4330	Данеборг, Гренландия	74,3	-20,2	-19,8	-17,6	2,2
4339	Иллоккортоормиут, Гренландия	70,5	-21,9	-15,3	-11,4	3,9
71090	Клайд-Ривер, Канада	70,4	-68,5	-27,9	-25,6	2,3
71094	Кейп-Дайер, Канада	66,6	-61,6	-23,8	-21,6	2,2
71095	Понд-Инлет, Канада	72,6	-77,9	-32,0	-30,4	1,6
71096	о.Бротон, Канада	67,5	-63,8	-24,8	-22,9	1,9
71498	Глеичен, Канада	66,1	-96,5	-11,4	-8,2	3,2
71826	Пангниртунг, Канада	66,2	-65,7	-23,7	-23,5	0,2
71911	Шеперд-Бей, Канада	68,8	-93,4	-35,9	-32,3	3,6
71924	Аэропорт Ресольют Бэй, Канада	74,7	-94,9	-32,1	-30,1	2,0
71925	Кембридж-Бей, Канада	69,1	-105,1	-33,0	-30,4	2,6
Среднее значение				-23,9	-21,7	2,3

Исходя из данных таблицы 3.5.2, получается, что средняя температура января в период с 1960 по 2006 составила $-23,9^{\circ}\text{C}$, а за период с 2007 по 2020 гг. составила $-21,7^{\circ}\text{C}$. Таким образом, среднее потепление по территории исследования в январе составило $2,3^{\circ}\text{C}$.

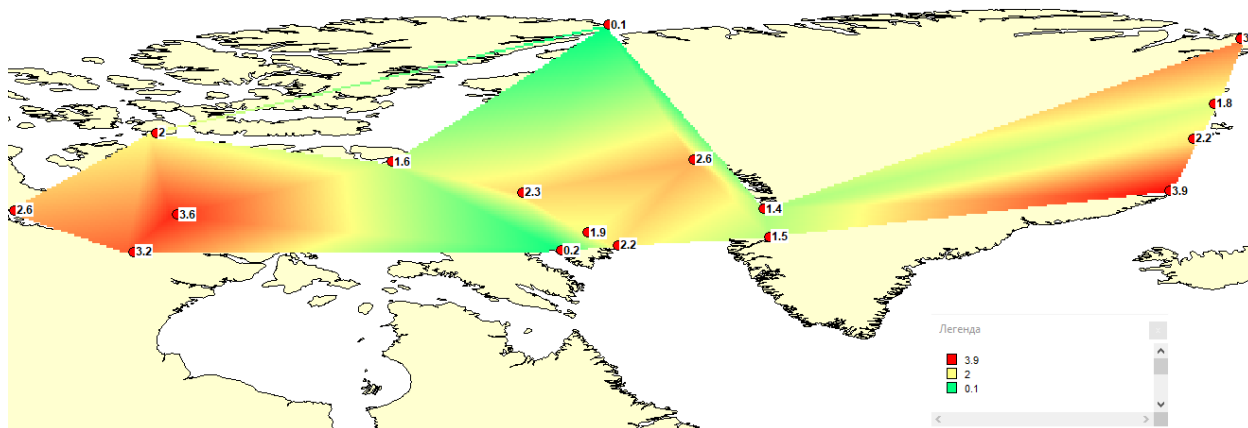


Рисунок 3.5.2. Пространственное распределение разницы температур января

Анализируя данный рисунок, можно сделать вывод, что значительное потепление в апреле наблюдаются на восточной и западной частях исследуемой территории, в среднем на $2,5^{\circ}\text{C}$.

Таблица 3.5.3.

Количественная оценка современного потепления Восточной Арктики Западного полушария для температур апреля в $^{\circ}\text{C}$.

Код станции	Период	$\Delta_{тр},\%$	$\Delta_{ст},\%$	Год ступенчатых изменений	Год начала измерений	Год окончания набл-ний	Число лет	R
4210	с 1960	1,6	4,1	1994	1960	2012	52	0,18
	до 1960	0,6	3,1	1920	1808	1960	152	0,11
4216	с 1960	2,8	7,0	1998	1960	2020	60	0,24
	до 1960	0,1	2,5	1922	1808	1960	152	0,04
4231	с 1960	3,1	6,6	1994	1960	2020	60	0,25
	до 1960	0,4	3,2	1922	1808	1960	152	0,09
4310	с 1960	8,6	13,6	1987	1960	2020	58	0,41
	до 1960							
4320	с 1960	3,0	5,8	1987	1960	2020	60	0,24
	до 1960							
4330	с 1960	4,8	10,1	1987	1960	2020	60	0,31

	до 1960							
4339	с 1960	15,6	16,7	1986	1960	2020	60	0,54
	до 1960	13,1	16,4	1950	1924	1960	36	0,49
71082	с 1960	2,8	9,6	1988	1960	2006	46	0,24
	до 1960							
71090	с 1960	3,4	5,9	1994	1960	2020	60	0,26
	до 1960	0,3	0,7	1950	1923	1960	37	0,01
71094	с 1960	1,4	4,0	1994	1960	2020	60	0,17
	до 1960	0,2	0,8	1945	1923	1960	37	0,07
71095	с 1960	5,6	8,3	1988	1960	2020	60	0,33
	до 1960	0,7	1,2	1945	1923	1960	37	0,12
71096	с 1960	3,7	8,2	1994	1960	2020	60	0,27
	до 1960	1,5	2,0	1945	1923	1960	37	0,17
71498	с 1960	1,4	3,7	1995	1960	2020	60	0,17
	до 1960	0,6	5,3	1950	1904	1960	56	0,11
71826	с 1960	9,4	0,5	1996	1960	2020	60	0,4
	до 1960	4,2	9,0	1944	1926	1960	34	0,50
71911	с 1960	4,5	7,4	1995	1960	2020	60	0,30
	до 1960	21,8	0,0	1944	1932	1960	28	0,62
71924	с 1960	10,7	16,6	1988	1960	2020	60	0,45
	до 1960	3,0	0,0	1944	1932	1960	28	0,24
71925	с 1960	5,9	9,9	1975	1960	2020	60	0,34
	до 1960	0,1	0,5	1942	1929	1960	31	0,05
Среднее значение	с 1960	5,2	8,1	1988 1994			58	0,30
	до 1960	4,9	3,0	1945			56	0,24

На рис.3.5.3. представлены временные ряды с характерным выявлением потеплений.

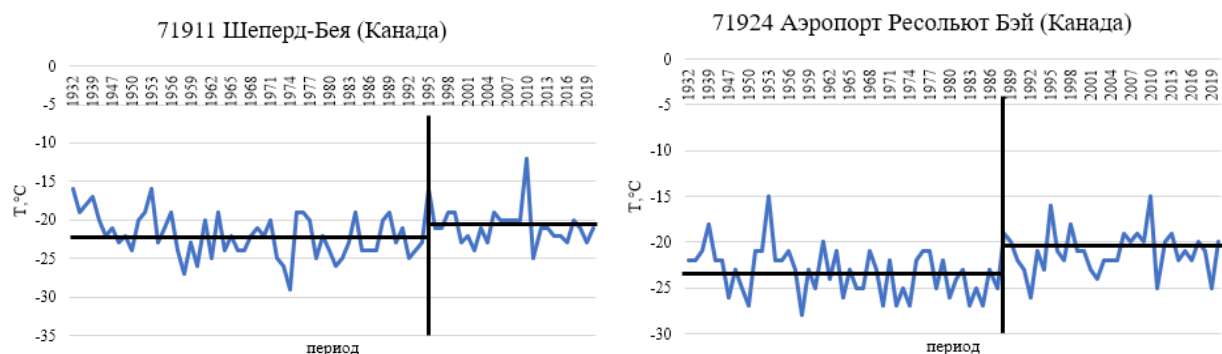


Рисунок 3.5.3. Временные графики температуры апреля на станциях и их аппроксимация моделью ступенчатых изменений

На графиках прослеживается хорошо выраженный подъем температуры после года ступенчатых изменений. На станции Шеперд-Бей (Канада) среднее потепление после 1995 года составило на 1,2°C. Также, на станции Аэропорт Ресольют Бэй (Канада) потепление составило уже 2,7°C.

Для количественной оценки современного потепления и естественного потепления 1960-2020 произведен расчет разницы температур по следующим формулам:

$$\Delta_I = \bar{t}_{1960-1988} \quad (3.11)$$

$$\Delta_{II} = \bar{t}_{1989-2020} \quad (3.12)$$

$$\Delta' = \Delta_{II} - \Delta_I, \quad (3.13)$$

где Δ_I – средняя многолетняя температура за стационарный период, предшествующий современному потепления (за 1960-1988 гг.), Δ_{II} – средняя многолетняя температура современного периода потепления (1989-2020 гг.), Δ' – разность средних температур, характеризующая количественную оценку современного потепления.

Результаты расчетов представлены в таблице 3.5.4. для температуры апреля. Также на основе данных таблицы построено пространственное распределение Δ' .

Получившееся пространственное распределение показывает разницу между Δ_{II} и Δ_I .

Таблица 3.5.4.

Количественная оценка современного потепления Восточной Арктики Западного полушария для температур апреля в °С.

Код станции	Название	Широта	Долгота	Δ_I	Δ_{II}	Δ'
4210	Упернавик, Гренландия	72,8	-56,2	-13,7	-12,8	0,9

4216	Илулиссат, Гренландия	69,2	-51,1	-8,1	-7,3	0,8
4231	Кангерлуссуак, Гренландия	67,2	-50,7	-8,1	-6,6	1,5
4310	Норд, Гренландия	81,5	-16,8	-23,5	-21,0	2,5
4320	Данмарксхавн, Гренландия	76,8	-18,7	-17,4	-15,9	1,5
4330	Данеборг, Гренландия	74,3	-20,2	-14,9	-12,9	2,0
4339	Иллоккортоормиут, Гренландия	70,5	-21,9	-11,2	-8,6	2,6
71082	Алерт, Канада	82,5	-62,3	-25,6	-23,6	2,0
71090	Клайд-Ривер, Канада	70,4	-68,5	-19,0	-18,1	0,9
71094	Кейп-Дайер, Канада	66,6	-61,6	-15,8	-14,8	1,0
71095	Понд-Инлет, Канада	72,6	-77,9	-22,3	-20,7	1,6
71096	о.Бротон, Канада	67,5	-63,8	-17,1	-15,5	1,6
71911	Шеперд-Бей, Канада	68,8	-93,4	-22,9	-21,1	1,8
71924	Аэропорт Ресольют Бэй, Канада	74,7	-94,9	-23,8	-21,1	2,7
71925	Кембридж-Бей, Канада	69,1	-105,1	-22,4	-20,4	2,0
Среднее значение				-17,7	-16,0	1,7

Исходя из полученных данных таблицы 3.5.4, следует, что средняя температура апреля в период с 1960 по 1988 составила $-17,7^{\circ}\text{C}$. А за период с 1989 по 2020 составило $-16,0^{\circ}\text{C}$. Таким образом, среднее потепление по территории исследования в апреле составило $1,7^{\circ}\text{C}$.

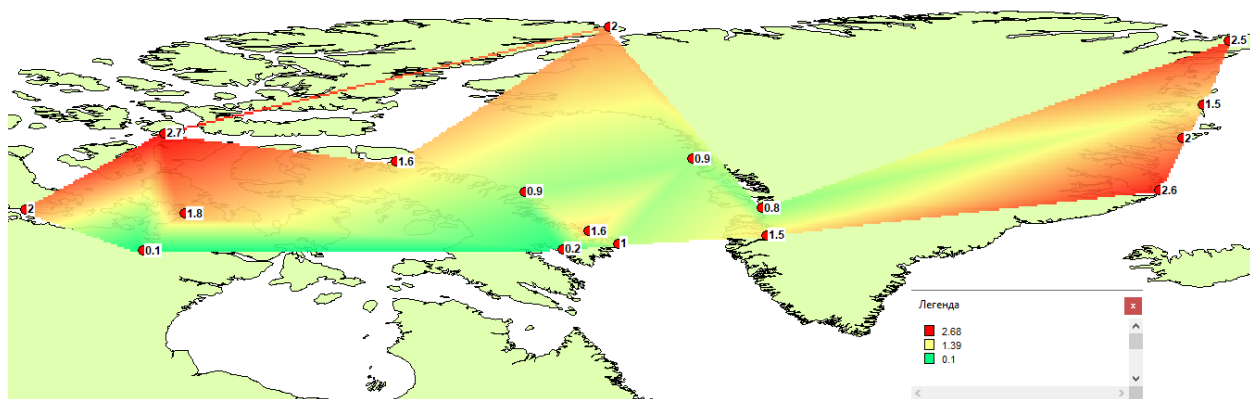


Рисунок 3.5.4. Пространственное распределение разницы температур апреля

Анализируя рис.3.5.4., можно сделать вывод, что значительное потепление в апреле наблюдается на северо-западной и по всей восточной части, в среднем на 2,5°C.

Глава 4. Оценка проявлений современных климатических изменений в теплое полугодие (лето – осень)

4.1 Результаты моделирования временных рядов в пунктах наблюдений

На основе методики раздела 3.1 были произведены расчеты характеристик стационарной и нестационарной моделей для среднемесячных температур теплого сезона (июль и октябрь месяцы) года на 17 метеостанциях.

Результаты расчетов по моделям временных рядов для июля и октября приведены в таблицах 4.1.1 и 4.1.2, где жирным шрифтом выделены случаи нестационарных моделей при $\Delta > 10\%$ и статистики критерия Фишера (Fтр. и Fст.), превышающие критические при уровне значимости 5%, а также статистически значимые коэффициенты уравнений линейного тренда R. В таблицах также обозначены: Год ст.- год перехода от одной стационарной части ряда к другой по модели ступенчатых изменений; Год Н., Год. К. – годы начала и окончания наблюдений, n – количество лет наблюдений; R – коэффициент корреляции модели линейного тренда.

Таблица 4.1.1

Результаты оценки эффективности нестационарных моделей для
многолетних рядов температур июля на станциях

Код	$\Delta_{тр},\%$	$\Delta_{ст},\%$	Fтр	Fст	Tст	Tнач	Tк	n	R
4210	2,3	4,3	1,05	1,09	1926	1875	2012	132	0,22

4216	2,4	4,1	1,05	1,09	1926	1808	2010	178	0,22
4231	1,7	4,5	1,04	1,10	2007	1942	2020	77	0,19
4310	4,8	10,9	1,10	1,26	2001	1952	2017	61	0,31
4320	9,5	10,7	1,22	1,25	1987	1949	2020	71	0,42
4330	11,1	13,8	1,26	1,34	1988	1946	2020	57	0,46
4339	0,0	16,8	1,00	1,44	1950	1925	2020	91	0,03
71082	1,4	6,3	1,03	1,14	1963	1950	2006	57	-0,17
71090	3,8	9,4	1,08	1,22	2000	1943	2020	78	0,27
71094	0,1	1,9	1,00	1,04	1995	1956	2019	59	-0,05
71095	21,5	21,1	1,62	1,61	1984	1923	2020	72	0,62
71096	10,2	13,3	1,24	1,33	1990	1959	2017	57	0,44
71498	3,4	5,4	1,07	1,12	1966	1904	2020	113	-0,26
71826	5,8	28,1	1,13	1,93	1993	1931	2020	82	-0,33
71911	4,1	7,0	1,09	1,16	1993	1957	2020	63	0,29
71924	1,5	6,6	1,03	1,15	2007	1947	2020	74	0,17
71925	2,4	5,6	1,05	1,12	1993	1929	2020	88	0,22
Среднее значение	5,0	9,9	1,12	1,25	1993			83	0,18

Из результатов таблицы 4.1.1 следует, что из 17 рядов наблюдений температур июля нестационарными при $\Delta > 10\%$ являются 3 ряда с моделью линейного тренда и 7 рядов с моделью ступенчатых изменений. Статистически значимых по критерию Фишера при уровне значимости 5% нет. Статистически значимыми коэффициентами корреляции, при значении $R > 0,26$, являются 7 рядов. Примеры графиков временных рядов нестационарных моделей приведены на рисунке 4.1.1.

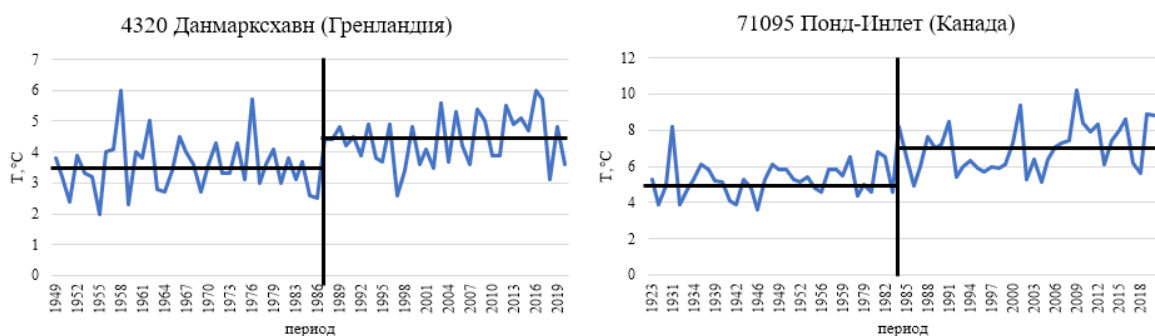


Рисунок 4.1.1. Графики временных рядов нестационарных моделей температур июля

На графиках прослеживается хорошо выраженный подъем температуры после года ступенчатых изменений. На станции Данмарксхавн (Гренландия) среднее потепление после 1987 года составило всего 0,8°C, а на станции Понд-Инлет (Канада) потепление составило на 1,7°C.

Таблица 4.1.2

Результаты оценки эффективности нестационарных моделей для
многолетних рядов температур октября на станциях

Код	$\Delta_{тр},\%$	$\Delta_{ст},\%$	F _{тр}	F _{ст}	T _{ст}	T _{нач}	T _к	n	R
4210	0,2	1,5	1,00	1,03	1892	1873	2012	135	0,07
4216	3,4	4,3	1,07	1,09	1875	1807	2010	189	0,26
4231	0,0	1,2	1,00	1,03	1961	1942	2020	76	-0,03
4310	7,1	17,1	1,16	1,46	2001	1952	2017	62	0,37
4320	7,7	15,0	1,17	1,38	2001	1949	2020	71	0,38
4330	11,5	18,9	1,28	1,52	1998	1945	2020	56	0,47
4339	0,3	4,9	1,01	1,10	1999	1925	2020	92	0,08
71082	3,2	4,6	1,07	1,10	1991	1950	2005	56	0,25
71090	0,6	5,5	1,01	1,12	2002	1943	2020	77	0,11
71094	1,9	7,6	1,04	1,17	2003	1956	2019	58	0,19
71095	3,8	11,8	1,08	1,29	2002	1922	2020	71	0,27
71096	7,3	10,2	1,16	1,24	2001	1959	2017	57	0,37
71498	0,3	1,6	1,01	1,03	1990	1903	2020	114	-0,08
71826	4,4	15,5	1,09	1,40	1995	1930	2020	83	-0,29
71911	9,7	10,3	1,23	1,24	1992	1957	2020	62	0,43
71924	10,2	18,3	1,24	1,50	2002	1947	2020	74	0,44
71925	4,9	10,0	1,11	1,24	2006	1930	2020	89	0,31
Среднее значение	4,5	9,31	1,10	1,23	2002			83	0,21

Из результатов таблицы 4.1.2 следует, что из 17 рядов наблюдений температур октября нестационарными при $\Delta > 10\%$ являются 2 ряда с моделью линейного тренда и 9 рядов с моделью ступенчатых изменений. Статистически значимых по критерию Фишера при уровне значимости 5% нет. Статистически значимыми коэффициентами корреляции, при значении $R > 0,26$, являются 9 рядов. Примеры графиков временных рядов нестационарных моделей приведены на рисунке 4.1.2.

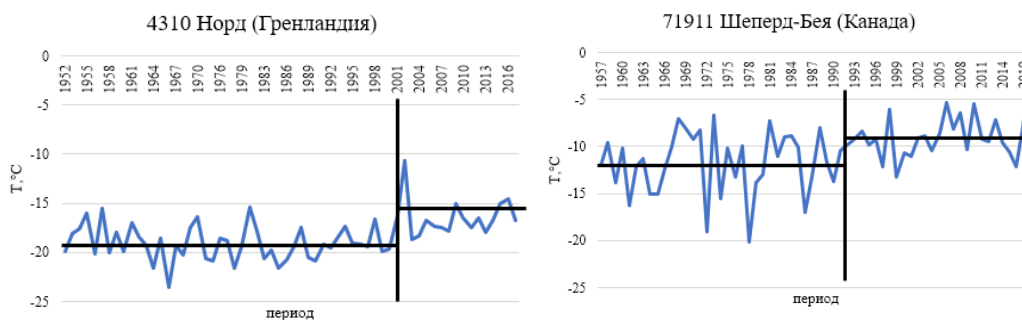


Рисунок 4.1.2. Графики временных рядов нестационарных моделей температур октября и их аппроксимация моделью ступенчатых изменений

На графиках прослеживается хорошо выраженный подъем температуры после года ступенчатых изменений. На станции Норд (Гренландия) среднее потепление после 2001 года составило $2,5^{\circ}\text{C}$, на станции Шеперд-Бея (Канада) потепление составило на $2,8^{\circ}\text{C}$.

4.2. Оценка устойчивости во времени показателей нестационарности

Чтобы оценить стабильность показателей нестационарности во времени, используя программу TIMOD1, были выбраны ряды наблюдений с началом в 1900, 1920, 1940 и 1960 годах и до конца наблюдений. Результаты исследования временной стабильности нестационарных показателей за июль и октябрь приведены в таблицах 3 и 4 приложения.

Анализируя данные по июлю месяцу в таблице 3, можно сделать вывод, что показатели нестационарности стабильны, поскольку при рассмотрении данных с 1960 года по последний год измерений, показатель нестационарности для некоторых станций указывает на то, что в летние месяцы изменения температуры незначительны и ряды наблюдений в июле являются стационарными. Однако, на всех станциях из 17 рядов наблюдений температур июля нестационарными при $\Delta > 10\%$, начиная с 1960 года, для модели ступенчатых изменений и модели линейного тренда являются всего 3

станции, а именно 4330 (Данеборг, Гренландия), 71095 (Понд-Инлет, Канада), 71096 (о.Бротон, Канада).

Анализируя данные в октябрьской таблице 4, можно сделать вывод, что показатель нестациональности нестабилен, поскольку при рассмотрении данных с 1960 года, показатель нестационарности для всех метеостанций уменьшился. Также видно, что на 4х станциях из 17 пунктов наблюдений, начиная с 1960 года температура нестационарна при $\Delta > 10\%$.

4.3. Пространственные обобщения показателей нестационарности

Для того, чтобы оценить области наибольшей нестационарности для линейной модели тренда и ступенчатых изменений среднего рассматривались показатели нестационарности Δ за период с 1960 по последний год наблюдений. Именно этот период в Восточной Арктике Западного полушария связан с современным потеплением, которое не учитывает естественное потепление середины 20-го века.

В таблицах 4.3.1 и 4.3.2 показаны результаты расчетов по моделям линейного тренда ($\Delta_{тр}$) и ступенчатых изменений ($\Delta_{ст}$) временных рядов за июль и октябрь месяцы. Для обобщения рассчитанных параметров были построены пространственные распределения отклонений нестационарных моделей от модели стационарной выборки в процентах ($\Delta_{тр}$ и $\Delta_{ст}$) и коэффициента корреляции для температуры июля и октября, показанные на рисунках 4.3.1 и 4.3.2.

Таблица 4.3.1.

Показатели нестационарности температур июля на станциях.

Код станции	Название	Широта	Долгота	$\Delta_{тр},\%$	$\Delta_{ст},\%$	R
4210	Упернавик, Гренландия	72,8	-56,2	2,7	2,3	0,23
4216	Илулиссат, Гренландия	69,2	-51,1	5,5	6,8	0,33
4231	Кангерлуссуак, Гренландия	67,2	-50,7	0,6	4,2	0,11

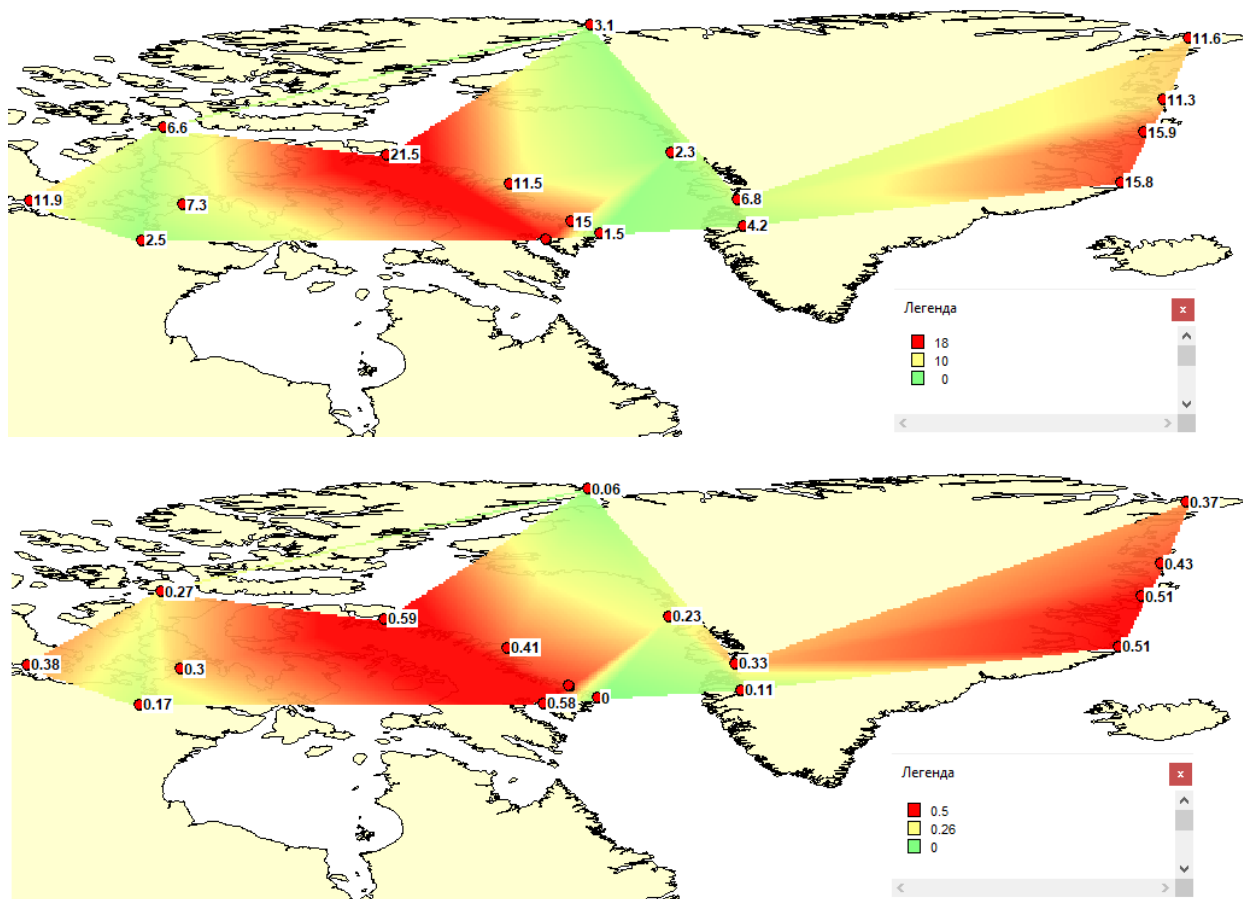


Рисунок 4.3.1. Пространственные распределения отклонений нестационарных моделей от модели стационарной выборки Δt_r в % (верхний), Δs_t в % (средний) и коэффициента корреляции (нижний).

Анализируя пространственные распределения, можно сделать вывод, что Восточная Арктика стационарна, а нестационарность наблюдается на восточном побережье Канадского архипелага и восточном побережье Гренландии, а именно на станциях 4330 (Данеборг, Гренландия), 71095 (Понд-Инлет, Канада), 71096 (о.Бротон, Канада), 71826 (Пангниртунг, Канада) для модели линейного тренда. А для модели ступенчатых изменений добавляются еще 5 станций, такие как 4310 (Норд, Гренландия), 4320 (Данмарксхавн, Гренландия), 4339 (Иллоккортоормиут, Гренландия), 71090 (Клайд-Ривер, Канада), 71925 (Кембридж-Бей, Канада).

В пространственном распределении значений коэффициента корреляции хорошо видно разделение региона исследования на две части. Коэффициенты

корреляций, значения которых больше 0,26, находятся на территории Канадского архипелага и побережьях Гренландии, а менее незначимые – в центральной части исследуемой территории, кроме одной станции находящейся на юго-западе 71498 (Глеичен, Канада).

Исходя из этого распределения, получается, что летом современное потепление наблюдается только на станциях расположенных на побережье Гренландии и Канадского архипелага. Данное распределение в летний период прямо противоположно зимнему периоду. В связи с этим, фактор, влияющий на локальное потепление зимой и летом будет различаться.

Аналогичные результаты моделирования для температуры октября представлены в табл.4.3.2 и на рис.4.3.2.

Таблица 4.3.2.

Показатели нестационарности температур октября на станциях.

Код станции	Название	Широта	Долгота	$\Delta_{тр},\%$	$\Delta_{ст},\%$	R
4210	Уперनावик, Гренландия	72,8	-56,2	0.3	2.1	0.07
4216	Илулиссат, Гренландия	69,2	-51,1	0.4	2.6	0.09
4231	Кангерлуссуак, Гренландия	67,2	-50,7	0.1	1.2	0.04
4310	Норд, Гренландия	81,5	-16,8	12.7	18.9	0.49
4320	Данмарксхавн, Гренландия	76,8	-18,7	11.5	17.3	0.47
4330	Данеборг, Гренландия	74,3	-20,2	14.8	17.7	0.52
4339	Иллоккортоормиут, Гренландия	70,5	-21,9	10.2	12.7	0.44
71082	Алерт, Канада	82,5	-62,3	2.9	4.6	0.24
71090	Клайд-Ривер, Канада	70,4	-68,5	2.6	7.9	0.23
71094	Кейп-Дайер, Канада	66,6	-61,6	1.5	5.8	0.17
71095	Понд-Инлет, Канада	72,6	-77,9	7.9	11.3	0.39
71096	о.Бротон, Канада	67,5	-63,8	6.4	9.8	0.35
71498	Глеичен, Канада	66,1	-96,5	5.5	5.6	0.33
71826	Пангниртунг, Канада	66,2	-65,7	13.8	15.7	0.49
71911	Шеперд-Бей, Канада	68,8	-93,4	8.4	9.5	0.4
71924	Аэропорт Ресольют Бэй, Канада	74,7	-94,9	14.2	20.9	0.51

71925	Кембридж-Бей, Канада	69,1	-105,1	9.7	13.3	0.43
-------	-------------------------	------	--------	-----	-------------	-------------

На рис.4.3.2. представлены пространственные распределения отклонений нестационарных моделей от модели стационарной выборки в октябре по трем показателя: $\Delta tr.$, $\Delta st.$, $R.$

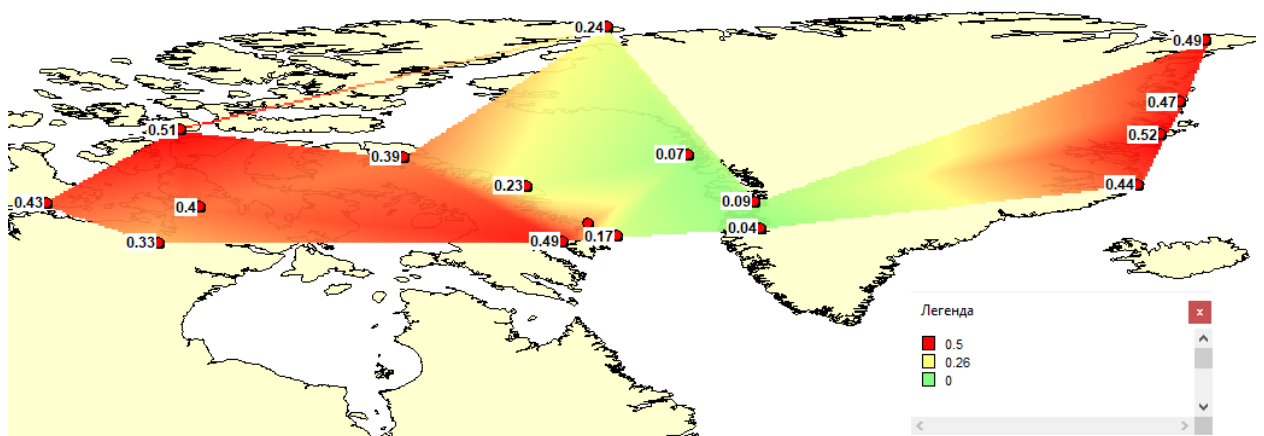
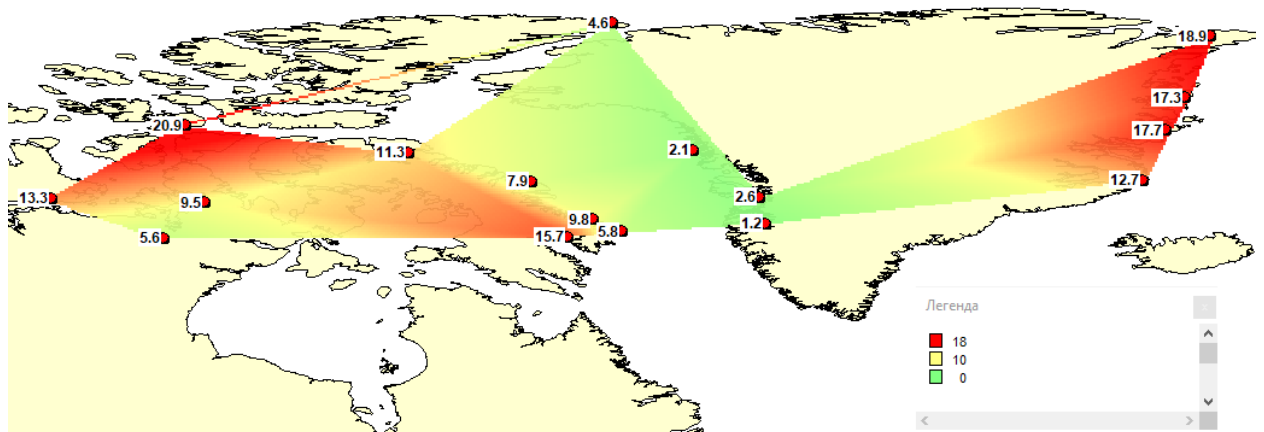
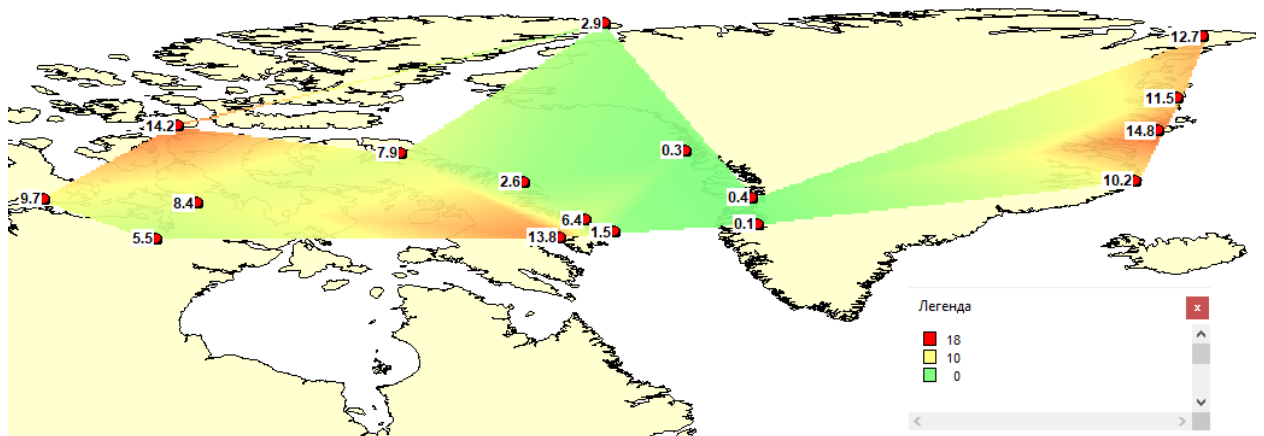


Рисунок 4.3.2. Пространственные распределения отклонений нестационарных моделей от модели стационарной выборки $\Delta_{тр.}$ в % (верхний), $\Delta_{ст.}$ в % (средний) и коэффициента корреляции (нижний).

Из рис.4.3.2. видно, что стационарность в октябре месяце наблюдается в основном на территории западного побережья Гренландии и восточного побережья Канадского архипелага, к ним же относятся два станции на юго-западе исследуемой территории в модели линейного тренда, а для модели ступенчатых изменений – 6 станций (4210 Упернавик, 4216 Илулиссат, 4231 Кангерлуссуак; 71082 Алерт, 71090 Клайд-Ривер, 71094 Кейп-Дайер). Исходя из этого можно сделать вывод, что нестационарность наблюдается в основном на западе и востоке территории данного региона. Максимальные значения $\Delta_{тр.}$ в % и $\Delta_{ст.}$ в % находятся на островах Канадского архипелага и на восточном побережье Гренландии.

Малозначимые значения коэффициента корреляции расположены в центральной части исследуемого региона, а именно по западному побережью Гренландии.

4.4. Количественная оценка современного потепления Арктики

Для того, чтобы выявить современное потепление ряды среднемесячных температур в январе и апреле рассматривались с 1960 года, чтобы модели линейного тренда и ступенчатых изменений не показывали предыдущего потепления 1920-1940х годов. Наоборот для выявления предыдущего потепления 1920-1940х годов ряды рассматривались только до 1960 г. Результаты моделирования за эти два интервала времени (с начала наблюдений по 1960 г. и с 1960 г. по последний год наблюдений, например, 2020 г.) приведены в таблицах 4.4.1 и 4.4.2.

Таблица 4.4.1.

Сравнение современного потепления Восточной Арктики Западного полушария с потеплением 1920-1940х годов для температуры июля

Код станции	Период	$\Delta t_{тр},\%$	$\Delta t_{ст},\%$	Год ступенчатых изменений	Год начала измерений	Год окончания набл-ний	Число лет	R
4210	с 1960	2,7	2,3	1975	1960	2012	52	0,23
	до 1960	5,7	10,1	1926	1875	1960	85	0,33
4216	с 1960	5,5	6,8	1998	1960	2012	52	0,33
	до 1960	0,3	3,0	1926	1808	1960	152	0,07
4231	с 1960	0,6	4,2	2007	1960	2020	60	0,11
	до 1960	11,3	0,0	1926	1942	1960	18	0,46
4310	с 1960	7,1	11,6	2002	1960	2017	57	0,37
	до 1960							
4320	с 1960	9,9	11,3	2003	1960	2020	60	0,43
	до 1960							
4330	с 1960	14,0	15,9	1988	1960	2020	60	0,51
	до 1960							
4339	с 1960	3,8	15,8	1982	1960	2020	60	0,51
	до 1960	4,9	16,0	1950	1925	1960	35	0,52
71082	с 1960	0,2	3,1	1970	1960	2006	46	0,06
	до 1960							
71090	с 1960	8,6	11,5	2000	1960	2020	60	0,41
	до 1960	1,3	0,0	1950	1943	1960	37	0,16
71094	с 1960	0,0	1,5	1995	1960	2019	59	0,00
	до 1960							
71095	с 1960	19,2	21,5	1981	1960	2020	60	0,59
	до 1960	3,6	6,8	1948	1923	1960	37	0,26
71096	с 1960	11,4	15,0	1990	1960	2020	60	0,46
	до 1960	10,6	0,0	1948	1943	1960	37	0,45
71498	с 1960	1,5	2,5	1990	1960	2020	60	0,17
	до 1960	1,1	5,9	1914	1904	1960	56	0,15
71826	с 1960	16,8	18,3	1993	1960	2020	60	0,58
	до 1960	10,5	18,3	1944	1931	1960	34	0,56
71911	с 1960	4,7	7,3	1993	1960	2020	60	0,30
	до 1960							
71924	с 1960	3,6	6,6	2007	1960	2020	60	0,27
	до 1960							
71925	с 1960	7,5	11,9	1988	1960	2020	60	0,38
	до 1960	0,3	4,1	1943	1929	1960	31	0,08
Среднее значение	с 1960	6,9	9,8	2000	1960	2020	58	0,34
	до 1960	5,0	6,4	1948	1931	1960	52	0,30

На рис.4.4.1. представлены временные ряды с характерным выявлением потеплений.

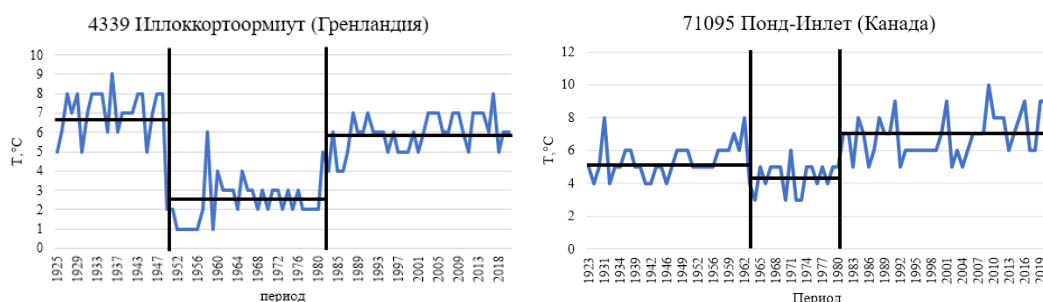


Рис. 4.4.1. - Временные графики температуры июля на станциях наблюдения

На графиках в июле месяце хорошо выражены оба потепления (естественное и современное). На станции Иллоккортоормиут (Гренландия) температура современного потепления на 0,8 град. ниже естественного. Также, на станции Шеперд-Бей (Канада) потепление составило на 2,8°C.

Для количественной оценки современного потепления и естественного потепления 1960-2020 произведен расчет разницы температур по следующим формулам:

$$\Delta_I = \bar{t}_{1960-1993} \quad (4.1)$$

$$\Delta_{II} = \bar{t}_{1994-2020} \quad (4.2)$$

$$\Delta' = \Delta_{II} - \Delta_I, \quad (4.3)$$

где Δ_I – средняя многолетняя температура за стационарный период, предшествующий современному потепления (за 1960-1993 гг.), Δ_{II} – средняя многолетняя температура современного периода потепления (1994-2020 гг.), Δ' – разность средних температур, характеризующая количественную оценку современного потепления.

Результаты расчетов представлены в таблице 3.5.4. для температуры апреля. Также на основе данных таблицы построено пространственное распределение Δ' .

Получившееся пространственное распределение показывает разницу между Δ_{II} и Δ_I .

Таблица 4.4.2.

Количественная оценка современного потепления Восточной Арктики Западного полушария для температур июля в °С на станциях.

Код станции	Название	Широта	Долгота	Δ_I	Δ_{II}	Δ'
4210	Упернавик, Гренландия	72,8	-56,2	5,4	6,2	0,8
4216	Илулиссат, Гренландия	69,2	-51,1	7,7	8,4	0,7
4231	Кангерлуссуак, Гренландия	67,2	-50,7	10,9	11,3	0,4
4310	Норд, Гренландия	81,5	-16,8	3,6	4,4	0,8
4320	Данмарксхавн, Гренландия	76,8	-18,7	3,8	4,5	0,7
4330	Данеборг, Гренландия	74,3	-20,2	4,1	5,2	1,1
4339	Иллоктортоормиут, Гренландия	70,5	-21,9	3,7	6,1	2,4
71090	Клайд-Ривер, Канада	70,4	-68,5	4,3	5,3	1
71095	Понд-Инлет, Канада	72,6	-77,9	5,5	7,0	1,5
71096	о.Бротон, Канада	67,5	-63,8	4,7	6,2	1,5
71911	Шеперд-Бея, Канада	68,8	-93,4	7,8	9,0	1,2
71924	Аэропорт Ресольют Бэй, Канада	74,7	-94,9	4,2	4,9	0,7
71925	Кембридж-Бей, Канада	69,1	-105,1	8,0	9,4	1,4
Среднее значение				5,7	6,8	1,1

Исходя из данных таблицы 4.4.2, получено, что средняя температура июля в период с 1960 по 1993 составила 5,7°С, а за период с 1994 по 2020 гг. составила 6,8°С. Таким образом, среднее потепление по территории исследования в июле составило 1,1°С.

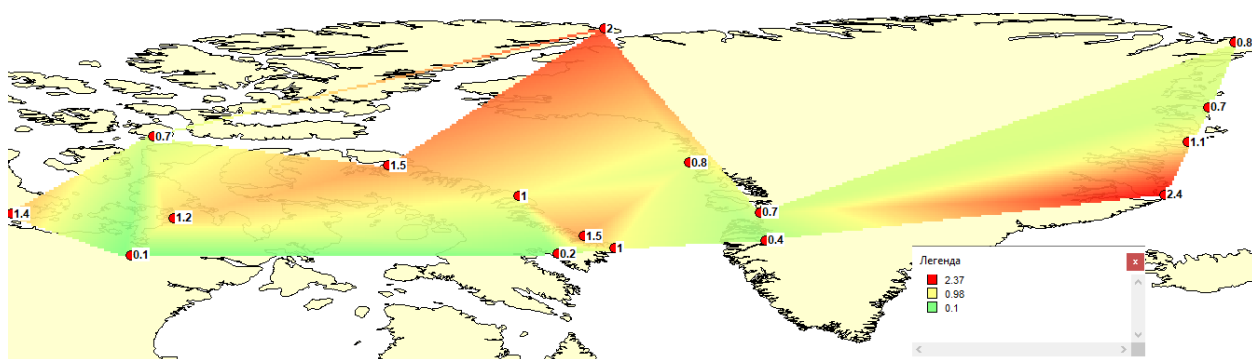


Рисунок 4.4.2. Пространственное распределение разницы температур июля

Анализируя рис.4.4.2., можно сделать вывод, что значительное потепление наблюдается в основном на северной и юго-западной частях исследуемого региона. Максимальные значения потепления наблюдаются на станциях Алерт (71082) и Иллоктортоормиут (4339) и составляют соответственно 2-2,4°C.

Таблица 4.4.3.

Сравнение современного потепления Восточной Арктики Западного полушария с потеплением 1920-1940х годов для температуры октября

Код станции	Период	$\Delta t_{гр}, \%$	$\Delta t_{ст}, \%$	Год ступенчатых изменений	Год начала измерений	Год окончания набл-ний	Число лет	R
4210	с 1960	0,3	2,1	1997	1960	2012	52	0,07
	до 1960	1,7	3,0	1892	1873	1960	87	0,19
4216	с 1960	0,4	2,6	1991	1960	2020	60	0,09
	до 1960	4,3	5,0	1840	1807	1960	153	0,29
4231	с 1960	0,1	1,2	1991	1960	2020	60	0,04
	до 1960	3,9	4,8	1840	1807	1960	153	0,28
4310	с 1960	12,7	18,9	2001	1960	2020	60	0,49
	до 1960							
4320	с 1960	11,5	17,3	2001	1960	2020	60	0,47
	до 1960							
4330	с 1960	14,8	17,7	2000	1960	2020	60	0,52
	до 1960	0,2	4,9	1948	1925	1960	35	0,06
4339	с 1960	10,2	12,7	1998	1960	2020	60	0,44
	до 1960	0,7	9,1	1949	1925	1960	35	0,12
71082	с 1960	2,9	4,6	1993	1960	2005	45	0,24
	до 1960							
71090	с 1960	2,6	7,9	2002	1960	2020	60	0,23
	до 1960	2,2	3,8	1938	1922	1960	38	0,21

71094	с 1960	1,5	5,8	2003	1960	2019	59	0,17
	до 1960	0,5	1,3	1949	1922	1960	38	0,10
71095	с 1960	7,9	11,3	2003	1960	2020	60	0,39
	до 1960	0,2	0,9	1938	1922	1960	38	0,06
71096	с 1960	6,4	9,8	1991	1960	2020	60	0,35
	до 1960	0,0	0,7	1938	1922	1960	38	0,02
71498	с 1960	5,5	5,6	1990	1960	2020	60	0,33
	до 1960	0,1	1,1	1949	1903	1960	57	0,04
71826	с 1960	13,8	15,7	1995	1960	2020	60	0,49
	до 1960	10,6	11,2	1943	1930	1960	30	0,49
71911	с 1960	8,4	9,5	1991	1960	2020	60	0,40
	до 1960	0,0	3,5	1945	1922	1960	38	0,00
71924	с 1960	14,2	20,9	2002	1960	2020	60	0,51
	до 1960	4,2	7,3	1945	1930	1960	30	0,29
71925	с 1960	9,7	13,3	2006	1960	2020	60	0,43
	до 1960	0,4	3,9	1945	1930	1960	30	0,09
Среднее значение	с 1960	7,2	10,4	2002	1960	2020	58	0,33
	до 1960	2,3	3,6	1943	1925	1960	52	0,17

На рис.4.4.3. представлены временные ряды с характерным выявлением потеплений.

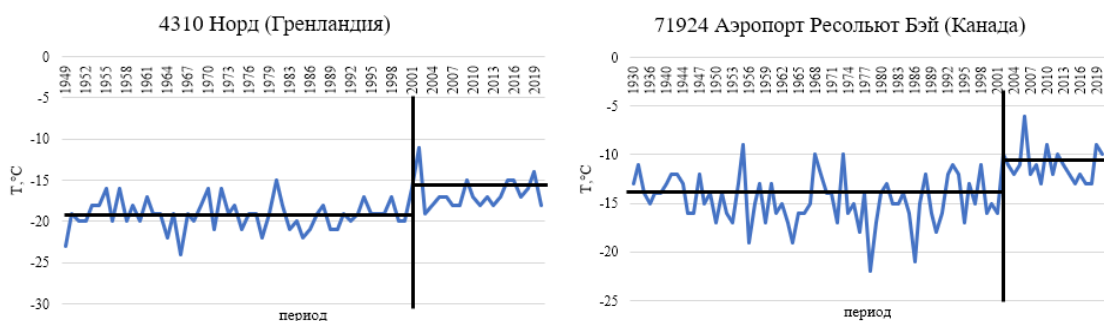


Рисунок 4.4.3. - Временные графики температуры октября на станциях и их аппроксимация моделью ступенчатых изменений.

На графиках прослеживается хорошо выраженный подъем температуры после года ступенчатых изменений. На станции Норд (Гренландия) среднее потепление после 2001 года составило на 2,1°C, на станции Аэропорт Ресольют Бэй (Канада) потепление составило целых 3,8°C.

Для количественной оценки современного потепления и естественного потепления 1960-2020 произведен расчет разницы температур по следующим формулам:

$$\Delta_I = \bar{t}_{1960-2002} \quad (4.4)$$

$$\Delta_{II} = \bar{t}_{2003-2020} \quad (4.5)$$

$$\Delta' = \Delta_{II} - \Delta_I, \quad (4.6)$$

где Δ_I – средняя многолетняя температура за стационарный период, предшествующий современному потепления (за 1960-2002 гг.), Δ_{II} – средняя многолетняя температура современного периода потепления (2003-2020 гг.), Δ' – разность средних температур, характеризующая количественную оценку современного потепления.

Результаты расчетов представлены в таблице 4.4.4. для температуры октября. Также на основе данных таблицы построено пространственное распределение Δ' .

Получившееся пространственное распределение показывает разницу между Δ_{II} и Δ_I .

Таблица 4.4.4.

Количественная оценка современного потепления Восточной Арктики Западного полушария для температур июля в °С на станциях.

Код станции	Название	Широта	Долгота	Δ_I	Δ_{II}	Δ'
4210	Упернавик, Гренландия	72,8	-56,2	-3,9	-3,1	0,8
4216	Илулиссат, Гренландия	69,2	-51,1	-3,5	-2,7	0,8
4231	Кангерлуссуак, Гренландия	67,2	-50,7	-5,1	-4,3	0,8
4310	Норд, Гренландия	81,5	-16,8	-19,0	-16,9	2,1
4320	Данмарксхавн, Гренландия	76,8	-18,7	-13,5	-11,2	2,3

4330	Данеборг, Гренландия	74,3	-20,2	-10,3	-7,8	2,5
4339	Иллоктортоормиут, Гренландия	70,5	-21,9	-6,0	-4,0	2,0
71082	Алерт, Канада	82,5	-62,3	-19,3	-18,3	1,0
71090	Клайд-Ривер, Канада	70,4	-68,5	-7,3	-5,4	1,9
71094	Кейп-Дайер, Канада	66,6	-61,6	-7,8	-6,4	1,4
71095	Понд-Инлет, Канада	72,6	-77,9	-10,3	-7,4	2,9
71096	о.Бротон, Канада	67,5	-63,8	-7,6	-5,9	1,7
71911	Шеперд-Бей, Канада	68,8	-93,4	-11,2	-8,6	2,6
71924	Аэропорт Ресольют Бэй, Канада	74,7	-94,9	-14,9	-11,1	3,8
71925	Кембридж-Бей, Канада	69,1	-105,1	-11,7	-8,3	3,4
Среднее значение			-10,1	-8,1	2,0	

Исходя из полученных данных таблицы 4.4.4, получается, что средняя температура октября в период с 1960 по 2002 составила $-10,1^{\circ}\text{C}$, а за период с 2003 по 2020 составила $-8,1^{\circ}\text{C}$. Таким образом, среднее потепление по территории исследования в январе составило $2,0^{\circ}\text{C}$.

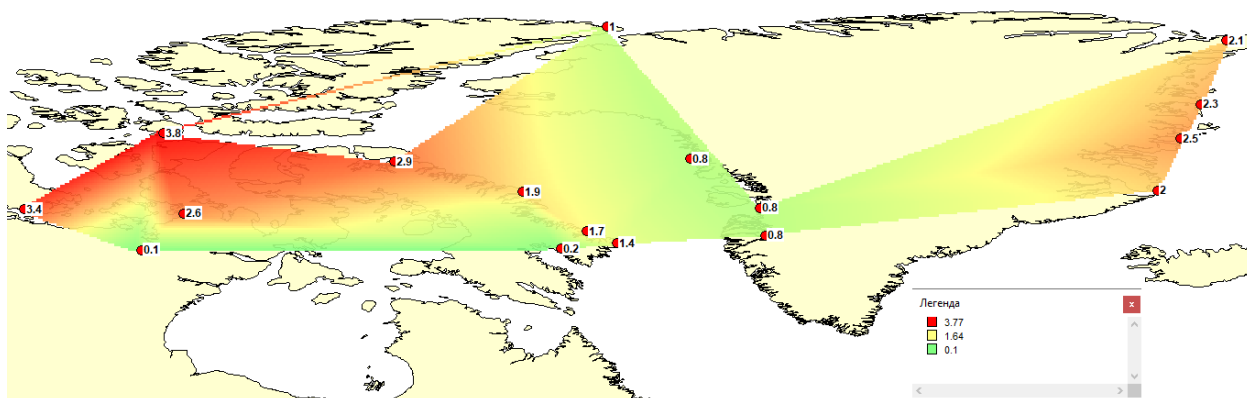


Рисунок 4.4.4. Пространственное распределение разности температур октября

Анализируя рис.4.4.4., можно сделать вывод, что северо-западная часть исследуемого региона имеет значительное потепление. На побережье восточной части Гренландии также прослеживается потепление в среднем на 2°C .

Заключение

По итогам выполненной бакалаврской работы можно сформулировать несколько основных выводов:

1. По 17 метеостанциям Восточной Арктики Западного полушария, расположенным на побережье Гренландии и в Канадском архипелаге, была создана база многолетних рядов среднемесячных температур. Благодаря такому расположению метеостанций, становится возможным охватить наблюдениями всю территорию восточного сектора Арктики Западного полушария.

2. Для многолетних рядов среднемесячных температур воздуха была проведена оценка качества и однородности информации, также были восстановлены пропуски в наблюдениях, приведение рядов к многолетнему периоду, в результате чего были получены практически непрерывные многолетние ряды температур воздуха со средней продолжительностью 88 лет с 2020 последним годом наблюдения.

3. На основе продолжительных рядов были рассчитаны средние многолетние значения температур характерных месяцев всех сезонов года, расчетные климатические характеристики редкой повторяемости (1 раз в 100 и 200 лет) и получены их пространственные распределения, которые показывают наиболее теплые температуры в теплое полугодие на континенте, а в холодное – у океана.

4. Для температур холодного периода (зима-весна) была проведена оценка проявлений современных климатических изменений на основе моделей нестационарного среднего, и получено, что в январе нестационарность проявляется только на станциях, расположенных на западной и восточной частях Канадского архипелага, также на Западном побережье Гренландии, в то время как в апреле нестационарность наблюдается почти по всей территории исследования. Также, сопоставляя обе модели для выявления нестационарности, получен вывод, что модель

ступенчатых изменений эффективнее для аппроксимации временных рядов, чем модель линейного тренда.

Оценка современного потепления показала, что в январе повышение температуры наблюдается на восточной и западной частях исследуемой территории, и составляет в среднем на $2,5^{\circ}\text{C}$. В апреле значительное повышение температуры наблюдается на северо-западной и по всей восточной части, в среднем также составляет $2,5^{\circ}\text{C}$.

5. Для температур теплого периода (лето-осень) получено, что в июле нестационарность проявляется только на станциях, расположенных на территории Канадского архипелага и на восточном побережье Гренландии, что является прямо противоположным распределению нестационарности в январе. Нестационарность в октябре схожа с той, что была в апреле. Также и для теплого полугодия получено, что модель ступенчатых изменений эффективнее, чем модель тренда.

Оценка современного потепление исследуемой территории показала, что в июле месяце температура изменялась незначительно и потепление составило всего $1,0^{\circ}\text{C}$. В октябре значительное повышение температуры воздуха наблюдается в северо-западной части исследуемой территории и составляет $3,2^{\circ}\text{C}$. Потепление по всему району составляет $2,0^{\circ}\text{C}$. В восточной части потепление незначительное и составило всего $2,2^{\circ}\text{C}$. Следовательно, потепление в октябре в северо-западной части значительно больше, чем потепление в восточной части и по всему району исследования.

Список литературы

1. Лобанов В.А., Смирнов И.А., Шадурский А.Е.. Практикум по климатологии. Часть I. Учебное пособие. - СПб.: РГГМУ, 2011. - 145 с.
2. Лобанов В.А., Смирнов И.А., Шадурский А.Е. Практикум по климатологии. Часть II. Учебное пособие. – СПб.: изд. РГГМУ, 2012 – 180 с.
3. Лобанов В.А., Методические указания «Оценка современных региональных изменений климатических характеристик». – СПб.: Изд. РГГМУ, 2018. – 91 с.
4. «Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change», IPCC.– Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2013 – 1535 с.
5. MapInfo Professional. Руководство пользователя (полное). – MapInfo Corporation, Troy, New York, 2003. – 726 с.

Приложение

Таблица 1.

Устойчивость показателей нестационарности для января.

код	Период	наблюденные				восстановленные			
		Δтр., %	Δст., %	год ст.	R	Δтр., %	Δст., %	год ст.	R
4210	Весь	7,0	12,8	1926	0,37	8,0	12,9	1926	0,39
	С 1960	0,0	4,0	1997	0,02	1,4	6,7	1997	0,16
	До 1960	9,1	15,8	1926	0,42	3,6	11,4	1926	0,27
4216	Весь	5,8	10,3	1926	0,34	6,5	10,7	1926	0,35
	С 1960	0,0	3,7	1996	0,00	0,1	3,0	1996	0,03
	До 1960	3,3	10,0	1926	0,25	3,3	9,8	1926	0,25
4231	весь	0,1	1,4	1996	-0,04	6,1	10,7	1926	0,34
	С 1960	0,0	2,4	1996	0,01	0,1	2,6	1996	0,04
	До 1960	6,6	0,0	1926	-0,36	3,9	11,2	1926	0,27
4310	весь	0,4	5,3	2005	0,09	0,4	5,4	2005	0,09
	С 1960	7,4	14,5	1998	0,38	7,9	15,6	1998	0,39
	До 1960								
4320	весь	3,0	5,7	2005	0,24	2,4	0,0	2005	0,22
	С 1960	4,0	6,3	2005	0,28	2,4	0,0	1998	0,22
	До 1960	16,4	0,0	1926	0,55				
4330	весь	4,3	7,9	2005	0,29	5,1	7,1	2005	0,31
	С 1960	7,0	8,8	1972	0,37	6,5	7,4	2005	0,36
	До 1960					0,7	0,0	1926	0,12
4339	весь	1,5	7,6	2005	0,17	1,2	6,6	2004	0,15
	С 1960	15,2	14,7	2004	0,53	13,2	12,8	2004	0,50
	До 1960	3,1	7,8	1948	-0,25	3,4	8,1	1948	0,26
71082	весь	0,0	0,6	1983	0,02	0,0	1,0	1983	0,01
	С 1960	0,0	1,2	1983	-0,02	0,1	1,7	1983	0,04
	До 1960	14,8	0,0	1948	0,52	13,9	0,0	1948	0,51
71090	весь	0,2	4,1	1983	-0,07	11,2	18,0	2007	0,46
	С 1960	0,0	5,4	1983	-0,02	11,2	18,0	2007	0,46

	До 1960	0,9	0,0	1948	-0,14				
71094	весь	0,8	4,0	2007	0,12	0,2	2,3	1939	0,07
	С 1960	0,4	3,8	2007	0,08	0,2	3,1	2007	0,06
	До 1960					3,6	8,7	1939	0,26
71095	весь	0,1	3,7	1939	0,05	0,1	3,3	1939	0,04
	С 1960	1,1	7,6	2008	0,15	0,4	5,3	1983	0,08
	До 1960	6,3	11,7	1939	0,35	4,5	9,3	1939	0,30
71096	весь	0,1	3,1	2008	0,03	0,3	3,1	1939	0,07
	С 1960	0,4	3,7	2007	0,09	0,1	3,7	2007	0,05
	До 1960					3,7	10,6	1939	0,27
71498	весь	2,4	5,6	1983	0,22	2,4	5,4	1983	0,22
	С 1960	7,7	11,2	1983	0,39	7,7	11,4	1981	0,39
	До 1960	0,0	3,2	1949	0,00	0,0	2,9	1949	0,01
71826	весь	0,5	3,5	1943	0,10	0,5	3,4	1943	0,10
	С 1960	0,2	1,4	1994	-0,07	0,2	1,3	1994	0,06
	До 1960	11,2	7,4	1943	0,46	11,3	7,4	1943	0,46
71911	весь	2,0	8,3	2006	0,20	1,7	7,8	2006	0,18
	С 1960	2,9	8,7	2006	0,24	10,5	12,7	2006	0,45
	До 1960					4,9	12,6	1946	0,31
71924	весь	5,7	6,8	2002	0,33	5,4	6,7	2002	0,32
	С 1960	4,3	7,4	2002	0,29	4,5	7,4	2002	0,30
	До 1960	23,1	0,0	1943	0,64	23,3	0,0	1946	0,64
71925	весь	3,7	8,6	2000	0,27	15,0	14,6	2000	0,53
	С 1960	15,7	14,9	1999	0,54	3,9	8,6	2002	0,28
	До 1960	2,9	8,0	1945	-0,24	2,6	7,5	1945	0,23
Среднее значение		9,2	7,6	1983	0,30	9,1	7,4	1983	0,38

Таблица 2

Устойчивость показателей нестационарности для апреля.

код	период	наблюдённые				восстановленные			
		Дтр., %	Дст., %	год ст.	R	Дтр., %	Дст., %	год ст.	R

4210	весь	0,9	3,7	1920	0,13	1,0	2,6	1920	0,14
	С 1960	0,3	2,4	1994	0,07	1,6	4,1	1994	0,18
	До 1960	2,0	5,9	1920	0,20	0,6	3,1	1920	0,11
4216	весь	1,4	3,7	1922	0,17	2,0	3,9	1922	0,20
	С 1960	0,7	7,3	1998	0,12	2,8	7,0	1998	0,24
	До 1960	0,2	2,7	1922	0,06	0,1	2,5	1922	0,04
4231	весь	2,9	5,7	1994	0,24	2,1	4,0	1922	0,20
	С 1960	2,2	5,8	1994	0,21	3,1	6,6	1994	0,25
	До 1960	0,0	0,0	1922	0,0	0,4	3,2	1922	0,09
4310	весь	0,5	3,1	1987	0,10	1,2	4,3	1995	0,15
	С 1960	5,9	11,7	1987	0,34	8,6	13,6	1987	0,41
	До 1960					10,9	0,0	1922	0,45
4320	весь	3,2	6,2	1987	0,25	3,9	6,5	1987	0,28
	С 1960	2,7	5,9	1987	0,23	3,0	5,8	1987	0,24
	До 1960	6,9	0,0	1922	0,36	16,1	0,0	1922	0,54
4330	весь	7,4	12,5	1987	0,38	8,5	12,9	1987	0,40
	С 1960	5,7	11,2	1987	0,33	4,8	10,1	1987	0,31
	До 1960					10,3	0,0	1922	0,44
4339	весь	1,9	8,0	1993	0,20	2,3	8,6	1993	0,22
	С 1960	14,8	16,1	1986	0,52	15,6	16,7	1986	0,54
	До 1960	12,9	16,9	1950	-0,49	13,1	16,4	1950	0,49
71082	весь	0,1	4,6	1988	0,05	0,3	5,3	1988	0,07
	С 1960	2,2	8,6	1988	0,21	2,8	9,6	1988	0,24
	До 1960	8,6	0,0	1950	-0,41	8,5	0,0	1950	0,40
71090	весь	0,4	3,1	2005	0,09	0,0	2,1	2005	0,01
	С 1960	4,1	6,6	2005	0,28	3,4	5,9	1994	0,26
	До 1960	0,0	0,0	1950	-0,01	0,3	0,7	1950	0,01
71094	весь	0,2	2,7	1995	0,06	0,0	1,4	1995	0,02
	С 1960	0,7	3,5	1995	0,12	1,4	4,0	1994	0,17
	До 1960					0,2	0,8	1945	0,07
71095	весь	0,5	5,0	1995	0,10	0,1	2,1	1995	0,04
	С 1960	10,4	13,1	1988	0,44	5,6	8,3	1988	0,33
	До 1960	8,9	0,0	1950	-0,41	0,7	1,2	1945	0,12
71096	весь	2,8	8,0	1995	0,23	0,1	2,1	1995	0,01

	С 1960	3,1	8,3	1995	0,25	3,7	8,2	1994	0,27
	До 1960					1,5	2,0	1945	0,17
71498	весь	0,1	1,2	1917	-0,05	1,7	3,0	1950	0,18
	С 1960	0,0	2,7	1976	0,00	1,4	3,7	1995	0,17
	До 1960	1,2	3,0	1948	-0,15	0,6	5,3	1950	0,11
71826	весь	3,8	10,5	1994	-0,27	3,1	12,3	1996	0,48
	С 1960	5,0	3,4	1994	-0,30	9,4	0,5	1996	0,4
	До 1960	4,7	9,5	1943	0,36	4,2	9,0	1944	0,50
71911	весь	4,4	7,1	1995	0,29	0,0	4,5	1954	0,02
	С 1960	2,4	6,1	1995	0,22	4,5	7,4	1995	0,30
	До 1960					21,8	0,0	1944	0,62
71924	весь	6,0	12,5	1988	0,34	2,5	8,9	1988	0,22
	С 1960	11,4	18,7	1988	0,46	10,7	16,6	1988	0,45
	До 1960	0,0	0,0	1943	0,01	3,0	0,0	1944	0,24
71925	весь	2,0	4,9	1988	0,20	2,0	4,7	1988	0,20
	С 1960	6,4	9,6	1975	0,35	5,9	9,9	1975	0,34
	До 1960	0,4	1,0	1942	-0,09	0,1	0,5	1942	0,05
Среднее значение		4,3	7,8	1988	0,21	4,03	6,7	1987	0,25

Таблица 3

Устойчивость показателей нестационарности для июля.

Код	период	наблюденные				восстановленные			
		Δтр., %	Δст., %	год ст.	R	Δтр., %	Δст., %	год ст.	R
4210	весь	2,3	4,3	1926	0,22	1,9	3,9	1926	0,19
	С 1960	3,1	2,6	1975	0,25	2,7	2,3	1975	0,23
	До 1960	5,5	10,4	1926	0,33	5,7	10,1	1926	0,33
4216	весь	2,4	4,1	1926	0,22	2,7	4,7	1974	0,23
	С 1960	2,7	4,4	1998	0,23	5,5	6,8	1998	0,33
	До 1960	0,4	3,2	1926	0,09	0,3	3,0	1926	0,07

4231	весь	1,7	4,5	2007	0,19	1,4	3,8	2007	0,17
	С 1960	1,1	5,0	2007	0,15	0,6	4,2	2007	0,11
	До 1960	11,0	0,0	1926	0,46	11,3	0,0	1926	0,46
4310	весь	4,8	10,9	2001	0,31	4,2	9,3	2002	0,29
	С 1960	8,9	13,9	2001	0,41	7,1	11,6	2002	0,37
	До 1960								
4320	весь	9,5	10,7	1987	0,42	11,7	11,5	1989	0,47
	С 1960	9,0	11,3	2003	0,41	9,9	11,3	2003	0,43
	До 1960	3,2	0,0	1926	0,25	2,6	0,0	1926	0,23
4330	весь	11,1	13,8	1988	0,46	17,3	17,3	1988	0,56
	С 1960	13,8	15,6	1988	0,51	14,0	15,9	1988	0,51
	До 1960					0,2	0,0	1926	0,07
4339	весь	0,0	16,8	1950	0,03	0,1	15,7	1950	0,04
	С 1960	4,0	15,5	1982	0,83	3,8	15,8	1982	0,51
	До 1960	6,4	16,3	1950	-0,68	4,9	16,0	1950	0,52
71082	весь	1,4	6,3	1963	-0,17	1,6	7,1	1963	0,18
	С 1960	0,2	2,0	1970	-0,06	0,2	3,1	1970	0,06
	До 1960	0,0	0,0	1950	0,02	0,1	0,0	1950	0,03
71090	весь	3,8	9,4	2000	0,27	3,3	8,9	2001	0,25
	С 1960	8,8	11,8	2000	0,41	8,6	11,5	2000	0,41
	До 1960	1,9	0,0	1950	0,20	1,3	0,0	1950	0,16
71094	весь	0,1	1,9	1995	-0,05	0,1	1,8	1995	0,04
	С 1960	0,0	1,8	1995	-0,03	0,0	1,5	1995	0,00
	До 1960								
71095	весь	21,5	21,1	1984	0,62	15,7	21,5	1981	0,54
	С 1960	11,4	14,4	2006	0,46	19,2	21,5	1981	0,59
	До 1960	1,3	4,1	1947	0,16	3,6	6,8	1948	0,26
71096	весь	10,2	13,3	1990	0,44	8,8	13,2	1990	0,41
	С 1960	10,1	13,1	1990	0,44	11,4	15,0	1990	0,46
	До 1960					10,6	0,0	1948	0,45
71498	весь	3,4	5,4	1966	-0,26	2,5	4,4	1948	0,22
	С 1960	1,1	2,3	1991	-0,15	1,5	2,5	1990	0,17
	До 1960	0,9	4,3	1914	0,13	1,1	5,9	1914	0,15
71826	весь	5,8	18,1	1993	-0,33	5,6	18,9	1993	0,33

	С 1960	16,1	18,9	1993	0,57	16,8	18,3	1993	0,58
	До 1960	10,9	15,4	1944	0,58	10,5	18,3	1944	0,56
71911	весь	4,1	7,0	1993	0,29	4,8	7,4	1993	0,30
	С 1960	4,1	6,9	1993	0,28	4,7	7,3	1993	0,30
	До 1960								
71924	весь	1,5	6,6	2007	0,17	1,4	5,6	2007	0,17
	С 1960	4,0	7,8	2007	0,28	3,6	6,6	2007	0,27
	До 1960	0,6	0,0	1944	-0,11	1,4	0,0	1944	0,16
71925	весь	2,4	5,6	1993	0,22	2,2	5,8	1988	0,21
	С 1960	6,5	10,0	1993	0,35	7,5	11,9	1988	0,38
	До 1960	0,2	3,3	1943	-0,06	0,3	4,1	1943	0,08
Среднее значение		2,5	5,5	1993	0,14	2,7	5,6	1993	0,21

Таблица 4.

Устойчивость показателей нестационарности для октября.

код	период	наблюденные				восстановленные			
		Дтр., %	Дст., %	год ст.	R	Дтр., %	Дст., %	год ст.	R
4210	весь	0,2	1,5	1892	0,07	0,2	1,5	1892	0,07
	С 1960	0,3	2,1	1997	0,07	0,3	2,1	1997	0,07
	До 1960	1,7	3,0	1892	0,19	1,7	3,0	1892	0,19
4216	весь	3,4	4,3	1875	0,26	3,7	4,5	1840	0,27
	С 1960	0,0	1,8	1991	0,02	0,4	2,6	1991	0,09
	До 1960	4,1	4,5	1840	0,29	4,3	5,0	1840	0,29
4231	весь	0,0	1,2	1961	-0,03	2,9	4,0	1875	0,24
	С 1960	0,0	1,3	1991	0,02	0,1	1,2	1991	0,04
	До 1960	3,6	0,0	1840	0,27	3,9	4,8	1840	0,28
4310	весь	7,1	17,1	2001	0,37	9,2	16,5	2001	0,42
	С 1960	13,7	21,0	2001	0,51	12,7	18,9	2001	0,49
	До 1960					7,3	0,0	1840	0,37
4320	весь	7,7	15,0	2001	0,38	6,0	13,2	2001	0,34
	С 1960	12,4	18,7	2001	0,48	11,5	17,3	2001	0,47

	До 1960	7,0	0,0	1840	0,37	2,7	0,0	1840	0,23
4330	весь	11,5	18,9	1998	0,47	1,2	9,0	2010	0,15
	С 1960	16,1	20,9	1998	0,54	14,8	17,7	2000	0,52
	До 1960					0,2	4,9	1948	0,06
4339	весь	0,3	4,9	1999	0,08	0,5	6,0	2000	0,10
	С 1960	9,1	11,8	1998	0,42	10,2	12,7	1998	0,44
	До 1960	0,4	8,7	1948	-0,09	0,7	9,1	1949	0,12
71082	весь	3,2	4,6	1991	0,25	3,0	4,4	1993	0,24
	С 1960	2,6	4,5	1991	0,23	2,9	4,6	1993	0,24
	До 1960	0,5	0,0	1948	0,09	0,3	0,0	1949	0,08
71090	весь	0,6	5,5	2002	0,11	0,9	5,6	2002	0,13
	С 1960	2,4	7,5	2002	0,22	2,6	7,9	2002	0,23
	До 1960	0,1	0,0	1948	-0,05	2,2	3,8	1938	0,21
71094	весь	1,9	7,6	2003	0,19	0,4	4,3	2003	0,09
	С 1960	1,2	7,3	2003	0,15	1,5	5,8	2003	0,17
	До 1960					0,5	1,3	1949	0,10
71095	весь	3,8	11,8	2002	0,27	2,7	8,3	2003	0,23
	С 1960	10,5	14,1	2002	0,45	7,9	11,3	2003	0,39
	До 1960	0,0	1,2	1945	-0,01	0,2	0,9	1938	0,06
71096	весь	7,3	10,2	2001	0,37	1,2	5,7	2001	0,16
	С 1960	5,9	9,9	2001	0,34	6,4	9,8	1991	0,35
	До 1960					0,0	0,7	1938	0,02
71498	весь	0,3	1,6	1990	-0,08	0,5	1,9	1990	0,10
	С 1960	4,7	5,1	1990	0,30	5,5	5,6	1990	0,33
	До 1960	0,1	1,3	1936	0,05	0,1	1,1	1949	0,04
71826	весь	4,4	15,5	1995	-0,29	4,3	14,6	1995	0,29
	С 1960	13,6	17,8	1995	0,50	13,8	15,7	1995	0,49
	До 1960	10,2	11,9	1943	0,49	10,6	11,2	1943	0,49
71911	весь	9,7	10,3	1992	0,43	2,7	6,7	1991	0,23
	С 1960	9,9	10,1	1992	0,43	8,4	9,5	1991	0,40
	До 1960					0,0	3,5	1945	0,00
71924	весь	10,2	18,3	2002	0,44	4,6	16,0	2002	0,30
	С 1960	14,3	20,4	2002	0,52	14,2	20,9	2002	0,51
	До 1960	0,1	0,0	1943	-0,05	4,2	7,3	1945	0,29

71925	весь	4,9	10,0	2006	0,31	4,3	16,0	2002	0,30
	С 1960	9,7	12,6	2006	0,43	9,7	13,3	2006	0,43
	До 1960	0,5	4,4	1945	-0,10	0,4	3,9	1945	0,09
Среднее значение		6,6	10,9	2002	0,25	6,2	12,9	2002	0,32