



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 (западный сектор)»

Исполнитель студент группы ПМ-Б17-2-3 Лысенко Савелий Антонович

Руководитель д.т.н., профессор Лобанов Владимир Алексеевич

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

Сероухова Ольга Станиславовна

кандидат физико-математических наук, доцент

« 31 » мая 2021 г.

Санкт – Петербург
2021

Содержание

Введение.....	3
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.....	7
1.4 Методика исследований.....	8
Глава 2. Оценка качества данных и пространственные закономерности в стационарных условиях.....	10
2.1 Оценка однородности экстремумов.....	10
2.2. Восстановление пропусков и приведение непродолжительных рядов к многолетнему периоду.....	16
2.3 Пространственные климатические закономерности температур воздуха.....	20
Глава 3. Оценка проявлений современных климатических изменений в холодное полугодие (зима – весна).....	22
3.1 Теоретические положения.....	22
3.2 Результаты моделирования временных рядов в пунктах наблюдений.....	25
3.3 Оценка устойчивости во времени показателей нестационарности.....	28
3.5 Оценка современного потепления Западной Арктики (западный сектор) за период 1960-2020 годов.....	34
Глава 4. Оценка проявлений современных климатических изменений в теплое полугодие (лето – осень).....	41
4.1 Результаты моделирования временных рядов в пунктах наблюдений.....	41
4.2. Оценка устойчивости во времени показателей нестационарности.....	44
4.3. Пространственные обобщения показателей нестационарности.....	44
4.4. Оценка современного потепления Западной Арктики (западный сектор) за период 1960-2020 годов.....	49
Заключение.....	57
Список литературы.....	59
Приложение.....	60

Введение

Климат - это набор погодных (атмосферных) условий в течение длительного периода времени, характерных для данной местности. Это более стабильная погодная функция. Погода меняется быстро или относительно быстро, а климат меняется относительно медленно.

Эта бакалаврская работа посвящена актуальной теме – оценке изменения климата в Западной Арктике. В последние десятилетия были созданы различные модели, которые можно использовать для оценки влияния изменений в составе атмосферы на климат. Это помогает понять грядущий механизм изменения климата. Для расчетов по таким моделям необходимо рассчитать перенос в атмосфере солнечной и тепловой (длинноволновой) составляющих излучения в различных пропорциях.

Кроме того, необходимо описать обмен энергией между радиационно активной турбулентной атмосферой и неровной поверхностью суши, океана и мерзлого слоя. Система взаимодействующих элементов очень сложна, и до сих пор не существует модели, которая могла бы полностью учесть целостность естественного процесса переноса в атмосфере и над земной поверхностью. Есть относительно простые и более сложные модели. Модель климата, учитывающая общую циркуляцию атмосферы и океана, является наиболее сложной. Кроме того, нам нужны модели, отражающие эволюцию морского льда и различные процессы на суше: образование и изменение снега, содержание влаги в почве и испарение растительности.

Модель климата, разработанная в Вычислительном центре РАН, включает в себя блок, описывающий процессы в атмосфере с пространственным разрешением $4 \times 5^\circ$, и блок океана, который представляет собой общую модель активного слоя океана с заданным распределением течений. Модель удовлетворительно описывает основные сезонные и географические особенности глобального климата.

Вместе с тем, нельзя и пренебрегать исследованием данных наблюдений и оценкой происходящих в них изменений. Именно этому и посвящена данная работа.

Глава 1. Физико-географическое описание района исследования

1.1 Географические особенности территории

Арктика - это физико-географическая область Земли прилегающая к Северному полюсу. Она включает в себя северные части Северной Америки и Евразии, а также большую часть Северного Ледовитого океана, а также северные части Атлантического и Тихого океанов. На материке южная граница проходит вдоль тундрового пояса. Иногда Арктика ограничивается Полярным кругом. Существуют особые климатические и природные условия, влияющие на жизнь растений, животных и людей в целом в арктическом климате.

Климат в Арктике становится достаточно разнообразным из-за деятельности человека, загрязнения окружающей среды и продолжающегося глобального изменения климата. Эксперты отмечают, что за последние 600 лет климат региона претерпел кардинальные изменения. В этот период произошло несколько событий глобального потепления. Последнее было в первой половине двадцатого века. На изменение климата влияют также скорость вращения Земли и циркуляция воздушных масс. В начале двадцать первого века арктический климат потеплел. Он характеризуется повышением среднегодовой температуры, уменьшением площади и таянием ледников. К концу века воды Северного Ледовитого океана могут полностью освободиться от ледяного покрова.

Особенности арктического климата - низкие температуры и низкая освещенность. В таких условиях деревья не растут, а лишь только травы и

кустарники. На крайнем севере очень трудно жить и поэтому здесь наблюдается специфическая активность. Люди здесь занимаются научными исследованиями, добычей полезных ископаемых, рыболовством. В общем, чтобы выжить в этой местности, организмы должны адаптироваться к суровому климату.

1.2 Климат района исследований

Из - за многих важных отличий от остального мирового океана Арктический бассейн является весьма специфическим объектом для математического моделирования общей циркуляции атмосферы и моря. Во-первых, он почти повсеместно и постоянно покрыт льдом. В то же время тепло, влага и импульс, поступающие из атмосферы в океан, во многом зависят от состояния морского льда: его толщины, адгезии и т.д. Во-вторых, распределение плотности воды в Северном Ледовитом океане зависит от распределения ее солености, а не от температуры, как в других океанах. В-третьих, большая часть океана приходится на мелководную кромку моря, а дно его глубоководной части прорезано высокими подводными хребтами. В Вычислительном центре РАН разработана многослойная гибридная модель общей циркуляции океана. Расчет выполняется с шагом в 2 градуса на широте узлов сетки, т. е. около 220 км точек. В вертикальном направлении толща воды в океане разделена на 6 слоев. Разница солености между соседними слоями составляет около 0,8%. Рельеф дна установлен в самом общем виде, но сохраняет все основные черты естественного рельефа. Рассмотрим сточные каналы основных рек, впадающих в океан. Дополнительный прибрежный сток равномерно распределяется по всей границе района.

Арктическая климатическая зона, ее канадский субрегион, включает Канадские арктические острова и район Гудзонова залива.

Основная роль подстилающей поверхности в формировании климата определяется астрономическими условиями, как основным климатообразующим фактором. Циклические процессы также влияют на формирование климата. Вода здесь находится подо льдом большую часть года, и чем тоньше лед, тем больше тепла водяные массы передают воздуху. При охлаждении подстилающей поверхности образуются инверсии и изотермы, которые увеличиваются по мере поступления теплых масс в верхний слой. Турбулентное перемешивание поверхностного слоя ограничено движением вниз, предотвращающим диффузию холода снизу. Вся территория охвачена циклонической активностью в северной части Тихого океана и Атлантическом океане. С помощью циклонов арктические массы были перемещены на юг, но в большей степени уменьшилось влияние астрономических климатообразующих факторов. Летом арктический воздух на юге самый сильный. Необходимо увеличить ветровое и облачное покрытие. Облачный покров уменьшает радиацию, что приводит к повышению температуры, увеличение скорости ветра помогает обратить вспять повреждения и тепло, льющееся сверху.

Климат, по самой своей природе, долгое время считался неизменным. Первые признаки потепления в Арктике появились в 20-х годах прошлого века. В этот момент выяснилось, что воды Баренцева моря стали теплее. Предполагается, что это относится только к Арктике, но позже выяснилось, что это глобальное потепление, более выраженное только в полярных широтах. Температура в западной Гренландии повысилась на 5 градусов, а на островах Шпицбергена на 8-9 градусов в период только с 1912 по 1926 год. Арктика получила новое название – "Погодная кухня". Затем после 40-х годов XX века начала проявляться тенденция к охлаждению. Арктический лед снова начинает наступать, о чем свидетельствует увеличение площади ледового щита Северного Ледовитого океана. К концу 1960-х годов площадь льда примерно увеличилась на 10%. В середине двадцатого века первое

потепление сменилось небольшим кратковременным похолоданием. Второе глобальное потепление началось в середине 1970-х годов. Из - за увеличения концентрации углекислого газа в атмосфере потепление связано с увеличением парникового эффекта, который носит антропогенный характер.

1.3 Пункты наблюдений и информация

Для анализа текущих и будущих температур в западной Арктике (западного сектора) было взято 14 метеостанций. Геоинформационный слой координат метеостанции, сформированный в ГИС MapInfo, представляет местоположение территориальной метеостанции на карте (рис.1.1.3.) Рис.1.3.1 указывает на то, что рассматриваемая область довольно равномерно охвачена наблюдениями.

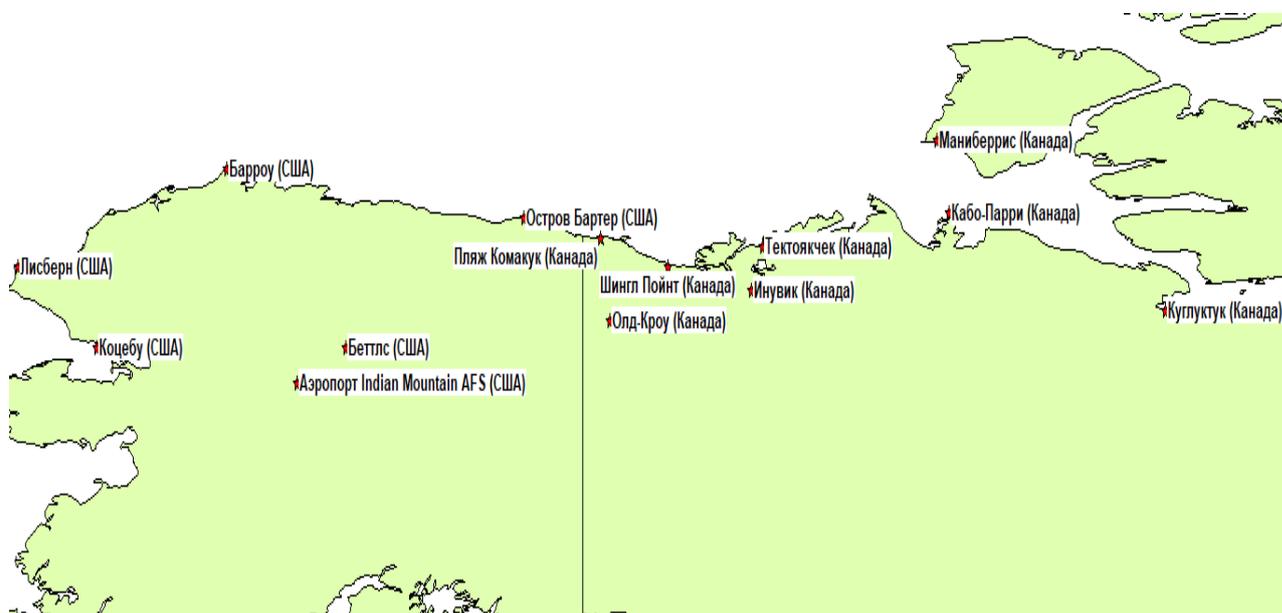


Рис.1.3.1. Расположение метеостанций на территории Западной Арктики.

Таблица 1.3.1.

Продолжительность и периодичность среднемесячных наблюдений за температурой на 14 метеостанциях Западной Арктики (западный сектор).

Код поста	Наименование	Продолжительность наблюдений	Кол-во лет	Широта	Долгота
70026	Барроу (США)	1893-2020	128	71.3	-156.8
70086	Остров Бартер (США)	1947-2020	73	70.1	-143.6
70104	Лисберн (США)	1952-2008	57	68.9	-166.1
70133	Коцебу (США)	1897-2020	101	66.9	-162.6
70173	Аэропорт Indian Mountain AFS (США)	1951-2020	58	66	-153.7
70174	Беттлс (США)	1944-2020	77	66.9	-151.5
71044	Олд-Кроу (Канада)	1951-2020	59	67.57	-139.8
71051	Маниберрис (Канада)	1955-2020	63	72	-125.27
71938	Куглуктук (Канада)	1930-2020	91	67.8	-115.1
71948	Кабо-Парри (Канада)	1957-2020	64	70.2	-124.7
71957	Инувик (Канада)	1926-2020	88	68.3	-133.5
71968	Шингл Пойнт (Канада)	1926-2020	95	68.9	-137.2
71969	Пляж Комакук (Канада)	1958-2018	61	69.6	-140.2
71985	Тектоякчек (Канада)	1973-2020	48	69.4	-133

Метаданные и многолетние серии были импортированы в программный комплекс, а региональная климатическая база данных была создана с помощью инструмента СУБД, основные характеристики которого перечислены в таблице.1.3.1. Как видно, продолжительность наблюдений варьировалась от 48 лет на метеостанции Тектоякчек и до 128 лет на метеостанции Барроу, в среднем 76 лет.

1.4 Методика исследований

Методика исследований включает следующие основные шаги:

- выбор пунктов наблюдений и многолетних рядов среднемесячных температур воздуха из архивов в Интернете;
- формирование региональной базы данных;

- оценка качества и единообразия информации в региональных базах данных, восстановление недостающих наблюдений и сокращение коротких серий до многолетних периодов;
- аппроксимировать долгосрочные временные ряды среднемесячных температур воздуха с помощью нестационарных средних (линейный тренд и ступенчатых изменение) моделей и оценить достоверность и статистическую значимость этих моделей;
- пространственное обобщение показателей нестационарных моделей по территории и выявление областей с наибольшим проявлением влияния изменения климата;
- определение года последнего потепления и количественная оценка прироста температуры в разных точках территории.

Кроме того, рассматривалась также возможность определения известного потепления Арктики в 1920-1940-е годы и сравнения его с современным потеплением.

В ходе работы применяются статистические и математические методы и модели, такие как:

- 1) Статистический критерий Диксона, используемый для оценки однородности эмпирического распределения и проверки его на наличие неоднородных экстремумов.
- 2) Статистические критерии Фишера и Стьюдента, используемые для оценки дисперсии и стабильности среднего временного ряда.
- 3) Методы восстановления пропусков и приведения коротких серий наблюдений к многолетним периодам.
- 4) Стационарные средние модели и нестационарные модели линейных трендов и ступенчатых изменений.
- 5) Метод пространственной интерполяции для отображения характеристик температуры воздуха.

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

2.1 Оценка однородности экстремумов

Первым этапом исследования была оценка однородности эмпирического распределения среднемесячной температуры воздуха. Из-за резкого отклонения максимальных и минимальных значений от эмпирического распределения однородность может быть нарушена. Оценка согласованности серии наблюдений метеорологических особенностей основана на генетическом и статистическом анализе исходных данных наблюдений. Генетический анализ включает в себя определение физических причин, которые приводят к неоднородности исходных данных наблюдений. Для оценки статистической значимости однородности используются критерии Диксона и Смирнова-Граббса. Ниже приведены 3 основные причины неоднородности эмпирического распределения метеорологических признаков:

- резкое отклонение от метеорологических значений может иметь особые условия формирования, например, сформированные ураганами и т.д.;
- резко отклоняющаяся величина может появиться из-за значительной погрешности измерений
- вероятность возникновения экстремального события реже, чем вероятность, определенная эмпирической формулой

При оценке однородности исходные подозрительные экстремумы резких отклонений от эмпирического распределения исследуются статистическими стандартами, а если однородность нарушена, ее причина определяется на основе генетического анализа.

Стандартная статистика Диксона рассчитывается на основе эмпирических данных по следующей формуле:

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.

Критерий Смирнова-Граббса вычисляет статистику для наибольшего элемента (Y_n) последовательности ранжирования по следующей 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 - анализ среднего и среднеквадратичного отклонения выборки, определяемого по формулам:

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

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

где σ_y^2 - дисперсия.

Однородность экстремумов оценивается путем сравнения расчетных значений стандартной статистики, полученных на основе эмпирических данных, с пороговыми значениями общей совокупности в таблице. В этом

случае уровень значимости (α) обычно устанавливается равным 5%, что соответствует исходному предположению об однородности, с вероятностью 95% и размером выборки n . Поэтому, если вычисленное статистическое значение меньше соответствующего порогового значения, то можно принять гипотезу однородности.

Однородность среднего и дисперсии для двух последовательных частей ряда оценивается с использованием критериев Стьюдента и Фишера, которые также применяются к гидрометеорологической информации. Анализ на основе этих критериев проводится после оценки резких отклонений, которые существенно влияют на среднее значение и дисперсию. Для того чтобы оценить стабильность дисперсии и среднего значения по критериям Фишера и Стьюдента соответственно, временной ряд делится на две или более подвыборок одинаковой или разной длины, и желательно сравнить границы разбиения с предполагаемым нарушением.

Для оценки стационарности дисперсий и средних значений, соответственно, в соответствии с критериями Фишера и Стьюдента, временной ряд делится на две или более подвыборок одинаковой или разной длины, и желательно связать границы разбиения с датами предполагаемого нарушения стационарности. Для каждой подвыборки вычисляются значения средних ($Y_{срj}$) 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 нормального распределения независимых случайных величин задается $\alpha=5\%$.

Для оценки выборки двух средних непрерывных подвыборок используются значения Стьюдента, определяемые 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 $Y_{cp1}, Y_{cp2}, \sigma_1^2, \sigma_2^2$ – среднее значение и дисперсия двух последовательных выборок; n_1, n_2 – объемы выборок.

При оценке в соответствии с критериями Стьюдента стабильность среднего значения также оценивается путем сравнения расчетных значений и критических значений. Если вычисленное значение меньше порогового значения при заданном уровне значимости, принимается предположение об однородности (стационарности). В таблице 2.1.1 приведены результаты оценки равномерности и стабильности температур воздуха в холодные месяцы (январь, апрель) и теплые сезоны (июль, октябрь).

Таблица 2.1.1.

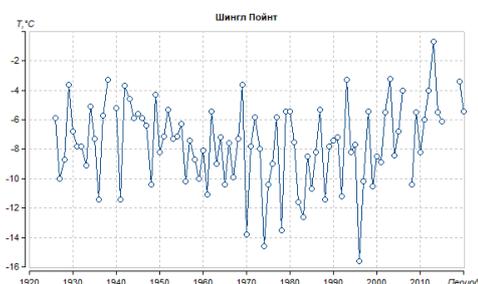
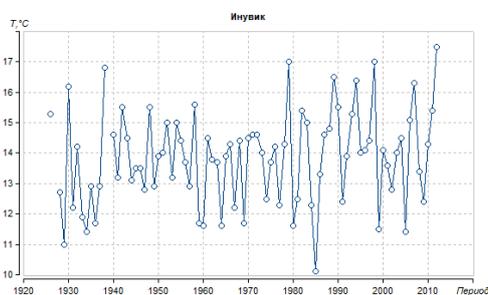
Приведены результаты оценки равномерности и стабильности среднемесячной температуры воздуха в месяцы холодного и теплого сезонов по критериям Диксона (д), Фишера (ф) и Стьюдента (ст) на метеостанциях Западной Арктики (западный сектор).

код станции	название	январь			апрель			год
		д	ф	ст	д	ф	ст	
70026	Барроу (США)	+	-	-	+	+	+	
70086	Остров Баргер (США)	+	+	-	+	+	(-)1,9	
70104	Лисберн (США)	+	+	+	+	+	+	
70133	Коцебу (США)	+	+	(-)1,6	+	+	+	
70173	Аэропорт Indian Mountain AFS (США)	+	+	+	+	+	+	
70174	Беттлс (США)	+	+	+	+	(-)2,6	+	

71044	Олд-Кроу (Канада)	+	+	+	+	+	+	
71051	Маниберрис (Канада)	+	+	+	+	+	-	
71938	Куглуктук (Канада)	-	-	+	(-)2,3	+	+	1930,1981, 1940
71948	Кабо-Парри (Канада)	-	(-)2,6	(-) 2,4	+	+	-	1981,2018,2016
71957	Инувик (Канада)	-	-	+	+	+	+	1926,1981,1930
71968	Шингл Пойнт (Канада)	(-)2,6	+	-	+	+	+	
71969	Пляж Комакук (Канада)	+	-	+	+	+	-	
71985	Тектоякчек (Канада)	-	-	+	(-)1,4	+	-	1973,1981,1979
код станции	название	июль			октябрь			год
		д	ф	ст	д	ф	ст	
70026	Барроу (США)	+	+	+	+	-	+	
70086	Остров Бартер (США)	+	-	-	-	+	-	2019,2016,2012
70104	Лисберн (США)	+	+	+	+	+	+	
70133	Коцебу (США)	+	+	-	+	+	+	
70173	Аэропорт Indian Mountain AFS (США)	+	+	+	+	+	+	
70174	Беттлс (США)	+	+	-	+	-	+	
71044	Олд-Кроу (Канада)	+	+	+	+	+	+	
71051	Маниберрис (Канада)	+	-	+	+	(-) 2,1	+	
71938	Куглуктук (Канада)	+	+	-	+	-	+	
71948	Кабо-Парри (Канада)	+	+	+	+	-	-	
71957	Инувик (Канада)	+	+	+	+	+	+	

71968	Шингл Пойнт (Канада)	+	+	(-)1,7	+	(-) 2,2	+	
71969	Пляж Комакук (Канада)	+	+	+	+	+	+	
71985	Тектоякчек (Канада)	+	+	+	+	+	-	

В таблице 2.1.1. Знак "+" указывает на принятие предположения об однородности и стабильности, а знак "-" указывает на отклонение. Если вычисленное значение статистического критерия близко к пороговому значению, но превышает пороговое значение, в таблице также отображается уровень значимости, соответствующий вычисленному значению критерия. В этом случае выводы о принятии или отклонении предположений об однородности и стабильности сомнительны и заключены в скобки. Если рассчитанное значение стандартной статистики соответствует уровню значимости менее 5%, но больше или равно 3%, необходимо поставить знак "+". Знак "-", если уровень значимости меньше 3%, но больше 1%. Если уровень значимости, соответствующий расчетному значению стандартной статистики, равен или превышает 5%, ставится знак "+". Если уровень значимости равен или меньше 1%, ставится знак "-", т. е. в этих случаях нулевое предположение полностью принимается или надежно отклоняется. Пример нестационарного ряда показан на рис.2.1.1.



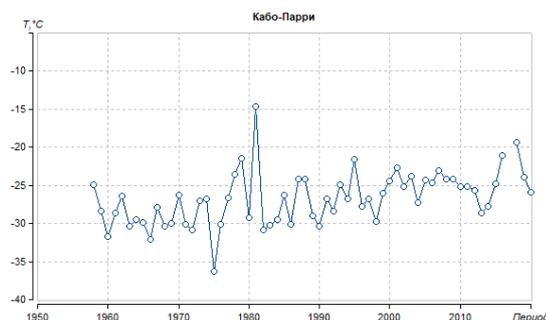


Рис 2.1.1. Примеры нестационарных и неоднородных рядов наблюдений.

Анализируя полученные данные, можно сделать вывод, что западный арктический регион (западный сектор) в основном содержит однородные наблюдения и что выявленные нестационарные свойства будут изучаться на основе статистических моделей временных рядов.

2.2. Восстановление пропусков и приведение непродолжительных рядов к многолетнему периоду

Основой для восстановления недостающих наблюдений и приведения ряда к многолетнему периоду является синхронность колебаний наблюдений с соседних метеостанций.

Уравнение множественной линейной регрессии для восстановления имеет следующий вид:

$$Y = k_0 + k_1 Y_1 + k_2 Y_2 + \dots + k_j Y_j + \dots + k_l Y_l \quad (17)$$

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.

Следующие условия являются действительными уравнениями для связи рассматриваемого пункта с его аналогами:

$$n' \geq 6-10$$

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 $\geq 2,0$.

В холодное время года (январь, апрель) и теплое время года (июль, октябрь) результаты восстановления данных и снижения краткосрочных рядов температур воздуха к многолетним периодам приведены в таблице 2.2.1.

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
70086	Остров Баргер (США)	65	26	0.863-0.983	6
70104	Лисберн (США)	51	14	0.853-0.894	4
70173	Аэропорт Indian Mountain AFS (США)	54	33	0.866-0.941	6
70174	Беттлс (США)	74	2	0.952	3
71044	Олд-Кроу (Канада)	45	31	0.867-0.937	8
71948	Кабо-Парри (Канада)	62	33	0.859-0.926	3
71957	Инувик (Канада)	86	7	0.924-0.973	5
71968	Шингл Пойнт	85	7	0.901-0.943	6

	(Канада)				
71969	Пляж Комакук (Канада)	48	47	0.901-0.976	6
71985	Тектоякчек (Канада)	43	6	0.862	3
Среднее значения		61	20		
Апрель					
Код	Наименование	Кол- во факт.	Кол- во восст.	к-т корреляции	кол-во аналогов
70086	Остров Бартер (США)	65	63	0.856-0.924	3
70104	Лисберн (США)	53	18	0.855-0.871	4
70173	Аэропорт Indian Mountain AFS (США)	53	22	0.902-0.935	5
70174	Беттлс (США)	75	1	0.882	3
71044	Олд-Кроу (Канада)	53	41	0.929-0.963	9
71948	Кабо-Парри (Канада)	60	34	0.876-0.952	5
71957	Инувик (Канада)	86	7	0.978	4
71968	Шингл Пойнт (Канада)	91	2	0.873-0.965	3
71969	Пляж Комакук (Канада)	54	40	0.854-0.986	6
71985	Тектоякчек (Канада)	45	48	0.949-0.975	7
Среднее значения		63	27		
Июль					
Код	Наименование	Кол- во факт.	Кол- во восст.	к-т корреляции	кол-во аналогов
70086	Остров Бартер (США)	65	6	0.871	3
70173	Аэропорт Indian Mountain AFS (США)	53	22	0.906-0.922	4
71044	Олд-Кроу (Канада)	54	13	0.896	3
71948	Кабо-Парри (Канада)	61	4	0.851-0.852	5
71957	Инувик (Канада)	85	8	0.927-0.943	3
71968	Шингл Пойнт (Канада)	88	4	0.965-0.978	4
71969	Пляж Комакук (Канада)	52	41	0.915-0.963	7
71985	Тектоякчек (Канада)	43	50	0.922-0.957	5
Среднее значения		62	19		
Октябрь					
Код	Наименование	Кол- во факт.	Кол- во восст.	к-т корреляции	кол-во аналогов
70086	Остров Бартер (США)	67	33	0.865-0.951	5

70104	Лисберн (США)	54	46	0.872-0.900	3
70133	Коцебу (США)	96	1	0.937	2
70173	Аэропорт Indian Mountain AFS (США)	55	36	0.866-0.928	6
70174	Беттлс (США)	76	15	0.871-0.905	5
71044	Олд-Кроу (Канада)	53	41	0.907-0.968	8
71948	Кабо-Парри (Канада)	61	32	0.851-0.967	7
71957	Инувик (Канада)	86	8	0.981	3
71968	Шингл Пойнт (Канада)	90	4	0.983-0.986	5
71969	Пляж Комакук (Канада)	55	46	0.892-0.976	4
71985	Тектоякчек (Канада)	44	50	0.974-0.986	4
Среднее значения		67	28		

Как видно из данных, приведенных в таблице 2.2.1, среднее число наблюдаемых лет увеличилось за счет использования восстановления пропусков и приведения рядов температур воздуха к многолетним периодам:

- 1) Январь с 61 по 81, 20 лет,
- 2) Апрель с 63 по 91, 28 лет,
- 3) Июль с 62 по 81, 19 лет,
- 4) Октябрь с 67 по 95, 28 лет.

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

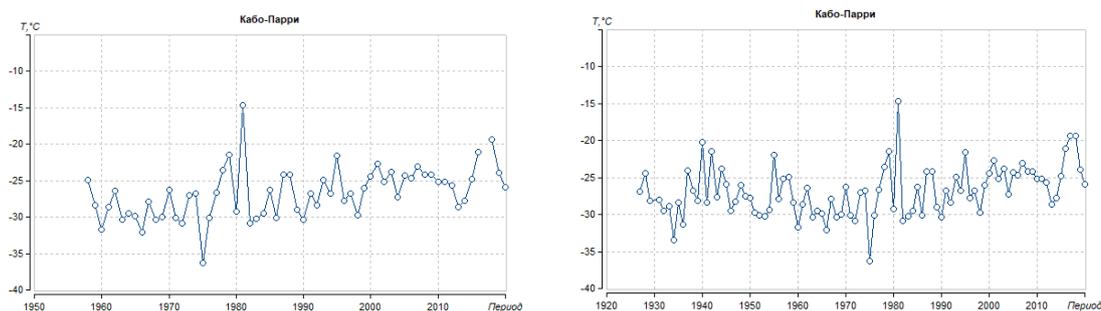


Рис 2.2.1. Исходный (слева) и восстановленный (справа) многолетние ряды температуры января на метеостанции Кабо-Парри.

2.3 Пространственные климатические закономерности температур воздуха

Результаты расчета в стационарных условиях представляют собой пространственную интерполяционную модель средней температуры теплого и холодного сезонов. Средняя температура на каждой станции в январе, апреле, июле и октябре приведена в таблице 2.3.1.

Таблица 2.3.1.

Средние многолетние температуры воздуха (в °С)

Код станции	Местонахождение	Широта	Долгота	Январь	Апрель	Июль	Октябрь
70026	Барроу (США)	71.3	-156.8	-26.0	-17.8	4.4	-8.6
70086	Остров Бартер (США)	70.1	-143.6	-22.3	-15.0	4.7	-7.1
70104	Лисберн (США)	68.9	-166.1	-17.0	-12.6	7.0	-3.7
70133	Коцебу (США)	66.9	-162.6	-18.9	-9.6	11.6	-3.8
70173	Аэропорт Indian Mountain AFS (США)	66	-153.7	-18.3	-4.3	13.2	-5.7
70174	Беттлс (США)	66.9	-151.5	-23.0	-5.7	14.6	-6.7
71044	Олд-Кроу (Канада)	67.57	-139.8	-22.8	-9.1	13.4	-7.7
71051	Маниберрис (Канада)	72	-125.27	-24.9	-13.8	8.6	-7.8
71938	Куглуктук (Канада)	67.8	-115.1	-27.2	-16.6	9.9	-6.3
71948	Кабо-Парри (Канада)	70.2	-124.7	-25.8	-16.0	5.8	-5.7
71957	Инувик (Канада)	68.3	-133.5	-26.7	-12.4	13.3	-7.2
71968	Шингл Пойнт (Канада)	68.9	-137.2	-23.1	-13.9	11.2	-7.1
71969	Пляж Комакук (Канада)	69.6	-140.2	-18.8	-15.1	6.6	-8.0
71985	Тектоякчек (Канада)	69.4	-133	-22.1	-14.3	10.0	-6.0

Пространственное распределение, показанное на рис.2.3.1-2.3.4, которое построено на основе средних многолетних данных о температуре.

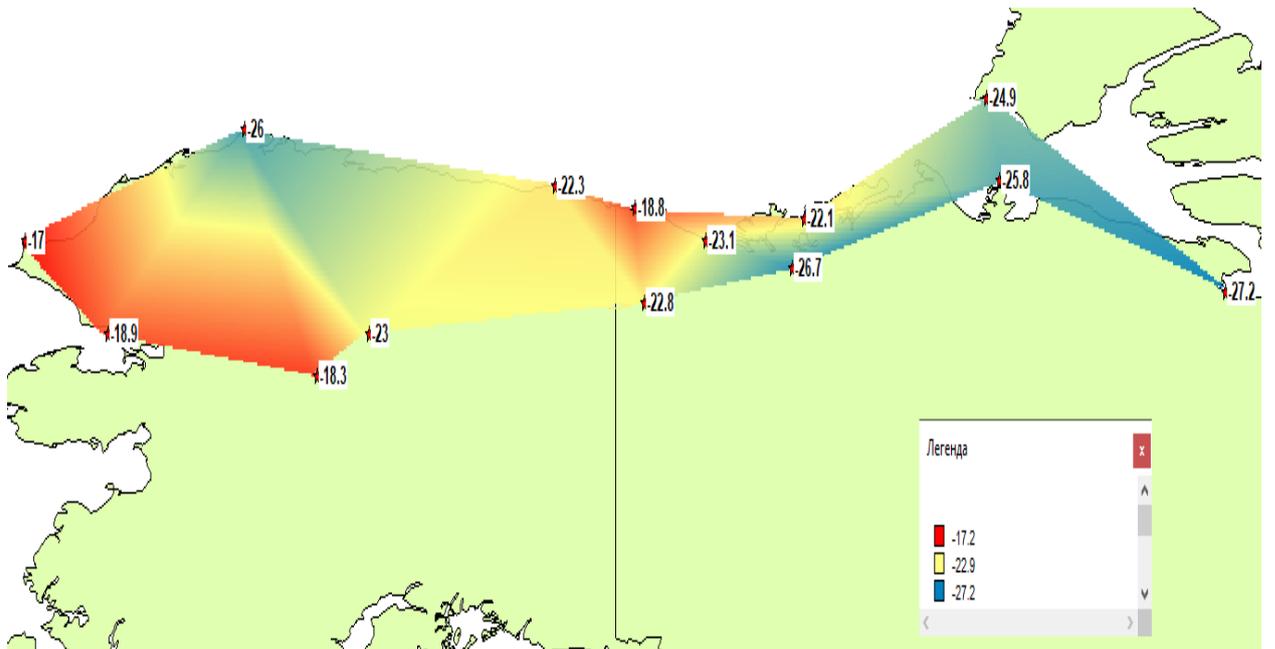


Рис 2.3.1 Пространственная модель средних многолетних температур января

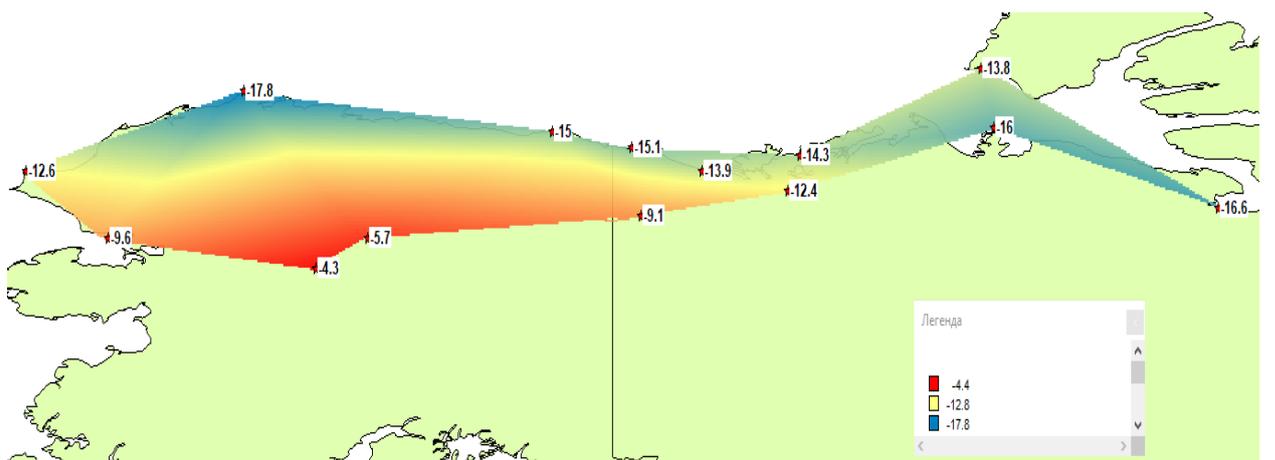


Рис 2.3.2. Пространственная модель средних многолетних температур апреля

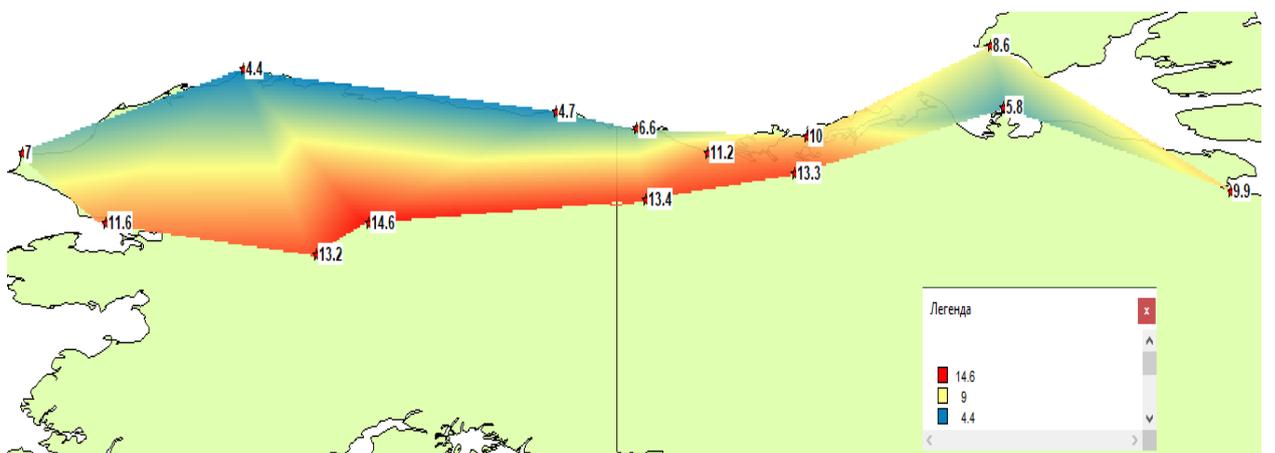


Рис 2.3.3. Пространственная модель средних многолетних температур июля

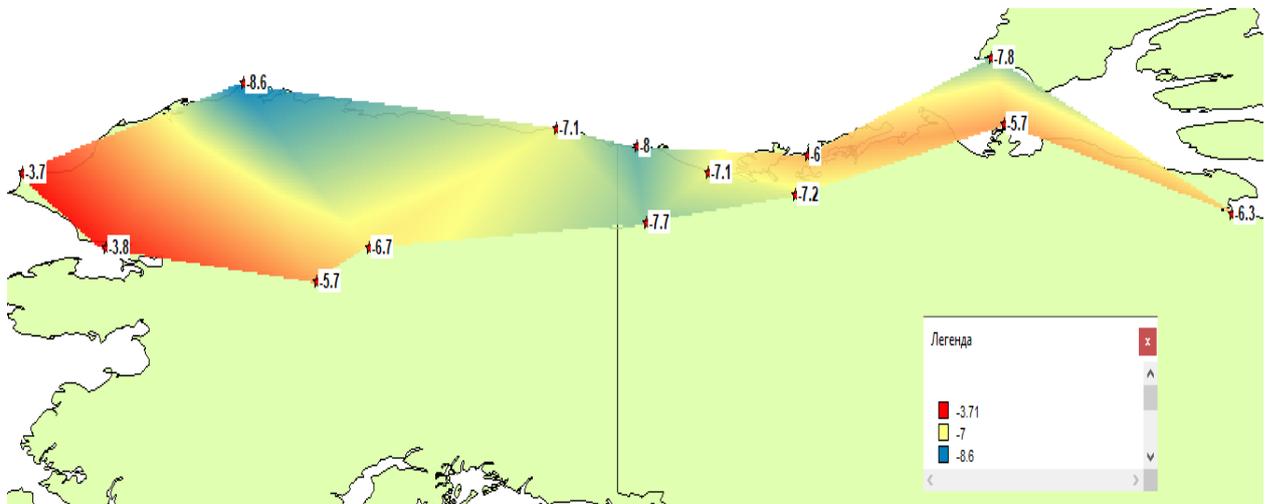


Рис 2.3.4. Пространственная модель средних многолетних температур октября

Как видно из рисунков, оптимальное региональное распределение температуры наблюдалось в июле, когда на юге было тепло, и наоборот, январь был холодным на юге, потому что океан на севере был теплее, чем суша на юге. В апреле распределение уже близко к лету, а в октябре оно более равномерно адаптируется к зиме.

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

3.1 Теоретические положения

Климатическая система Земли, включает атмосферу, гидросферу, криосферу, биосферу и литосферу, она нестабильная и постоянно меняется. Её изменчивость оценивается на основе набора показателей, которые включают в себя характеристики атмосферы (температура, давление и т.д.),

а также другие показатели природной зоны (уровень моря, площадь морского льда, выбросы органического углерода и др.), а также внешние факторы (например, параметры орбиты Земли, геофизические характеристики и др.). В то же время масштаб или периодичность колебаний компонентов климатической системы сильно варьируются: от нескольких секунд атмосферных микровихрений до сотен тысяч лет параметров орбиты Земли, которые формируются в течение любого заданного интервала времени.

Структура временного ряда может быть представлена двумя основными типами моделей: стационарными и нестационарными. В стационарной модели основные параметры временного ряда, такие как среднее значение и дисперсия, являются постоянными или стационарными во времени. Для этого случая можно рассчитать среднее значение за длительный период наблюдений, которое является климатической нормой. Даже в контексте современного изменения климата считается, что колебания климатических характеристик являются квазистабильными для определенных небольших сегментов временного ряда, таких как 30 лет.

Однако, помимо случайных флуктуаций во временных рядах климатических характеристик, обусловленных факторами климатической системы, могут также существовать нестационарные компоненты с большими временными масштабами. В целом существует три основных типа нестационарных моделей:

- монотонные изменения в виде линейных трендов;
- периодические колебания;
- ступенчатый переход из одного стационарного состояния в другое.

Исходя из этого все нестационарные изменения в природе носят циклический характер, и тренд является частью цикла процесса достаточно большого масштаба, проявляющегося в виде увеличения или уменьшения в рассматриваемом ограниченном временном интервале.

Если предположить, что нестационарная составляющая является реакцией климатической системы на внешние воздействия, то показатели этих воздействий могут быть двух основных типов: монотонные (трендовые или циклические) и постепенные изменения. Механизм монотонного изменения происходит в сбалансированной системе, которая практически мгновенно реагирует на внешние воздействия. Механизм изменения шага, или триггерный механизм, характеризует несбалансированную систему, которая способна нейтрализовать или противостоять внешним воздействиям в течение определенного периода времени, пока их совокупное воздействие не выведет систему на следующий уровень. Таким образом, стационарные временные ряды могут быть частным случаем равновесных и несбалансированных систем. В первом случае это проявление случайных внешних воздействий, во втором случае-период устойчивого существования, когда система еще достаточно инерционна, чтобы противостоять внешним воздействиям.

Линейная трендовая модель характеризуется зависимостью рассматриваемых климатических характеристик (Y) от времени (t):

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

где b_1 , b_0 – коэффициенты уравнения регрессии, определяются 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} – среднее значение климатических характеристик и временных рядов

Статистическая значимость модели линейного тренда оценивается по статистической значимости коэффициента b_1 зависимости (1) или коэффициента корреляции R , 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 изменения шага аналогична двух (или нескольких) стационарной модели двух (или нескольких) частей временного ряда, характеризующейся инвариантностью среднего значения во времени и среднеквадратичным отклонением 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 среднего значения (t_n) определяется визуально или на основе дополнительной информации о факторе и дате нарушения плавности (например, изменения индекса циркуляции атмосферы), а также может быть определено итерацией при изменении двух раз:

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

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

3.2 Результаты моделирования временных рядов в пунктах наблюдений

В соответствии с методом, изложенным в разделе 3.1. Рассчитаны характеристики стационарных и нестационарных моделей среднемесячной

температуры холодного сезона (январь и апрель) для 14 метеостанций. В этих таблицах выделены достоверные различия с моделью стационарной выборки при $\Delta > 10\%$, статистически значимые значения критерия Фишера и коэффициенты корреляции в модели линейного тренда.

Результаты расчета модельных показателей температурных временных рядов за январь и апрель приведены в таблицах 3.2.1 и 3.2.2., где $r_{\text{ким}}$ показывает $\Delta > 10\%$ случая, когда нестационарная модель и критерий Фишера ($F_{\text{тр}}$ и $F_{\text{ст}}$). Таблица 3.2.1. и 3.2.2 также показывает: год Ст.- год перехода от одной стационарной части серии к другой в соответствии с моделью изменения шага; Год Н., год К-год, в котором началось и закончилось наблюдение, n-количество наблюдаемых лет; R- коэффициент корреляции линейной трендовой модели.

Таблица 3.2.1.

Показатели эффективности модели нестационарных временных рядов температуры января.

Код	$\Delta_{\text{тр}}$	$\Delta_{\text{ст}}$	$F_{\text{тр}}$	$F_{\text{ст}}$	Год ст	Год Н	Год К	n	R
70026	8,6	7,5	1,20	1,17	1926	1893	2020	128	0,40
70086	2,6	5,2	1,06	1,11	1977	1947	2020	65	0,23
70104	2,2	5,8	1,05	1,13	1988	1953	2008	51	0,21
70133	6,9	6,5	1,15	1,14	1942	1897	2020	96	0,18
70173	1,3	7,6	1,03	1,17	1977	1952	2006	52	0,16
70174	1,0	4,9	1,02	1,11	1977	1945	2020	74	0,14
71044	9,7	12,6	1,23	1,31	1985	1953	2020	45	0,43
71051	3,1	6,1	1,07	1,13	1999	1955	2020	63	0,20
71938	5,0	8,1	1,11	1,18	1993	1930	2020	90	0,31
71948	12,0	13,5	1,29	1,34	1977	1958	2020	62	0,48
71957	1,0	4,0	1,02	1,08	1977	1926	2013	86	0,14
71968	8,5	10,1	1,19	1,24	1962	1927	2020	85	0,40
71969	0,3	2,9	1,01	1,06	1977	1959	2018	48	0,08
71985	0,8	3,3	1,02	1,07	2005	1973	2020	43	0,13
Среднее	4,5	7	1,1	1,16	1977			70,5	0,26

Результаты приведены в таблице 3.2.1., таким образом, что в 14 рядах наблюдений температуры января 1 ряд имеет линейную модель тренда, а 3

ряда имеют модель ступенчатого изменения, которая нестационарна при $\Delta > 10\%$. Согласно критериям Фишера, уровень значимости составил 5%, без статистически значимых результатов. Статистически значимым коэффициентом корреляции со значением $R > 0,26$ являются 7 рядов. Пример графиков временных рядов для нестационарной модели показан на рис. 3.2.1.

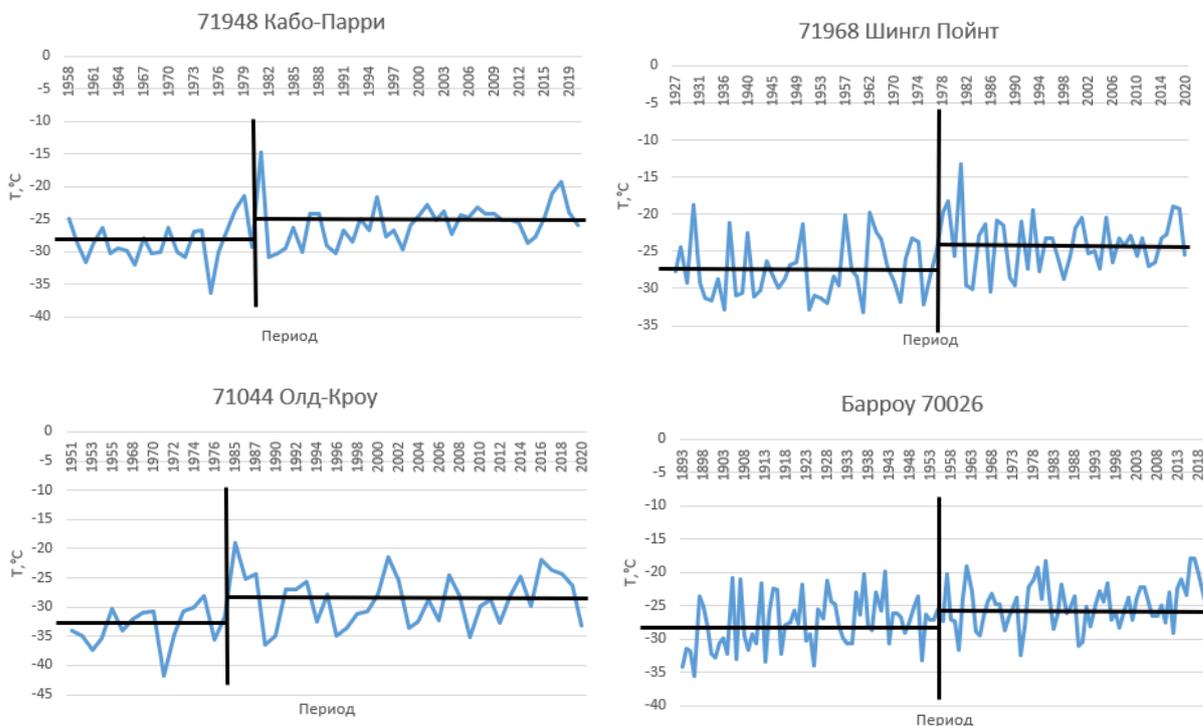


Рис 3.2.1. Графики временных рядов нестационарных моделей температур января

Таблица 3.2.2

Показатели эффективности модели нестационарных временных рядов температуры апреля.

Код	$\Delta_{тр}$	$\Delta_{ст}$	$F_{тр}$	$F_{ст}$	Год ст	Год Н	Год К	n	R
70026	5,3	9,6	1,11	1,22	1988	1893	2020	128	0,32
70086	9,8	17,8	1,23	1,48	1988	1948	2020	65	0,43
70104	1,0	6,3	1,02	1,14	1989	1953	2008	53	0,14
70133	3,1	6,6	1,06	1,15	1988	1898	2020	95	0,25
70173	4,9	9,4	1,11	1,22	1992	1952	2008	53	0,31
70174	13,2	15,2	1,33	1,39	1988	1945	2020	75	0,50

71044	7,8	15,6	1,18	1,40	1988	1952	2020	53	0,39
71051	18,4	18,8	1,50	1,52	1988	1956	2020	62	0,58
71938	0,9	3,0	1,02	1,06	1987	1931	2020	89	0,14
71948	9,7	11,3	1,23	1,27	1988	1959	2020	61	0,38
71957	0,5	5,2	1,01	1,11	1988	1926	2013	86	0,10
71968	0,3	5,5	1,01	1,12	1958	1928	2020	91	0,07
71969	7,6	13,8	1,17	1,34	1988	1959	2018	54	0,38
71985	4,3	9,1	1,09	1,21	1988	1973	2020	45	0,29
Среднее	6,2	10,5	1,14	1,25	1988			72	0,30

Как видно из результатов таблицы 3.2.2, в 14 рядах наблюдений температуры января 2 ряда с линейной моделью тренда и 6 рядов с моделью изменения шага, которые нестационарны при $\Delta > 10\%$. Статистически значим 1 ряд при уровне значимости 5% в соответствии с критериями Фишера. Статистически значимый коэффициент корреляции, значение $R > 0,26$, для 10 рядов. Пример графиков временных рядов для нестационарной модели показан на рис. 3.2.2.

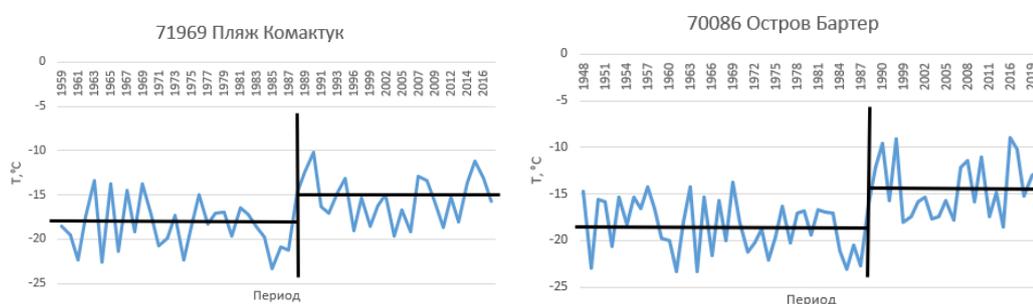


Рис 3.2.2. Графики временных рядов нестационарных моделей температур апреля

3.3 Оценка устойчивости во времени показателей нестационарности

Для оценки устойчивости показателей нестационарных моделей во времени рассматриваются временные ряды разных лет с начала наблюдений: с 1900, 1920, 1940 и 1960 годов до последнего года наблюдений. Результаты исследования временной стабильности показателей нестационарных моделей

за январь и апрель приведены в таблицах 2 и 3 приложения. Исходя из данных январской таблицы, можно сделать вывод, что показатели эффективности нестационарных моделей нестабильны, поскольку они изменяются в зависимости от задания разного года начала наблюдений и, как правило, растут при движении от прошлого к настоящему и это означает, что в последний период потепление более значительно.

При анализе табличных данных за апрель также очевидно, что нестационарные показатели нестабильны, так как они увеличиваются по мере перехода к последнему периоду. Также можно видеть, что в 14 сериях наблюдений температуры апреля, за исключением серии метеостанции Куглуктук (71938), все серии наблюдений с 1960 года являются нестационарными при $\Delta > 10\%$ для моделей пошагового изменения и моделей линейного тренда.

Анализируя данные в таблицах за январь и апрель, мы можем сделать вывод, что модель ступенчатых изменений лучше, чем модель линейного тренда, поскольку ее значение Δ больше, чем модель линейного тренда: в среднем в январе модель тренда намного лучше, чем модель линейного тренда.

3.4 Пространственные обобщения показателей нестационарности

Для оценки достоверности и пространственного распределения нестационарных свойств на основе линейных трендовых моделей и пошаговых индикаторов рассматривается последний период времени, наблюдавшийся с 1960 по последний год. Именно этот период в западной Арктике был связан с современным потеплением, которое не учитывало естественное потепление середины 20-го века.

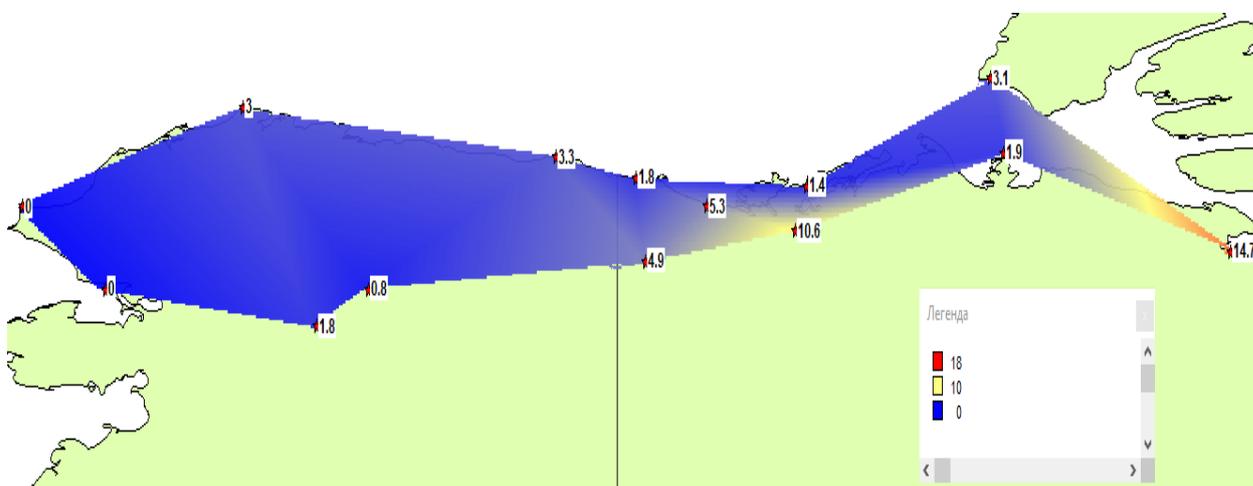
Таблицы 3.4.1. и 3.4.2. показывают результаты расчета моделей линейного тренда ($\Delta_{тр}$) и изменения шага ($\Delta_{ст}$) на основе временных рядов за январь и апрель. Для того, чтобы суммировать рассчитанные параметры,

пространственное распределение отклонения нестационарной модели и модели стационарной выборки в процентах ($\Delta_{тр.}$ и $\Delta_{ст.}$) и построен коэффициент корреляции температуры января и апреля, как показано на рис. 3.4.1. и 3.4.2.

Таблица 3.4.1.

Показатели эффективности нестационарных моделей температур января

Код станции	Название	Широта	Долгота	$\Delta_{тр, \%}$	$\Delta_{ст, \%}$	К-т корр-ции
70026	Барроу (США)	71.3	-156.8	3.0	4.4	0.24
70086	Бартер Остров (США)	70.1	-143.6	3.3	6.3	0.26
70104	Лисберн (США)	68.9	-166.1	0.0	2.1	0.02
70133	Коцебу (США)	66.9	-162.6	0.0	1.3	0.02
70173	Аэропорт Indian Mountain AFS (США)	66	-153.7	1.8	6.7	0.19
70174	Беттлс (США)	66.9	-151.5	0.8	6.4	0.12
71044	Олд-Кроу (Канада)	67.57	-139.8	4.9	12.6	0.31
71051	Маниберрис (Канада)	72	-125.27	3,1	6,1	0.22
71938	Куглуктук (Канада)	67.8	-115.1	14.7	13.5	0.44
71948	Кабо-Парри (Канада)	70.2	-124.7	1.9	0.0	0.15
71957	Инувик (Канада)	68.3	-133.5	10.6	10.9	0.37
71968	Шингл Пойнт (Канада)	68.9	-137.2	5.3	7.9	0.23
71969	Пляж Комакук (Канада)	69.6	-140.2	1.8	4.1	0.19
71985	Тектоякчек (Канада)	69.4	-133	1.4	7.7	0.17



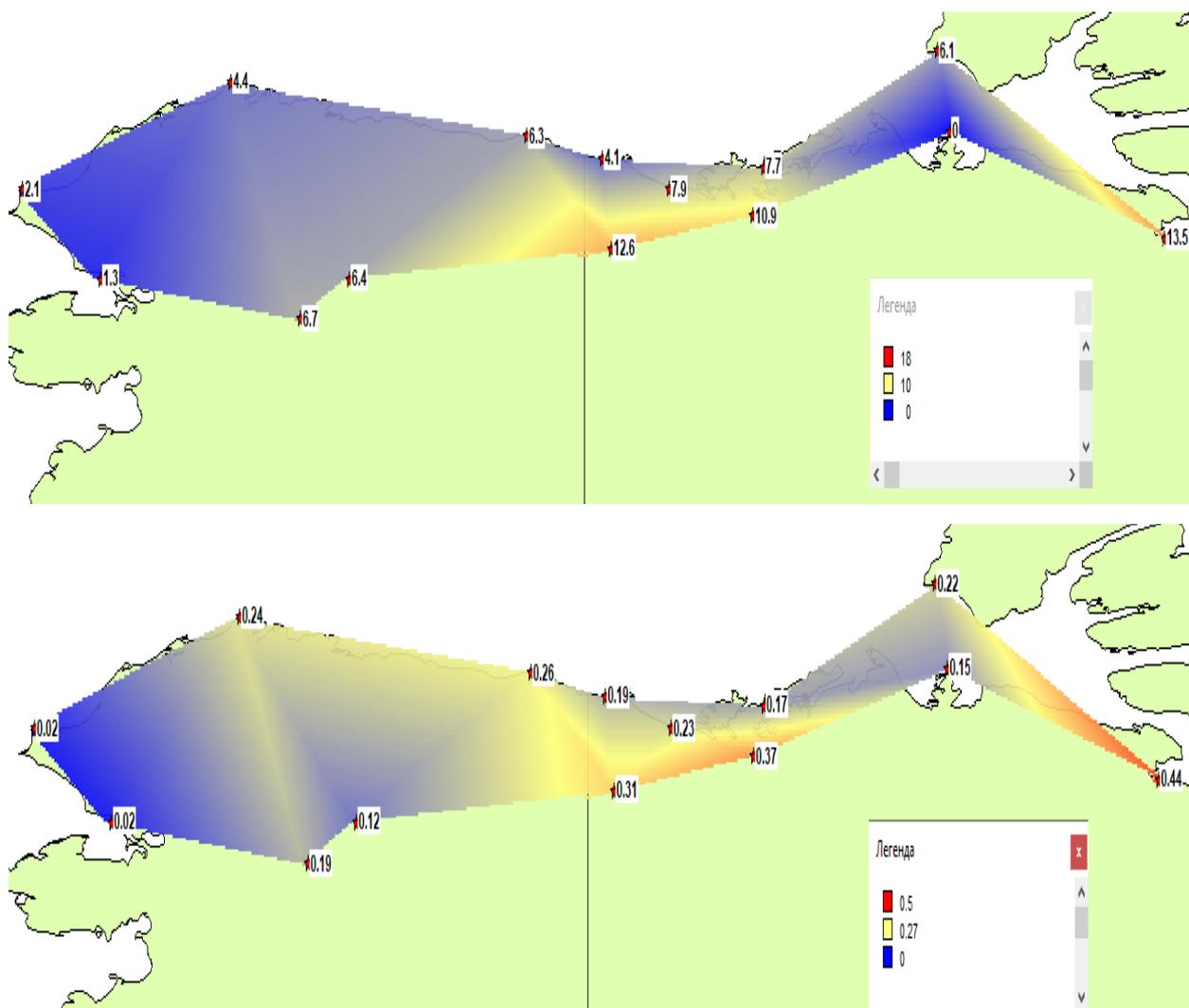


Рис 3.4.1. Пространственные распределения отклонений нестационарных моделей от модели стационарной выборки Δtr . в % (верхний), $\Delta ст$. в % (средний) и коэффициента корреляции (нижний) для температуры января.

Анализируя пространственное распределение, можно увидеть, что почти вся западная Арктика имеет стационарную температурную модель в январе. Модель линейного тренда наблюдала нестационарное поведение только на двух станциях Инувик (71957) и Куглуктук (71938), которые являются самыми восточными точками региона. Модель изменения шага показывает нестационарные свойства 3 станций Инувик (71957), Куглуктук (71938) и Олд-Кроу (71044)

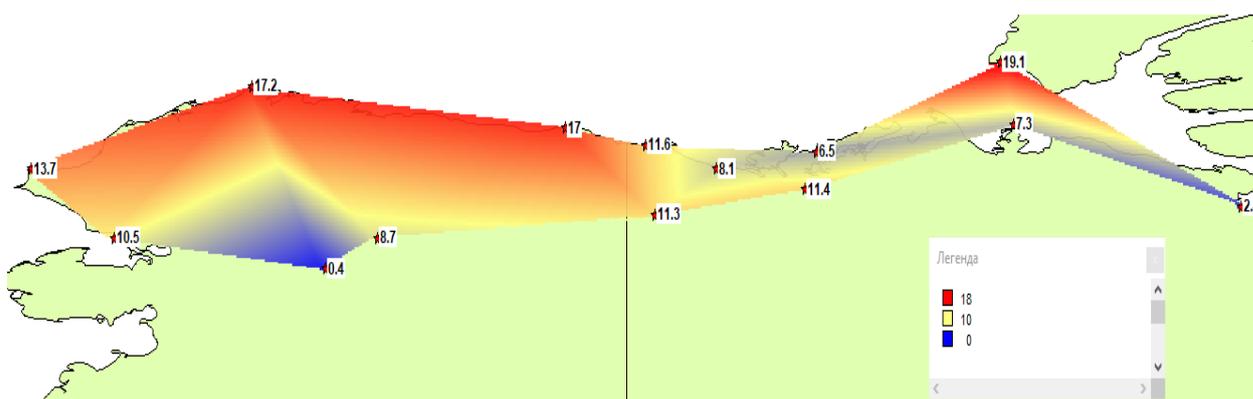
Пространственное распределение значений коэффициента корреляции линейного тренда четко указывает на то, что западный арктический регион разделен на 2 части. Коэффициент корреляции со значением, превышающим 0,26, обнаружен в восточной части региона, в то время как в западной части он незначителен.

Исходя из этих распределений можно сделать вывод, что зимой современное потепление наблюдается только на нескольких станциях данного региона, находящихся на востоке.

Таблица 3.4.2.

Показатели эффективности нестационарных моделей температур апреля

Код станции	Название	Широта	Долгота	$\Delta_{тр},\%$	$\Delta_{ст},\%$	К-т корр-ции
70026	Барроу (США)	71.3	-156.8	17.2	19.7	0.56
70086	Остров Бартер (США)	70.1	-143.6	17.0	22.5	0.56
70104	Лисберн (США)	68.9	-166.1	13.7	18.6	0.41
70133	Коцебу (США)	66.9	-162.6	10.5	12.5	0.45
70173	Аэропорт Indian Mountain AFS (США)	66	-153.7	0.4	3.4	0.09
70174	Бетглс (США)	66.9	-151.5	8.7	12.5	0.39
71044	Олд-Кроу (Канада)	67.57	-139.8	11.3	15.4	0.44
71051	Маниберрис (Канада)	72	-125.27	19.1	20.4	0.59
71938	Куглуктук (Канада)	67.8	-115.1	2.4	5.3	0.22
71948	Кабо-Парри (Канада)	70.2	-124.7	7.3	12.1	0.38
71957	Инувик (Канада)	68.3	-133.5	11.4	14.3	0.45
71968	Шингл Пойнт (Канада)	68.9	-137.2	8.1	12.9	0.39
71969	Пляж Комакук (Канада)	69.6	-140.2	11.6	16.1	0.45
71985	Тектоякчек (Канада)	69.4	-133	6.5	11.1	0.35



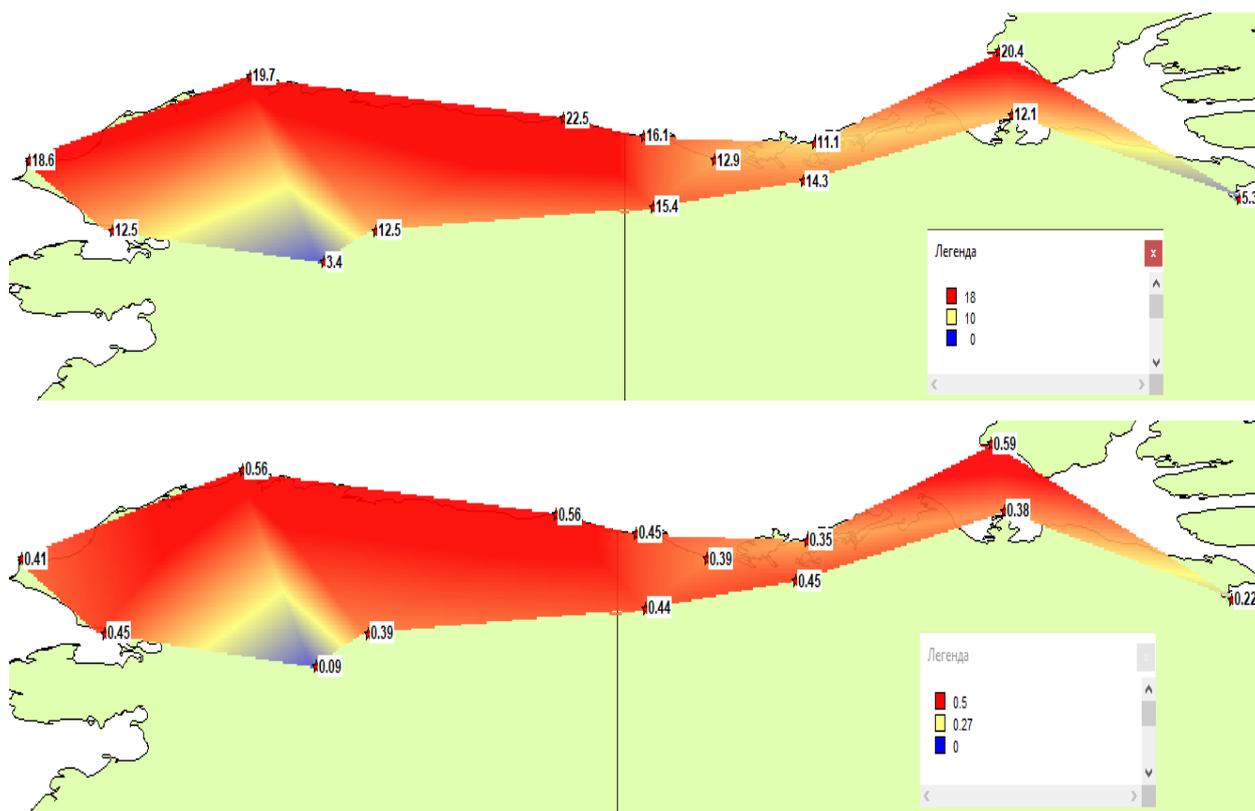


Рис 3.4.2. Пространственные распределения отклонений нестационарных моделей от модели стационарной выборки $\Delta_{тр}$. в % (верхний), $\Delta_{ст}$. в % (средний) и коэффициента корреляции (нижний).

Из рисунка 3.4.2. видно, что в апреле только на 4 станциях наблюдалась стационарность (Аэропорт Indian Mountain AFS (70173), Куглуктук (71938), Тектоякчек (71985) и Шингл Пойнт (71968)) при рассмотрении модели линейного тренда, а для модели ступенчатых изменений стационарные средние имеют место только на 2х станциях (Аэропорт Indian Mountain AFS (70173)и Куглуктук (71938)). Исходя из этого можно сделать вывод, что нестационарность наблюдается на всей территории данного региона. Максимальные значения $\Delta_{тр},\%$ и $\Delta_{ст},\%$ находятся на островах и на побережье континента.

Пространственное распределение коэффициента корреляции указывает на то, что практически все значения $\geq 0,26$, поэтому в апреле незначимых коэффициентов корреляции практически нет, за исключением 2 станции, а именно (Аэропорт Indian Mountain AFS (70173), для которой коэффициент

корреляции равен 0,09 и Куглуктук (71938) для которой коэффициент корреляции равен 0,22.

3.5 Оценка современного потепления Западной Арктики (западный сектор) за период 1960-2020 годов

Для определения последнего естественного потепления 1920-1940 годов, с начала наблюдений до 1960 года, были учтены ряды среднемесячных температур в январе и апреле, поэтому модели линейных тенденций и ступенчатых изменений не регистрируют современное потепление. После чего, для сравнения были взяты данные о современном потеплении без учета естественного потепления, то есть с 1960 года до конца наблюдений. Результаты моделирования приведены в таблице 3.5.1. И 3.5.2.

Таблица 3.5.1.

Результаты сравнения современного потепления Западной Арктики (западный сектор) с потеплением 1920-40 годов для температуры января.

Код станции	Период	$\Delta t_r, \%$	$\Delta t_s, \%$	Год ступенчатых изменений	Год начала измерений	Год окончания наблюдений	Число лет	к-т корреляции
70026	с 1960	3,0	4,4	2010	1960	2020	61	0,24
	до 1960	3,9	6,5	1946	1893	1960	68	0,28
70086	с 1960	3,3	6,3	1977	1960	2020	61	0,26
	до 1960	1,9	2,1	1938	1893	1960	33	0,20
70104	с 1960	0,0	2,1	2010	1960	2020	61	0,02
	до 1960							
70133	с 1960	0,0	1,3	1977	1960	2020	61	0,02
	до 1960	8,5	7,2	1936	1897	1960	41	0,19
70173	с 1960	1,8	6,7	1977	1960	2020	61	0,19
	до 1960	1,2	2,0	1947	1929	1960	27	0,15
70174	с 1960	0,8	6,4	1976	1960	2020	60	0,12
	до 1960	4,4	0,0	1947	1930	1960	17	0,26
71044	с 1960	4,9	12,6	1977	1960	2020	61	0,31
	до 1960	0,1	0,0	1947	1926	1960	18	0,02

71051	с 1960	2,5	5,8	1999	1960	2020	58	0,22
	до 1960							
71938	с 1960	14,7	13,5	1977	1960	2020	61	0,44
	до 1960	0,0	3,4	1946	1930	1960	30	0,01
71948	с 1960	1,9	0,0	1977	1960	2020	60	0,15
	до 1960	13,2	13,2	1946	1930	1960	30	0,35
71957	с 1960	10,6	10,9	1977	1960	2020	61	0,37
	до 1960	0,9	0,7	1950	1929	1960	30	0,13
71968	с 1960	5,3	7,9	1977	1960	2020	60	0,23
	до 1960	2,5	2,2	1938	1926	1960	34	0,22
71969	с 1960	1,8	4,1	1977	1960	2020	61	0,19
	до 1960	0,1	0,5	1937	1926	1960	35	0,05
71985	с 1960	1,4	7,7	1982	1962	2020	58	0,17
	до 1960							

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

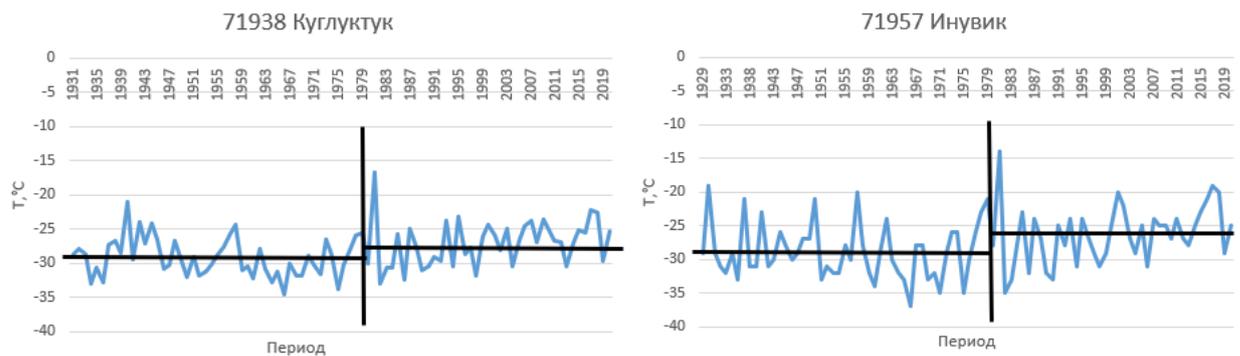


Рис 3.5.1. Временные графики температуры января на станциях и их аппроксимация моделью ступенчатых изменений.

Для оценки вклада современного потепления средняя разница температур рассчитывается по следующей формуле:

$$\Delta_I = \bar{t}_{1960-1977} \quad (3.8)$$

$$\Delta_{II} = \bar{t}_{1978-2020} \quad (3.9)$$

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

где Δ_I – средняя температура за период стационарных колебаний с 1960 по 1977 гг., Δ_{II} – средняя температура за период новых стационарных колебаний с 1978 по 2020 г. после резкого изменения среднего, Δ' – разность средних температур между двумя периодами или количественная оценка вклада современного потепления в °С. При этом 1977 г. – год перехода от одних стационарных условий к другим как наиболее повторяющийся для всех ситуаций в модели ступенчатых изменений.

Результаты расчетов представлены в таблице 3.5.2. для января месяца. Пространственное распределение также основано на табличных данных Δ' на рис.3.5.2.

Данный рисунок (рис.3.5.2) показывает разницу между Δ_{II} и Δ_I .

Таблица 3.5.2.

Оценка вклада современного потепления Западной Арктики (западный сектор) в январе в °С

Код станции	Название	Широта	Долгота	Δ_I	Δ_{II}	Δ'
70026	Барроу (США)	71.3	-156.8	-25,9	-24,2	1,7
70086	Остров Бартер (США)	70.1	-143.6	-26,6	-23,8	2,8
70104	Лисберн (США)	68.9	-166.1	-18,6	-18,4	0,2
70133	Коцебу (США)	66.9	-162.6	-19,2	-18,2	1,0
70173	Аэропорт Indian Mountain AFS (США)	66	-153.7	-21,6	-18,4	3,2
70174	Беттлс (США)	66.9	-151.5	-26,8	-22,9	3,9
71044	Олд-Кроу (Канада)	67.57	-139.8	-33,5	-28,4	5,1
71051	Маниберрис (Канада)	72	-125.27	-31,3	-24,3	7,0
71938	Куглуктук (Канада)	67.8	-115.1	-30,6	-27,0	3,6
71948	Кабо-Парри (Канада)	70.2	-124.7	-29,5	-26,3	3,2
71957	Инувик (Канада)	68.3	-133.5	-30,3	-26,0	4,3
71968	Шингл Пойнт (Канада)	68.9	-137.2	-27,3	-23,9	3,4
71969	Пляж Комакук (Канада)	69.6	-140.2	-26,0	-23,7	2,3
71985	Тектоякчек (Канада)	69.4	-133	-22,2	-20,4	1,8

Анализируя таблицу 3.5.2, можно сделать вывод, что средняя температура января в период с 1960 по 1977 составила $-26,3^{\circ}\text{C}$, а за период с 1978 по 2020 составила $-23,3^{\circ}\text{C}$. Следовательно, мы можем сделать вывод, что среднее потепление по данному региону в январе составило $3,0^{\circ}\text{C}$ с вариациями от 1 до 5°C

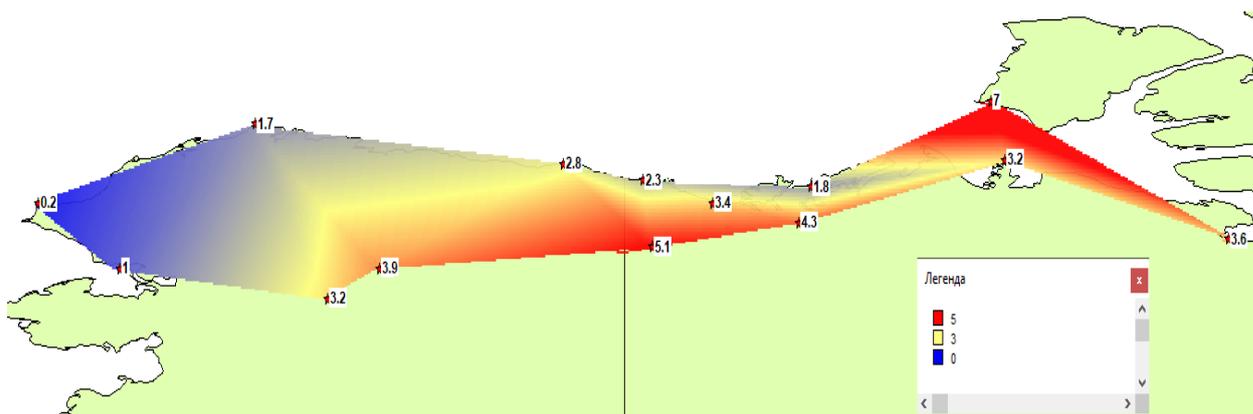


Рис 3.5.2. Пространственное распределение Δ' для температур января.

Анализируя рис.3.5.2, можно сделать вывод, что самые значимые потепления в январе наблюдаются на восточной часть данного региона, а именно на станциях Манибберис (71051), Кабо-Парри (71948) и Олд-Кроу (71044).

Таблица 3.5.3.

Оценка вклада современного потепления Западной Арктики (западный сектор) в апреле в $^{\circ}\text{C}$

Код станции	Период	$\Delta_{\text{тр}},\%$	$\Delta_{\text{ст}},\%$	Год ступенчатых изменений	Год начала измерений	Год окончания наблюдений	Число лет	к-т корреляции
70026	с 1960	17,2	19,7	1988	1960	2020	61	0,56
	до 1960	2,7	4,8	1925	1893	1960	68	0,23
70086	с 1960	17,0	22,5	1988	1960	2020	61	0,56
	до 1960	2,5	5,2	1925	1893	1960	68	0,22
70104	с 1960	13,7	18,6	1989	1960	2020	59	0,41
	до 1960	1,6	0,0	1948	1948	1960	13	0,08

70133	с 1960	10,5	12,5	1988	1960	2020	61	0,45
	до 1960	2,0	5,2	1931	1897	1960	41	0,20
70173	с 1960	0,4	3,4	1987	1960	2020	61	0,09
	до 1960							
70174	с 1960	8,7	12,5	1988	1960	2020	61	0,39
	до 1960							
71044	с 1960	11,3	15,4	1988	1960	2020	61	0,44
	до 1960	0,1	1,7	1939	1926	1960	34	0,04
71051	с 1960	19,1	20,4	2003	1960	2020	58	0,59
	до 1960							
71938	с 1960	2,4	5,3	1987	1960	2020	61	0,22
	до 1960	0,0	1,0	1945	1930	1960	30	0,02
71948	с 1960	7,3	12,1	1988	1960	2020	60	0,38
	до 1960	1,9	2,9	1945	1926	1960	34	0,20
71957	с 1960	11,4	14,3	1988	1960	2020	61	0,45
	до 1960	0,1	2,0	1940	1926	1960	33	0,05
71968	с 1960	8,1	12,9	1988	1960	2020	60	0,39
	до 1960	0,1	1,3	1945	1926	1960	33	0,04
71969	с 1960	11,6	16,1	1988	1960	2020	61	0,45
	до 1960	6,8	9,2	1946	1926	1960	34	0,26
71985	с 1960	6,5	11,1	1988	1960	2020	61	0,35
	до 1960	0,5	2,4	1940	1926	1960	33	0,10

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

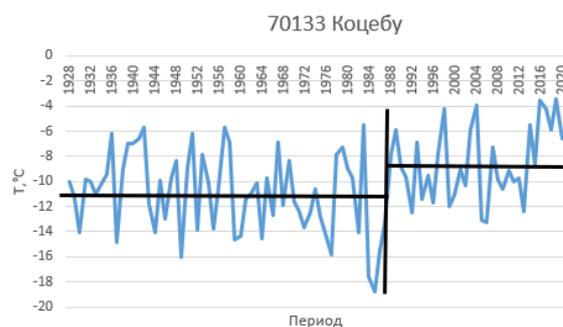
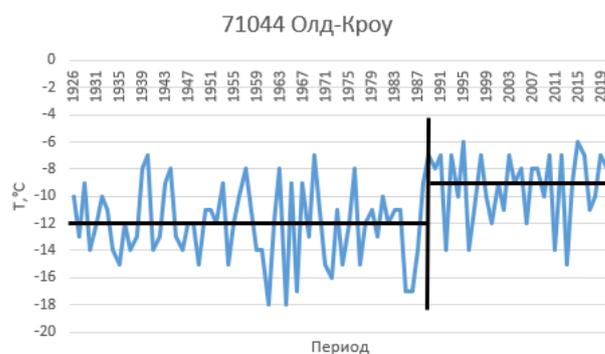


Рис. 3.5.3.- Временные графики температуры апреля на станциях и их аппроксимация моделью ступенчатых изменений.

Для оценки вклада современного потепления средняя разница температур рассчитывается 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 температура за период стационарных колебаний с 1960 по 1988 гг., Δ_{II} – средняя температура за период новых стационарных колебаний с 1989 по 2020 г. после резкого изменения среднего, Δ' – разность средних температур между двумя периодами или количественная оценка вклада современного потепления в °С. При этом 1987 г. – год перехода от одних стационарных условий к другим как наиболее повторяющийся для всех ситуаций в модели ступенчатых изменений.

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

Таблица 3.5.4

Оценка вклада современного потепления Западной Арктики(западный сектор) в апреле в °С

Код станции	Название	Широта	Долгота	Δ_I	Δ_{II}	Δ'
70026	Барроу (США)	71.3	-156.8	-19,3	-15,6	3,7
70086	Остров Бартер (США)	70.1	-143.6	-18,9	-14,5	4,4

70104	Лисберн (США)	68.9	-166.1	-15,3	-11,1	4,2
70133	Коцебу (США)	66.9	-162.6	-11,8	-8,5	3,3
70173	Аэропорт Indian Mountain AFS (США)	66	-153.7	-5,7	-3,8	1,9
70174	Беттлс (США)	66.9	-151.5	-6,8	-3,9	2,9
71044	Олд-Кроу (Канада)	67.57	-139.8	-12,5	-8,9	3,6
71051	Маниберрис (Канада)	72	-125.27	-19,7	-11,5	8,2
71938	Куглуктук (Канада)	67.8	-115.1	-17,7	-16,1	1,6
71948	Кабо-Парри (Канада)	70.2	-124.7	-18,5	-15,6	2,9
71957	Инувик (Канада)	68.3	-133.5	-14,5	-10,8	3,7
71968	Шингл Пойнт (Канада)	68.9	-137.2	-17,1	-13,6	3,5
71969	Пляж Комакук (Канада)	69.6	-140.2	-18,4	-14,8	3,6
71985	Тектоякчек (Канада)	69.4	-133	-17,1	-14,3	2,8

Анализируя таблицу 3.5.4, можно сделать вывод, что средняя температура апреля в период с 1960 по 1988 составила $-15,2^{\circ}\text{C}$, а за период с 1989 по 2020 составила $-11,6^{\circ}\text{C}$. Следовательно, мы можем сделать вывод, что среднее потепление по данному региону в апреле составило $3,6^{\circ}\text{C}$ при вариации от $1,6^{\circ}\text{C}$ до $4,4^{\circ}\text{C}$ и даже до $8,8^{\circ}\text{C}$.

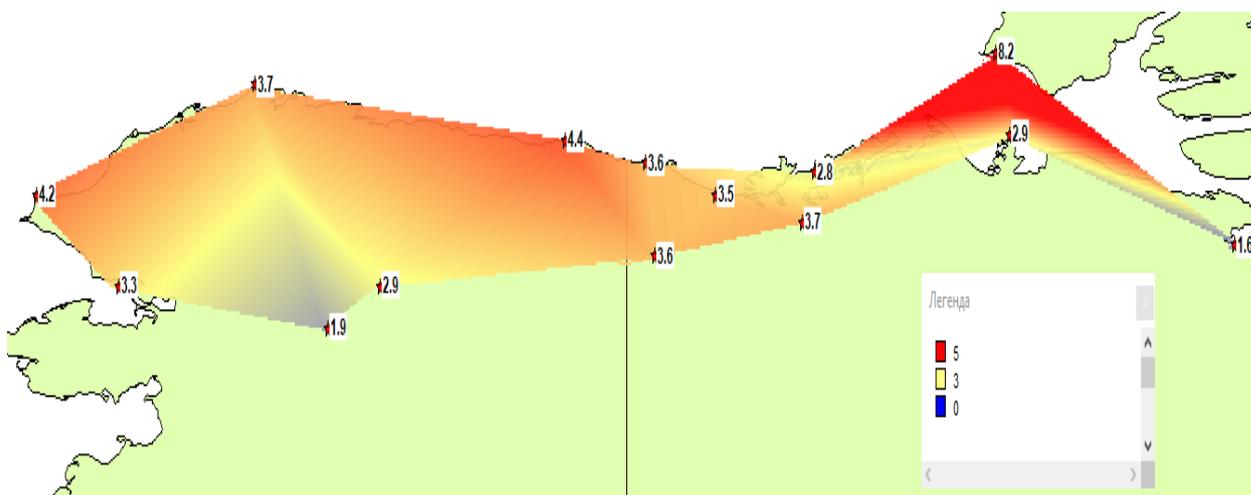


Рис 3.5.4. Пространственное распределение Δ' для температур апреля.

Анализируя рисунок 3.5.4, можно сделать вывод, что самое значимое потепление в апреле наблюдается на восточной часть данного региона, а именно на станции Маниберрис (71051) и составило $8,2^{\circ}\text{C}$.

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

4.1 Результаты моделирования временных рядов в пунктах наблюдений

В соответствии с методикой, изложенной в разделе 3.1, были рассчитаны характеристики стационарных и нестационарных моделей среднемесячных температур 14 метеостанций в теплое время года (июль и октябрь). В этих таблицах показана эффективная разница между $\Delta > 10\%$ и моделью стационарной выборки, статистически значимое значение критерия Фишера и коэффициент корреляции линейного тренда.

Результаты расчетов на основе моделей временных рядов за июль и октябрь приведены в таблице 4.1.1. и 4.1.2., где нестационарная модель при $\Delta > 10\%$ случая и статистика критерия Фишера ($F_{тр}$ и $F_{ст}$) на уровне значимости 5% выделено яркими цветами, а также статистически значимыми коэффициентами линейного уравнения тренда R . В таблице также показано: год ст.- год перехода от одной стационарной части серии к другой в соответствии с моделью; Год Н., Год. К. – годы начала и окончания наблюдений, n – количество лет наблюдений; R – коэффициент корреляции модели линейного тренда.

Таблица 4.1.1.

Показатели эффективности модели нестационарных временных рядов температуры июля.

Код	$\Delta_{тр}$	$\Delta_{ст}$	$F_{тр}$	$F_{ст}$	Год ст	Год Н	Год К	n	R
70026	5,4	10,6	1,12	1,25	1989	1893	2020	128	0,33
70086	14,7	19,2	1,37	1,53	1987	1948	2020	65	0,52

70104	0,4	4,1	1,01	1,09	1993	1953	2008	53	0,09
70133	7,2	8,4	1,16	1,19	1977	1897	2020	96	0,37
70173	1,0	5,3	1,02	1,12	1968	1952	2008	53	0,14
70174	6,3	11,0	1,14	1,26	1968	1945	2020	75	0,35
71044	1,9	4,7	1,04	1,10	1987	1952	2020	54	0,20
71051	12,5	17,3	1,31	1,46	2008	1956	2020	62	0,48
71938	7,3	10,9	1,16	1,26	1988	1931	2020	89	0,38
71948	0,8	3,1	1,02	1,06	1987	1957	2020	61	0,12
71957	1,8	3,3	1,04	1,07	1987	1926	2012	85	0,19
71968	8,1	18,7	1,18	1,51	1957	1926	2020	88	0,39
71969	3,9	6,3	1,08	1,14	1987	1958	2015	52	0,28
71985	0,1	2,1	1,00	1,04	1987	1973	2020	43	0,04
Среднее	5,1	8,9	1,11	1,22	1987			71	0,27

Результаты из таблицы 4.1.1. показывают, что в 14 рядах наблюдений температуры января 2 ряда с линейной моделью тренда и 6 рядов с моделью изменения шага нестационарны при $\Delta > 10\%$. Согласно критериям Фишера, уровень значимости составил 5%, без статистически значимых результатов. $R > 0,26$ статистически значимый коэффициент корреляции являются 8 рядов. Пример графиков временных рядов для нестационарной модели показан на рис. 4.1.1.

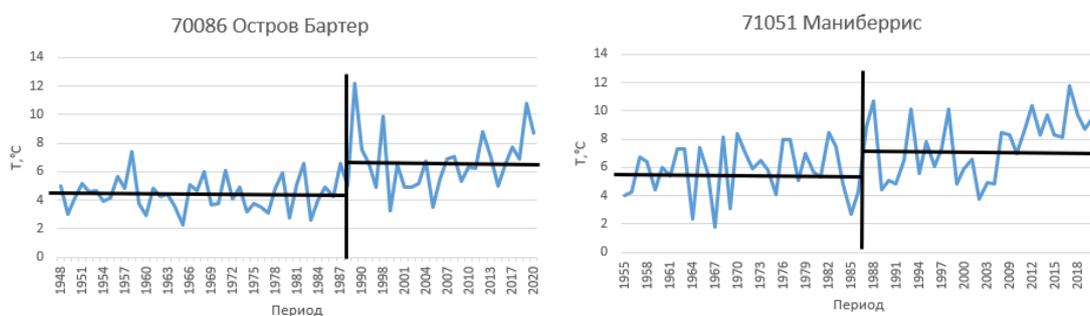


Рис 4.1.1. Графики временных рядов нестационарных моделей июля.

Таблица 4.1.2.

Показатели эффективности модели нестационарных временных рядов температуры октября.

Код	$\Delta_{тр}$	$\Delta_{ст}$	$F_{тр}$	$F_{ст}$	Год ст	Год Н	Год К	n	R
70026	4,4	12,7	1,09	1,31	2002	1893	2020	128	0,29
70086	12,6	21,0	1,31	1,60	1998	1947	2020	67	0,49

70104	3,4	8,6	1,07	1,20	1991	1952	2008	54	0,26
70133	2,7	11,0	1,06	1,26	2003	1897	2020	96	0,23
70173	1,0	3,5	1,02	1,07	1965	1951	2008	55	0,14
70174	2,2	7,9	1,05	1,18	2002	1944	2020	76	0,21
71044	2,1	6,0	1,04	1,13	2001	1951	2020	53	0,20
71051	1,3	4,5	1,03	1,10	2001	1956	2020	62	0,16
71938	2,6	4,2	1,05	1,09	2005	1930	2020	90	0,23
71948	5,1	6,3	1,11	1,14	1998	1957	2018	61	0,32
71957	0,0	4,4	1,00	1,09	2002	1926	2012	86	0,02
71968	0,0	5,6	1,00	1,12	2002	1926	2020	90	0,03
71969	4,2	10,6	1,09	1,25	2003	1958	2017	55	0,29
71985	0,2	4,7	1,27	1,30	2010	1974	2020	44	0,06
Среднее	3,5	8,2	1,08	1,20	2002			72	0,21

Результаты из таблицы 4.1.2. показывают, что в 14 рядах наблюдений температуры июля 1 ряд модели линейного тренда и 4 ряда модели ступенчатого изменения были нестационарными при $\Delta > 10\%$. Согласно критериям Фишера, уровень значимости составил 5%, без статистически значимых результатов. Статистически значимый коэффициент корреляции, значение $R > 0,26$, является для 4 рядов. Пример графиков временных рядов для нестационарной модели показан на рис. 4.1.2.

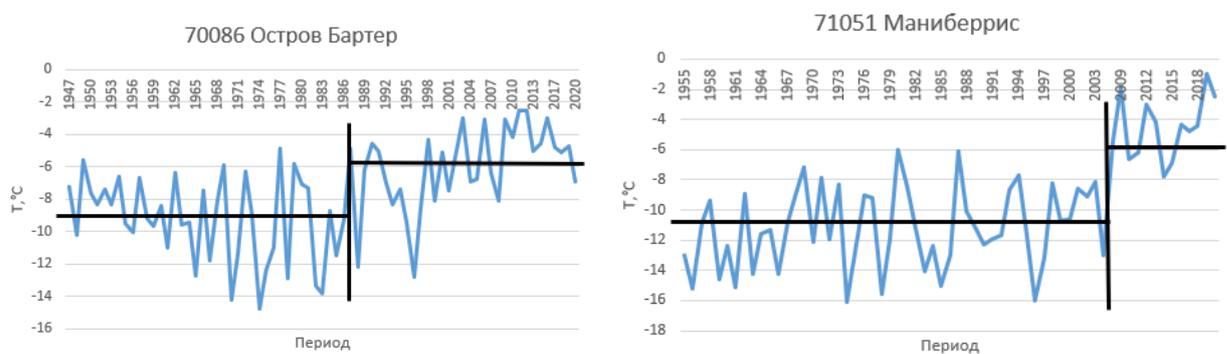


Рис 4.1.2. Графики временных рядов нестационарных моделей октября.

4.2. Оценка устойчивости во времени показателей нестационарности

Для оценки временной устойчивости нестационарных показателей возьмем ряды, год начала наблюдений для которых задавался 1900 г., 1920 г., 1940 г. и 1960 годом. Таким образом, оценивалась устойчивость показателей нестационарности за разные интервалы времени с приближением к современному периоду. Результаты исследования временной стабильности для температурных рядов нестационарных показателей в июле и октябре приведены в таблице 3 и 4 Приложения.

Анализируя июльские данные в таблице, можно сделать вывод, что показатель нестационарный стабилен, поскольку при задании разного года начала наблюдений показатели эффективности закономерно не изменяются. Но можно увидеть, что на всех станциях из 14 рядов наблюдений температур июля нестационарными при $\Delta > 10\%$, начиная с 1960 года, для модели ступенчатых изменений и модели линейного тренда являются всего 2 станции, а именно Остров Бартер (70086) и Маниберрис (71051).

Анализируя данные температур октября (табл.4.1.2), можно сделать вывод, что показатели нестационарности нестабилен, поскольку с 1960 г. они повсеместно снижаются. Поэтому вклад предыдущего потепления 1920-40х годов оказался больше современного потепления. Также видно, что на 4 станциях из 14 рядов наблюдений, начиная с 1960 года, температура нестационарна при $\Delta > 10\%$.

4.3. Пространственные обобщения показателей нестационарности

Для оценки достоверности и пространственного распределения нестационарных свойств на основе линейных трендовых моделей и пошаговых индикаторов рассматривается последний период времени, наблюдавшийся с 1960 по последний год. Именно этот период в западной

Арктике был связан с современным потеплением, которое не учитывало естественное потепление середины 20-го века.

В таблицах 4.4.1. и 4.4.2. 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 января и апреля, показанные на рисунках 4.4.1. и 4.4.2.

Таблица 4.4.1.

Показатели нестационарности рядов температур июля

Код станции	Название	Широта	Долгота	$\Delta_{тр},\%$	$\Delta_{ст},\%$	К-т корр-ции
70026	Барроу (США)	71.3	-156.8	16.6	16.2	0.55
70086	Бартер Остров (США)	70.1	-143.6	15.7	17.0	0.54
70104	Лисберн (США)	68.9	-166.1	6.6	10.1	0.36
70133	Коцебу (США)	66.9	-162.6	7.2	7.2	0.37
70173	Аэропорт Indian Mountain AFS (США)	66	-153.7	1.4	3.0	0.17
70174	Беттлс (США)	66.9	-151.5	0.9	2.7	0.13
71044	Олд-Кроу (Канада)	67.57	-139.8	4.8	6.2	0.31
71051	Маниберрис (Канада)	72	-125.27	7.0	11.7	0.37
71938	Куглуктук (Канада)	67.8	-115.1	3.2	8.5	0.25
71948	Кабо-Парри (Канада)	70.2	-124.7	0.0	1.7	0.01
71957	Инувик (Канада)	68.3	-133.5	1.3	3.4	0.16
71968	Шингл Пойнт (Канада)	68.9	-137.2	3.0	5.4	0.24
71969	Пляж Комакук (Канада)	69.6	-140.2	7.2	9.8	0.23
71985	Тектоякчек (Канада)	69.4	-133	1.7	4.9	0.19

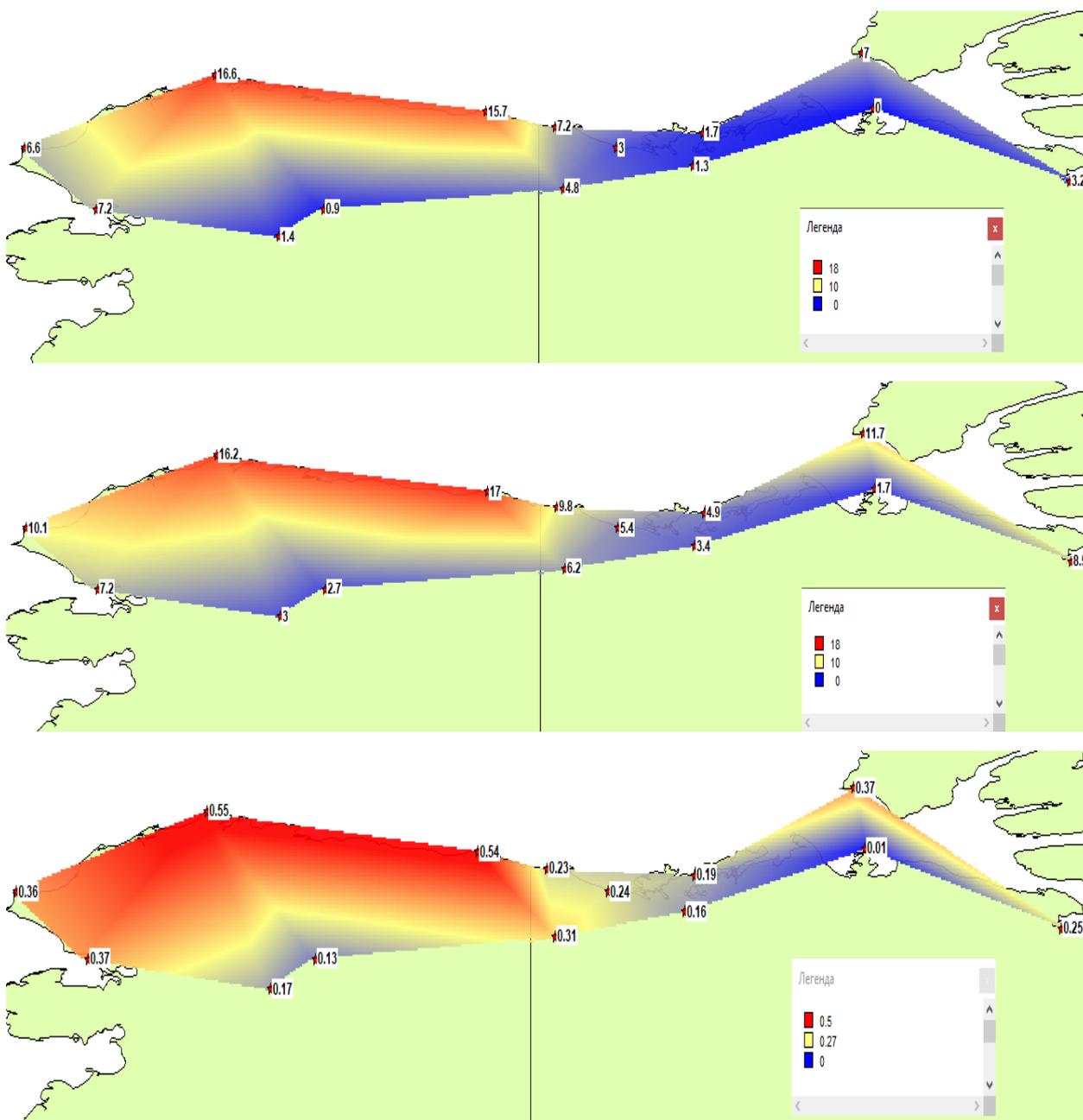


Рис 4.3.1. Пространственные распределения отклонений нестационарных моделей от модели стационарной выборки Δtr . в % (верхний), Δst . в % (средний) и коэффициента корреляции (нижний).

Анализируя пространственное распределение, видно, что восточная Арктика является стационарной, а нестационарная наблюдается в западной Арктике, т. е. станции Барроу (70026) и Остров Бартер (70086) линейной трендовой модели. Для модели изменения шага добавлены 2 станции, а именно Лисберн (70104), который также расположен к западу от Северного

полюса, и станция Манибберис (71051), которая расположена к востоку от региона.

Пространственное распределение значений коэффициента корреляции четко указывает на то, что западный арктический регион разделен на две части. Коэффициент корреляции со значением, превышающим 0,26, обнаружен в западной части региона, а менее важный коэффициент корреляции обнаружен в восточной части, за исключением одной станции, а именно Маниббериса (71051).

Исходя из этого распределения, можно сделать вывод, что летом современное потепление наблюдается только на станциях западной части региона. Исключением является станция Маниберрис (71051), которая находится в восточной часть данного региона.

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

Таблица 4.3.2.

Показатели нестационарности рядов температур октября

Код станции	Название	Широта	Долгота	$\Delta_{тр},\%$	$\Delta_{ст},\%$	К-т корр-ции
70026	Барроу (США)	71.3	-156.8	20.3	26.0	0.45
70086	Бартер Остров (США)	70.1	-143.6	20.1	19.0	0.44
70104	Лисберн (США)	68.9	-166.1	15.6	23.6	0.54
70133	Коцебу (США)	66.9	-162.6	12.8	17.1	0.46
70173	Аэропорт Indian Mountain AFS (США)	66	-153.7	5.2	8.7	0.21
70174	Беттлс (США)	66.9	-151.5	3.4	9.4	0.26
71044	Олд-Кроу (Канада)	67.57	-139.8	2.8	5.8	0.24
71051	Маниберрис (Канада)	72	-125.27	19.1	23.0	0.52
71938	Куглуктук (Канада)	67.8	-115.1	1.6	4.5	0.18
71948	Кабо-Парри (Канада)	70.2	-124.7	4.8	6.0	0.31
71957	Инувик (Канада)	68.3	-133.5	9.5	13.6	0.43
71968	Шингл Пойнт (Канада)	68.9	-137.2	7.1	11.4	0.37
71969	Пляж Комакук (Канада)	69.6	-140.2	8.6	14.5	0.41
71985	Тектоякчек (Канада)	69.4	-133	4.9	7.9	0.18

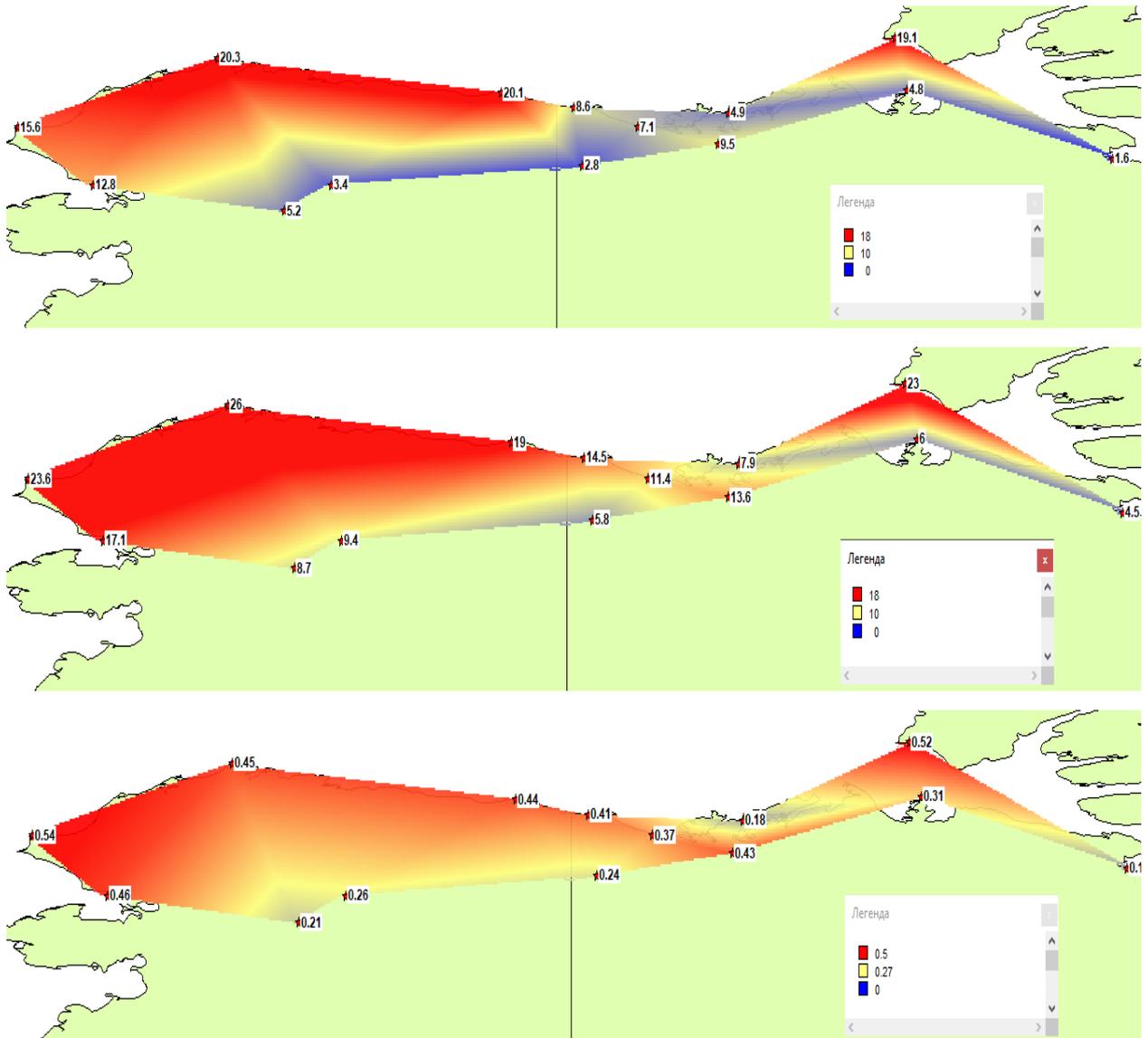


Рис 4.3.2. Пространственные распределения отклонений нестационарных моделей от модели стационарной выборки температур октября Δtr . в % (верхний), $\Delta ст$. в % (средний) и коэффициента корреляции (нижний).

Анализируя пространственное распределение, можно увидеть, что почти вся восточная часть рассматриваемой Арктики является стационарной. Для моделей линейного тренда и моделей изменения шага нестационарность наблюдалась только на 5 станциях, а именно на Барроу (70026), Остров Бартер (70086), Лисберне (70104), Коцебу (70133) и Маниберрисе (71051).

Все эти станции расположены в западной части района, за исключением Маниберриса (71051), который расположен на востоке.

В пространственном распределении значений коэффициента корреляции хорошо видно, что практически вся западная Арктика имеет коэффициенты корреляций, значения которых больше 0,26, за исключением являются станции Куглуктук (71938), Тектоякчек (71985), Аэропорт Indian Mountain AFS (70173) и Олд-Кроу (71044).

4.4. Оценка современного потепления Западной Арктики (западный сектор) за период 1960-2020 годов

Для определения последнего естественного потепления 1920-1940 годов, с начала наблюдений до 1960 года, учитывалась серия среднемесячных температур в июле и октябре, поэтому модели линейных трендов и ступенчатых изменений не регистрировали текущее потепление. Исходя из этого, для сравнения были взяты данные о современном потеплении без учета естественного потепления, то есть с 1960 года до конца наблюдений. Результаты моделирования приведены в таблице 4.4.1. и 4.4.2.

Таблица 4.4.1.

Результаты сравнения современного потепления Западной Арктики(западный сектор) с потеплением 1920-40 годов для температуры июля.

Код станции	Период	$\Delta_{тр},\%$	$\Delta_{ст},\%$	Год ступенчатых изменений	Год начала измерений	Год окончания наблюдений	Число лет	к-т корреляции
70026	с 1960	16.6	16.2	1989	1960	2020	61	0.55
	до 1960	0,0	2,4	1942	1893	1960	68	0,02
70086	с 1960	15.7	17.0	1987	1960	2020	61	0.54
	до 1960	0.0	2.1	1943	1893	1960	68	0.02
70104	с 1960	6.6	10.1	2004	1960	2020	61	0.36
	до 1960	4.1	9.1	1942	1948	1960	36	0.28
70133	с 1960	7.2	7.2	1977	1960	2020	61	0.37
	до 1960	0.5	5.0	1935	1897	1960	41	0.10
70173	с 1960	1.4	3.0	1972	1960	2020	61	0.17

	до 1960	0.5	3.7	1935	1897	1960	36	0.10
70174	с 1960	0.9	2.7	1972	1960	2020	61	0.13
	до 1960	0.6	0.4	1942	1897	1960	36	0.11
71044	с 1960	4.8	6.2	1987	1960	2020	61	0.31
	до 1960	0.9	0.4	1949	1926	1960	34	0.14
71051	с 1960	7.0	11.9	2008	1960	2020	58	0.37
	до 1960							
71938	с 1960	3.2	8.5	1989	1960	2020	61	0.25
	до 1960	7.7	10.6	1943	1930	1960	31	0.28
71948	с 1960	0.0	1.7	1987	1960	2020	61	0.01
	до 1960	3.6	5.5	1943	1926	1960	34	0.27
71957	с 1960	1.3	3.4	1987	1960	2020	61	0.16
	до 1960	0.7	7.7	1938	1926	1960	33	0.12
71968	с 1960	3.0	5.4	1987	1960	2020	61	0.24
	до 1960	0.6	1.6	1938	1926	1960	33	0.11
71969	с 1960	7.2	9.8	1987	1960	2020	61	0.23
	до 1960	3.7	4.2	1949	1926	1960	34	0.26
71985	с 1960	1.7	4.9	1988	1960	2020	61	0.19
	до 1960	1.0	3.2	1950	1926	1960	33	0.14

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

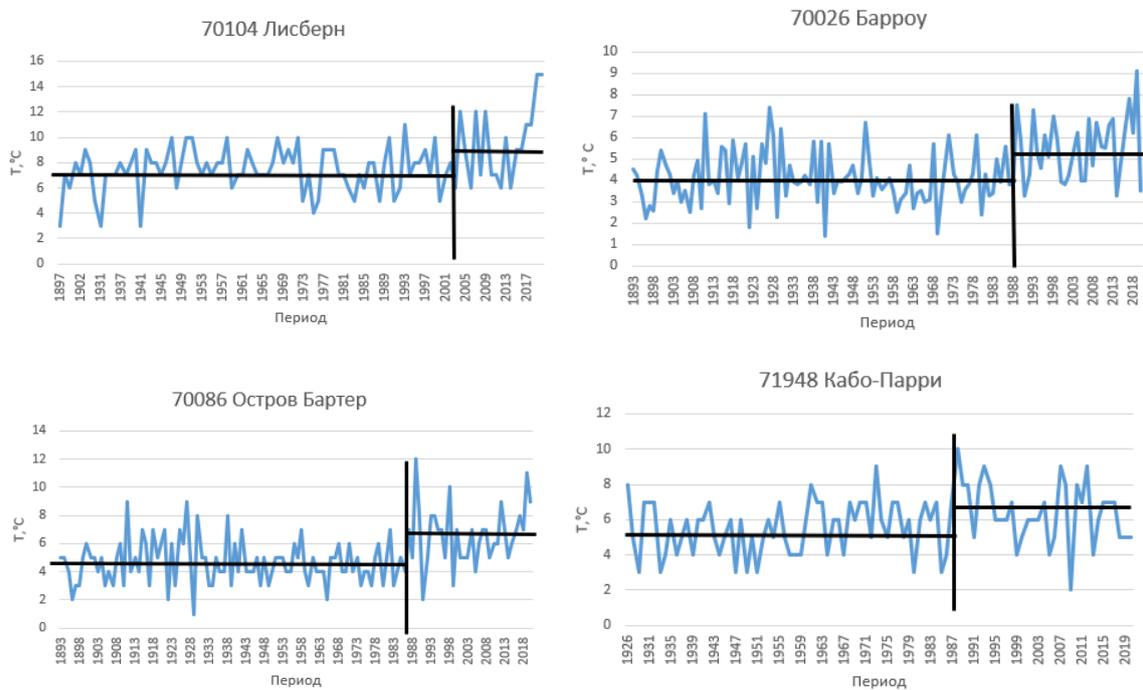


Рис 4.4.1. Временные графики температуры июля на станциях.

Для количественной оценки текущего потепления разность температур рассчитывается по следующим формулам:

$$\Delta_I = \bar{t}_{1960-1987} \quad (4.14)$$

$$\Delta_{II} = \bar{t}_{1988-2020} \quad (4.15)$$

$$\Delta' = \Delta_{II} - \Delta_I, \quad (4.16)$$

где Δ_I – средняя температура за период стационарных колебаний с 1960 по 1987 гг., Δ_{II} – средняя температура за период новых стационарных колебаний с 1988 по 2020 г. после резкого изменения среднего, Δ' – разность средних температур между двумя периодами или количественная оценка вклада современного потепления в °С. При этом 1988 г. – год перехода от одних стационарных условий к другим как наиболее повторяющийся для всех ситуаций в модели ступенчатых изменений.

Результаты расчетов представлены в таблице 4.4.2. для июля. Его пространственное распределение также основано на табличных данных Δ' на рис.4.4.2.

Таблица 4.4.2

Оценка вклада современного потепления Западной Арктики (западный сектор) в июле в °С

Код станции	Название	Широта	Долгота	Δ_I	Δ_{II}	Δ'
70026	Барроу (США)	71.3	-156.8	3,8	5,4	1,6
70086	Остров Бартер (США)	70.1	-143.6	4,4	6,6	2,2
70104	Лисберн (США)	68.9	-166.1	7,3	8,6	1,3
70133	Коцебу (США)	66.9	-162.6	12,0	13,0	1,0
70173	Аэропорт Indian Mountain AFS (США)	66	-153.7	14,7	15,0	0,3
70174	Беттлс (США)	66.9	-151.5	15,2	15,6	0,4
71044	Олд-Кроу (Канада)	67.57	-139.8	14,0	14,9	0,9
71051	Маниберрис (Канада)	72	-125.27	5,9	11,6	5,7

71938	Куглуктук (Канада)	67.8	-115.1	9,9	11,1	1,2
71948	Кабо-Парри (Канада)	70.2	-124.7	6,0	6,5	0,5
71957	Инувик (Канада)	68.3	-133.5	13,6	14,3	0,7
71968	Шингл Пойнт (Канада)	68.9	-137.2	10,8	11,8	1,0
71969	Пляж Комакук (Канада)	69.6	-140.2	7,3	8,7	1,4
71985	Тектоякчек (Канада)	69.4	-133	10,4	11,6	1,2

Анализируя таблицу 4.4.2, видно, что средняя температура июля в период с 1960 по 1987 гг. составила 9,6°C, а за период с 1988 по 2020 гг. составила 11°C. Исходя из этого, мы можем сделать вывод, что среднее потепление по данному региону в июле составило в среднем 1,4°C.

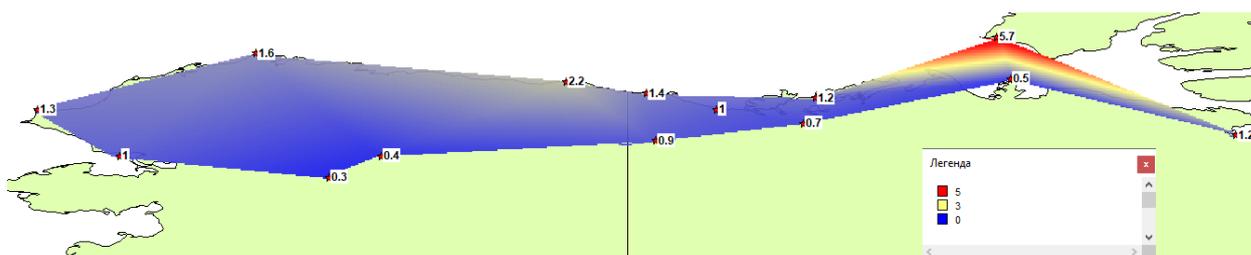


Рис 4.4.2. Пространственное распределение Δ' для температур июля.

Анализируя рисунок 4.4.2, можно сделать вывод, что вся западная часть данного региона не имеет весомого потепления в июле, а на восточной части региона есть значимое потепление, а именно только на станции Манибберис (71051) и составило 5,7°C.

Поэтому в июле современное потепление проявилось мало.

Таблица 4.4.3.

Результаты сравнения современного потепления Западной Арктики
(западный сектор) с потеплением 1920-40 годов для температуры октября.

Код станции	Период	$\Delta_{тр},\%$	$\Delta_{ст},\%$	Год ступенчатых изменений	Год начала измерений	Год окончания наблюдений	Число лет	к-т корреляции
70026	с 1960	20.3	23.0	2002	1960	2020	61	0.45
	до 1960	2.6	5.0	1935	1893	1960	68	0.23
70086	с 1960	20.1	19.0	1998	1960	2020	61	0.44
	до 1960	5.3	0.2	1934	1897	1960	40	0.17
70104	с 1960	15.6	23.6	2004	1960	2020	61	0.54
	до 1960	0.1	1.7	1934	1897	1960	41	0.04
70133	с 1960	12.8	17.1	2002	1960	2020	61	0.46
	до 1960	0.6	6.0	1947	1897	1960	38	0.11
70173	с 1960	5.2	8.7	1982	1960	2020	61	0.21
	до 1960	4.8	0.1	1947	1928	1960	31	0.29
70174	с 1960	3.4	9.4	2002	1960	2020	61	0.26
	до 1960	4.4	0.0	1947	1897	1960	31	0.29
71044	с 1960	2.8	5.8	2001	1960	2020	61	0.24
	до 1960	0.1	2.7	1937	1926	1960	34	0.03
71051	с 1960	19.1	23.0	2006	1960	2020	58	0.52
	до 1960							
71938	с 1960	8.6	6.5	1998	1960	2020	61	0.18
	до 1960	1.8	8.8	1943	1933	1960	28	0.19
71948	с 1960	5.1	6.3	1998	1960	2020	61	0.32
	до 1960	0.0	3.1	1942	1926	1960	33	0.02
71957	с 1960	9.5	13.6	2002	1960	2020	61	0.43
	до 1960	0.0	2.0	1937	1926	1960	34	0.02
71968	с 1960	7.1	11.4	2002	1960	2020	61	0.37
	до 1960	0.3	1.8	1950	1926	1960	34	0.07
71969	с 1960	8.6	14.5	2002	1960	2020	61	0.41
	до 1960	2.9	3.8	1937	1897	1960	41	0.04
71985	с 1960	4.9	7.9	2002	1960	2020	61	0.18
	до 1960	0.0	2.4	1937	1926	1960	34	0.02

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

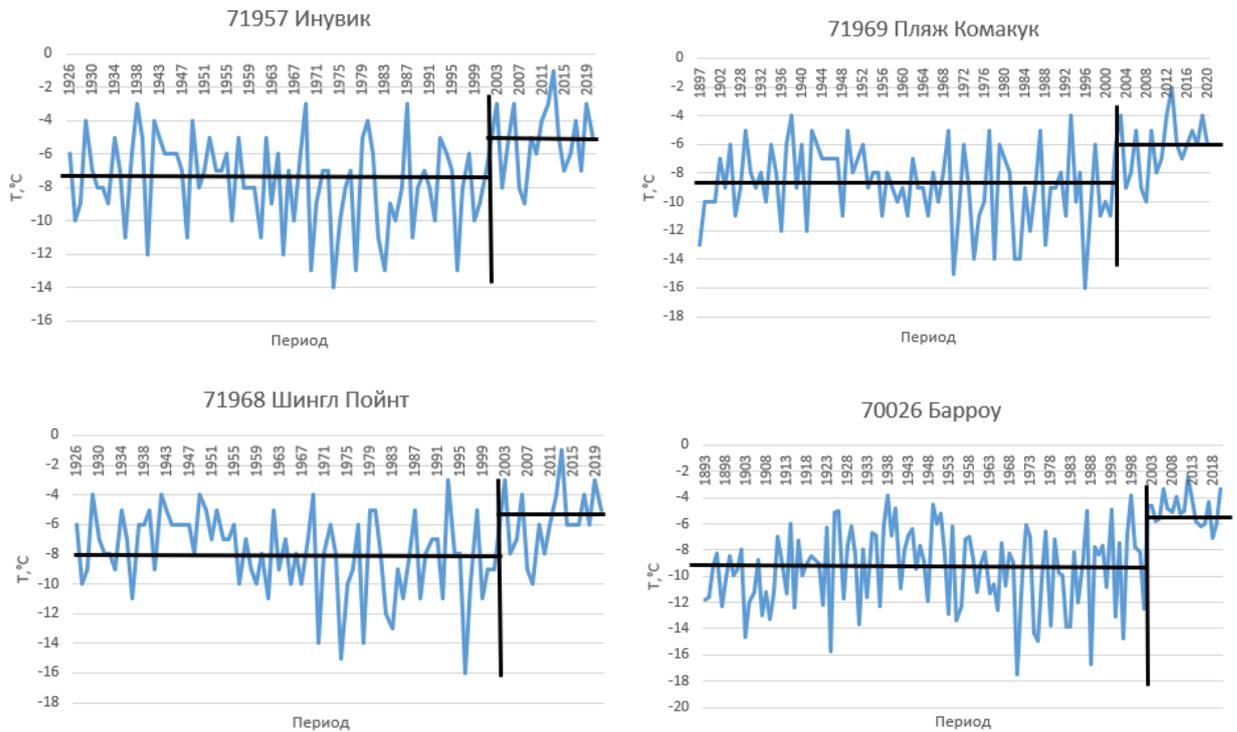


Рис 4.4.3. Временные графики температуры октября на станциях.

Для количественной оценки текущего потепления разность температур рассчитывается по следующим формулам:

$$\Delta_I = \bar{t}_{1960-2001} \quad (4.17)$$

$$\Delta_{II} = \bar{t}_{2002-2020} \quad (4.18)$$

$$\Delta' = \Delta_{II} - \Delta_I, \quad (4.19)$$

где Δ_I – средняя температура за период стационарных колебаний с 1960 по 2001 г., Δ_{II} – средняя температура за период новых стационарных колебаний с 2002 по 2020 г. после резкого изменения среднего, Δ' – разность средних температур между двумя периодами или количественная оценка вклада современного потепления в °С. При этом 2002 г. – год перехода от одних стационарных условий к другим как наиболее повторяющийся для всех ситуаций в модели ступенчатых изменений.

Результаты расчетов представлены в таблице 4.4.4. для октября. Пространственное распределение также основано на табличных данных Δ' на рис.4.4.4.

Таблица 4.4.4.

Оценка вклада современного потепления Западной Арктики (западный сектор) в октябре в °С

Код станции	Название	Широта	Долгота	Δ_I	Δ_{II}	Δ'
70026	Барроу (США)	71.3	-156.8	-9,9	-4,9	5,0
70086	Остров Бартер (США)	70.1	-143.6	-9,0	-3,9	5,1
70104	Лисберн (США)	68.9	-166.1	-4,5	-0,8	3,7
70133	Коцебу (США)	66.9	-162.6	-5,1	-1,8	3,3
70173	Аэропорт Indian Mountain AFS (США)	66	-153.7	-6,6	-6,5	0,1
70174	Беттлс (США)	66.9	-151.5	-7,7	-4,8	2,9
71044	Олд-Кроу (Канада)	67.57	-139.8	-9,3	-7,1	2,2
71051	Маниберрис (Канада)	72	-125.27	-9,3	-7,2	2,1
71938	Куглуктук (Канада)	67.8	-115.1	-6,6	-5,2	1,4
71948	Кабо-Парри (Канада)	70.2	-124.7	-6,5	-4,7	1,8
71957	Инувик (Канада)	68.3	-133.5	-8,3	-5,1	3,2
71968	Шингл Пойнт (Канада)	68.9	-137.2	-8,7	-5,6	3,1
71969	Пляж Комакук (Канада)	69.6	-140.2	-9,5	-6,1	3,4
71985	Тектоякчек (Канада)	69.4	-133	-7,4	-5,1	2,3

Анализируя таблицу 4.4.4., видно, что средняя температура октября в период с 1960 по 2001 гг. составила $-7,7^{\circ}\text{C}$, а за период с 2002 по 2020 гг. составила $-4,9^{\circ}\text{C}$. Исходя из этого, мы можем сделать вывод, что среднее потепление по данному региону в октябре составило $2,8^{\circ}\text{C}$.

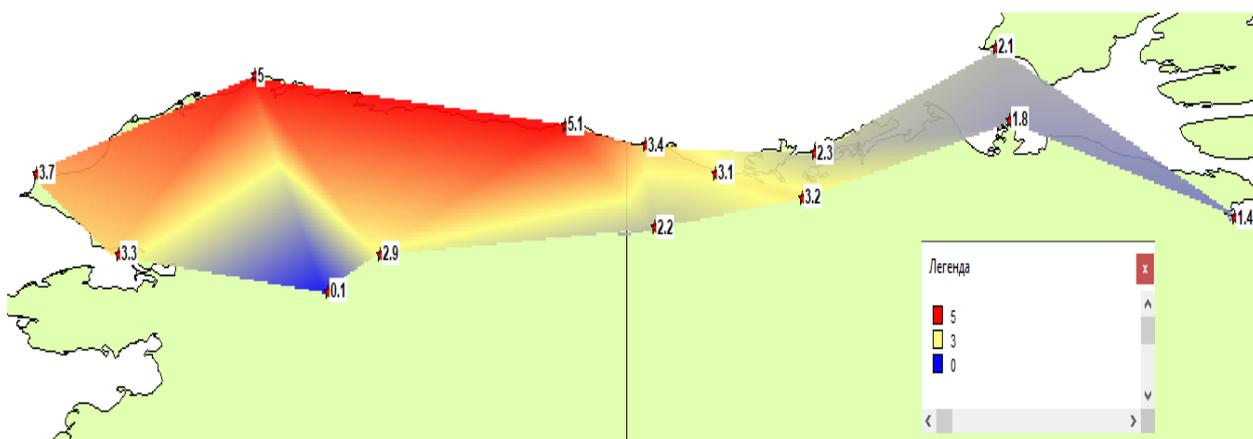


Рис 4.4.4. Пространственное распределение Δ' для температур октября.

Анализируя рисунок 4.4.4, можно сделать вывод, что северо-западная часть данного региона имеет значимое потепление за исключением станции Аэропорт Indian Mountain AFS (70173), где потепление составило всего $0,1^{\circ}\text{C}$. А если рассмотреть восточную часть региона, то можно увидеть, что значимого потепления практически нет ни на одной станции.

Заключение

По результатам сделанной работы можно сделать следующие главные выводы:

1. Долгосрочная серия баз данных среднемесячных температур была создана на 14 метеостанциях в западной Арктике (западный сектор). Эти станции расположены в глубине континента, а также на побережье и островах. Такое распределение станций позволяет качественно оценить всю территорию западной Арктики (западный сектор).

2. Для выбранных станций были оценены качество и однородность информации, было восстановлено отсутствие наблюдений, в результате чего получилась почти непрерывная многолетняя серия температур воздуха со средней продолжительностью 80-100 лет и последняя годом измерения 2020м году.

3. За холодное полугодие (зима-весна) оценивались показатели современного изменения климата, из которых видно, что в январе нестационарность проявляется почти только на станциях, расположенных в восточной части данного региона, в то время как в апреле нестационарность наблюдается по всей Западной Арктике (западного сектора). Кроме того, сравнивая две модели для выявления нестационарных, было обнаружено, что модель ступенчатого изменения аппроксимирует временной ряд лучше, чем модель линейного тренда.

Оценивая текущее потепление в Западной Арктике (западный сектор) с 1960-х годов, можно сделать вывод, что в январе температура в восточной части региона повысилась в среднем до $3,8^{\circ}\text{C}$. В то же время среднее потепление региона в январе составило $3,0^{\circ}\text{C}$, поэтому можно сделать вывод, что потепление лучше всего проявляется в восточной части региона.

В апреле повышение температуры в среднем выявляется лучше в восточной части данного региона и составило $3,7^{\circ}\text{C}$, потепление в западной

части данного региона составило $3,4^{\circ}\text{C}$. Исходя из этого мы можем сделать вывод, что среднее потепление в апреле по всему региону составляет $3,5^{\circ}\text{C}$.

4. Для теплой половины года (лето-осень) оценены показатели современного изменения климата, из которых видно, что в июле нестационарность проявляется только на станциях, расположенных в западной части региона, что можно рассматривать как прямую противоположность распределению нестационарности в январе. Нестационарная активность в октябре наблюдалась по всей западной Арктике и в апреле. Также установлено, что модель изменения шага более эффективна для приближенных временных рядов, чем модель тренда.

Оценивая текущее потепление Западной Арктики (западный сектор) с 1960 года, можно сделать вывод, что в июле в регионе температура изменилась незначительно и потепление составило всего $1,3^{\circ}\text{C}$.

В октябре же ситуация совсем другая, здесь потепление наблюдается на северо-западной части данного региона и составляет 4°C . А если рассмотреть потепление по всей территории, то оно составляет $2,8^{\circ}\text{C}$. В восточной части данного региона потепление незначительно и составило всего $2,1^{\circ}\text{C}$. Исходя из этого мы можем сделать вывод, что в октябре потепление в северо-западной части в 2 раза больше, чем потепление в восточной части данного региона.

Список литературы

1. Лобанов В.А., Смирнов И.А., Шадурский А.Е. Практикум по Климатологии Часть 1
2. Лобанов В.А., Смирнов И.А., Шадурский А.Е. Практикум по Климатологии Часть 2
3. Лобанов В.А. Методические указания по выполнению курсовой работы
4. MapInfo Professional. Руководство пользователя (полное). –MapInfo Corporation, Troy, New York,2003. –726с.
5. Дымников В.П., Лыкосов В.Н., Володин Е.М. Моделирование климата и его изменений. –М.: Наука,2006. –173с
6. «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.

Приложение

Таблица 1 (3.3.)

Устойчивость показателей нестационарности для температур января

Код	Период	Наблюденные				Восстановленные			
		Δтр,%	Δст,%	Год СТ.	R	Δтр,%	Δст,%	Год СТ.	R
70026	Весь	8,6	7,5	1926	0,40	8,6	7,5	1926	0,40
	С 1960	3,0	4,4	2010	0.24	3,0	4,4	2010	0.24
	До 1960	3.9	6.5	1946	0.28	3.9	6.5	1946	0.28
70086	Весь	2,6	5,2	1977	0,23	3,2	5,8	1977	0,25
	С 1960	2,3	5,3	1977	0,21	3,3	6,3	1977	0,26
	До 1960	5	0	1905	-0,31	1,9	2,1	1938	0,2
70104	Весь	2,2	5,8	1988	0,21	0	2,1	2010	0,02
	С 1960	4,4	7,5	1988	0,29	0	2,1	2010	0,02
	До 1960								
70133	Весь	6,9	6,5	1942	0,18	8,4	8,6	1942	0,24
	С 1960	0	1,3	1977	0,02	0	1,3	1977	0,02
	До 1960	8,1	6,3	1936	0,17	8,5	7,2	1936	0,19
70173	Весь	1,3	7,6	1977	0,16	1,1	4,2	1977	0,15
	С 1960	0,9	8,5	1977	0,14	1,8	6,7	1977	0,19
	До 1960	1,4	2,4	1947	0,17	1,2	2	1947	0,15
70174	Весь	1,0	4,9	1977	0,14	1,1	4,6	1977	0,15
	С 1960	1,3	7,1	1977	0,16	0,8	6,4	1976	0,12
	До 1960	0,1	0	1936	-0,04	4,4	0	1947	0,26
71044	Весь	9,7	12,6	1985	0,43	3,9	9,6	1977	0,28
	С 1960	5,8	3,7	2000	0,33	4,9	12,6	1977	0,31
	До 1960	7,9	8,3	1947	0,29	0,1	0	1947	0,02
71051	Весь	3,1	6,1	1999	0,20	3,1	6,1	1999	0,20
	С 1960	2,5	5,8	1999	0,22	2,5	5,8	1999	0,22
	До 1960								
71938	Весь	5,0	8,1	1993	0,31	4,6	8	1993	0,3
	С 1960	14,7	13,5	1977	0,44	14,7	13,5	1977	0,44
	До 1960	0	3,3	1946	0,01	0	3,4	1946	0,01
71948	Весь	12,0	13,5	1977	0,48	12,0	13,5	1977	0,48
	С 1960	1,9	0	1977	0,15	1,9	0	1977	0,15
	До 1960	13,2	13,2	1946	0,35	13,2	13,2	1946	0,35
71957	Весь	1,0	4,0	1977	0,14	4,4	6,9	2000	0,29
	С 1960	6,4	9,7	1977	0,35	10,6	10,9	1977	0,37
	До 1960	2,1	1,6	1941	0,21	0,9	0,7	1950	0,13
71968	Весь	8,5	10,1	1962	0,40	6,6	9,5	1977	0,36

	С 1960	1.9	4.1	1977	0.2	5.3	7.9	1977	0.23
	До 1960	0.7	0.7	1941	0.06	2.5	2.2	1938	0.22
71969	Весь	0,3	2,9	1977	0,08	5.5	6.8	1977	0.33
	С 1960	0.1	2.3	1977	0.04	1.8	4.1	1977	0.19
	До 1960	0.2	0.5	1937	0.09	0.1	0.5	1937	0.05
71985	Весь	0,8	3,3	2005	0,13	1.3	7.2	1982	0.16
	С 1960	0.8	3.3	2005	0.13	1.4	7.7	1982	0.17
	До 1960								
Среднее		4	5.4	1977	0.1	3.3	5.5	1977	0.2

Таблица 2 (3.4)

Устойчивость показателей нестационарности для температур апреля.

Код	Период	Наблюденные				Восстановленные			
		Δтр,%	Δст,%	Год СТ.	R	Δтр,%	Δст,%	Год СТ.	R
70026	Весь	5,3	9,6	1988	0,32	5,3	9,6	1988	0,32
	С 1960	17.2	19.7	1988	0.56	17.2	19.7	1988	0.56
	До 1960	2.7	4.8	1935	0.23	2.7	4.8	1925	0.23
70086	Весь	9,8	17,8	1988	0,43	5	9.5	1988	0.31
	С 1960	17	22.5	1988	0.56	17	22.5	1988	0.56
	До 1960	0.1	0	1934	0.05	2.5	5.2	1925	0.22
70104	Весь	1,0	6,3	1989	0,14	3.6	8.8	1989	0.26
	С 1960	6.3	11.7	1989	0.35	13.7	18.6	1989	0.41
	До 1960					1.6	0	1925	0.08
70133	Весь	3,1	6,6	1988	0,25	2.3	5.3	1988	0.22
	С 1960	10.5	12.5	1988	0.45	10.5	12.5	1988	0.45
	До 1960	1.8	4	1935	0.19	2	5.2	1931	0.2
70173	Весь	4,9	9,4	1992	0,31	4.6	6.6	1987	0.3
	С 1960	8.5	11.2	1989	0.4	0.4	3.4	1987	0.09
	До 1960								
70174	Весь	13,2	15,2	1988	0,50	13.5	15.4	1988	0.5
	С 1960	7.7	12.1	1988	0.39	8.7	12.5	1988	0.39
	До 1960								
71044	Весь	7,8	15,6	1988	0,39	5	11	1988	0.31
	С 1960	8	15.6	1988	0.39	11.3	15.4	1988	0.44
	До 1960					0.1	1.7	1939	0.04
71051	Весь	18,4	18,8	1988	0,58	17.5	19	2003	0.57
	С 1960	20.1	18.8	2008	0.6	19.1	20.4	2003	0.59
	До 1960								
71938	Весь	0,9	3,0	1987	0,14	0.8	2.9	1987	0.13
	С 1960	2.4	5.3	1987	0.22	2.4	5.3	1987	0.22

	До 1960	0	0.9	1945	0.01	0	1	1945	0.02
71948	Весь	9,7	11,3	1988	0,43	0.7	5.1	1988	0.12
	С 1960	9.6	11.1	1988	0.43	7.3	12.1	1988	0.38
	До 1960					1.9	2.9	1945	0.2
71957	Весь	0,5	5,2	1988	0,10	3.4	8.9	1988	0.26
	С 1960	8.3	12.3	1988	0.4	11.4	14.3	1988	0.45
	До 1960	0.9	1.2	1945	0.13	0.1	2	1940	0.05
71968	Весь	0,3	5,5	1958	0,07	0.2	5.4	1958	0.07
	С 1960	7.7	12.6	1988	0.38	8.1	12.9	1988	0.39
	До 1960	0	1.4	1940	0.02	0.1	1.3	1945	0.04
71969	Весь	7,6	13,8	1988	0,38	0	4.7	1946	0.03
	С 1960	7.4	13.6	1988	0.38	11.6	16.1	1988	0.45
	До 1960					6.8	9.2	1946	0.26
71985	Весь	4,3	9,1	1988	0,29	0.3	3.7	1988	0.07
	С 1960	4.3	9.1	1988	0.29	6.5	11.1	1988	0.35
	До 1960					0.5	2.4	1940	0.1
Среднее		6.8	9.5	1988	0.31	5.5	8.4	1998	0.26

Таблица 3 (4.3)

Устойчивость показателей нестационарности для температур июля.

Код	Период	Наблюдаемые				Восстановленные			
		Δтр,%	Δст,%	Год СТ.	R	Δтр,%	Δст,%	Год СТ.	R
70026	Весь	5,4	10,6	1989	0,33	5,4	10,6	1989	0,33
	С 1960	16.6	16.2	1989	0.55	16.6	16.2	1989	0.55
	До 1960	0	2.4	1942	0.02	0	2.4	1942	0.02
70086	Весь	14,7	19,2	1987	0,52	5.9	11.6	1987	0.34
	С 1960	15.7	17	1987	0.54	15.7	17	1987	0.54
	До 1960	0.4	0	1943	0.09	0	2.1	1943	0.02
70104	Весь	0,4	4,1	1993	0,09	5.1	8.4	2004	0.31
	С 1960	6.6	10.1	2004	0.36	6.6	10.1	2004	0.36
	До 1960					4.1	9.1	1942	0.28
70133	Весь	7,2	8,4	1977	0,37	8.8	9.6	1977	0.41
	С 1960	7.2	7.2	1977	0.37	7.2	7.2	1977	0.37
	До 1960	0.2	2.6	1935	0.07	0.5	5	1935	0.1
70173	Весь	1,0	5,3	1968	0,14	5.5	7.6	1968	0.33
	С 1960	1.4	3	1972	0.17	1.4	3	1972	0.17
	До 1960					0.5	3.7	1935	0.1
70174	Весь	6,3	11,0	1968	0,35	8.4	13.5	1964	0.4

	С 1960	0.9	2.7	1972	0.13	0.9	2.7	1972	0.13
	До 1960	1.2	0	1935	0.15	0.6	0.4	1942	0.11
71044	Весь	1,9	4,7	1987	0,20	0.4	2.3	1987	0.09
	С 1960	4.8	6.2	1987	0.31	4.8	6.2	1987	0.31
	До 1960					0.9	0.4	1949	0.14
71051	Весь	12,5	17,3	2008	0,48	7.1	12	2008	0.37
	С 1960	7	11.9	2008	0.37	7	11.9	2008	0.37
	До 1960								
71938	Весь	7,3	10,9	1988	0,38	6.1	10.3	1988	0.34
	С 1960	3.2	8.5	1989	0.25	3.2	8.5	1989	0.25
	До 1960	5	8.3	1943	0.22	7.7	10.6	1943	0.28
71948	Весь	0,8	3,1	1987	0,12	2.2	4.3	1960	0.21
	С 1960	0	1.7	1987	0.01	0	1.7	1987	0.01
	До 1960					3.6	5.5	1943	0.27
71957	Весь	1,8	3,3	1987	0,19	1.1	3	1938	0.15
	С 1960	1.3	3.4	1987	0.16	1.3	3.4	1987	0.16
	До 1960	0.3	5.5	1938	0.07	0.7	7.7	1938	0.12
71968	Весь	8,1	18,7	1957	0,39	1.4	12.7	1959	0.17
	С 1960	3	5.4	1987	0.24	3	5.4	1987	0.24
	До 1960	0.6	1.8	1938	0.11	0.6	1.6	1938	0.11
71969	Весь	3,9	6,3	1987	0,28	2.3	7.9	1961	0.14
	С 1960	4.5	6.9	1987	0.18	7.2	9.8	1987	0.23
	До 1960					3.7	4.2	1949	0.26
71985	Весь	0,1	2,1	1987	0,04	4.1	11.9	1957	0.26
	С 1960	1.7	4.9	1988	0.19	1.7	4.9	1988	0.19
	До 1960					1	3.2	1950	0.14
Среднее		3.8	5.9	1987	0.21	3.7	6.8	1987	0.23

Таблица 4 (4.4)

Устойчивость показателей нестационарности для температур октября.

Код	Период	Наблюденные				Восстановленные			
		Δтр,%	Δст,%	Год СТ.	R	Δтр,%	Δст,%	Год СТ.	R
70026	Весь	4,4	12,7	2002	0,29	4,4	12,7	2002	0,29
	С 1960	20.3	23	2002	0.45	20.3	23	2002	0.45
	До 1960	2.6	5	1935	0.23	2.6	5	1911	0.23
70086	Весь	12,6	21,0	1998	0,49	1.5	10.4	2000	0.17
	С 1960	20.1	19	1998	0.44	20.1	19	1998	0.44
	До 1960	5.3	0	1934	0.32	5.3	0.2	1911	0.17
70104	Весь	3,4	8,6	1991	0,26	3,4	8,6	1991	0,26

	С 1960	15.6	23.6	2004	0.54	15.6	23.6	2004	0.54
	До 1960					0.1	1.7	1934	0.04
70133	Весь	2,7	11,0	2003	0,23	1.7	10.4	2002	0.19
	С 1960	13.1	17.4	2002	0.49	12.8	17.1	2002	0.46
	До 1960	0.6	6	1934	0.11	0.6	6	1934	0.11
70173	Весь	1,0	3,5	1965	0,14	1,0	3,5	1965	0,14
	С 1960	5.2	8.7	1982	0.21	5.2	8.7	1982	0.21
	До 1960	4.8	0	1947	0.31	4.8	0.1	1947	0.31
70174	Весь	2,2	7,9	2002	0,21	0.3	5.9	2002	0.08
	С 1960	3.4	9.4	2002	0.26	3.4	9.4	2002	0.26
	До 1960	4.4	0	1947	0.29	4.4	0	1947	0.29
71044	Весь	2,1	6,0	2001	0,20	0.3	3.6	2001	0.08
	С 1960	2.8	5.8	2001	0.24	2.8	5.8	2001	0.24
	До 1960					0.1	2.7	1937	0.03
71051	Весь	1,3	4,5	2001	0,16	2.8	7	2001	0.24
	С 1960	19.1	23	2006	0.52	19.1	23	2006	0.52
	До 1960								
71938	Весь	2,6	4,2	2005	0,23	3.2	4.9	1942	0.25
	С 1960	3.3	5.5	1998	0.26	8.6	6.5	1998	0.18
	До 1960	1.8	8.8	1943	0.19	1.8	8.8	1943	0.19
71948	Весь	5,1	6,3	1998	0,32	5,1	6,3	1998	0,32
	С 1960	4.8	6	2005	0.31	4.8	6	2005	0.31
	До 1960					0.0.	3.1	1942	0.02
71957	Весь	0,0	4,4	2002	0,02	1.1	7.8	2002	0.15
	С 1960	9.5	13.6	2002	0.43	9.5	13.6	2002	0.43
	До 1960	0	2	1937	0.02	0	2	1937	0.02
71968	Весь	0,0	5,6	2002	0,03	0.2	5.7	2009	0.06
	С 1960	7.1	11.4	2002	0.37	7.1	11.4	2002	0.37
	До 1960	0.7	2.5	1948	0.11	0.3	1.8	1950	0.07
71969	Весь	4,2	10,6	2003	0,29	1	8	2002	0.14
	С 1960	8.6	14.5	2002	0.41	8.6	14.5	2002	0.41
	До 1960					2.9	3.8	1937	0.04
71985	Весь	0.2	4.7	2010	0.06	0.2	4.7	2010	0.06
	С 1960	4.9	7.9	2002	0.18	4.9	7.9	2002	0.18
	До 1960					0	2.4	1937	0.02
Среднее		6.8	9.4	2002	0.29	5.1	8.4	2002	0.23