



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: «Исследование климата голоцена методами палеоклиматологии»

Исполнитель Сеневиратна Мудиянселге Ганиду
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель доктор технических наук, профессор кафедры МКОА
(ученая степень, ученое звание)
Лобанов Владимир Алексеевич
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
заведующий кафедрой

(подпись)

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

Сероухова Ольга Станиславовна
(фамилия, имя, отчество)

« 30 » мая 2023 г.

Санкт-Петербург
2023

Содержание

Введение	4
1. Методы палеоклиматологии и информация	5
1.1. Методы	5
1.2. Рассматриваемый период	17
1.3. Информация	18
2. Исследование палеотемператур в районе Аляска - Юкон	20
2.1. Исходная информация	20
2.2. Формирование и анализ хронологических графиков	22
2.3. Моделирование временных рядов.....	25
2.4. Обобщение результатов по пространству	27
2.5. Анализ результатов	29
3. Исследование палеотемператур в в районе Канада-Гренландия	30
3.1. Исходная информация	30
3.2. Формирование и анализ хронологических графиков	32
3.3. Моделирование временных рядов.....	35
3.4. Обобщение результатов по пространству	37
3.5. Анализ результатов	39
4. Исследование палеотемператур в районе Россия-Арктика	40
4.1. Исходная информация	40
4.2. Формирование и анализ хронологических графиков	42
4.3. Моделирование временных рядов.....	46

4.4. Обобщение результатов по пространству	48
4.5. Анализ результатов	50
5. Исследование палеотемператур в районе Фенноскандия (Финландия и Скандинавия)	51
5.1. Исходная информация	51
5.2. Формирование и анализ хронологических графиков	54
5.3. Моделирование временных рядов.....	66
5.4. Обобщение результатов по пространству	69
5.5. Анализ результатов	71
Наблюдения	73
Заключение	74
Список литературы	76

Введение

Палеоклиматология - это изучение климата до периода инструментальных измерений. Инструментальные записи охватывают лишь малую часть климатической истории Земли и поэтому дают совершенно неадекватное представление о климатических изменениях и эволюции климата сегодня. Более долгосрочный взгляд на климатическую изменчивость может быть получен путем изучения природных явлений, которые зависят от климата и которые включают в свою структуру меру этой зависимости. Такие явления дают косвенную информацию о климате, и именно изучение косвенных данных из природных архивов является основой палеоклиматологии. По мере накопления более подробных и надежных данных о прошлых климатических колебаниях увеличивается возможность выявления причин и механизмов климатических изменений. Таким образом, палеоклиматические данные служат основой для реконструкции климата прошлого и проверки гипотез о причинах климатических изменений. Когда будут поняты причины прошлых климатических колебаний, мы сможем получить надежное представление о прогнозах климатических изменений в будущем.

Исследования прошлых климатических условий должны начинаться с понимания типов доступных косвенных данных и методов, используемых при их анализе. Необходимо осознавать трудности, связанные с каждым используемым методом, и допущения, которые каждый из них влечет за собой. Имея такой опыт, возможно, удастся синтезировать различные свидетельства в целостную картину прежних климатических колебаний и проверить гипотезы о причинах климатических изменений.

1. Методы палеоклиматологии и информация

1.1. Методы

Косвенные методы определения палеоклимата

Свидетельства прошлых климатических условий обычно сохраняются в природных архивах — морских и озерных отложениях, лессе, льду, пещерных отложениях (спелеотемах) и субфоссильном биологическом материале — и в геоморфологических особенностях (ледниковые отложения, эрозионные особенности, палеозоли и перигляциальные явления). В них представлены материалы, которые являются косвенными индикаторами прошлых климатических условий. По определению, все такие косвенные данные о климате содержат климатический сигнал, но этот сигнал может быть относительно слабым, включенным в большое количество посторонних возмущений, возникающих в результате воздействия других неклиматических воздействий. Косвенный материал действовал как фильтр, преобразуя климатические условия в определенный момент времени или в течение определенного периода в более или менее постоянную запись, но запись сложна и включает в себя другие сигналы, которые могут не иметь отношения к палеоклиматологу.

Основные типы доступных косвенных климатических данных перечислены в таблице 1.1. Каждая линия доказательств отличается в зависимости от своего пространственного охвата, периода, к которому она относится, и своей способности точно определять события во времени.

Таблица 1.1 – Основные типы косвенных климатических данных

Геологический		Наземной	Гляциологический	Биологический	Исторический
Морской (ядро океанских отложений)	Неорганические отложения				
Биогенные отложения (планктонные и донные окаменелости)					
Изотопный состав кислорода	Земная пыль и обломки льда	Спелеотемы (стабильный изотопный и микро-элементный состав)	Геохимия (основные ионы; изотопы кислорода и водорода)	Годичные кольца деревьев (ширина, плотность)	Письменные отчеты (о метеорологических явлениях)
Изобилие фауны и флоры	Соотношение элементов (Pa/Th)	Ледниковые отложения и особенности ледниковой эрозии	Состав газа и давление воздуха в пузырьках воздуха	Пыльца (тип, обилие и/или абсолютная концентрация)	Фенологические записи
Микро-элементы (Mg/Ca)		Озерные отложения и эрозионные особенности (береговые линии)	Концентрация микрочастиц и элементный состав	Диатомовые водоросли, остракоды и другая биота в озерных отложениях	
Органические биомаркеры		Эоловые отложения (песчаные дюны)	Физические свойства (температуры)	Насекомые (характеристики скопления)	
		Пери гляциальные особенности		Кораллы (геохимия, флуоресценция и скорость роста)	
		Береговые линии (гляциоэв статические особенности)		Макрофоссилии растений (возраст и распределение)	
		Педологические особенности (почвы)		Современное распределение населения (растений и животных)	

Ледяные керны

Накопление прошлых снегопадов в полярных ледяных шапках и ледяных щитах мира обеспечивает чрезвычайно ценную информацию о палеоклиматических и палеоэкологических условиях. Эти условия изучаются путем детального физического и химического анализа льда в кернах, извлеченных с очень больших высот на поверхности льда. Глубина этих ледяных отложений значительно варьируется от одного ледяного массива к другому, в зависимости от температуры поверхности и скорости накопления.

В зоне сухого снега полярных ледяных щитов таяние снега и его сублимация чрезвычайно низки, так что накопление снега продолжалось непрерывно, в некоторых районах более миллиона лет. Снегопад позволяет получить уникальные данные не только о количестве осадков, но и о температуре воздуха, составе атмосферы (включая газообразный состав и растворимые и нерастворимые твердые частицы), о возникновении взрывных извержений вулканов и даже о прошлых колебаниях солнечной активности.

Палеоклиматическая информация была получена из ледяных кернов четырьмя основными подходами. Они включают анализ стабильных изотопов воды и атмосферного O_2 , других газов из пузырьков воздуха во льду, растворенного льда и твердых частиц, а также физических характеристик льда. Каждый подход также обеспечивал средства оценки возраста льда на глубине в ледяных кернах.

Изотопный анализ

Вода - самое распространенное соединение на Земле. Помимо того, что он является основным соединением во всех формах жизни, он, пожалуй, является самым важным фактором выветривания, эрозии и геологической переработки материалов и, конечно же, играет решающую роль в глобальном энергетическом балансе. Таким образом, изучение “ископаемой воды”, либо непосредственно в виде льда, либо косвенно через материалы, отложившиеся из раствора в “ископаемой воде”, имеет важные последствия для многих аспектов реконструкции палеоэкологии. Изучение стабильных изотопов воды (в первую очередь дейтерия и ^{18}O) является основным направлением палеоклиматических исследований не только в ледяных кернах, но и в морских и озерных отложениях, кораллах, спелеотемах, годовых кольцах деревьев и торфе.

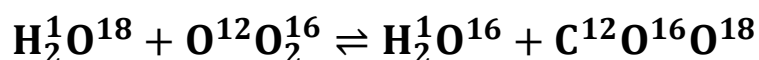
Как и большинство других встречающихся в природе элементов, составляющие воду, кислород и водород могут существовать в виде различных изотопов. Изотопы образуются в результате изменения массы атома каждого элемента. Каждое атомное ядро состоит из протонов и нейтронов. Количество протонов в ядре элемента (атомный номер) всегда одно и то же, но количество нейтронов может варьироваться, в результате чего образуются разные изотопы одного и того же элемента. Таким образом, атомы кислорода (которые всегда имеют восемь протонов) могут иметь 8, 9 или 10 нейтронов, в результате чего образуются три изотопа с атомными массовыми числами 16, 17 и 18 соответственно (^{16}O , ^{17}O и ^{18}O). В природе эти три стабильных изотопа встречаются в относительных пропорциях 99,76% (^{16}O), 0,04% (^{17}O) и 0,2% (^{18}O). Водород состоит из двух стабильных изотопов, 1H и 2H (дейтерий), с относительными пропорциями 99,984% и 0,016% соответственно.

Следовательно, молекулы воды могут существовать в виде любой из девяти возможных комбинаций изотопов с массовыми числами в диапазоне от 18 ($^1\text{H}_2\text{}^{16}\text{O}$) до 22 ($^2\text{H}_2\text{}^{18}\text{O}$). Однако, поскольку вода, содержащая более одного “тяжелого” изотопа, встречается очень редко, как правило, распространены только четыре основные комбинации изотопов, и только две важны в палеоклиматических исследованиях ($^1\text{H}_2\text{}^{16}\text{O}$, обычно записываемый как H_2O , и $^1\text{H}_2\text{}^{18}\text{O}$).

Основой для палеоклиматических интерпретаций вариаций содержания стабильных изотопов в молекулах воды является то, что давление паров $\text{H}_2\text{}^{16}\text{O}$ выше, чем у $\text{H}_2\text{}^{18}\text{O}$ и $\text{H}_2\text{}^{17}\text{O}$. Таким образом, испарение из водоема приводит к образованию пара, который содержит меньше дейтерия и ^{18}O , чем исходная вода; и наоборот, оставшаяся вода обогащена дейтерием и ^{18}O . Например, в равновесном состоянии атмосферный водяной пар содержит на 10% (частей на тысячу или промилле) меньше ^{18}O и на 100% меньше дейтерия, чем средняя океанская вода. Когда происходит конденсация, более низкое давление паров $\text{H}_2\text{}^{18}\text{O}$ и $\text{H}_2\text{}^{17}\text{O}$ приводит к тому, что эти два соединения переходят из парообразного состояния в жидкое легче, чем вода, состоящая из более легких изотопов. Следовательно, по сравнению с паром конденсат будет обогащен тяжелыми изотопами. Дальнейшая конденсация пара продолжит это преимущественное удаление более тяжелых изотопов, в результате чего пар будет все более и более обеднен $\text{H}_2\text{}^{18}\text{O}$ и $\text{H}_2\text{}^{17}\text{O}$. В результате продолжающееся охлаждение приведет к образованию конденсата со все более низкими концентрациями $\text{H}_2\text{}^{18}\text{O}$ и $\text{H}_2\text{}^{17}\text{O}$, чем при первом запуске процесса конденсации. Чем сильнее понижается температура, тем больше будет происходить конденсации и тем ниже будет концентрация тяжелых изотопов по сравнению с исходным источником воды. Таким образом, концентрацию изотопов в

конденсате можно рассматривать как основную функцию температуры, при которой происходит конденсация.

В большинстве палеоклиматических исследований с использованием стабильных изотопов кислород, как правило, представляет основной интерес, хотя дейтерий важен при исследовании ледяного керна. При работе с изотопами кислорода проба воды подвергается изотопному обмену с диоксидом углерода известного изотопного состава:



Относительные соотношения ^{16}O и ^{18}O в диоксиде углерода из пробы затем сравниваются с изотопным составом стандарта воды (Standard Mean Ocean Water [стандартная средняя вода океана] или SMOW1), и результаты выражаются как отклонение ($d^{18}\text{O}$) от этого стандарта; таким образом,

$$d^{18}\text{O} = \frac{\left(\frac{\text{O}^{18}}{\text{O}^{16}}\right)_{\text{образец}} - \left(\frac{\text{O}^{18}}{\text{O}^{16}}\right)_{\text{SMOW}}}{\left(\frac{\text{O}^{18}}{\text{O}^{16}}\right)_{\text{SMOW}}} * 10^3\text{‰}$$

Все измерения производятся с помощью масс-спектрометра, и, как правило, возможна воспроизводимость результатов в пределах 0,1%. Таким образом, значение $d^{18}\text{O}$, равное 10, указывает на образец с соотношением $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$, равным 1% или на 10% меньшим, чем SMOW. В условиях нашего нынешнего климата самое низкое значение $d^{18}\text{O}$, зафиксированное в природных водах, составляет 58‰ в снегу из самых высоких и отдаленных районов Антарктиды.

Морские отложения

Занимая более 70% поверхности Земли, океаны являются очень важным источником палеоклиматической информации. Ежегодно в океанических бассейнах накапливается от 6 до 11 миллиардов метрических тонн отложений, и это обеспечивает архив климатических условий вблизи поверхности океана или на прилегающих континентах. Отложения состоят как из биогенных, так и из терригенных материалов. Биогенный компонент включает остатки организмов, обитающих вблизи поверхности и на дне, которые дают информацию о прошлом климате и океанической циркуляции с точки зрения температуры и солености поверхностных вод, растворенного кислорода в глубоководных водах, концентраций питательных веществ или микроэлементов и т.д. Напротив, природа и обилие терригенного материала в основном позволяют судить о колебаниях влажности и засушливости на континентах или об интенсивности и направлении ветров, дующих с суши в океаны, а также о других способах переноса наносов в океаны и внутри них (речная эрозия, сплав льда, мутность течения и т.д.). Морские отложения также содержат биомаркеры (органические молекулы, полученные из наземных или морских организмов), которые могут быть полезными индикаторами палеоокеанографических условий или палеоэкологических условий на прилегающих континентах.

Озерные отложения

Озера накапливают отложения из окружающей их среды, и поэтому керны отложений, извлеченные из озер, могут обеспечить непрерывный учет изменений окружающей среды. Скорость накопления в озерах часто высока, поэтому озерные отложения открывают потенциал для получения данных о климате прошлого с высоким разрешением при условии, что они могут быть надлежащим образом датированы. Однако нет двух одинаковых озер, поэтому условия окружающей среды в бассейне каждого озера и свойства воды каждого озера должны быть тщательно оценены, чтобы сделать значимую палеоклиматическую интерпретацию отложений. Озерные отложения состоят из двух основных компонентов: аллохтонного материала, происходящего из-за пределов бассейна озера, и автохтонного материала, образующегося в пределах самого озера. Аллохтонный материал переносится в озера реками и ручьями, наземным стоком, эоловой активностью и подземным дренажем. Он состоит из различного количества речных или эоловых обломочных отложений, растворенных солей, наземных макрофоссилий, пыльцы, древесного угля от костров и т.д. Автохтонный материал либо имеет биогенное происхождение, либо может образоваться в результате неорганических осадков в толще воды (часто в результате сезонных колебаний биологической продуктивности, которые могут значительно изменить химический состав воды). Как аллохтонный, так и автохтонный материал может быть полезен при палеоклиматической реконструкции.

Геологические свидетельства

Спектр неморских геологических исследований, предоставляющих информацию, относящуюся к палеоклиматологии, огромен. Эоловые, ледниковые, озерные и речные отложения в значительной степени зависят от климата, хотя часто бывает трудно определить конкретное сочетание климатических условий, приводящее к образованию отложений. Аналогичным образом, эрозионные особенности, такие как озерные или морские береговые линии, цирки или другие особенности ландшафтов, подвергшихся ледниковой эрозии, указывают в общем смысле на определенный тип климата, но количественные палеоклиматические реконструкции, основанные на такого рода информации, представляют реальные проблемы. Как правило, климатические выводы, сделанные на основе таких свидетельств, являются качественными, и даже датировка объектов может быть очень сложной. Тем не менее, такие свидетельства прошлых изменений климата распространены повсеместно, и было разработано множество инновационных подходов к интерпретации их палеоклиматического значения.

Пыльца

Каждый год миллионы тонн органического материала выбрасываются в атмосферу цветущими растениями и криптогамами (растениями без настоящих цветков или семян) в попытке размножиться. Высшие растения (покрытосеменные и голосеменные) производят пыльцевые зерна, содержащие мужской генетический материал. Низшие растения, или криптогаммы, продуцируют споры, содержащие необходимый генетический материал для роста независимого поколения растений. Пыльцевые зерна и споры являются основой важного аспекта палеоклиматической реконструкции — пыльцевого анализа, изучения пыльцы и спор. Там, где пыльца сохранялась с течением времени, в озерах, болотах, устьях рек и т.д., она обеспечивает запись прошлых изменений растительности, которые могут быть вызваны изменениями климата. Анализ пыльцы - одна из важнейших отраслей палеоклиматологии четвертичного периода, предоставляющая информацию с континентов в дополнение к информации, полученной из морских отложений и кернов льда. Записи о пыльце с некоторых участков охватывают весь четвертичный период; чаще всего они охватывают голоцен и/или поздний ледниковый период. Поскольку записи пыльцы из озер и болот более или менее распространены повсеместно, они могут обеспечить важную связь между записями древесных колец позднего голоцена с более высоким разрешением и другими более длинными записями с суши и океанов, но с более низким разрешением.

Кольца деревьев

Колебания ширины древесных колец от года к году уже давно признаны важным источником хронологической и климатической информации. Поперечный срез большинства деревьев в лесах умеренного пояса покажет чередование более светлых и темных полос, каждая из которых обычно проходит непрерывно по окружности дерева. Это сезонные приросты роста, производимые тканями камбия дерева. При детальном рассмотрении становится ясно, что они состоят из последовательностей крупных тонкостенных клеток и более плотно упакованных толстостенных клеток. В совокупности каждое из них представляет собой ежегодный прирост, который чаще называют годичным кольцом. Средняя ширина кольца на любом дереве зависит от многих переменных, включая породу дерева, возраст дерева, наличие запасов пищи внутри дерева и важных питательных веществ в почве, а также от целого комплекса климатических факторов (солнечный свет, осадки, температура, скорость ветра, влажность и т.д.). их распределение в течение года). С точки зрения палеоклиматологии, возможно, полезно рассматривать дерево как фильтр или преобразователь, который посредством различных физиологических процессов преобразует данный климатический входной сигнал в выходной сигнал определенной ширины кольца, который сохраняется и может быть детально изучен даже тысячи лет спустя. Климатическая информация чаще всего получалась из межгодовых изменений ширины кольца, но также была проведена большая работа по использованию изменений плотности, как межгодовых, так и внутригодовых. Плотность древесины является интегральным показателем нескольких свойств, включая толщину клеточной стенки, диаметр просвета, размер и плотность сосудов или протоков, а также долю волокон.

Кораллы

Кораллы сыграли важную роль в палеоклиматологии, предоставив датируемый материал, связанный с прежним положением уровня моря. В некоторых районах рифы были тектонически подняты выше нынешнего уровня моря, что позволяет получить подробные данные о прежнем положении уровня моря, если можно оценить историю поднятия. При надлежащем отборе образцов кораллы могут обеспечить независимую проверку времени и величины изменений уровня моря, реконструированных по морским отложениям.

Исторические документы

Одними из самых разнообразных и бесценных источников косвенных данных являются исторические записи. Эти данные особенно важны, поскольку они касаются кратковременных (высокочастотных) климатических колебаний в самом недавнем прошлом. Много можно узнать о вероятности экстремальных событий, обратившись к историческим записям, и это дает более реалистичный взгляд на вероятность повторения подобных событий в будущем.

1.2. Рассматриваемый период

Периодом, рассматриваемым для анализа, является эпоха голоцена.

Голоцен - это нынешняя геологическая эпоха. Это началось примерно за 11700 лет до настоящего времени. Это следует за последним ледниковым периодом, который завершился отступлением голоценовых ледников. Голоцен и предшествующий ему плейстоцен вместе образуют четвертичный период. Голоцен был отождествлен с нынешним теплым периодом.

Голоцен соответствует быстрому распространению, росту и влиянию человеческого вида во всем мире, включая всю его письменную историю, технологические революции, развитие основных цивилизаций и общий значительный переход к городской жизни в настоящее время.

Эпоха голоцена делится на пять климатических стадий: ребореальную, бореальную, атлантическую, суббореальную и субатлантическую.

Таблица 1.2 – Разделение периода голоцена

Геологическая эпоха	Климатическая стадия	Время (лет назад)
Голоцен	Субатлантический	800
		2600
	Суббореальный	3200
		5700
	Атлантический	6000
		7800
	Бореальный	8200
		10500
	Пребореальный	11000
		11700

1.3. Информация

В этой главе показаны средние июльские температуры в регионах, окружающих Арктику, в эпоху голоцена. Здесь рассматриваются четыре региона.

1. Аляска-Юкон – состоит из станций на Аляске и в регионе Юкон в Северной Америке
2. Канада-Гренландия – состоит из станций на северо-востоке материковой Канады, Канадских островов и Гренландии
3. Россия – включает станции на Севере России и на Русских озерах
4. Фенноскандия – состоит из станций в Финляндии и Скандинавии

Данные получены из подборки ранее опубликованных косвенных климатических данных голоцена из Арктики. База данных содержала 315 записей из шести регионов, охватывающих приполярную Арктику; Фенноскандия была регионом с наиболее плотной выборкой, в то время как критериям включения соответствовало меньшее количество записей из Российской Арктики. База данных содержала косвенные записи из озерных отложений, морских отложений, ледникового льда и других источников соответственно. Большинство (60 %) показателей отражают температуру (которые были использованы здесь) и в основном основаны на скоплениях пыльцы, хирономид или диатомовых водорослей. Многие из них отражали некоторые аспекты гидроклимата, о чем можно судить по изменениям в стабильных изотопах, скоплениях пыльцы и диатомовых водорослей, индексу гумификации торфа и изменениям высоты линии равновесия ледников. Эта

всеобъемлющая база данных используется в исследованиях для изучения пространственно-временной структуры изменений климата Арктики в голоцене и их причин. Набор данных по арктическому голоцену доступен в NOAA Paleoclimatology.

Ссылка на сайт - <ftp://ftp.ncdc.noaa.gov/pub/data/paleo/paleolimnology/arctic>

Авторы - Х. С. Сундквист (H.S. Sundqvist), Д. С. Кауфман (D.S. Kaufman), Н. П. Маккей (N.P. McKay), Н. Л. Балашио (N.L. Balascio), Дж. П. Бринер (J.P. Briner), Л. С. Куинар (L.C. Swynar), Х. П. Сейруп (H.P. Sejrup), Х. Сеппа (H. Seppä), Д. А. Субетто (D.A. Subetto), Дж. Т. Эндрюс (J.T. Andrews), Ю. Эксфорд (Y. Axford), Дж. Бакке (J. Bakke), Х. Дж. Б. Биркс (H.J.V. Birks), С. Дж. Брукс (S.J. Brooks), А. де Вернал (A. de Vernal), А. Э. Дженнингс (A.E. Jennings), Ф. К. Юнгквист (F.C. Ljungqvist), К. М. Руланд (K.M. Rühland), К. Сэнгер (C. Saenger), Дж. П. Смол (J.P. Smol) и А. Э. Виау (A.E. Viau)

Год публикации - 2014

Опубликовано под заголовком - База данных косвенного климата арктического голоцена - новые подходы к оценке геохронологической точности и кодированию климатических переменных

Journal_Name - Климат прошедших обсуждений

Объем - 10

Выпуск - 1

Страницы - 1-63

DOI - 10.5194/cpd-10-1-2014

2. Исследование палеотемператур в районе Аляска - Юкон

2.1. Исходная информация

Местоположение

Таблица 2.1 – Названия и координаты пунктов и периоды информации в регионе Аляска-Юкон

Название станции	Код станции	Широта (град)	Долгота (град)	Период
hudson	10001	61.90	-145.67	7624 до н.э. – 1978 г.
moose	10002	61.37	-143.60	4058 до н.э. – 1970 г.
quartz	10003	64.21	-145.81	8391 до н.э. – 1173 г.
rainbow	10004	60.72	-150.80	11556 до н.э. – 2004 г.
screaminlynx	10005	66.07	-145.40	7894 до н.э. – 1993 г.
trout	10006	68.83	-138.75	7658 до н.э. – 166 г.
upper_fly	10007	61.07	-138.09	7831 до н.э. – 1950 г.

Для отображения местоположения станций на карте использовалась программа MapInfo-GIS, где с использованием координат формировалась географическая информационная карта.

Расположение пунктов станции показано на рисунке 2.1.

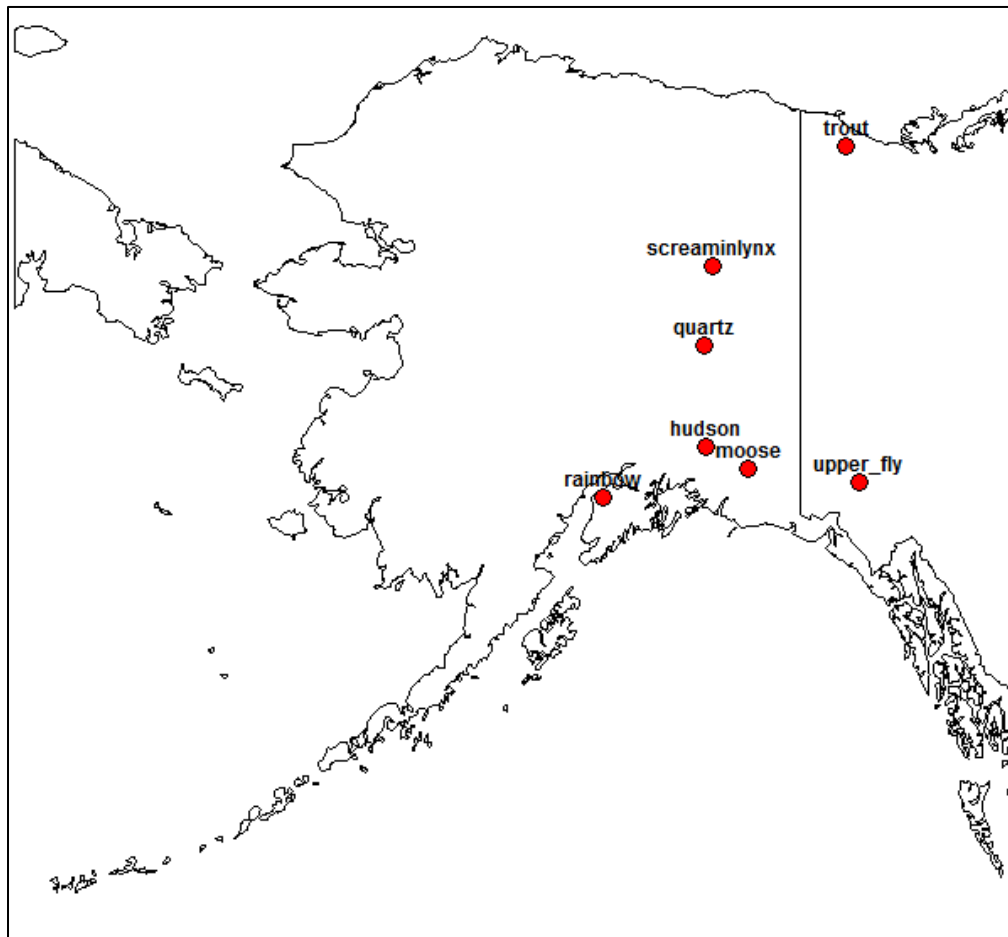


Рисунок 2.1 – Расположение пунктов в регионе Аляска-Юкон

2.2. Формирование и анализ хронологических графиков

Реконструкция температур

На следующих графиках показаны реконструкции средних июльских температур на семи станциях в регионе Аляска-Юкон.

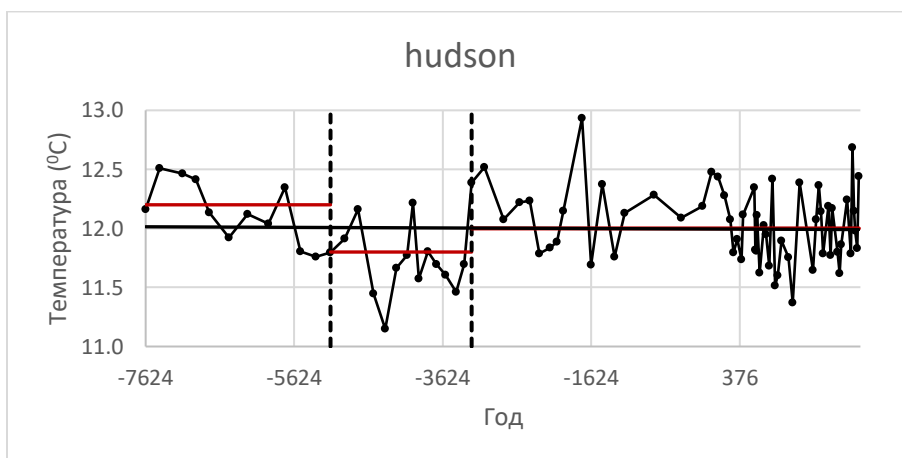


Рисунок 2.2 – Распределение температуры на станции “hudson”

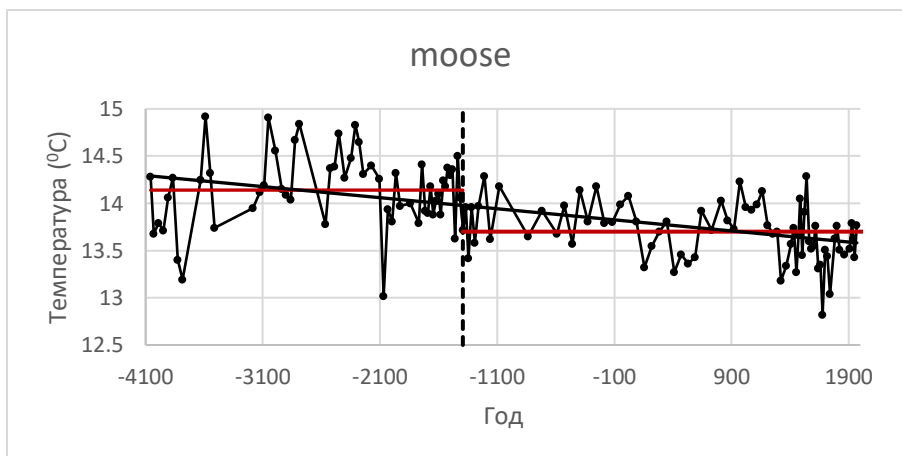


Рисунок 2.3 – Распределение температуры на станции “moose”

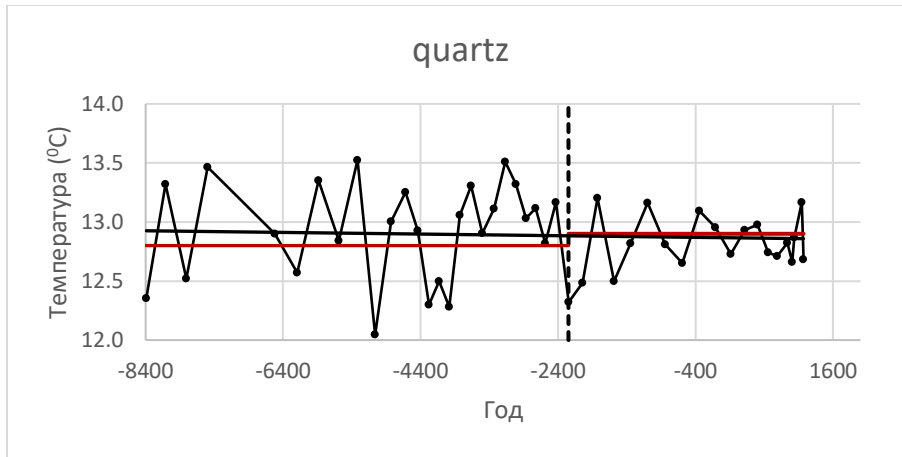


Рисунок 2.4 – Распределение температуры на станции “quartz”

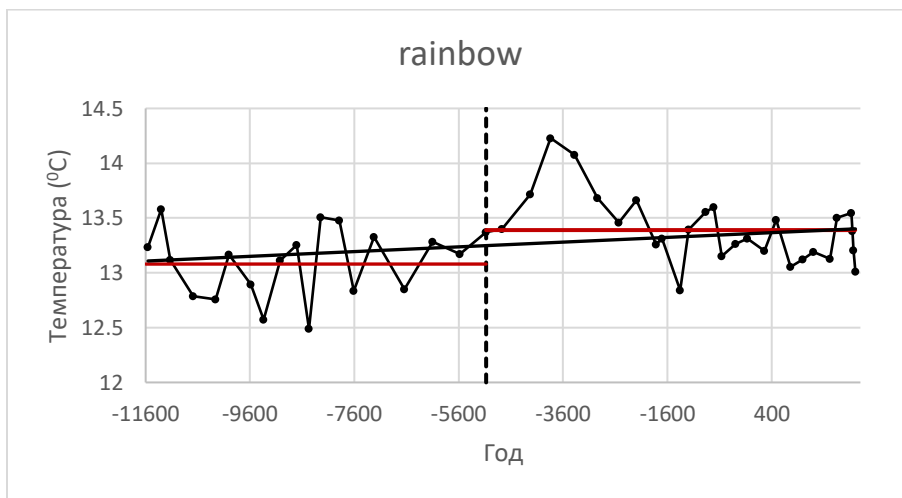


Рисунок 2.5 – Распределение температуры на станции “rainbow”

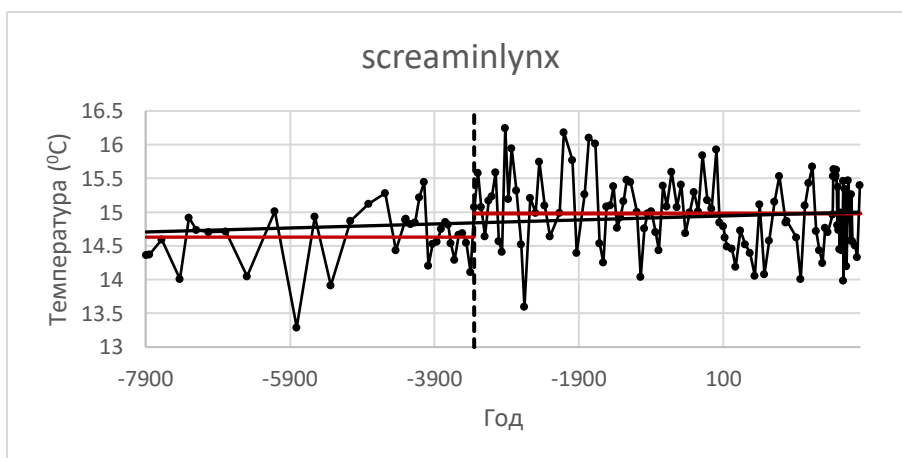


Рисунок 2.6 – Распределение температуры на станции “screaminlynx”

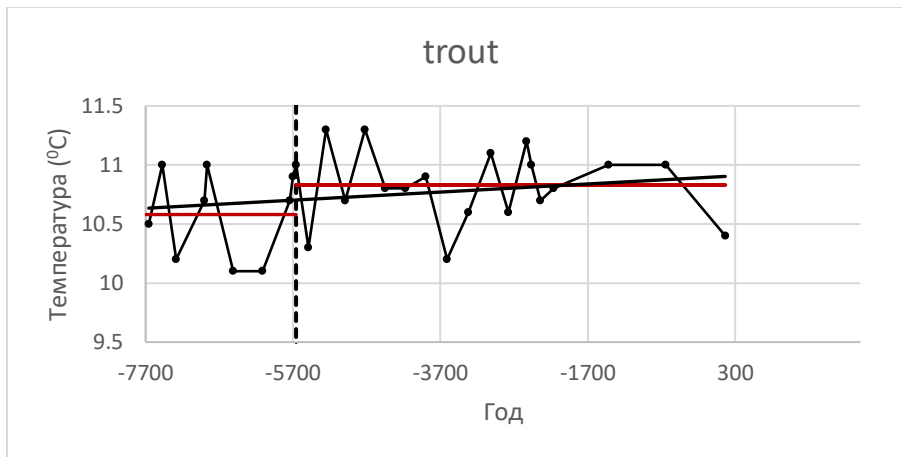


Рисунок 2.7 – Распределение температуры на станции “trout”

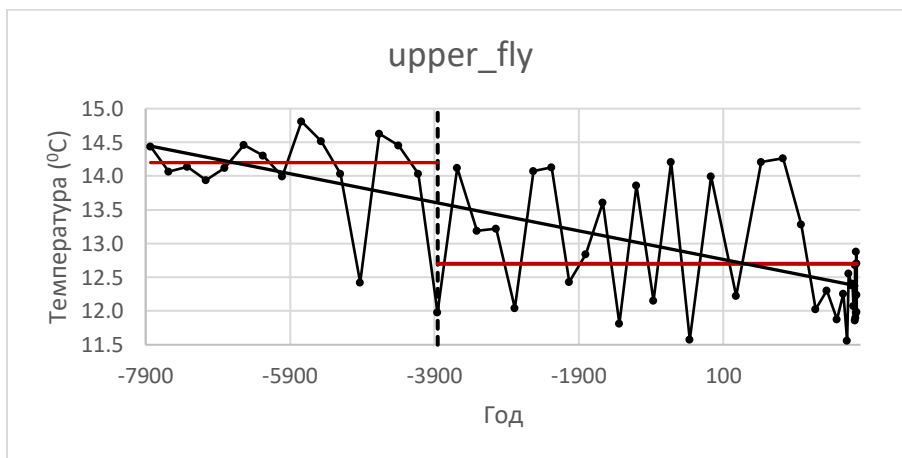


Рисунок 2.8 – Распределение температуры на станции “upper_fly”

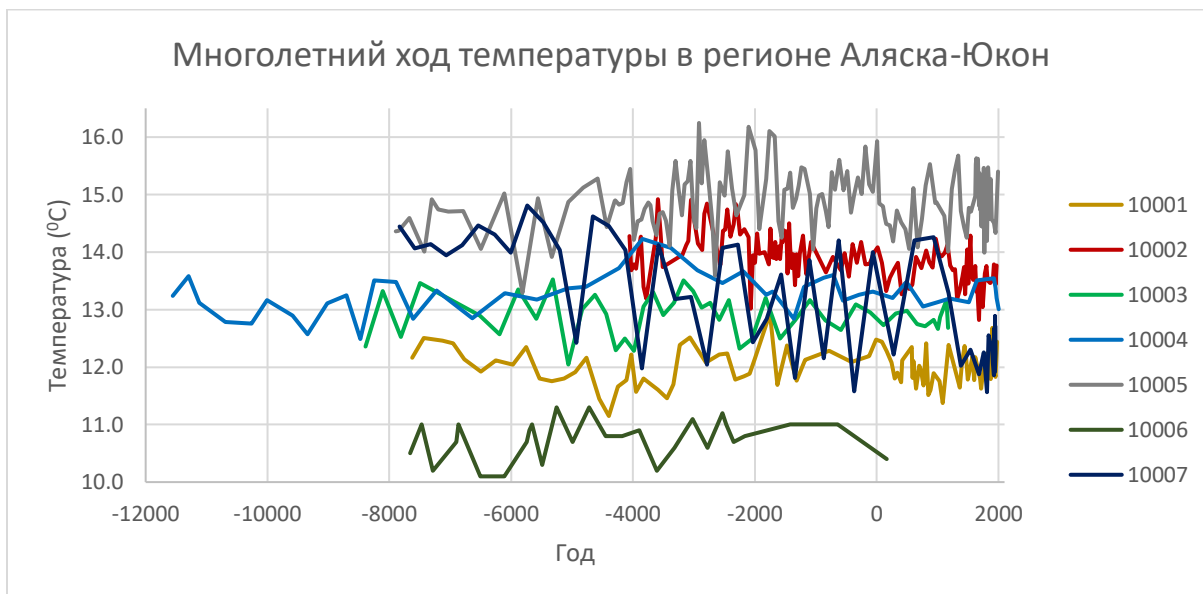


Рисунок 2.9 – Распределение температуры на всех станциях

2.3. Моделирование временных рядов

Рассчитав и смоделировав параметры основных моделей временных рядов, необходимые характеристики стационарных и нестационарных моделей многолетней температуры июля были получены на 7 станциях в регионе Аляска-Юкон.

Используя результаты, полученные с помощью программного обеспечения "timod.exe " и графиков, показанных в главе 2.2, составлена таблица 2.2.

Таблица 2.2 – Характеристики средних температур в июле в регионе Аляска-Юкон

Код	Название	Широта (град)	Долгота (град)	$\Delta_{тр},\%$	$\Delta_{ст},\%$	$R_{тр}$	ΔT	$T_{ср}$
10001	hudson	61.9	-145.667	0	2.2	-0.02	-0.178	12
10002	moose	61.374	-143.599	15.5	16.4	-0.53	-0.44	13.898
10003	quartz	64.206	-145.814	0.1	1.5	-0.05	-0.1	12.9
10004	rainbow	60.71667	-150.8	4	11.1	0.28	0.3	13.27
10005	screaminlynx	66.06667	-145.4	1.1	4.3	0.15	0.3	14.9
10006	trout	68.828	-138.75	0.1	4.6	-0.05	-0.4	10.94
10007	upper_fly	61.07	-138.09	26.4	22.9	-0.68	-1.3	13.1

Где:

$\Delta_{тр},\%$ - отклонение модели тренда от стационарной модели в %;

$\Delta_{ст},\%$ - отклонение модели ступенчатых изменений от стационарной модели в %;

$R_{тр}$ – коэффициент корреляции модели линейного тренда.

ΔT – Разница между средними температурами

$T_{ср}$ – Средняя температура на станции за все годы

Карта средних температур

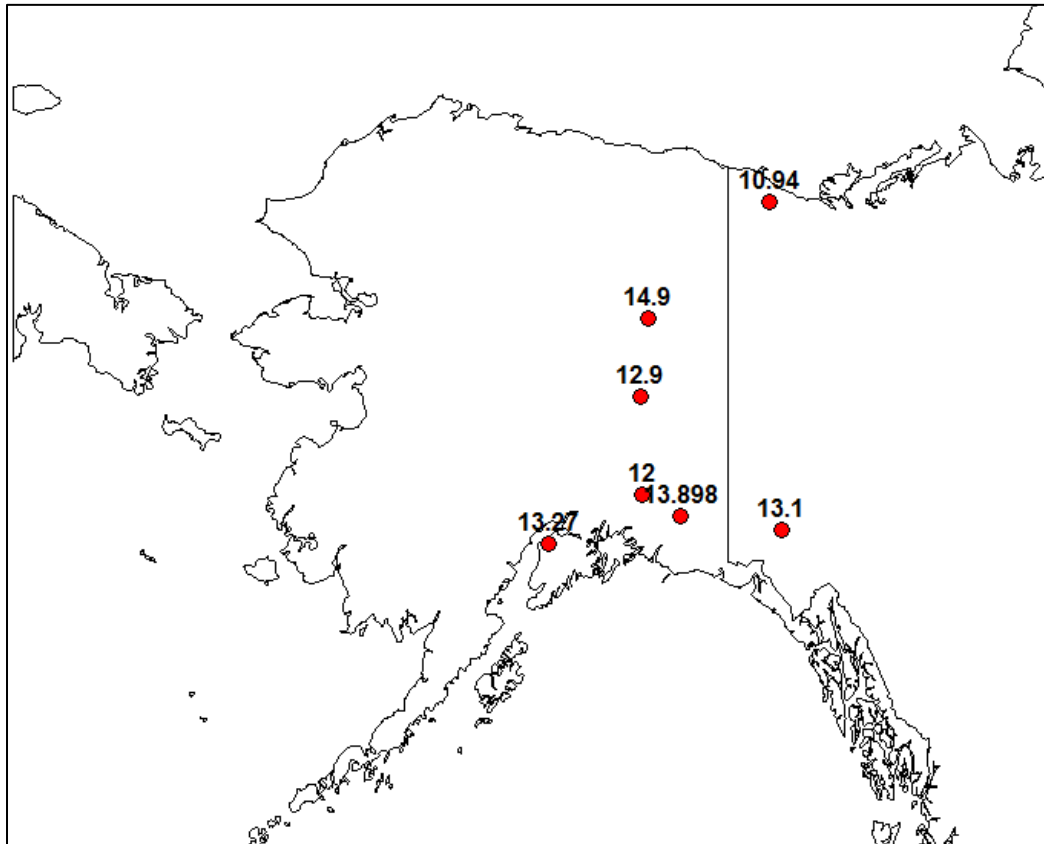


Рисунок 2.10 – Многолетние средние температуры июля за определенный период времени в каждой пункте станции

2.4. Обобщение результатов по пространству

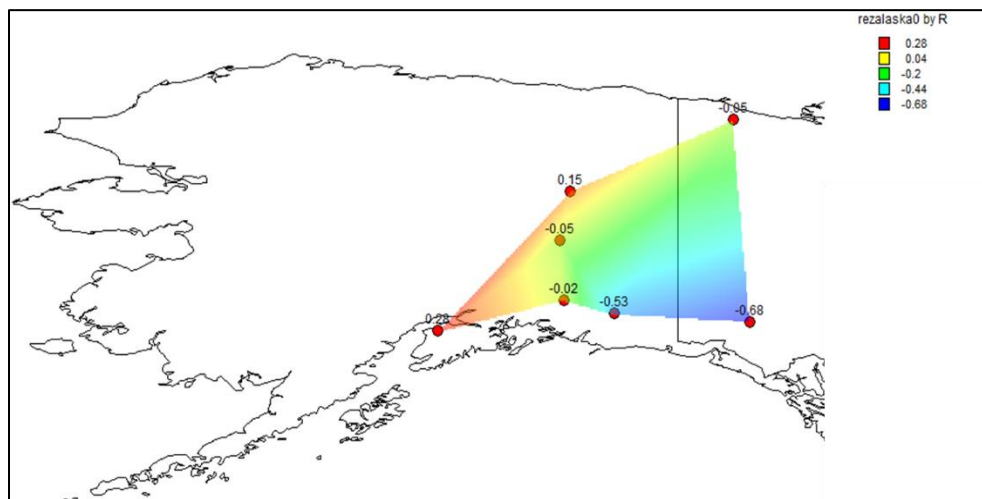


Рисунок 2.11 – Распределение показателя R_{tr} за период наблюдения

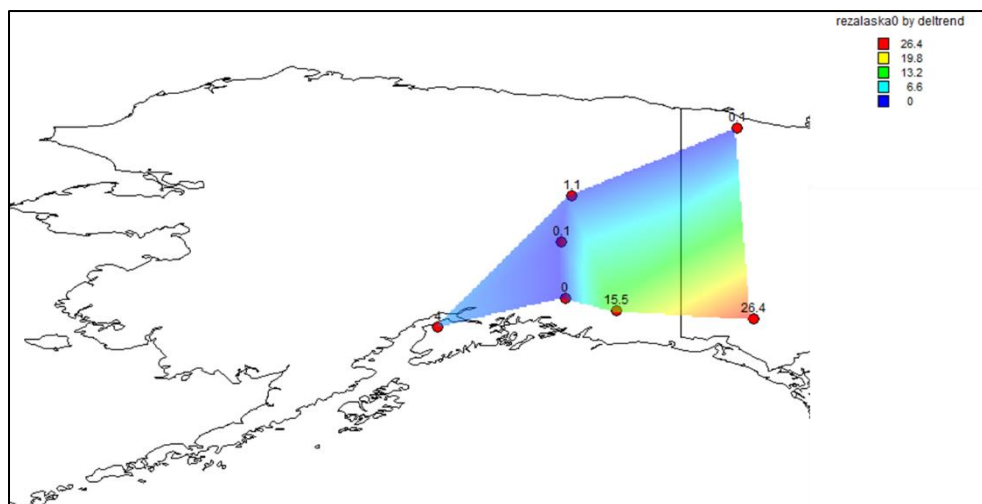


Рисунок 2.12 – Распределение показателя $\Delta_{tr, \%}$ за период наблюдения

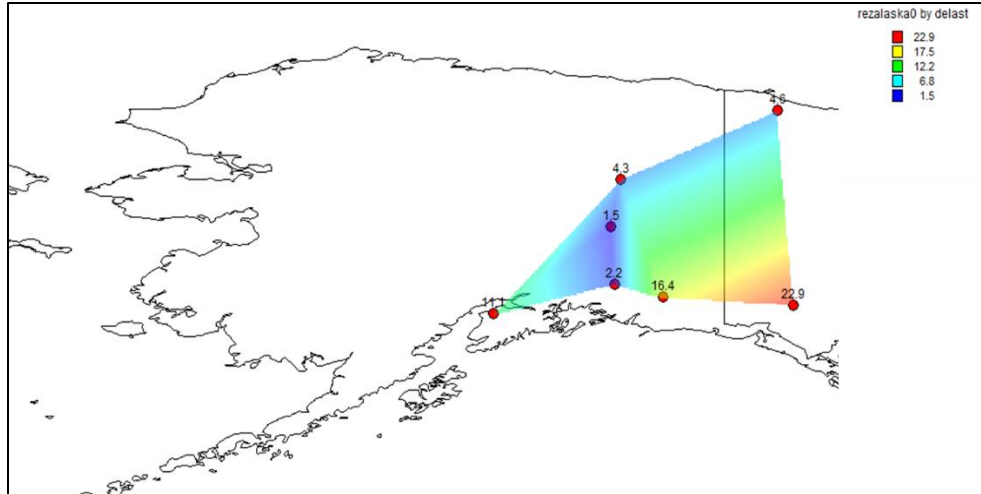


Рисунок 2.13 – Распределение показателя $\Delta\sigma, \%$ за период наблюдения

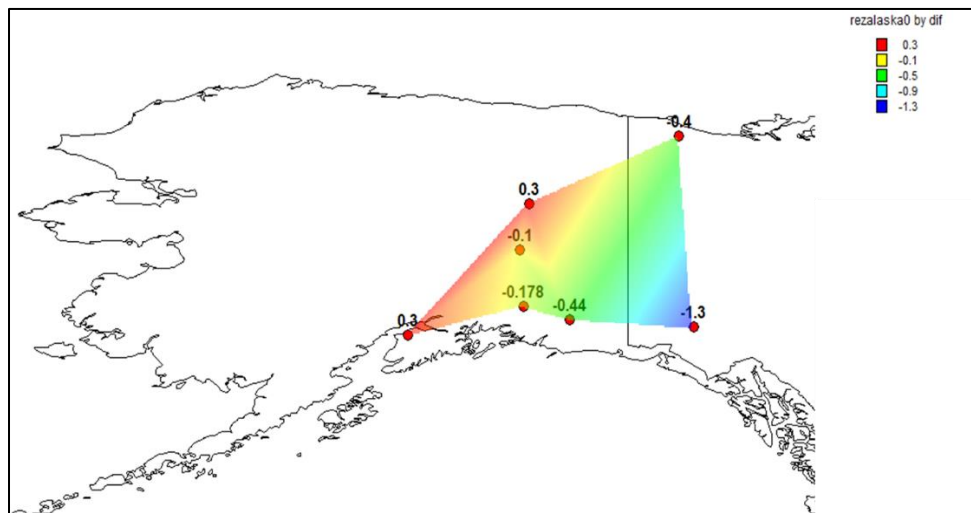


Рисунок 2.14 – Распределение показателя ΔT за период наблюдения

2.5. Анализ результатов

Аляска и Юкон, расположенные в самых северных частях Североамериканского континента, обычно демонстрируют более прохладную июльскую температуру в течение всего периода времени в диапазоне от 10°C до 16°C.

На станции “screaminlynx”, которая находится в центре суши, зафиксирована самая высокая температура за все это время. Она варьировалась от 13°C до 16,5°C, а ее среднее значение поддерживается на уровне 14,9°C.

Станция “trout”, расположенная на самой высокой широте, показывает самую низкую температуру в среднем 10,94°C за всю историю наблюдений. На станции “hudson” в течение примерно 2000 лет, с 5135 по 3235 год до нашей эры, температура была относительно ниже - в среднем 11,8°C. А затем средняя температура поднялась до 12°C, что меньше начальной средней температуры в 12,2°C в начале измерений.

Станции “trout”, “screaminlynx” и “rainbow” демонстрируют незначительную тенденцию к повышению температуры с течением времени, в то время как другие станции имеют явную тенденцию к снижению на протяжении последних нескольких тысячелетий.

Станция “rainbow”, которая находится на юге Аляски и ближе всего к океану, показывает максимальную температуру в период с 4500 по 3000 год до нашей эры.

На станции “quartz” поддерживается относительно стабильная средняя температура в 12,9°C.

Почти все станции демонстрируют незначительную тенденцию к снижению температуры за последние 4000 лет.

3. Исследование палеотемператур в в районе Канада-Гренландия

3.1. Исходная информация

Местоположение

Таблица 3.1 – Названия и координаты пунктов и периоды информации в регионе Канада-Гренландия

Название станции	Код станции	Широта (град)	Долгота (град)	Период
akvaquak	20001	66.78	-63.95	6384 до н.э. – 1940 г.
iglutalik	20002	66.14	-66.08	8319 до н.э. – 1974 г.
jake	20003	63.67	-65.15	6132 до н.э. – 1991 г.
qipisirargo	20004	61.00	-47.75	6684 до н.э. – 1942 г.
JR01	20005	69.90	-95.07	5006 до н.э. – 1999 г.
s53s52	20006	59.89	-104.21	4221 до н.э. – 1990 г.

Для отображения местоположения станций на карте использовалась программа MapInfo-GIS, где с использованием координат формировалась географическая информационная карта.

Расположение пунктов станции показано на рисунке 3.1.

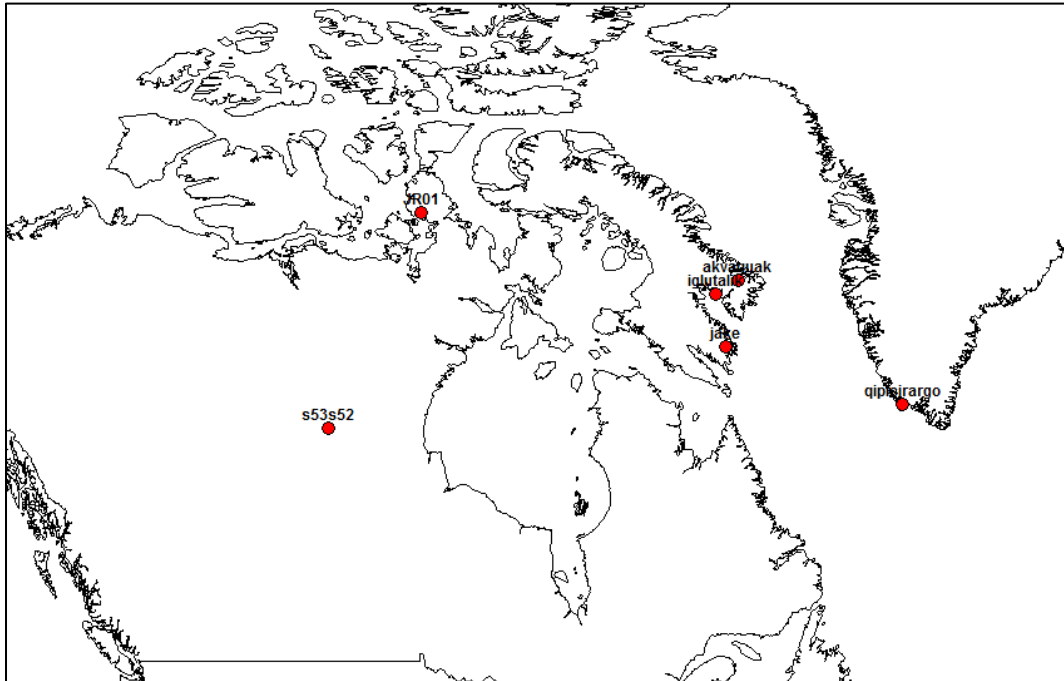


Рисунок 3.1 – Расположение пунктов в регионе Канада-Гренландия

3.2. Формирование и анализ хронологических графиков

Реконструкция температур

На следующих графиках показаны реконструкции средних июльских температур на семи станциях в регионе Канада-Гренландия.

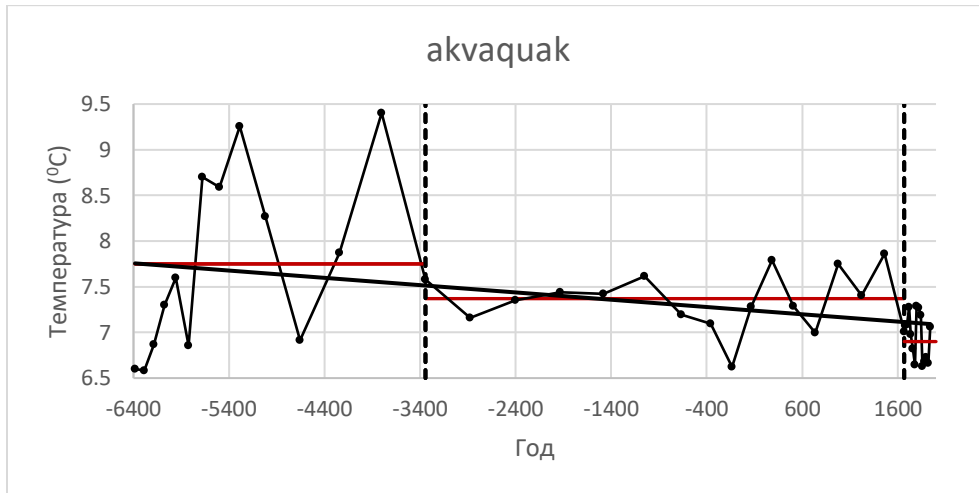


Рисунок 3.2 – Распределение температуры на станции “akvaquak”

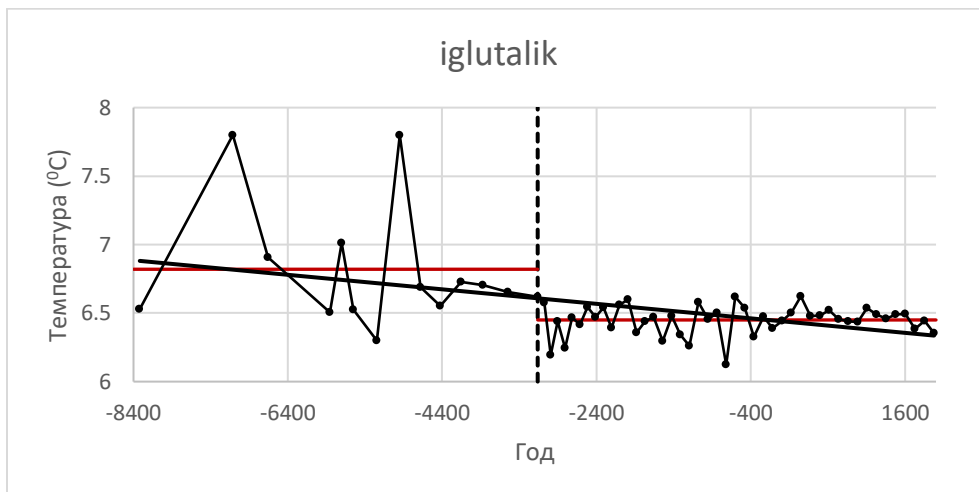


Рисунок 3.3 – Распределение температуры на станции “iglutalik”

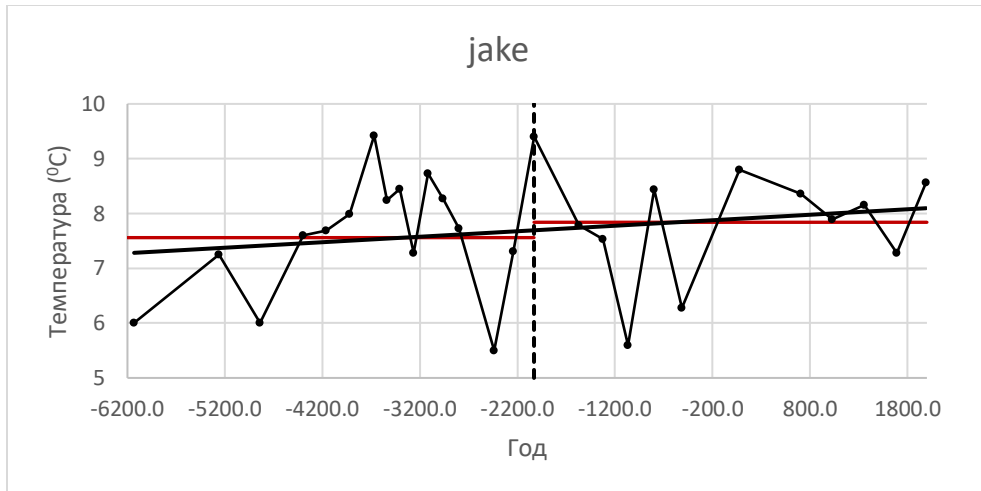


Рисунок 3.4 – Распределение температуры на станции “jake”

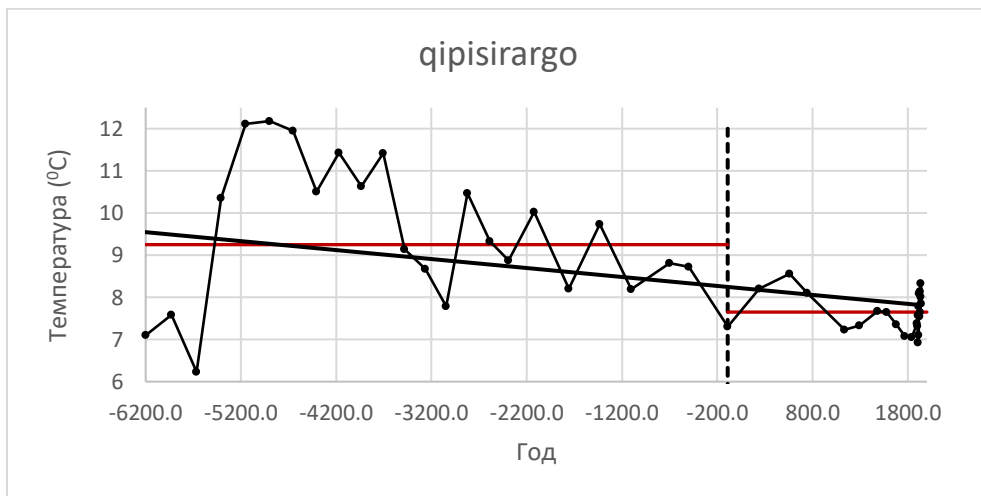


Рисунок 3.5 – Распределение температуры на станции “qipisirargo”

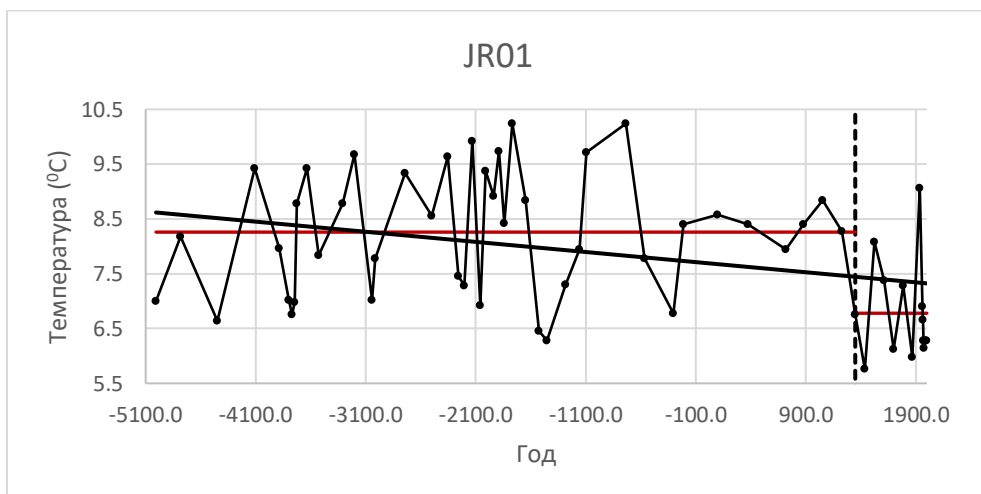


Рисунок 3.6 – Распределение температуры на станции “JR01”

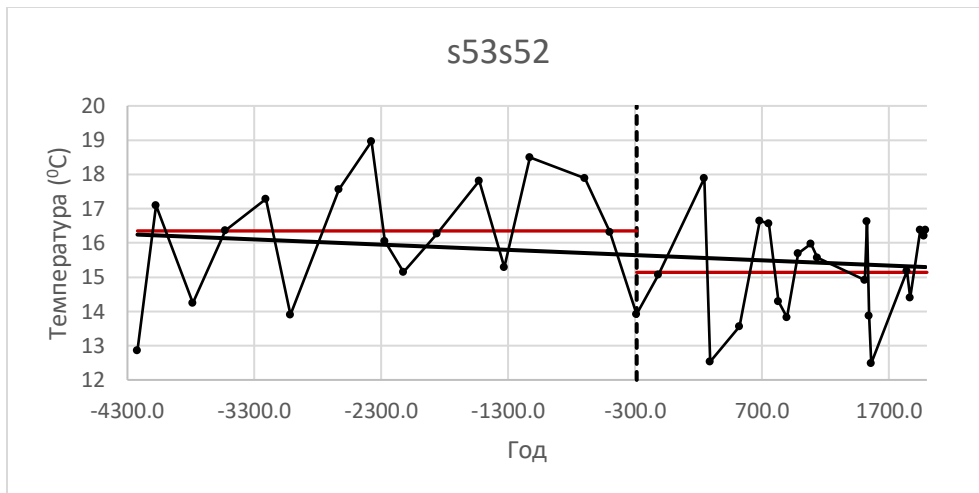


Рисунок 3.7 – Распределение температуры на станции “s53s52”

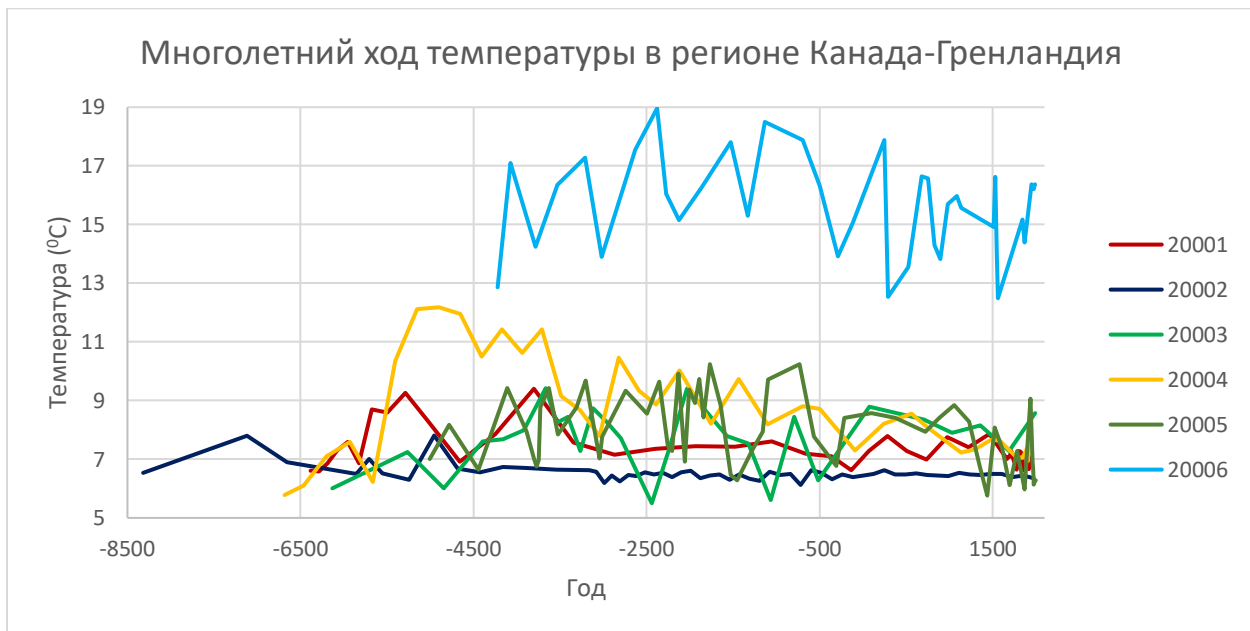


Рисунок 3.8 – Распределение температуры на всех станциях

3.3. Моделирование временных рядов

Рассчитав и смоделировав параметры основных моделей временных рядов, необходимые характеристики стационарных и нестационарных моделей многолетней температуры июля были получены на 6 станциях в регионе Канада-Гренландия.

Используя результаты, полученные с помощью программного обеспечения "timod.exe" и графиков, показанных в главе 3.2, составлена таблица 3.2.

Таблица 3.2 – Характеристики средних температур в июле в регионе Канада-Гренландия

Код	Название	Широта (град)	Долгота (град)	$\Delta_{тр},\%$	$\Delta_{ст},\%$	$R_{тр}$	ΔT	$T_{ср}$
20001	akvaquak	66.78	-63.95	7.3	9.2	-0.38	-0.566	7.3
20002	iglutalik	66.14	-66.08	11.5	16.7	-0.46	-0.361	6.5
20003	jake	63.67	-65.15	2.2	0.9	0.21	0.019	7.7
20004	qipisirargo	61.00	-47.75	8.5	14.2	-0.4	-3.147	9.1
20005	JR01	69.90	-95.07	5.5	14.6	-0.33	-1.44	7.9
20006	s53s52	59.89	-104.21	1.7	6.9	-0.18	-1	15.7

Где:

$\Delta_{тр},\%$ - отклонение модели тренда от стационарной модели в %;

$\Delta_{ст},\%$ - отклонение модели ступенчатых изменений от стационарной модели в %;

$R_{тр}$ – коэффициент корреляции модели линейного тренда.

ΔT – Разница между средними температурами

$T_{ср}$ – Средняя температура на станции за все годы

Карта средних температур

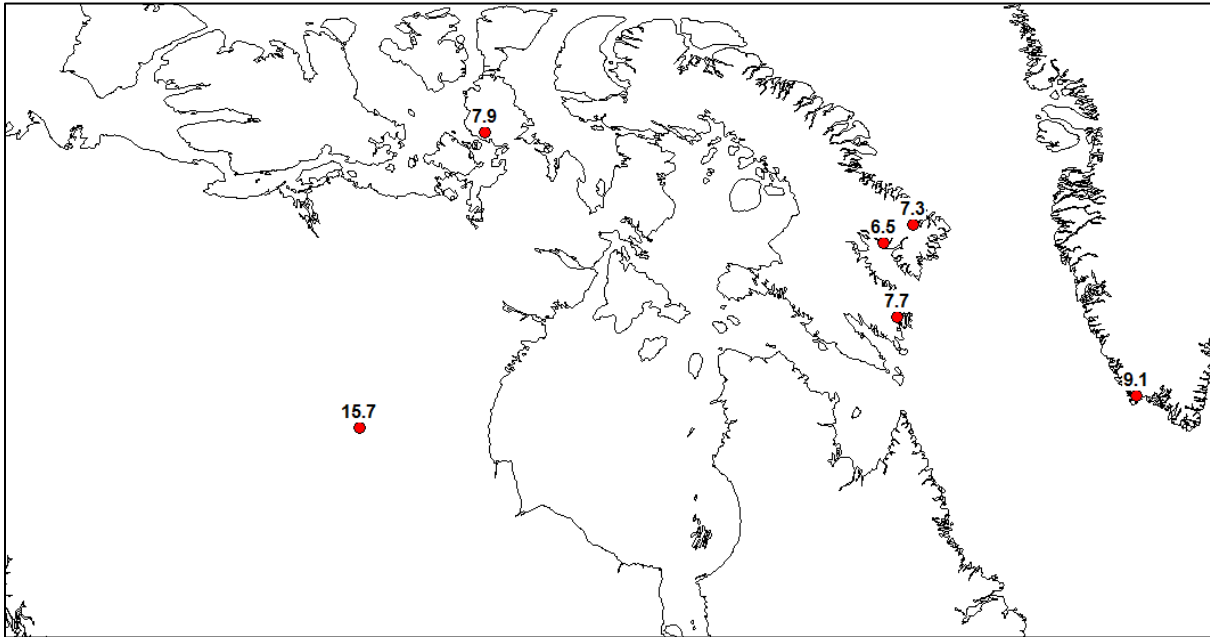


Рисунок 3.9 – Многолетние средние температуры июля за определенный период времени в каждой пункте станции

3.4. Обобщение результатов по пространству

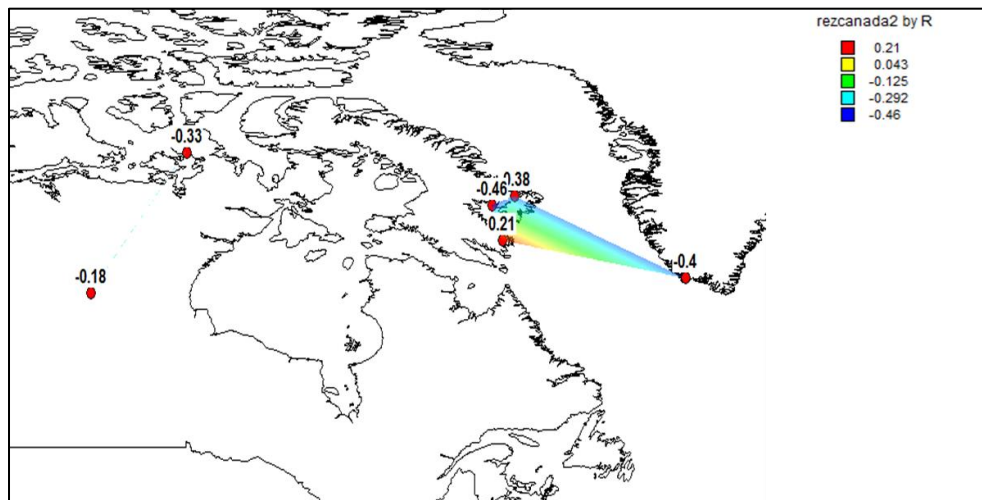


Рисунок 3.10 – Распределение показателя R_{tr} за период наблюдения

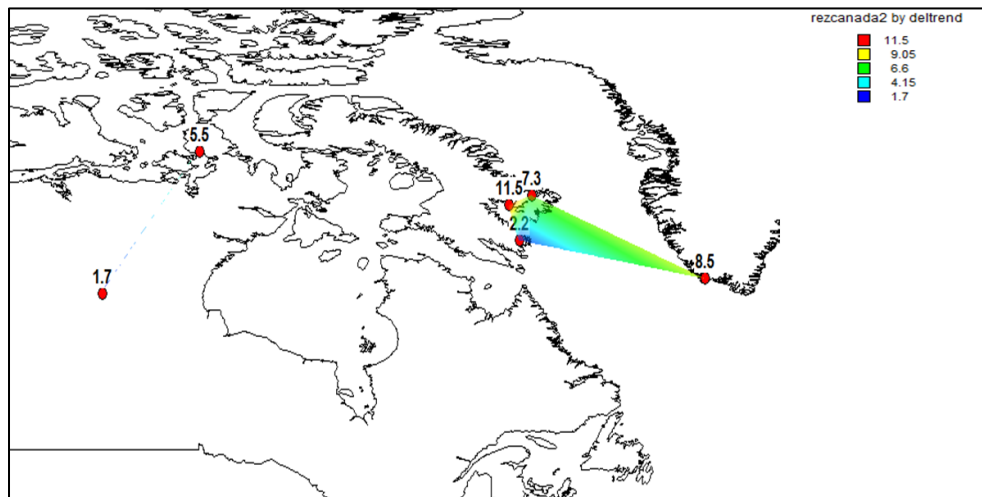


Рисунок 3.11 – Распределение показателя $\Delta_{tr, \%}$ за период наблюдения

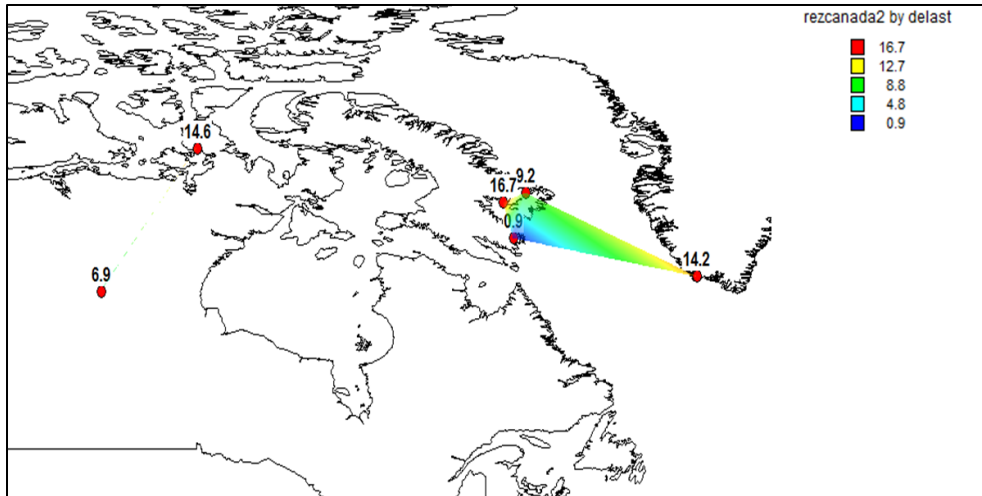


Рисунок 3.12 – Распределение показателя $\Delta st, \%$ за период наблюдения

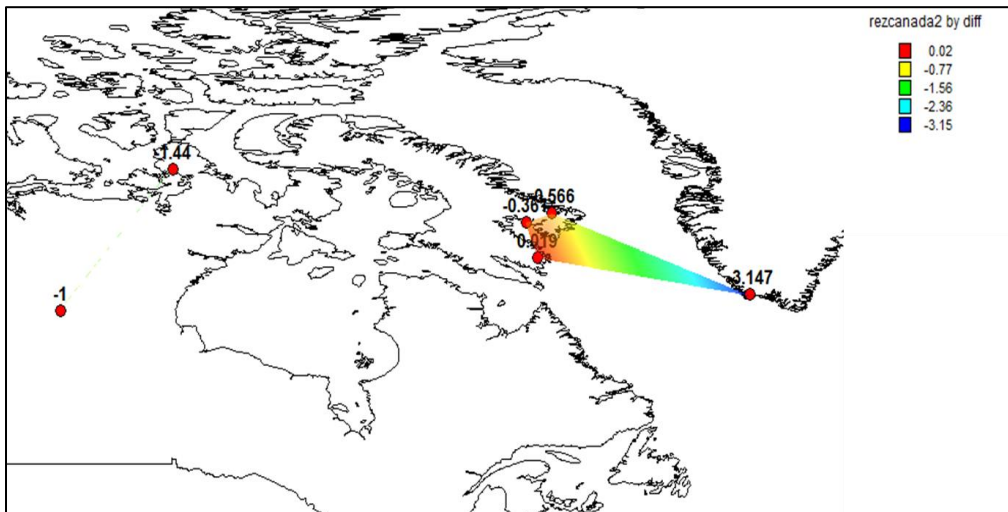


Рисунок 3.13 – Распределение показателя ΔT за период наблюдения

3.5. Анализ результатов

Самая высокая средняя температура зафиксирована на станции “s53s52”, которая расположена почти в центре Канады. Она равна 15,7 °С. Самое холодное - на станции “iglutalik” со средней температурой 6,5 °С. По сравнению с другими станциями, эта показывает меньшие колебания температуры в течение всего периода времени.

На станции “akvaquak” температура стала более стабильной за последние 5400 лет, в то время как до этого она, по-видимому, колебалась от 6 °С до 10 °С, за 500 лет средняя температура является самой низкой и составляет 6,9 °С. На станции “qipisirargo” в Гренландии наблюдаются наибольшие колебания температуры с течением времени. В последнем столетии наблюдается значительное повышение температуры по сравнению с прошлыми темпами ее повышения.

Температура на станции “JR01” составляет от 5,5 °С до 10,5 °С. Средняя температура составляет 8,26 °С в диапазоне от 5100 до н.э. 1350 г. С этого момента и по сегодняшний день средняя температура составляет 7,38 °С. На станции “jake” наблюдается небольшое повышение температуры с течением времени. Самая высокая температура зафиксирована до 4000 лет, а после этого она снижается до средней температуры 7,84 °С. Более ранние температуры также были низкими со средней температурой 7,56 °С.

Из шести станций на большинстве наблюдается тенденция к снижению средних июльских температур, особенно за последние 4000 лет. Большинство из них также показывают, что существует небольшая тенденция к росту до 4000 лет.

4. Исследование палеотемператур в районе Россия-Арктика

4.1. Исходная информация

Местоположение

Таблица 4.1 – Названия и координаты пунктов и периоды информации в регионе Россия-Арктика

Название станции	Код станции	Широта (град)	Долгота (град)	Период
dolgoe	30001	71.87	127.07	9552 до н.э. – 1899 г.
kharinei	30002	67.36	62.75	4058 до н.э. – 2003 г.
Lyadhej-To	30003	68.25	65.79	8838 до н.э. – 1881 г.
Southern Siberia	30004	52.03	101.06	9256 до н.э. – 1921 г.
Lake Bolshie Toroki	30005	55.39	80.62	5742 до н.э. – 2012 г.
Lake Pechora	30006	59.29	163.13	8084 до н.э. – 1476 г.
Lake Temje	30007	62.05	129.48	6332 до н.э. – 1950 г.
Lake Two-Yourts	30008	56.82	160.11	2550 до н.э. – 1785 г.

Для отображения местоположения станций на карте использовалась программа MapInfo-GIS, где с использованием координат формировалась географическая информационная карта.

Расположение пунктов станции показано на рисунке 4.1.

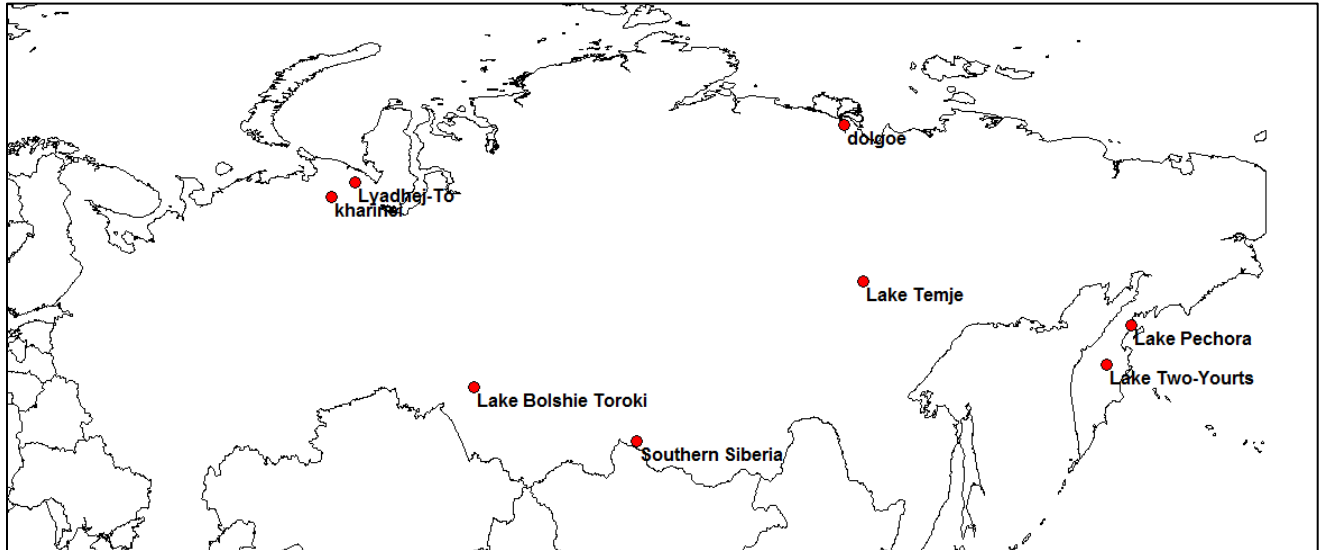


Рисунок 4.1 – Расположение пунктов в регионе Россия-Арктика

4.2. Формирование и анализ хронологических графиков

Реконструкция температур

На следующих графиках показаны реконструкции средних июльских температур на семи станциях в регионе Россия-Арктика.

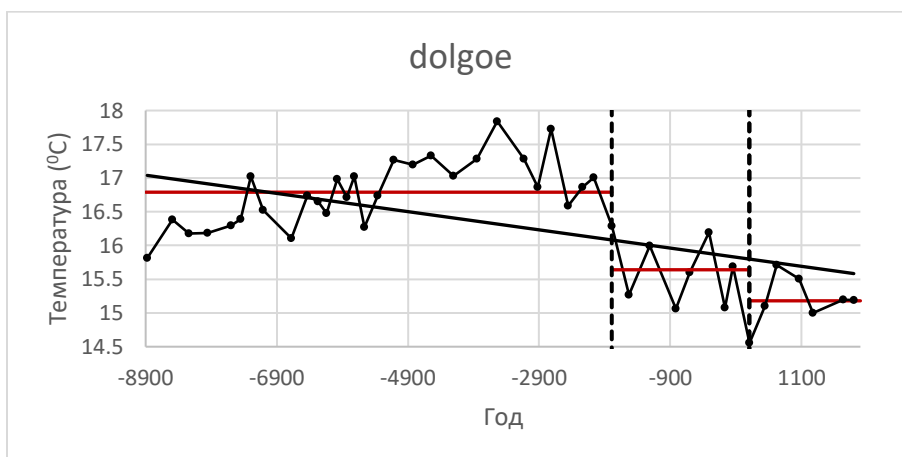


Рисунок 4.2 – Распределение температуры на станции “dolgoe”

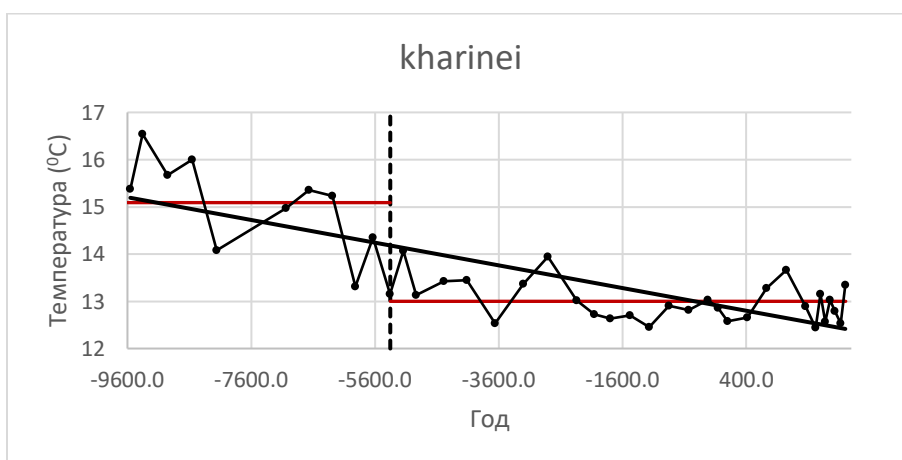


Рисунок 4.3 – Распределение температуры на станции “kharinei”

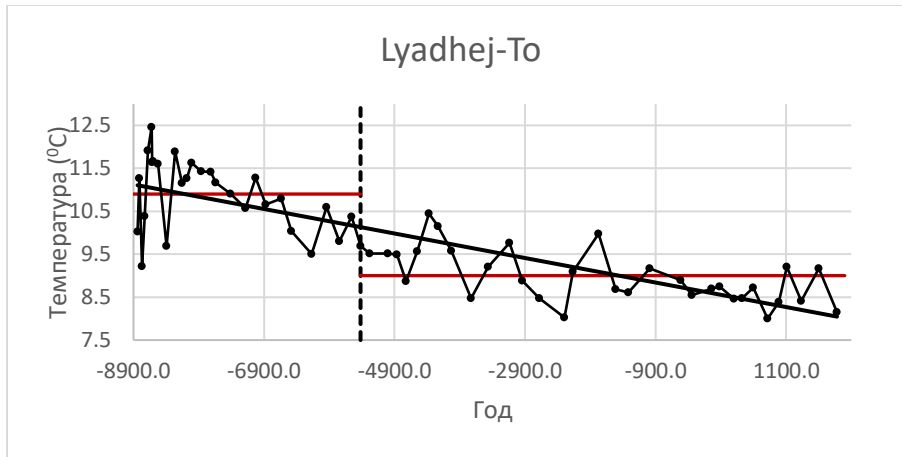


Рисунок 4.4 – Распределение температуры на станции “Lyadhej-To”

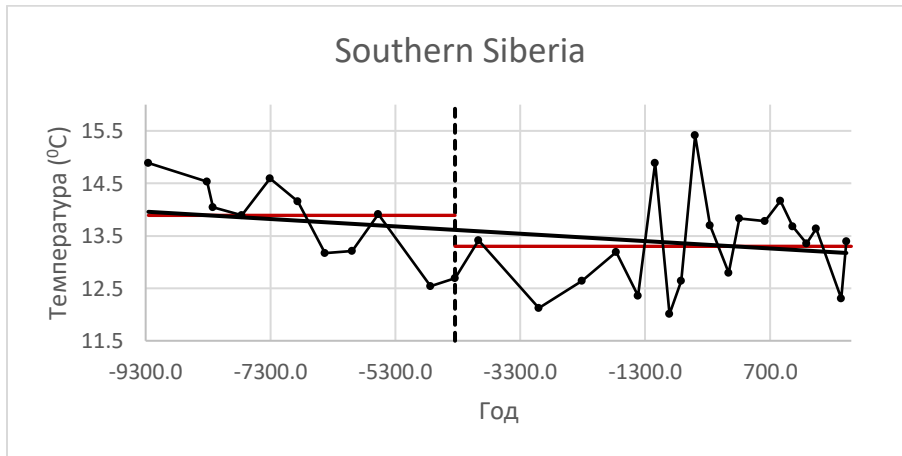


Рисунок 4.5 – Распределение температуры на станции “Southern Siberia”

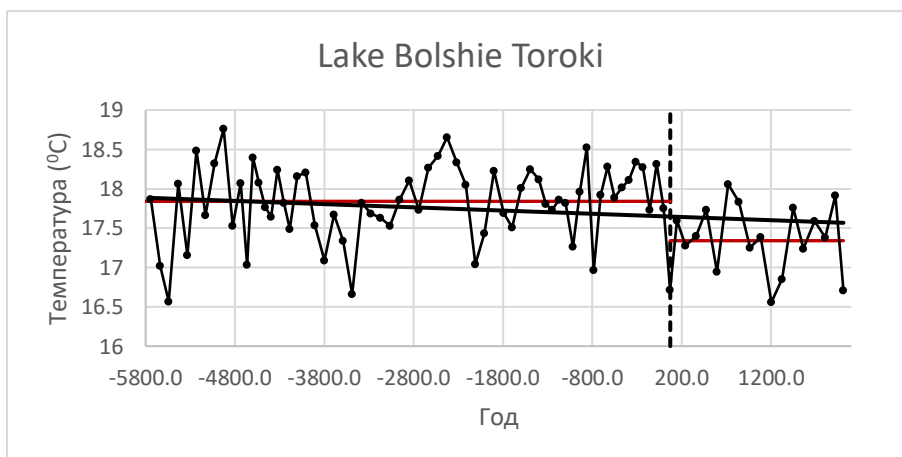


Рисунок 4.6 – Распределение температуры на станции “Lake Bolshie Toroki”

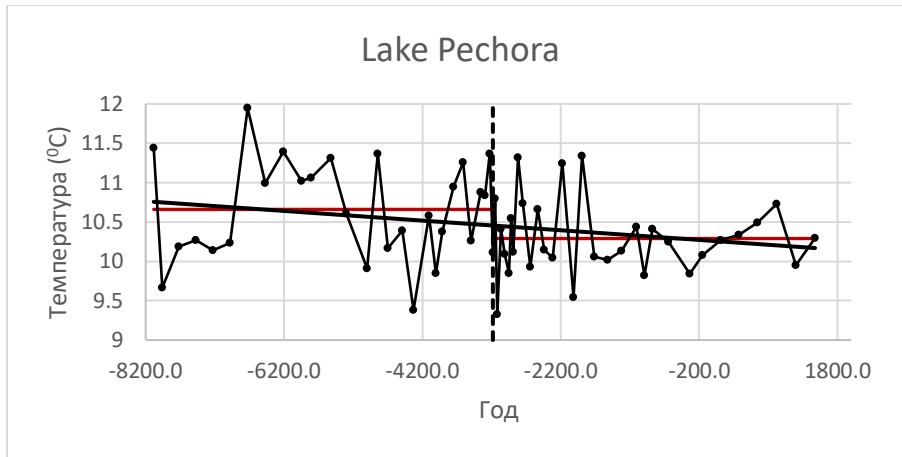


Рисунок 4.7 – Распределение температуры на станции “Lake Pechora”

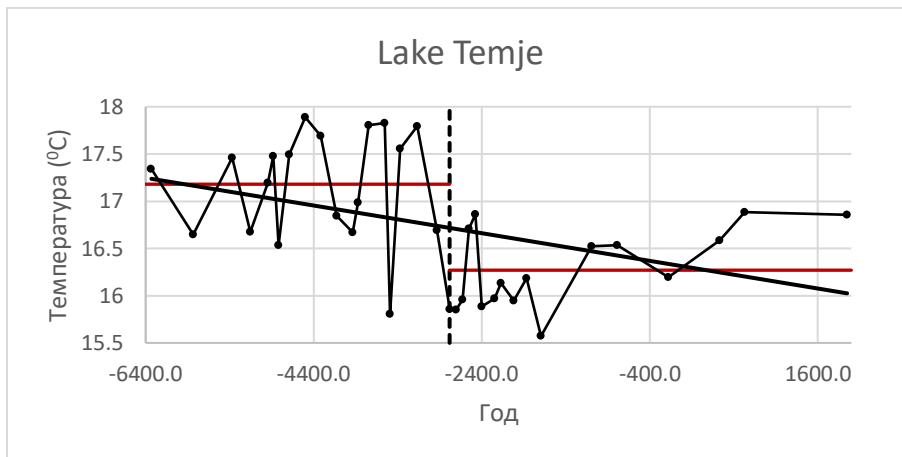


Рисунок 4.8 – Распределение температуры на станции “Lake Temje”

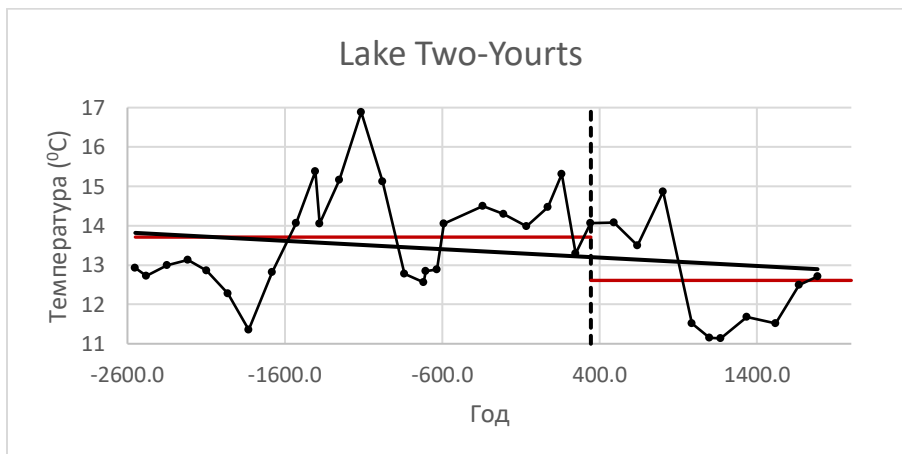


Рисунок 4.9 – Распределение температуры на станции “Lake Two-Yourts”

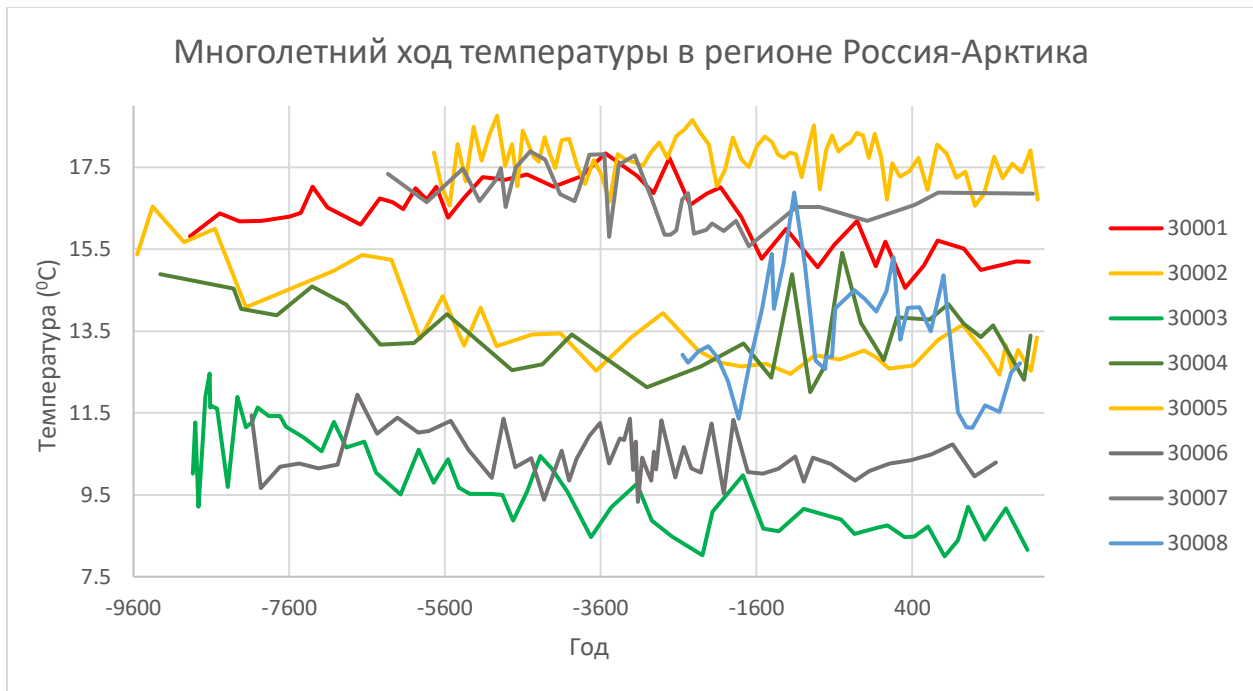


Рисунок 4.10 – Распределение температуры на всех станциях

4.3. Моделирование временных рядов

Рассчитав и смоделировав параметры основных моделей временных рядов, необходимые характеристики стационарных и нестационарных моделей многолетней температуры июля были получены на 8 станциях в регионе Россия-Арктика.

Используя результаты, полученные с помощью программного обеспечения "timod.exe " и графиков, показанных в главе 4.2, составлена таблица 4.2.

Таблица 4.2 – Характеристики средних температур в июле в регионе Россия-Арктика

Код	Название	Широта (град)	Долгота (град)	$\Delta_{тр},\%$	$\Delta_{ст},\%$	$R_{тр}$	ΔT	$T_{ср}$
30001	dolgoe	71.87	127.07	8	37.1	0.39	1.853	15.7
30002	kharinei	67.36	62.75	40.4	45.9	-0.8	-1.915	13.5
30003	Lyadhej-To	68.25	65.79	44.7	40.2	-0.83	-1.851	9.9
30004	Southern Siberia	52.03	101.06	4.1	5.4	-0.28	-0.453	13.5
30005	Lake Bolshie Toroki	55.39	80.62	1.6	8.6	-0.18	-0.439	17.7
30006	Lake Pechora	59.29	163.13	3.4	5.4	-0.26	-0.343	10.5
30007	Lake Temje	62.05	129.48	1.2	14.8	-0.15	-0.652	16.7
30008	Lake Two-Yourts	56.82	160.11	2.1	7.5	-0.2	-1.256	13.4

Где:

$\Delta_{тр},\%$ - отклонение модели тренда от стационарной модели в %;

$\Delta_{ст},\%$ - отклонение модели ступенчатых изменений от стационарной модели в %;

$R_{тр}$ – коэффициент корреляции модели линейного тренда.

ΔT – Разница между средними температурами

$T_{ср}$ – Средняя температура на станции за все годы

Карта средних температур

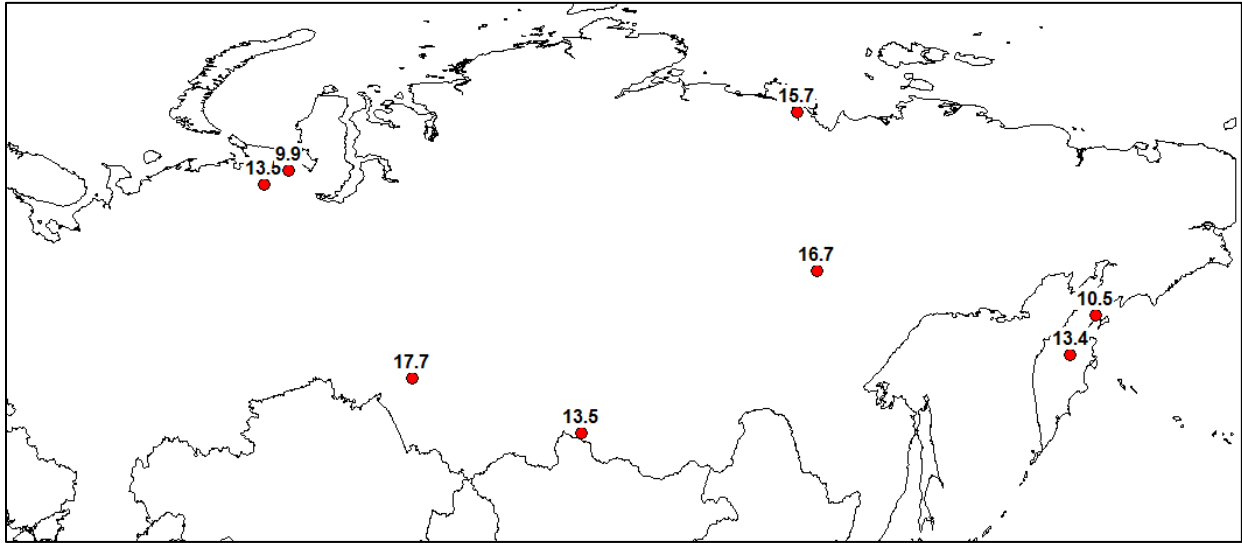


Рисунок 4.11 – Многолетние средние температуры июля за определенный период времени в каждой пункте станции

4.4. Обобщение результатов по пространству

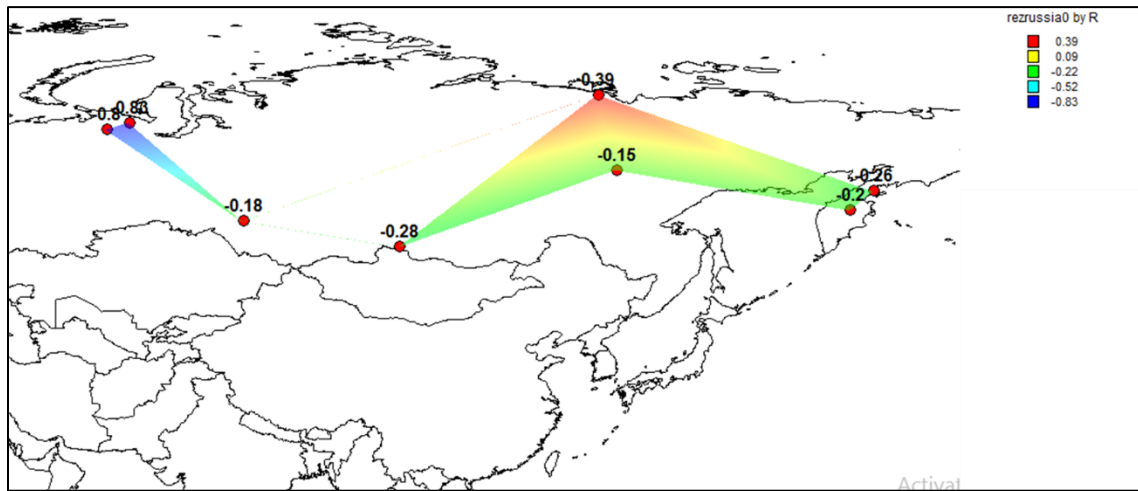


Рисунок 4.12 – Распределение показателя R_{tr} за период наблюдения

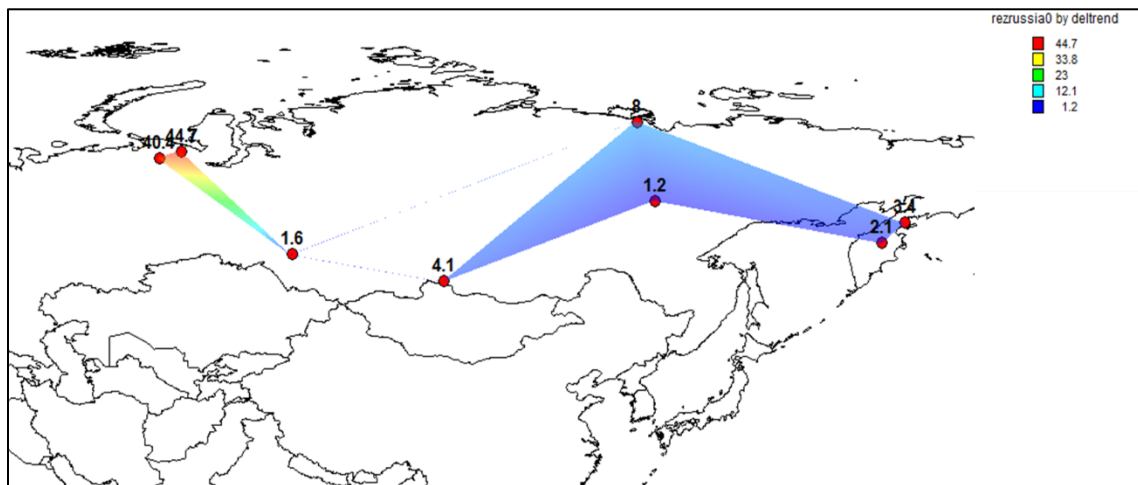


Рисунок 4.13 – Распределение показателя $\Delta tr, \%$ за период наблюдения

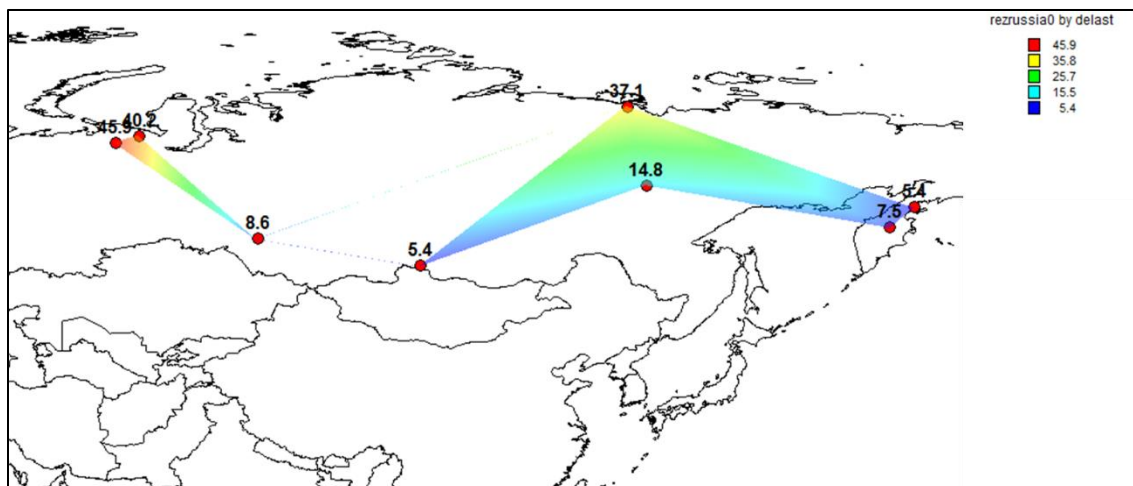


Рисунок 4.14 – Распределение показателя $\Delta\text{ст},\%$ за период наблюдения

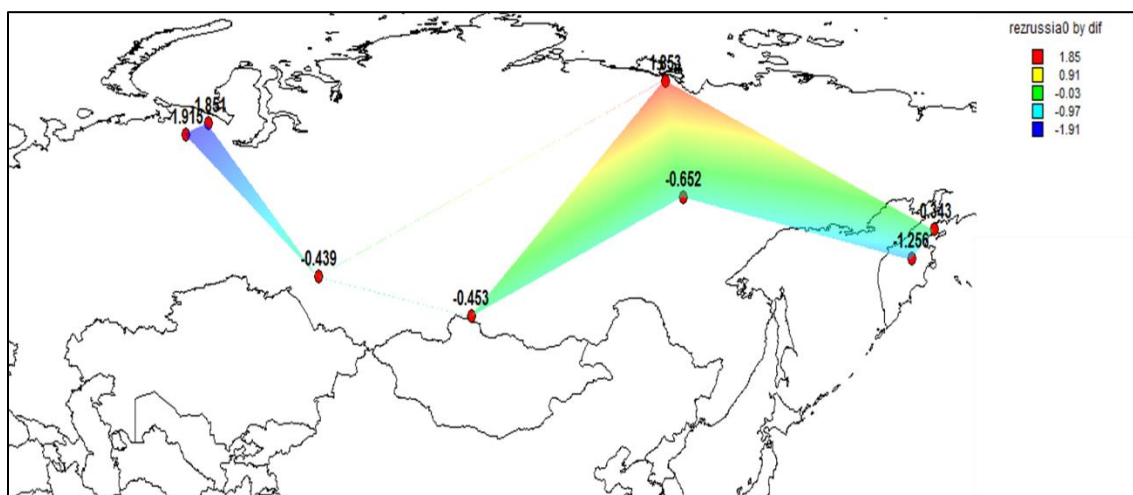


Рисунок 4.15 – Распределение показателя ΔT за период наблюдения

4.5. Анализ результатов

На станции “dolgoe”, которая является самой северной станцией, температура имеет тенденцию к повышению с 8900 до н.э. 3550 до н.э. со средним значением $16,79^{\circ}\text{C}$, что можно считать относительно теплым для 72-й северной широты. Но температура падает до $15,18^{\circ}\text{C}$.

На станциях “kharinei” и “Lyadhej-To”, которые расположены близко друг к другу, распределение температур уменьшается, причем на первой средняя температура выше на $13,5^{\circ}\text{C}$, а на другой среднее значение составляет $9,9^{\circ}\text{C}$. На станции “Southern Siberia”, которая является самой южной станцией, наблюдается тенденция к снижению средней температуры со средним значением $13,5^{\circ}\text{C}$.

В “Lake Volshie Toroki” средняя температура самая высокая - $17,7^{\circ}\text{C}$. Здесь один из самых стабильных температурных режимов из всех станций. В “Lake Pechora”, на Камчатке, средняя температура составляет $10,66^{\circ}\text{C}$ до 3200 до н.э., а после нее - $10,29^{\circ}\text{C}$, что является небольшим снижением. “Lake Temje”, которое имеет высокую среднюю температуру $16,7^{\circ}\text{C}$, также имеет тенденцию к снижению температуры с температурой $16,27^{\circ}\text{C}$ после 2800 г. до н.э. и по сегодняшний день. Станция на “Lake Two-Yourts” с самой низкой историей распределения температур всего около 4600 лет показывает максимум в $16,8^{\circ}\text{C}$ около 3100 лет назад. После этого он также показывает снижение средней температуры.

В этом регионе все станции демонстрируют тенденцию к снижению средних температур за последние 4000 лет.

5. Исследование палеотемператур в районе Фенноскандия (Финландия и Скандинавия)

5.1. Исходная информация

Местоположение

*Таблица 5.1 – Названия и координаты пунктов и периоды информации в
регионе Фенноскандия*

Название станции	Код станции	Широта (град)	Долгота (град)	Период
Lake850	40001	68.37	19.12	7525 до н.э. – 2000 г.
Austerkjosen	40002	68.53	17.27	6889 до н.э. – 1931 г.
Berkut	40003	66.35	36.67	8168 до н.э. – 1950 г.
Bjørnfjelltjørn	40004	68.43	18.07	6910 до н.э. – 1995 г.
Brurskardstjørni	40005	61.42	8.67	8950 до н.э. – 1977 г.
Dalene	40006	58.25	8.00	6990 до н.э. – 2006 г.
Dalmutladdo	40007	69.17	20.72	6794 до н.э. – 1950 г.
Flotatjønn	40008	59.67	7.55	7070 до н.э. – 1993 г.
Gammelheimvatnet	40009	68.47	17.75	6493 до н.э. – 1992 г.
Grostjørna	40010	58.53	7.73	6964 до н.э. – 1997 г.
Haugtjern	40011	60.83	10.88	7009 до н.э. – 1973 г.
Holebudalen	40012	59.83	6.98	6978 до н.э. – 1959 г.
Isbenttjønn	40013	59.77	7.43	6940 до н.э. – 1993 г.

Kinnshaugen	40014	62.02	10.37	6879 до н.э. – 1973 г
Litlvatnet	40015	68.52	14.87	6829 до н.э. – 1995 г
Myrvatnet	40016	68.65	16.38	6943 до н.э. – 1992 г
Njulla	40017	68.37	18.70	7104 до н.э. – 1998 г
Reiarsdalvatnet	40018	58.32	7.78	6898 до н.э. – 2010 г
Råtasjøen	40019	62.27	9.83	8618 до н.э. – 1999 г
Sjuodjijaure	40020	67.37	18.07	7409 до н.э. – 1950 г
Spåime	40021	63.12	12.32	8520 до н.э. – 1908 г
Svanåvatnet	40022	66.44	14.05	6800 до н.э. – 1967 г
Svartvatnet	40023	63.35	9.55	6988 до н.э. – 1987 г
tibetanus	40024	68.33	18.70	8237 до н.э. – 1910 г
Tiåvatnet	40025	63.05	9.42	7038 до н.э. – 2000 г
Toskaljavri	40026	69.20	21.47	7031 до н.э. – 1996 г
Trettetjørn	40027	60.72	7.00	6577 до н.э. – 2002 г
Tsuolbmajavri	40028	68.41	22.05	8769 до н.э. – 1950 г
Vestre Økjamyrstjørn	40029	59.82	6.00	7725 до н.э. – 2001 г
Voulep Njakajaure	40030	68.33	18.78	5717 до н.э. – 1749 г
Vuoskkujavri	40031	68.33	19.10	8264 до н.э. – 1991 г
Yarnishnoe	40032	69.07	36.07	8015 до н.э. – 0752 г

Для отображения местоположения станций на карте использовалась программа MapInfo-GIS, где с использованием координат формировалась географическая информационная карта.

Расположение пунктов станции показано на рисунке 5.1.

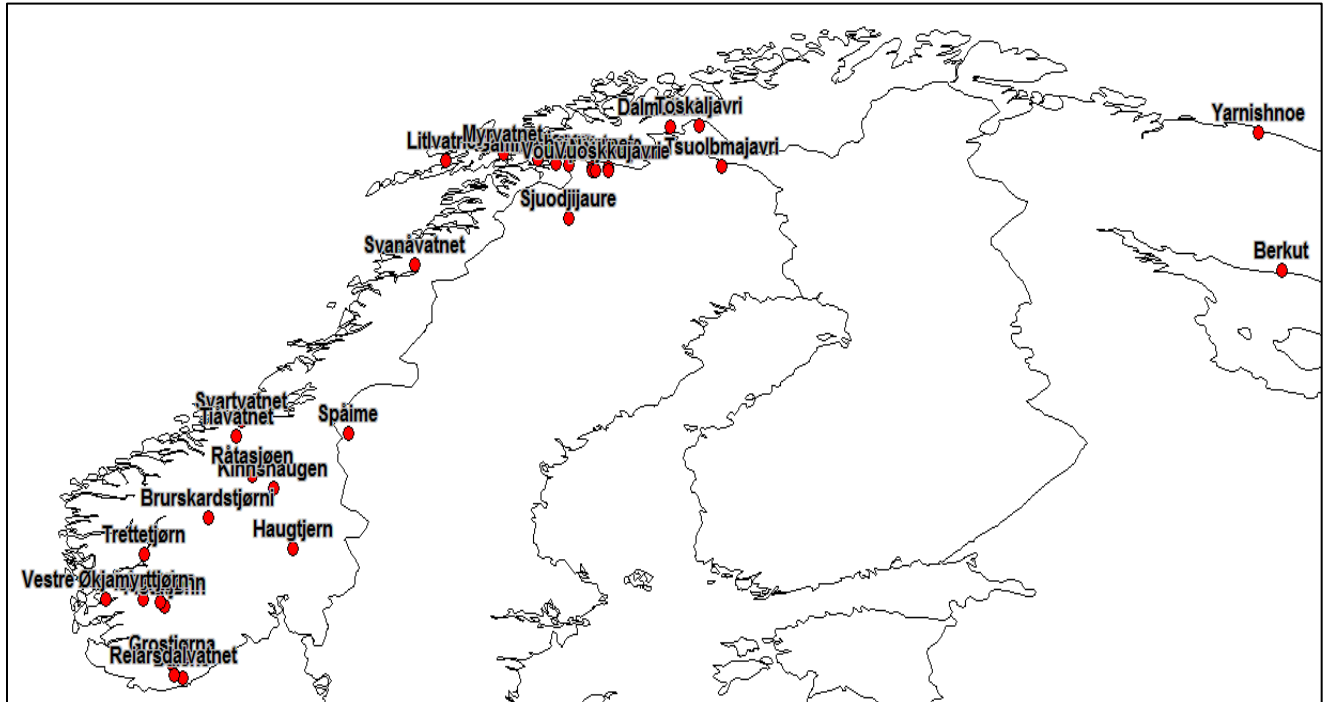


Рисунок 5.1 – Расположение пунктов в регионе Фенноскандия

5.2. Формирование и анализ хронологических графиков

Реконструкция температур

На следующих графиках показаны реконструкции средних июльских температур на семи станциях в регионе Фенноскандия.

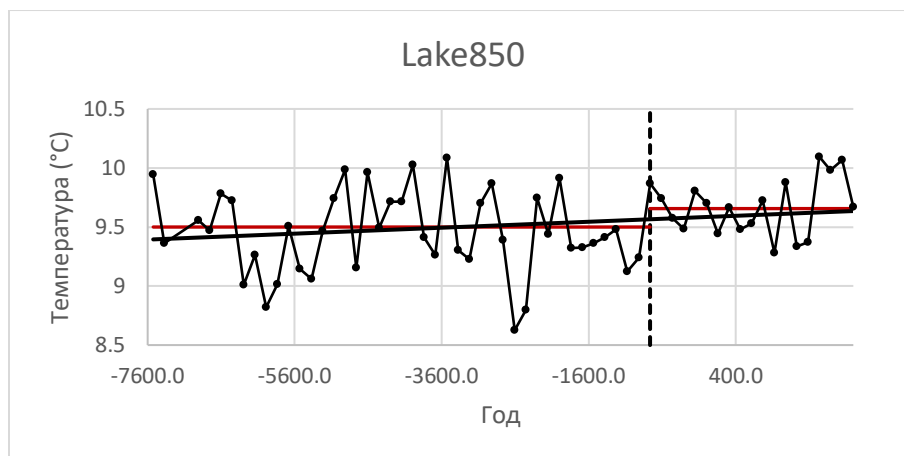


Рисунок 5.2 – Распределение температуры на станции “Lake850”

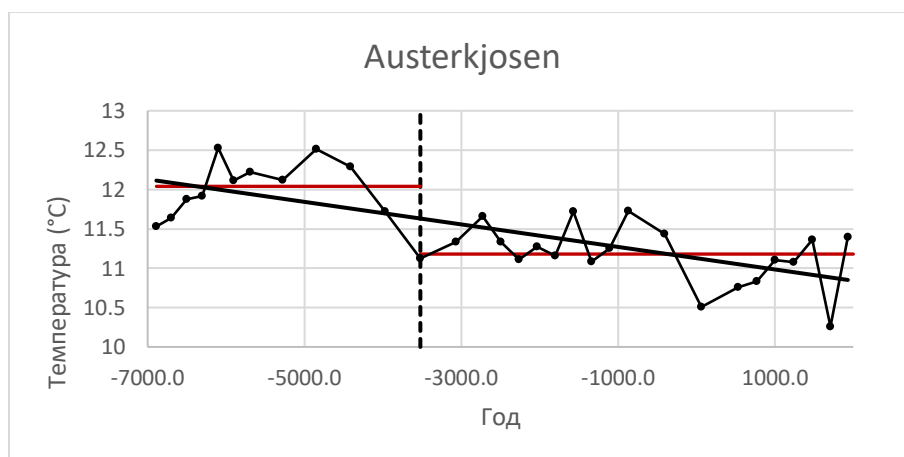


Рисунок 5.3 – Распределение температуры на станции “Austerkjosen”

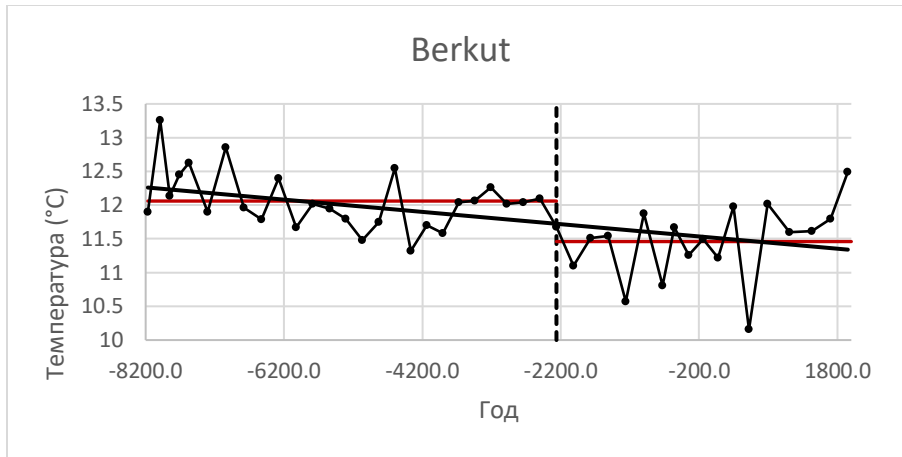


Рисунок 5.4 – Распределение температуры на станции “Berkut”

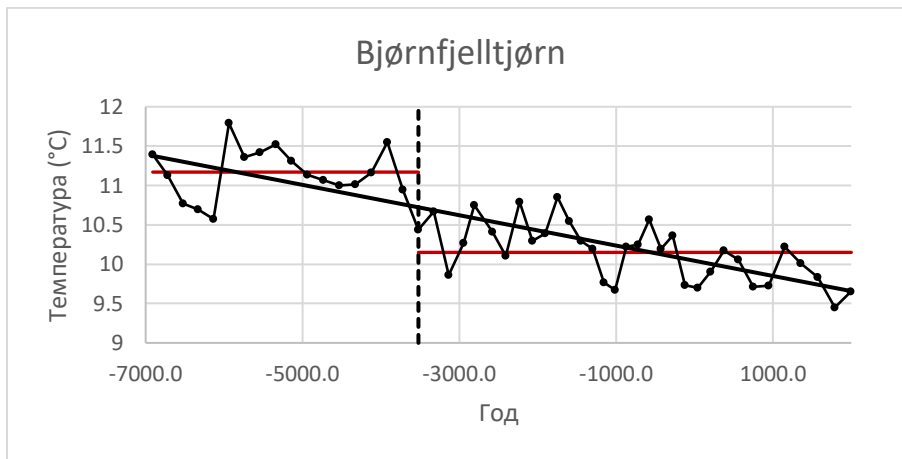


Рисунок 5.5 – Распределение температуры на станции “Bjørnfjelltjørn”

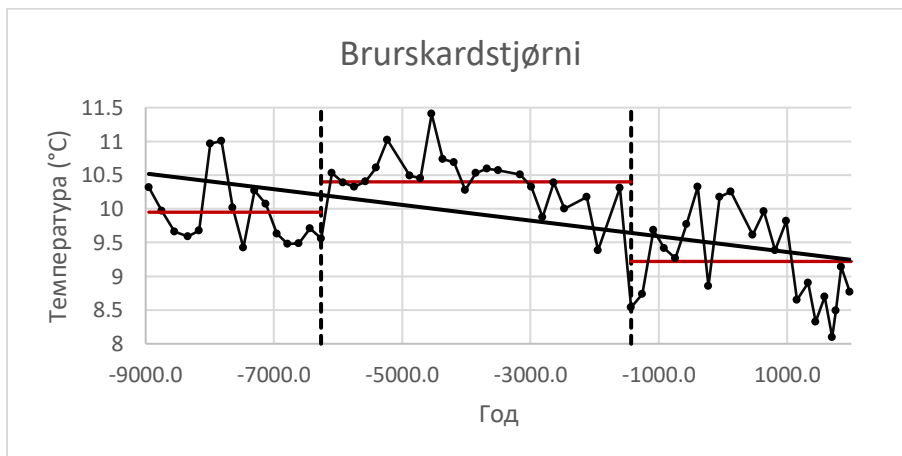


Рисунок 5.6 – Распределение температуры на станции “Brurskardstjørni”

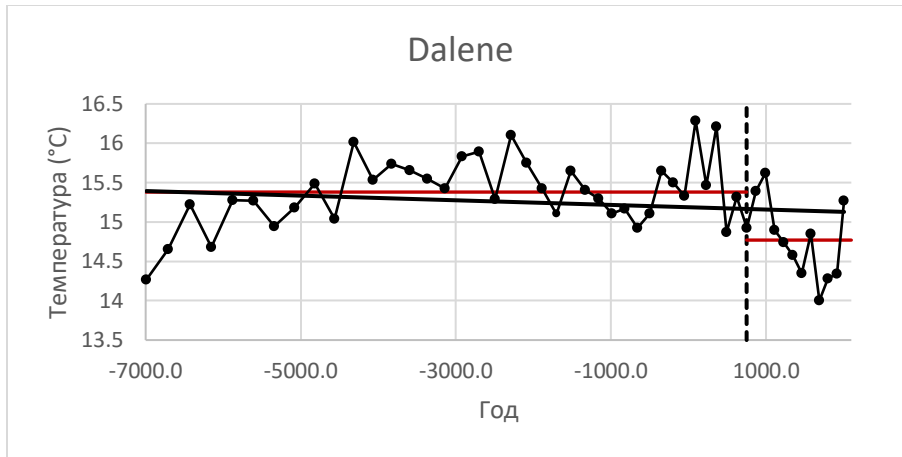


Рисунок 5.7 – Распределение температуры на станции “Dalene”

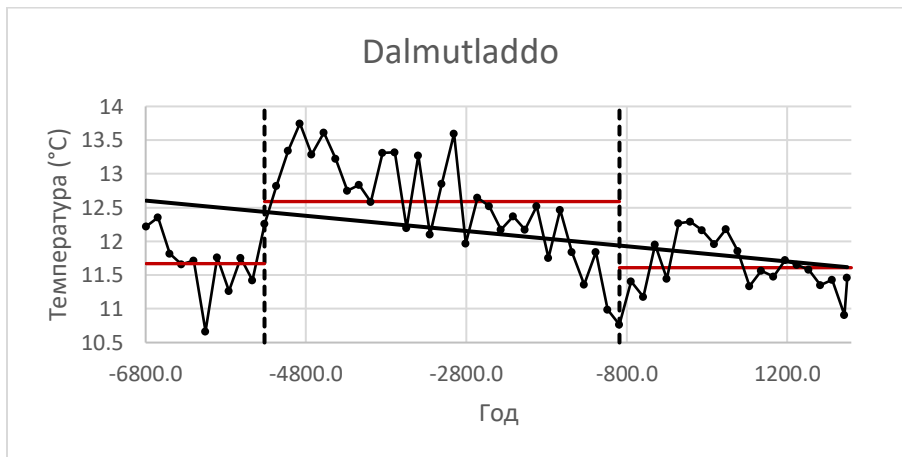


Рисунок 5.8 – Распределение температуры на станции “Dalmutladdo”

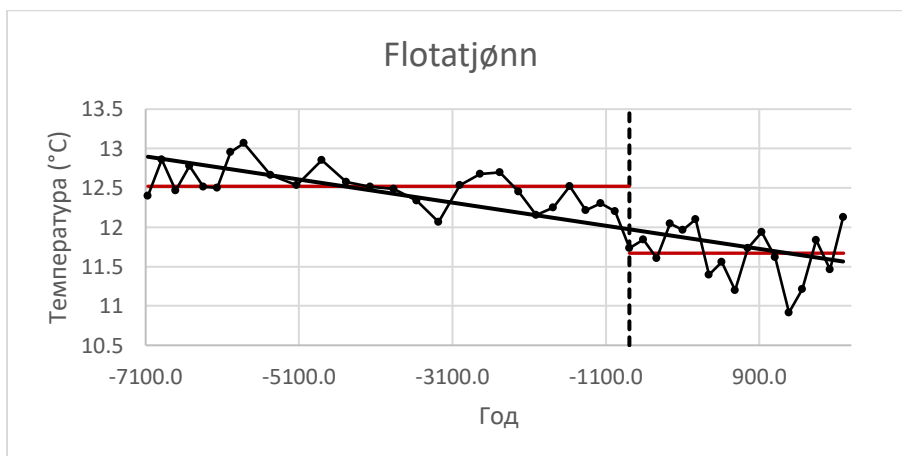


Рисунок 5.9 – Распределение температуры на станции “Flotatjønн”

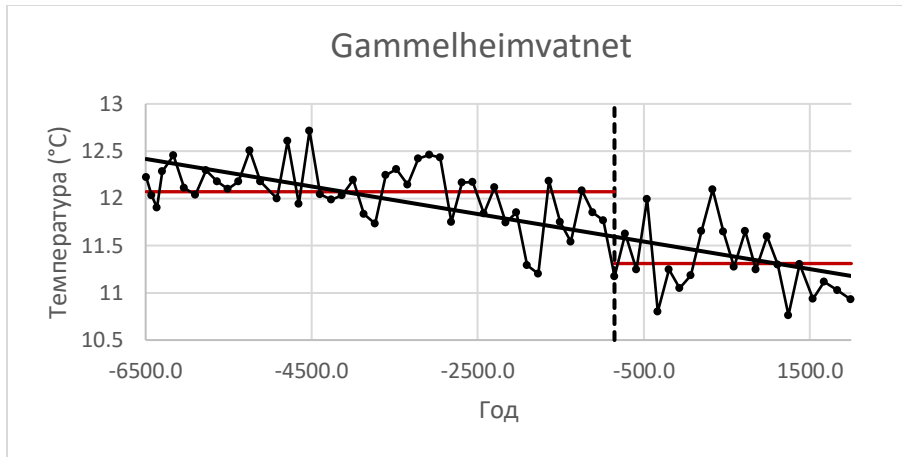


Рисунок 5.10 – Распределение температуры на станции “Gammelheimvatnet”

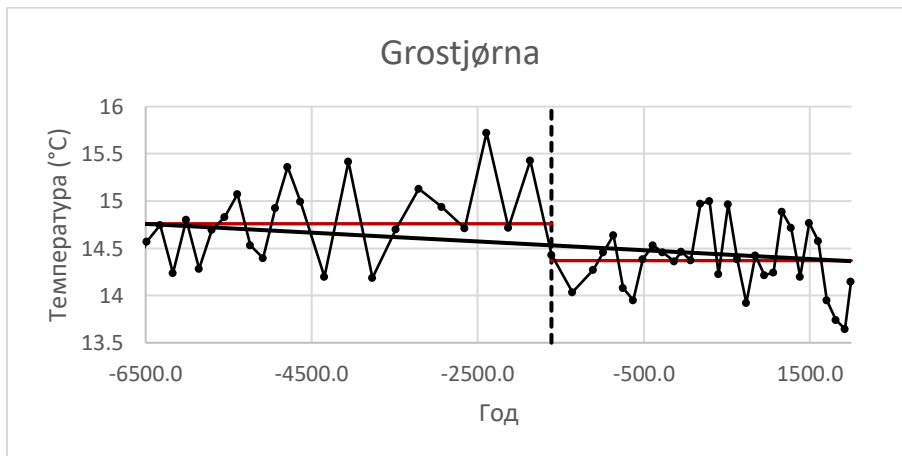


Рисунок 5.11 – Распределение температуры на станции “Grostjørna”

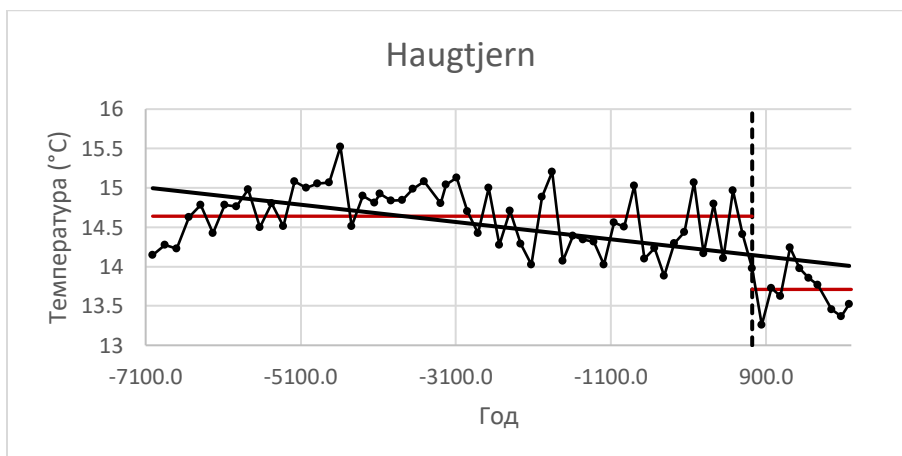


Рисунок 5.12 – Распределение температуры на станции “Haugtjern”

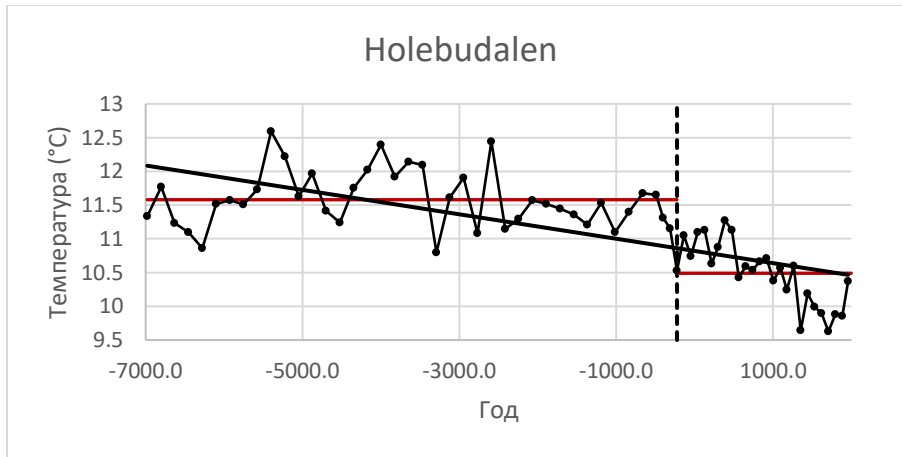


Рисунок 5.13 – Распределение температуры на станции “ Holebudalen”

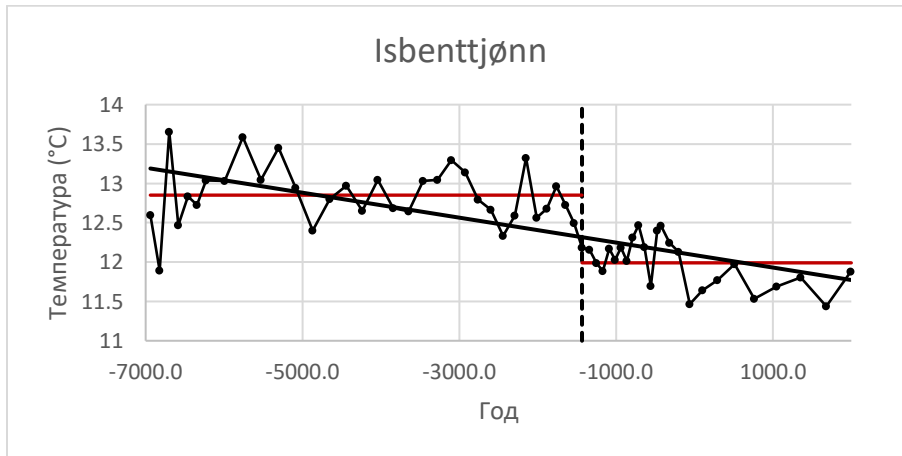


Рисунок 5.14 – Распределение температуры на станции “ Isbentjønn”

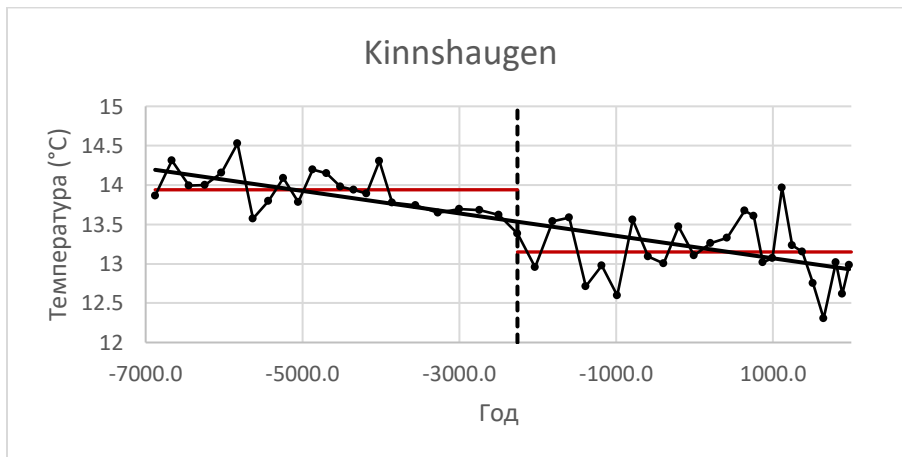


Рисунок 5.15 – Распределение температуры на станции “ Kinnshaugen ”

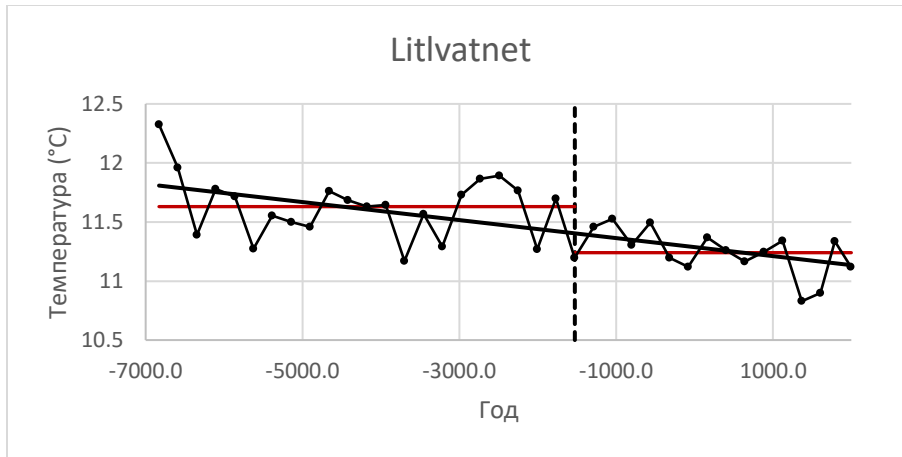


Рисунок 5.16 – Распределение температуры на станции “ Litlvatnet”

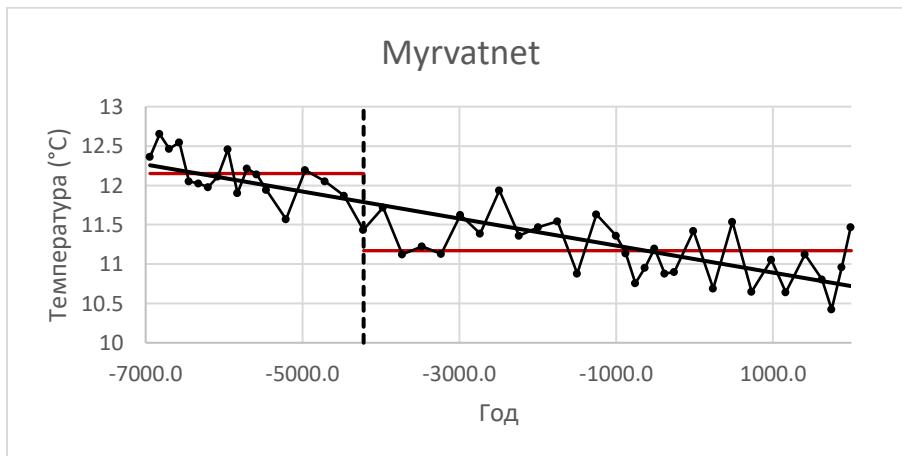


Рисунок 5.17 – Распределение температуры на станции “ Myrvatnet”

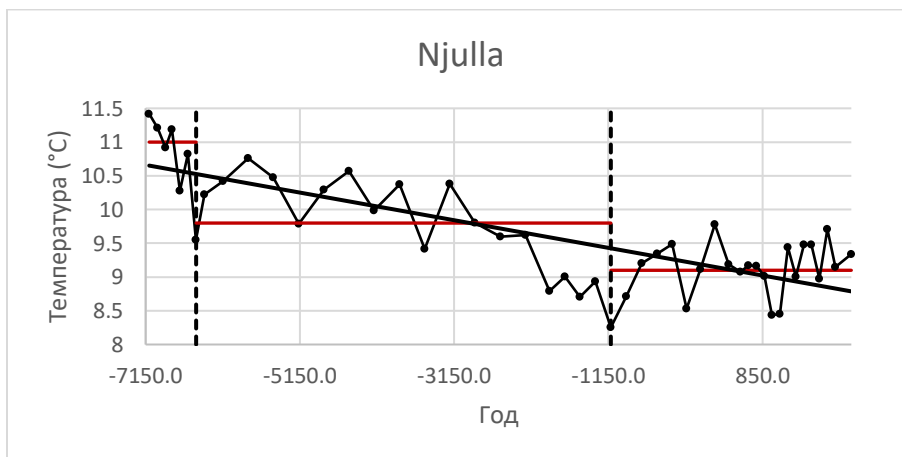


Рисунок 5.18 – Распределение температуры на станции “ Njulla”

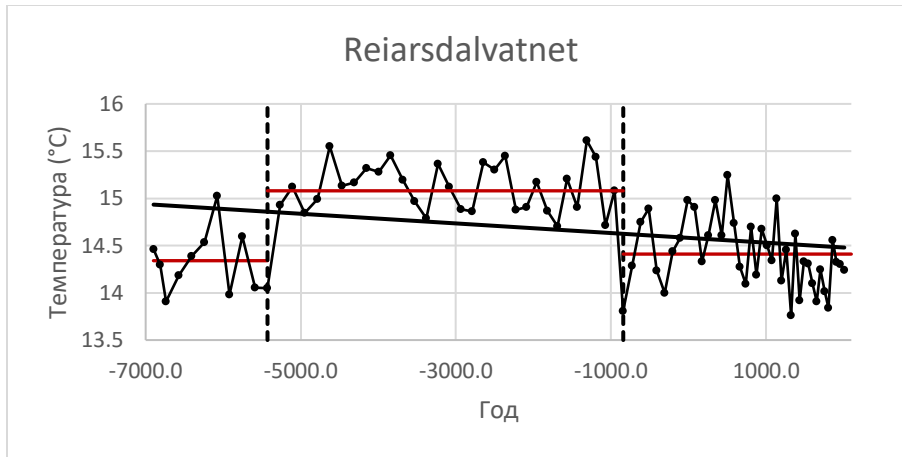


Рисунок 5.19 – Распределение температуры на станции “Reiarsdalvatnet”

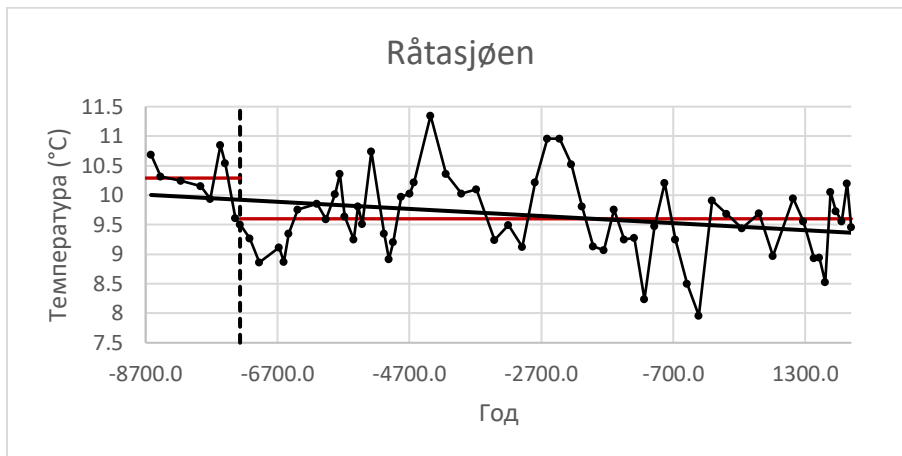


Рисунок 5.20 – Распределение температуры на станции “Råtasjøen”

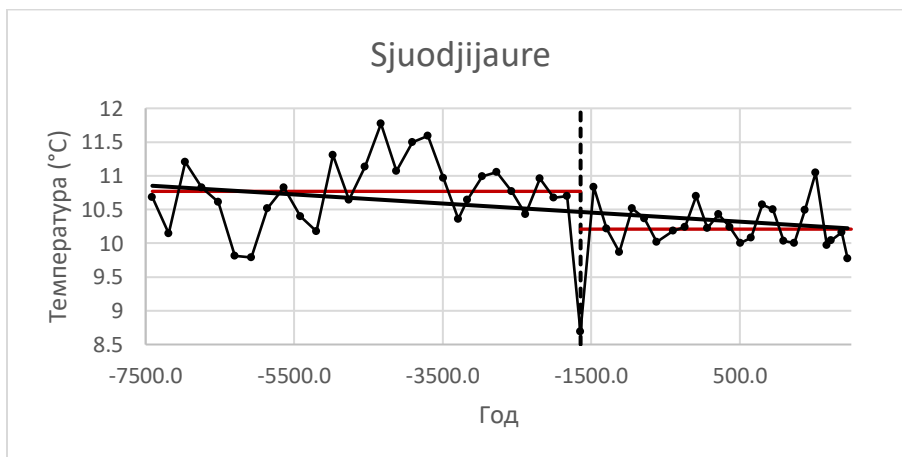


Рисунок 5.21 – Распределение температуры на станции “Sjuodjjaure”

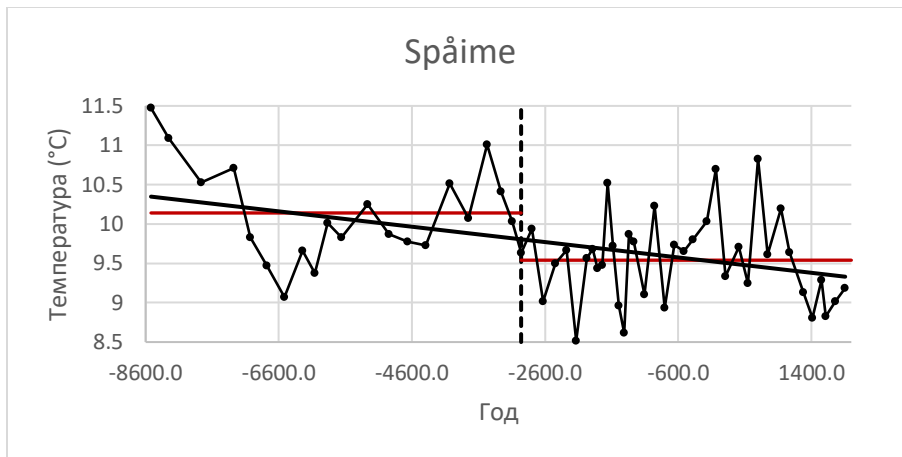


Рисунок 5.22 – Распределение температуры на станции “Språime”

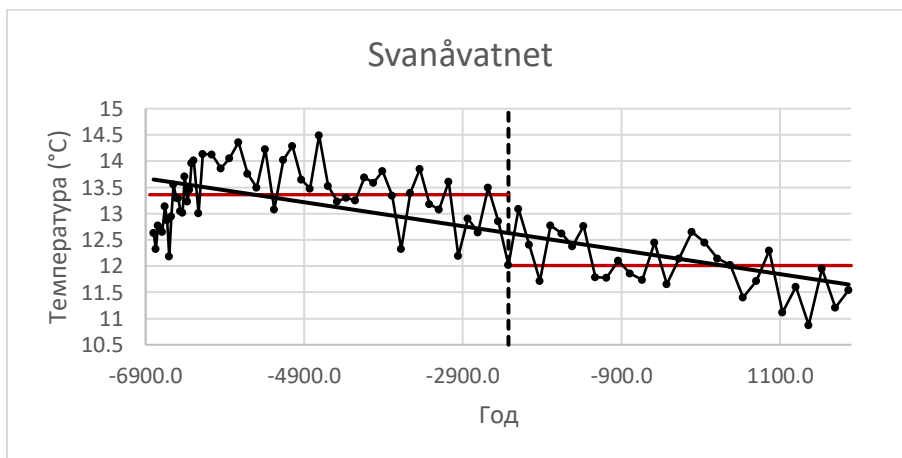


Рисунок 5.23 – Распределение температуры на станции “Svanåvatnet”

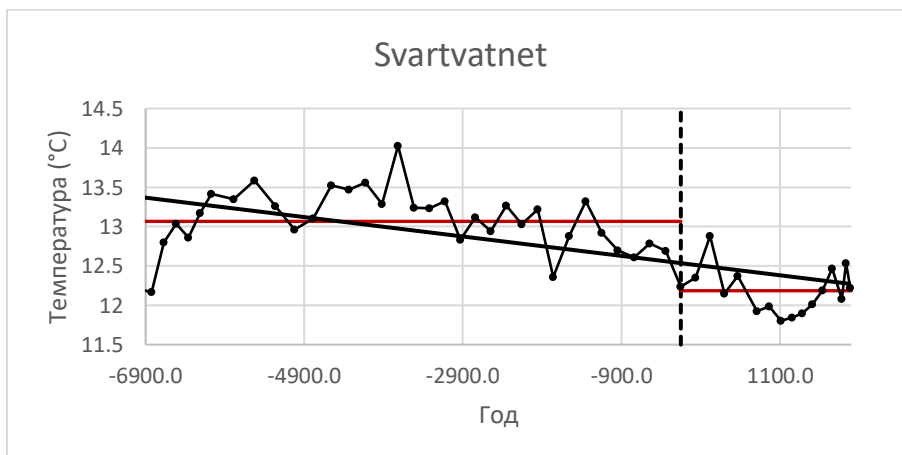


Рисунок 5.24 – Распределение температуры на станции “Svartvatnet”

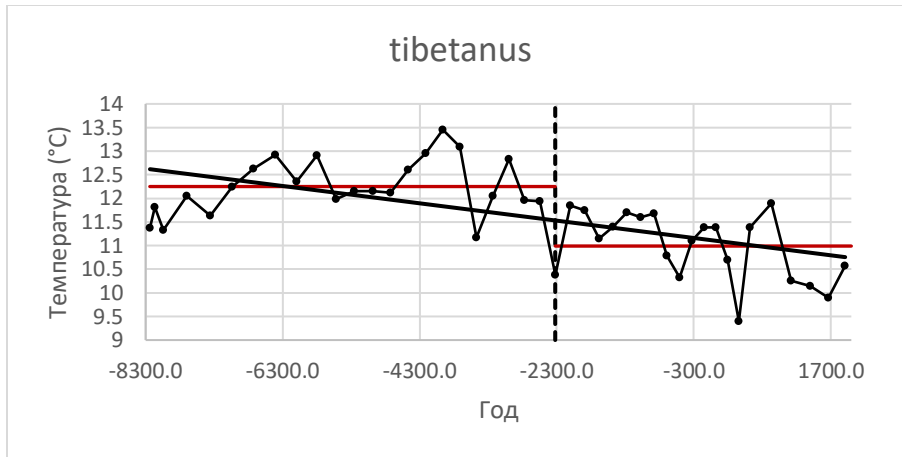


Рисунок 5.25 – Распределение температуры на станции “tibetanus”

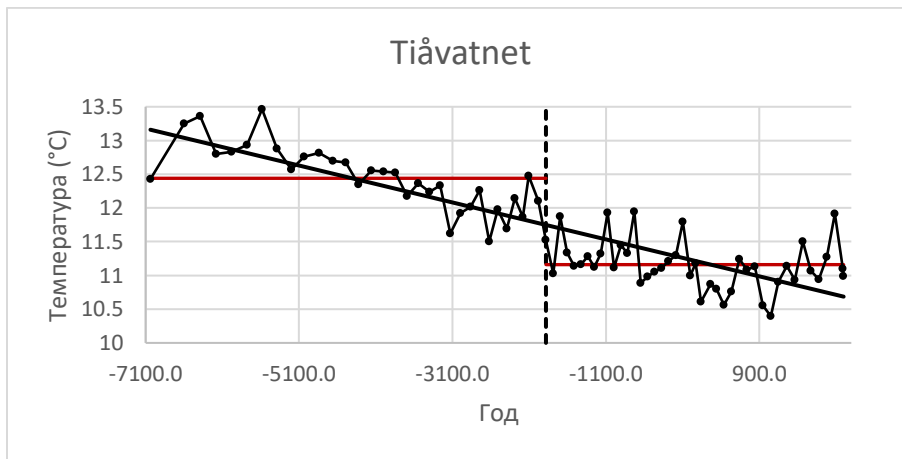


Рисунок 5.26 – Распределение температуры на станции “Tiãvatnet”

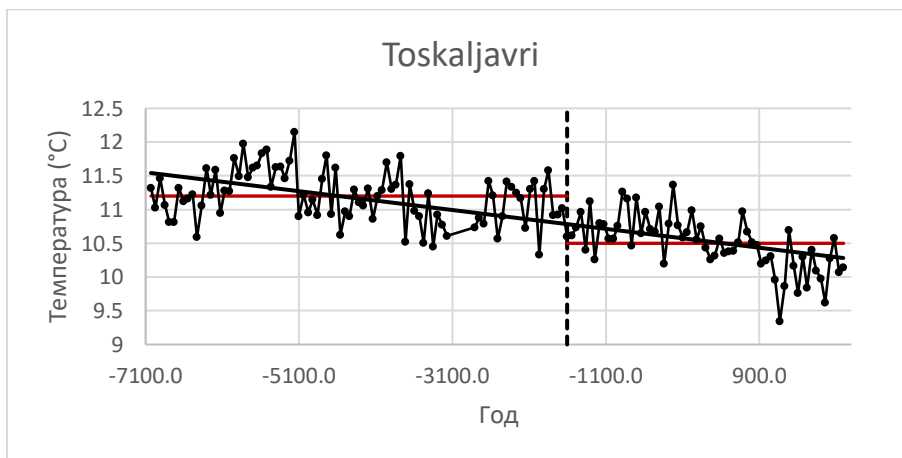


Рисунок 5.27 – Распределение температуры на станции “Toskaljavri”

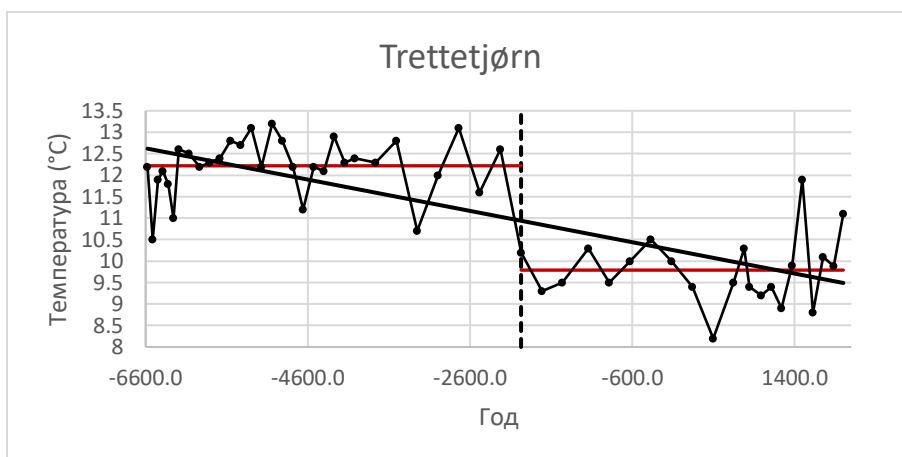


Рисунок 5.28 – Распределение температуры на станции “Trettetjørn”

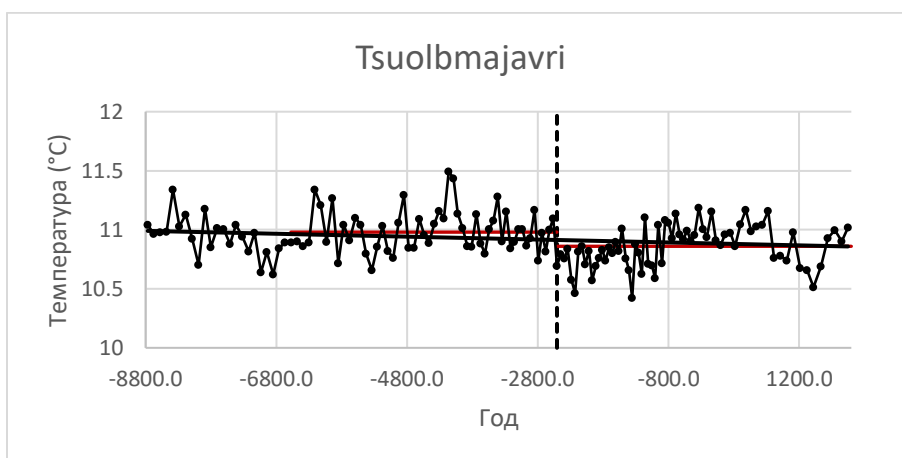


Рисунок 5.29 – Распределение температуры на станции “Tsuolbmajavri”

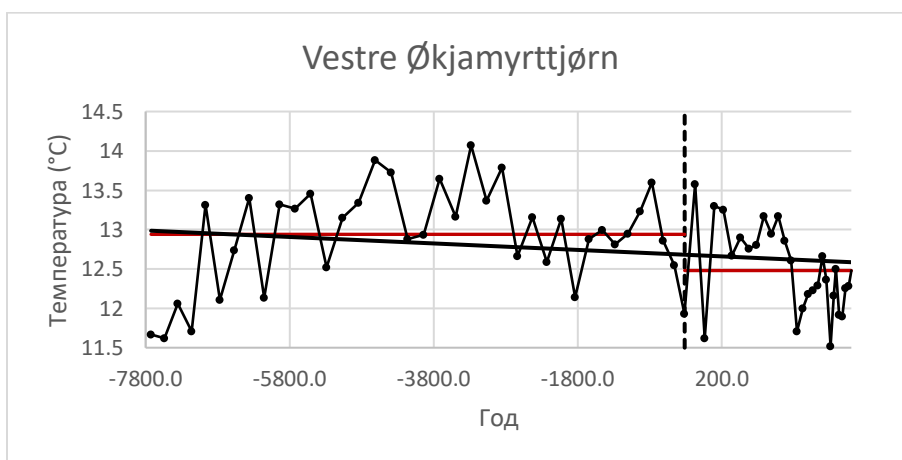


Рисунок 5.30 – Распределение температуры на станции “Vestre Økjamyrттjørn”

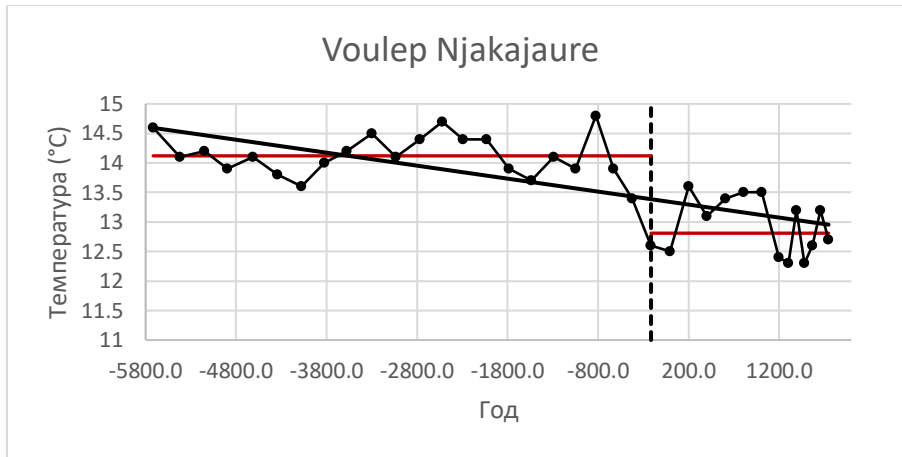


Рисунок 5.31 – Распределение температуры на станции “Voulep Njakajaure”

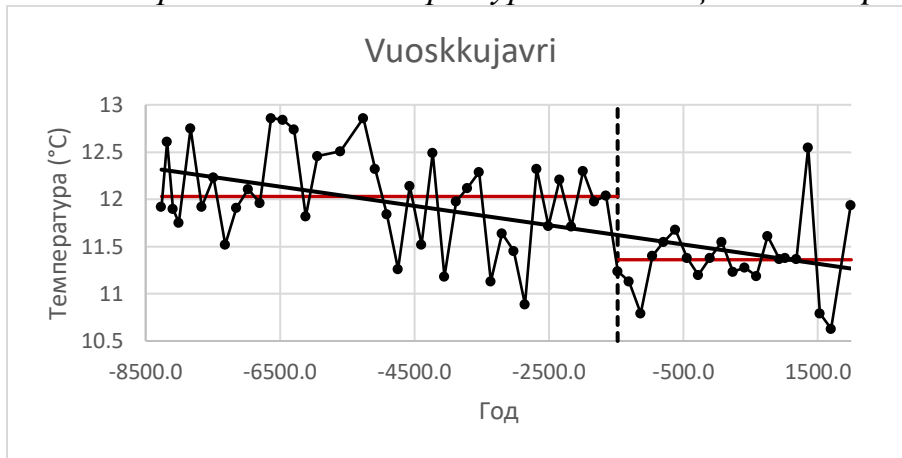


Рисунок 5.32 – Распределение температуры на станции “Vuoskkujavri”

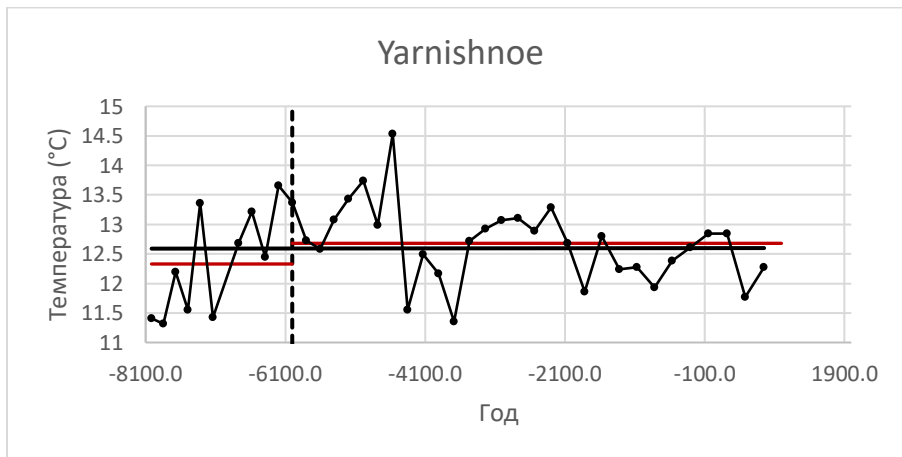


Рисунок 5.33 – Распределение температуры на станции “Yarnishnoe”

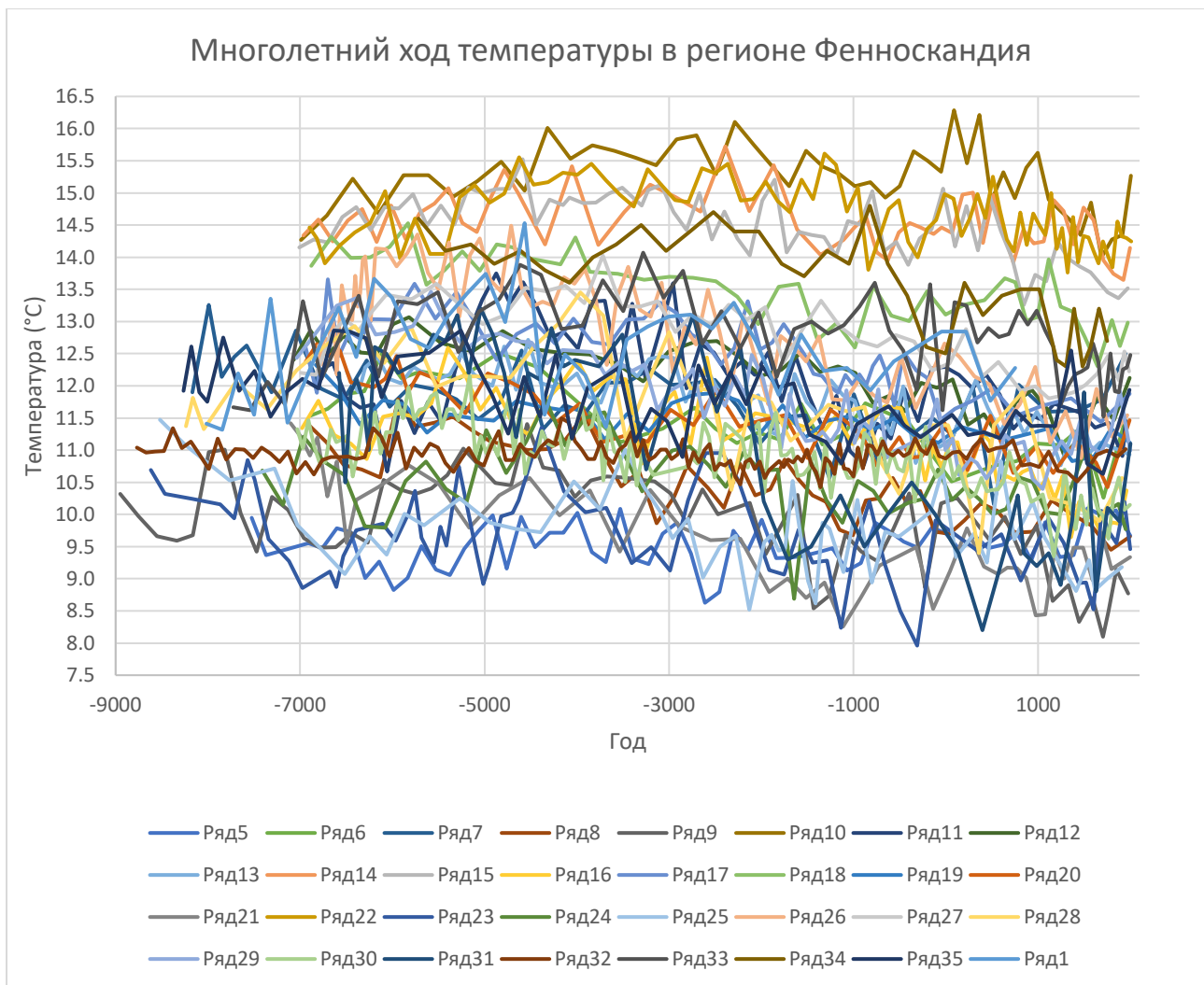


Рисунок 5.34 – Распределение температуры на всех станциях

5.3. Моделирование временных рядов

Рассчитав и смоделировав параметры основных моделей временных рядов, необходимые характеристики стационарных и нестационарных моделей многолетней температуры июля были получены на 32 станциях в регионе Фенноскандия.

Используя результаты, полученные с помощью программного обеспечения "timod.exe " и графиков, показанных в главе 5.2, составлена таблица 5.2.

Таблица 5.2 – Характеристики средних температур в июле в регионе Фенноскандия

Код	Название	Широта (град)	Долгота (град)	$\Delta_{тр},\%$	$\Delta_{ст},\%$	$R_{тр}$	ΔT	$T_{ср}$
40001	Lake850	68.37	19.12	2.1	4.9	0.2	0.216	9.5
40002	Austerkjosen	68.53	17.27	32.2	35.6	-0.73	-0.867	11.5
40003	Berkut	66.35	36.67	12.9	15	-0.49	-0.597	11.8
40004	Bjørnfjelltjørn	68.43	18.07	44.1	41.5	-0.83	-1.014	10.5
40005	Brurskardstjørni	61.42	8.67	15.3	24.6	-0.53	-0.73	9.9
40006	Dalene	58.25	8.00	1.2	14.3	-0.15	-0.614	15.2
40007	Dalmutladdo	69.17	20.72	0.6	16.1	0.11	-0.048	12.1
40008	Flotatjønn	59.67	7.55	41.5	43.8	-0.81	-0.856	12.2
40009	Gammelheimvatnet	68.47	17.75	4.7	11.8	-0.3	-0.732	11.8
40010	Grostjørna	58.53	7.73	5	11.3	-0.31	-0.392	14.5
40011	Haugtjern	60.83	10.88	18.4	28	-0.58	-0.931	14.5
40012	Holebudalen	59.83	6.98	29.6	36.9	-0.71	-1.094	11.1
40013	Isbentjønn	59.77	7.43	29.4	38.2	-0.71	-0.864	12.5
40014	Kinnshaugen	62.02	10.37	36.3	36.4	-0.77	-0.789	13.5
40015	Litlvatnet	68.52	14.87	25.3	23.1	-0.67	-0.391	11.5
40016	Myrvatnet	68.65	16.38	47.8	42.1	-0.85	-0.974	11.5
40017	Njulla	68.37	18.70	39.2	37	-0.79	-1.865	9.6
40018	Reiarsdalvatnet	58.32	7.78	3	13	-0.24	-0.063	14.7
40019	Råtasjøen	62.27	9.83	7.8	12.5	-0.39	-0.692	9.7
40020	Sjuodjijaure	67.37	18.07	6.4	14.8	-0.35	-0.561	10.5
40021	Spåime	63.12	12.32	10.3	11	-0.44	-0.598	9.7
40022	Svanåvatnet	66.44	14.05	31.4	35.2	-0.73	-1.352	12.7

40023	Svartvatnet	63.35	9.55	22.7	34.2	-0.63	-0.881	12.8
40024	tibetanus	68.33	18.70	12.8	22	-0.49	-1.262	11.6
40025	Tiåvatnet	63.05	9.42	51.8	45.6	-0.88	-1.282	11.7
40026	Toskaljavri	69.20	21.47	30.6	25.1	-0.72	-0.695	10.9
40027	Trettetjørn	60.72	7.00	34.1	49.2	-0.75	-2.43	11.2
40028	Tsuolbmajavri	68.41	22.05	1.8	5.6	-0.19	-0.122	10.9
40029	Vestre Økjamyrттjørn	59.82	6.00	14.5	45.5	0.52	-0.459	12.7
40030	Voulep Njakajaure	68.33	18.78	7.9	23.9	-0.39	-1.201	13.7
40031	Vuoskkujavri	68.33	19.10	17.3	17.8	-0.56	-0.667	11.8
40032	Yarnishnoe	69.07	36.07	20.1	39.3	0.6	0.358	12.6

Где:

$\Delta_{тр},\%$ - отклонение модели тренда от стационарной модели в %;

$\Delta_{ст},\%$ - отклонение модели ступенчатых изменений от стационарной модели в %;

$R_{тр}$ – коэффициент корреляции модели линейного тренда.

ΔT – Разница между средними температурами

$T_{ср}$ – Средняя температура на станции за все годы

Карта средних температур

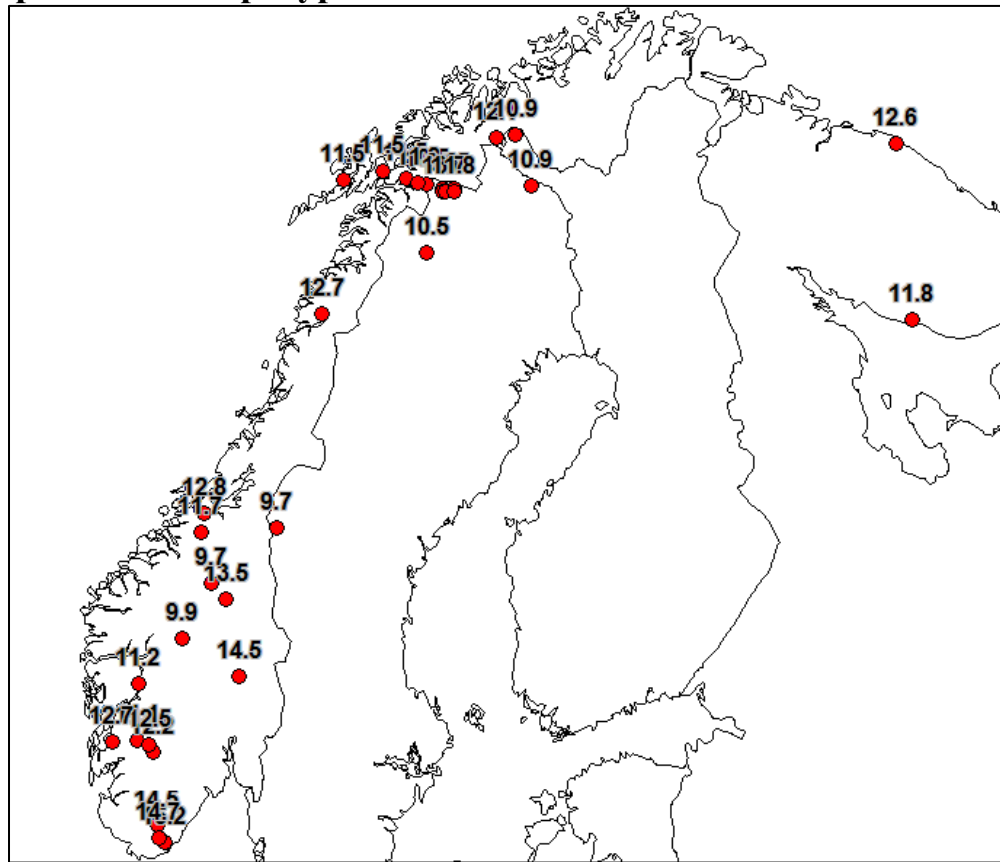


Рисунок 5.35 – Многолетние средние температуры июля за определенный период времени в каждой пункте станции

5.4. Обобщение результатов по пространству

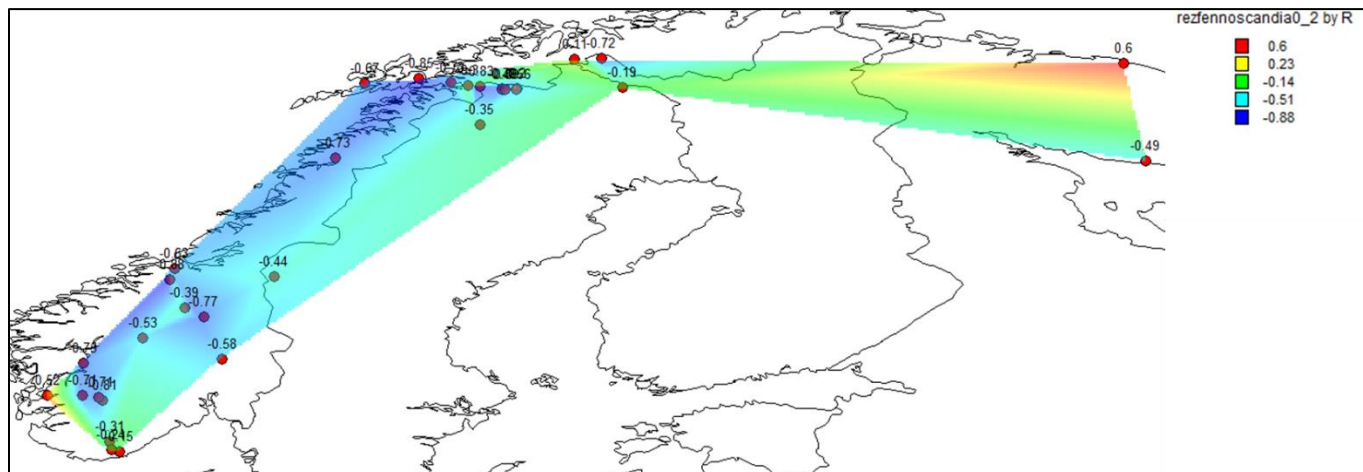


Рисунок 5.36 – Распределение показателя R_{tr} за период наблюдения

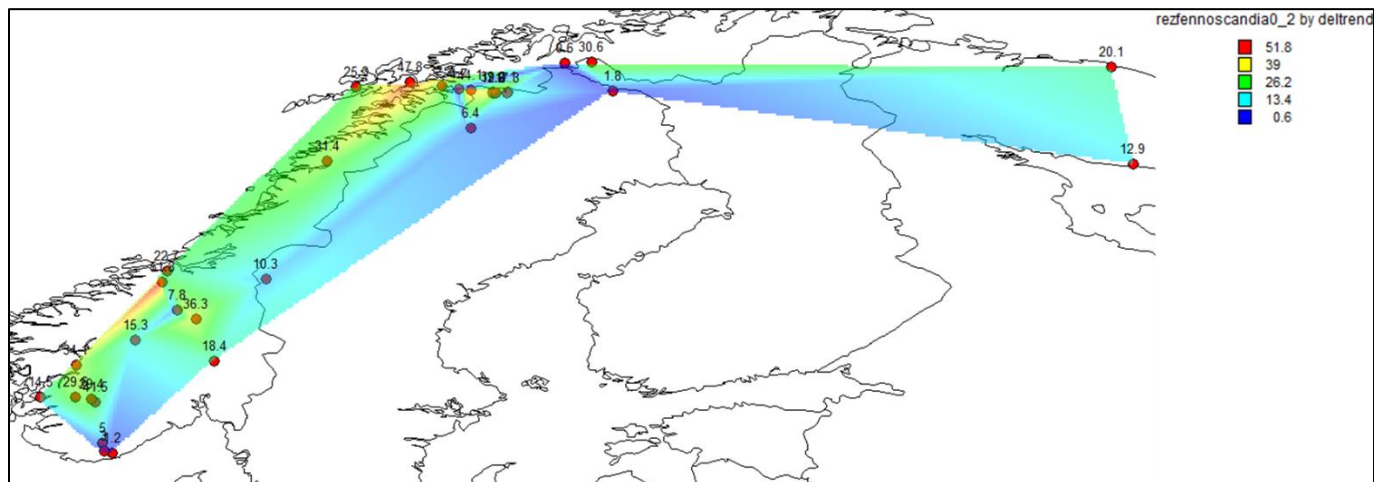


Рисунок 5.37 – Распределение показателя $\Delta tr, \%$ за период наблюдения

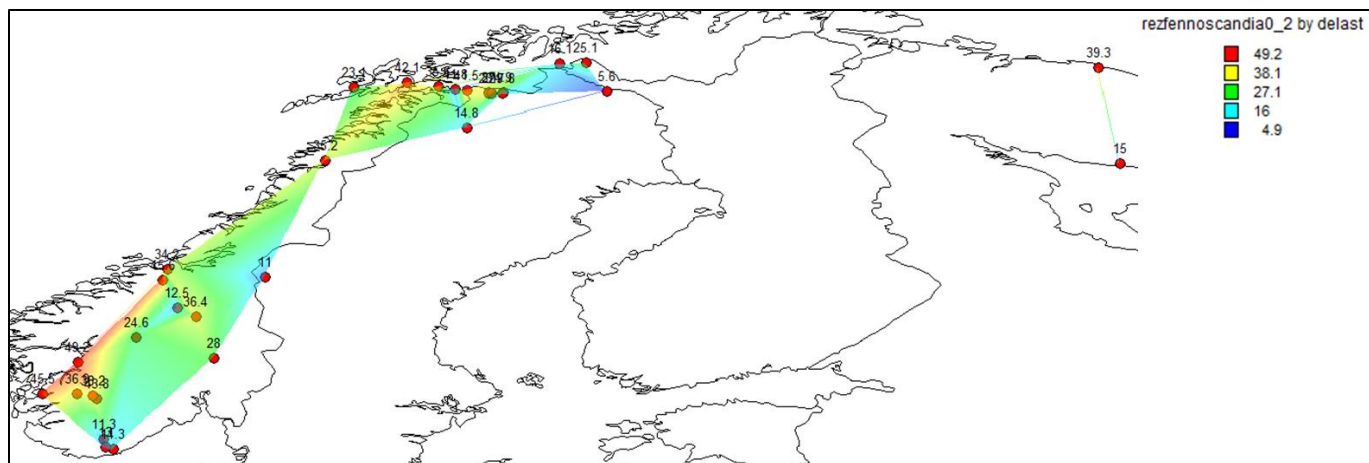


Рисунок 5.38 – Распределение показателя $\Delta_{st},\%$ за период наблюдения

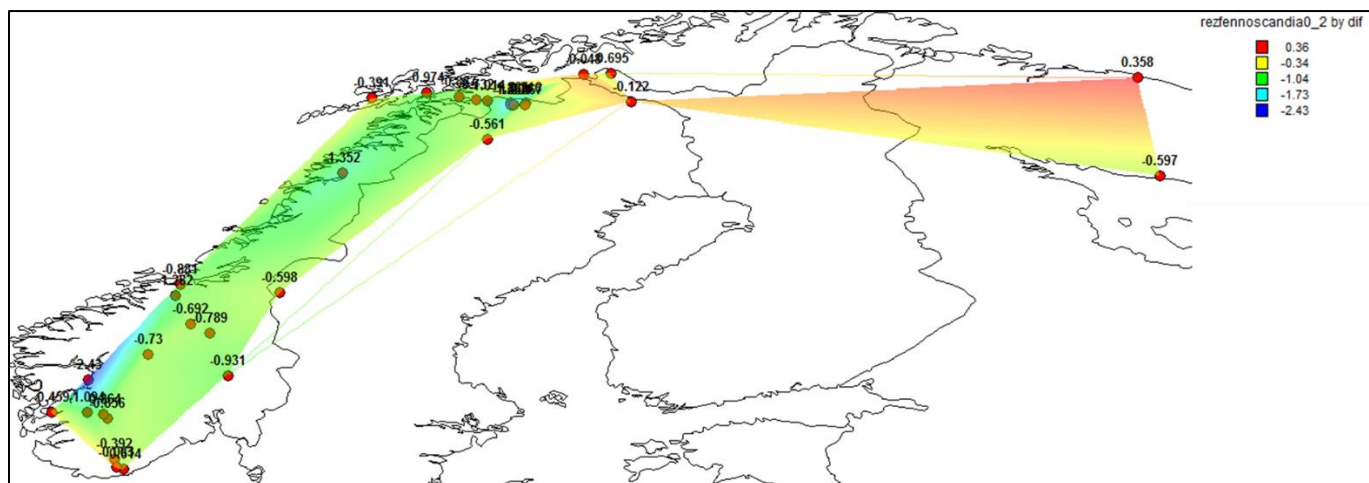


Рисунок 5.39 – Распределение показателя ΔT за период наблюдения

5.5. Анализ результатов

Регион Фенноскандии (Скандинавия и Финляндия) содержит наибольшее количество станций, на которых получены палеоклиматические данные.

В Финляндии расположены две станции под названием “ Berkut ” (40003) и “Yarnishnoe” (40032). На станции “ Berkut ” средняя июльская температура имеет тенденцию к понижению, даже несмотря на то, что в конце (в настоящее время) наблюдается резкий скачок. Минимум в 10,16 °С был зафиксирован в 521 году. На станции “ Yarnishnoe ” такой тенденции практически нет. Если рассматривать все временные рамки, то наблюдается небольшое увеличение, но за последние 8000 лет тенденция явно снижается.

На станциях “Dalmutladdo” (40007) и “Toskaljavri” (40026), которые являются самыми северными станциями, наблюдается тенденция к снижению средней температуры июля. На станции “Toskaljavri” средние значения температур колеблются от 9°С до 12°С, в среднем 10,9°С. На протяжении всей истории станция “Dalmutladdo” имела три основных видимых температурных режима. Около 7300 лет назад здесь наблюдался резкий скачок температуры, который увеличил ее среднее значение с 11,67°С до 12,59°С. И эта тенденция постепенно снижается вплоть до 800 лет до н.э и снова повышается. Но средняя температура до сегодняшнего дня составляет 11,61°С.

“Grostjørna” (40010) и “Reiarsdalvatnet” (40018) - это две станции, расположенные на юге Скандинавии. Обе станции демонстрируют продолжающуюся тенденцию к понижению температуры. Станция “Reiarsdalvatnet” имеет три различных температурных режима с теплым

периодом в 4600 лет при средней температуре 15,08°C. Затем она падает примерно за 900 лет до н.э до 14,41°C. Средняя температура на станции “Grostjørna ” составляет 14,5°C, варьируясь от 13,5°C до 16°C, что является одной из самых теплых станций в регионе. Станция “ Naugtjern ”, являющаяся еще одной самой теплой станцией, также имеет среднюю температуру 14,5°C. Но самой теплой станцией является станция “ Dalene ”, средняя температура которой составляет 15,2°C.

Самой холодной станцией в регионе является станция “Lake850” со средней температурой 9,5°C, которая является довольно северной станцией. Тенденция на станции усиливается.

На станции “ Tsuolbmajavgi ” минутный температурный тренд к рассвету колеблется от 10°C до 11,5°C.

Почти на всех станциях наблюдается тенденция к снижению средней температуры с обычно очевидным увеличением в период между 5000 годом до н.э и 3000 годом до н.э. За последние 4000 лет на всех станциях наблюдалось среднее падение температуры, а на некоторых в последние годы наблюдается тенденция к росту.

Наблюдения

Согласно графикам, приведенным в приведенных выше главах, можно сделать эти общие замечания.

Почти все средние значения температуры в июле имеют тенденцию к снижению независимо от региона. И существует явная негативная тенденция, начавшаяся примерно 5000-4000 лет назад и продолжающаяся до наших дней.

Некоторые станции демонстрируют резкое повышение температуры в недавнем прошлом (около 500 года и позже). Возможно, это явление связано с влиянием человеческой деятельности. А объем и надежность данных увеличиваются по мере приближения временных рамок к сегодняшнему дню благодаря технологическому прогрессу и непосредственным наблюдениям за погодными явлениями.

Большинство температурных перепадов началось примерно за 8000-5000 лет до нашей эры. И, как было замечено, в этот период средние температуры намного выше, чем в последующие годы. Этот период времени также совпадает с возникновением цивилизаций, сельского хозяйства и оседлого образа жизни у людей. Можно сделать вывод о том, что этот теплый период был благоприятен человечеству в формировании и процветании цивилизаций.

Принимая во внимание данные температурные колебания, можно наблюдать закономерность чередования теплых и холодных эпох. Установлено, что эти периоды длятся несколько тысяч лет, и есть свидетельства того, что так было в течение длительного времени. Справедливо будет сказать, что эта тенденция сохранится и в обозримом будущем.

Заключение

В ходе последующей работы полученные выводы приведены ниже.

Было сформировано глубокое теоретическое понимание палеоклиматологии, эпохи голоцена и ее подразделений, методов наблюдений и палеоклиматологических показателей, моделирования палеоданных, реконструкции температуры за многолетние периоды времени и анализа многолетних температурных трендов.

Понимание температурных тенденций за последние тысячи лет внутри голоцена и использование их в качестве приблизительного ориентира для общего прогнозирования климата отдаленного будущего.

Были выявлены температурные режимы, окружающие Арктический регион в эпоху голоцена.

Получено представление о том, как климат повлиял на человечество в период расцвета человеческих цивилизаций, его начала и продолжения до наших дней.

Основные полученные результаты состоят в следующем.

1). Сформирован архив хронологических рядов палеотемператур июля за период голоцена по нескольким десяткам пунктам в 4 регионах Арктики: Аляска – Юкон (1), восточная Канада – Гренландия (2), Скандинавия (3) и север России (4).

2). Рассчитаны климатические характеристики температуры июля за голоцен, которые варьируют: от 11°C до 15°C (район 1), от 6°C до 15°C (район 2), от 10°C до 17°C (район 3) и от 9°C до 15°C (район 4). При этом естественная изменчивость (СКО) варьирует от 0,2 – 0,3°C до 1,0 – 1,6°C в каждом районе.

3). Установлена общая тенденция снижения температуры июля в период голоцена во всех районах от $-1,3^{\circ}\text{C}$ на Аляске до $-3,2^{\circ}\text{C}$ в Гренландии, в Арктике Восточного полушария уменьшение температуры составило до $-1,9^{\circ}\text{C}$ – $-2,4^{\circ}\text{C}$. Вместе с тем имеют место и отдельные пункты роста температур: $+0,3^{\circ}\text{C}$ на Аляске и $+1,5^{\circ}\text{C}$ на побережье моря Лаптевых, что может быть обусловлено локальными особенностям и погрешностями определения палеотемператур.

4). На фоне общей тенденции падения температуры июля в голоцене, начавшейся 7 – 9 тыс. лет назад, имеют место 1000-летние циклы колебания температур с амплитудами до $1,5 - 2^{\circ}\text{C}$.

Список литературы

1. Лобанов В.А., Смирнов И.А., Шадурский А.Е., Практикум по климатологии Часть 1, 2011г. – 144с
2. Лобанов В.А., Смирнов И.А., Шадурский А.Е., Практикум по климатологии Часть 2, 2012г.- с. 178, Санкт-Петербург.
3. Лобанов В.А., Лекции по климатологии. Ч. 2. Динамика климата. Кн. 1. В 2 кн.: учебник. – СПб.: РГГМУ, 2016. – 332 с..
4. Лобанов В.А., Лекции по климатологии. Ч. 2. Динамика климата. Кн. 2. В 2 кн.: учебник. – СПб.: РГГМУ, 2018. – 377 с
5. Монин А.С., Шишков Ю.А., История климата. Гидрометиздат 1979.
6. Абрамова Т.А., Битвинскас Т.Т., Борисенков Е.П. и др., Колебания климата за последнее тысячелетие. Ленинград, Гидрометиздат, 1988. - 407 с
7. Raymond S. Bradley - Paleoclimatology - Reconstructing Climates of the Quaternary
8. A. E. Viau and K. Gajewski - Reconstructing Millennial-Scale, Regional Palaeoclimates of Boreal Canada during the Holocene
9. <https://www.ngdc.noaa.gov/data-access/paleoclimatology-data>
10. <https://www.pangaea.de/>