



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 "Климатические изменения температуры воздуха на Севере
Европейской территории России"

Исполнитель Груздев Алексей Игоревич

Руководитель доктор технических наук, профессор кафедры МКОА
Лобанов Владимир Алексеевич

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой


Подпись

Кандидат физико-математических наук, доцент
Сероухова Ольга Станиславовна

«25» мая 2022г.

Санкт-Петербург
2022

Содержание

Введение	4
1. Физическое, географическое и климатическое описание Европейского Севера России	5
1.1 Физическое и географическое положение Европейского Севера	5
1.2 Рельеф	6
1.3 Климат	7
2. Формирование базы данных и анализ ее качества	8
2.1 Расположение станций и продолжительность рядов наблюдений	8
2.2 Оценка однородности и стационарности многолетних рядов температуры воздуха	10
2.2.1 Теоретические сведения	10
2.2.2 Анализ однородности и стационарности многолетних рядов январской температуры воздуха	14
2.2.3 Оценка однородности и стационарности многолетнего ряда температуры воздуха июля	17
2.2.4 Оценка однородности и стационарности продолжительного ряда температуры воздуха в апреле	19
2.2.5 Анализ однородности и стационарности многолетнего ряда температуры воздуха октября	20
3. Климатические пространственные закономерности температуры воздуха	22
3.1 Теоретическая информация	22
3.2 Пространственные климатические закономерности	25

температуры воздуха в январе	
3.3 Пространственные климатические закономерности	29
июльской температуры воздуха	
3.4 Пространственные климатические закономерности	33
температуры воздуха в апреле	
3.5 Пространственные климатические закономерности	36
температуры воздуха в октябре	
4. Оценка современных климатических изменений	40
4.1 Теоретические положения	40
4.2 Оценка климатических изменений температуры января	43
4.3 Оценка климатических изменений июльских температур	48
4.4 Оценка климатических изменений апрельских температур	53
4.5 Оценка климатических изменений температуры октября	58
Заключение	62
Список используемых источников	66

Введение

Известно, что сейчас по всему миру происходят климатические изменения, поэтому нам необходимо изучать и проводить оценку климатического состояния различных регионов по отдельности. Изучение индивидуально взятых территорий, помогает тщательнее рассмотреть особенности случающихся изменений и соединить полученную информацию воедино.

В 1 главе представлены климатические и географические особенности изучаемой территории - Севера европейской территории России. Во 2 части моей дипломной работы показано формирование базы данных и анализ ее качества.

Оценка климатических изменений в многолетних рядах для холодного (январь), теплого (июль) и переходного (апрель, октябрь) периодов рассматривается в 3-й и 4-й главах диплома - цель диплома.

Для изучения, рассмотрения и анализа температуры воздуха на Севере ЕТР взяты 19 метеостанций: Мурманск, Канин Нос, Кандалакша, Кемь-Порт, Архангельск, Койнас, Реболы, Онега, Петрозаводск, Вытегра, Котлас, Нарьян-Мар, Хоседа- Хард, Усть-Цильма, Троицко-Печорск, Печора, Сыктывкар, Вологда, Тотьма; т.е. пункты, которые охватывают практически всю территорию исследования.

Необходимо проанализировать температурный режим в этих точках за период с конца начала 20 века до современного периода 2021 года. Основная задача - выявить изменения такого гидрометеорологического параметра, как температура, происходящие на исследуемой территории в этот период, и подвести итоги об изученных климатических изменениях.

1. Физическое, географическое и климатическое описание Европейского Севера России

1.1 Физическое и географическое положение Европейского Севера

Север Европейской территории России или Европейский Север - самый крупный регион России, площадь которого составляет 1466 тыс. km^2 , что составляет 9% от общей площади страны. Он расположен в северной части Восточно-Европейской равнины, омывается Баренцевым, Белым и Карским морями. Протяженность с запада на восток - около 2000 км, с севера на юг - около 1,5 тыс. км. (рис.1.1).



Рис.1.1 Границы этого региона - северной части европейской территории Российской Федерации

К регионам Европейского Севера относятся: Республика Карелия, Республика Коми, Архангельская область с Ненецким автономным округом, Вологодская и Мурманская области

Республика Карелия омывается Белым морем и находится на границе с

Финляндией. Площадь - 172,4 тыс. km^2 . Республика Коми, ее площадь - 416,8 тыс. km^2 .

Архангельская область является 8-м по площади субъектом Российской Федерации. Общая площадь области составляет 590 тыс. km^2 : континентальная часть и архипелаг Новая Земля. Она расположена вблизи арктических морей и удалена от теплого Северо-Атлантического течения (ветвь Гольфстрима).

Вологодская область расположена на северо-востоке Восточно-Европейской равнины. Она занимает территорию вдоль притока Северной Двины реки Сухоны.

Мурманская область, являющаяся самым северным регионом России, находится на территории Кольского полуострова, омывается морями Баренцевым и Белым. Первое не замерзает зимой, и Мурманск - это порт, который работает весь год. Это самый большой город в мире за Полярным кругом. Большая часть территории расположена за Полярным кругом.

Координаты севера ЕТР: северный мыс Флигели - $81^{\circ}50'N$, южный - $58^{\circ}53'N$ в Вологодской области, западная - $28^{\circ}22'E$, восточный - $66^{\circ}10'E$ в Республике Коми.[5,6,7]

1.2 Рельеф

Территория севера ЕТР разделена на две части: Кольско-Карельскую и Двино-Печорскую.

В основании Кольско-Карельской части лежит Балтийский щит. Древний ледник прошел от Скандинавских гор, поэтому образовались бассейны многочисленных озер. На Кольском полуострове, включающем Карелию, их более 150 тысяч. Вся территория, кроме севера, покрыта лесом.

Двино-Печорская часть отличается от рассмотренной выше. Кристаллический фундамент перекрывается осадочным чехлом. На востоке

находятся Тиманский и Канинский хребет - остатки древнего хребта, далее располагается Полярный Урал. На севере простирается огромнейшая тундровая территория. На юге - леса различного типа и полноводные реки, на которых возможно судоходство : Онега, Печера, Северная Двина.

После таяния ледника 10 тыс. лет назад, Кольский полуостров стал подниматься. В центре полуострова простираются горные хребты, например, Хибины с максимальной высотой, которая доходит до 1200м над уровнем моря.

Основная часть топливных ресурсов, наряду с запасами соли и руд легких металлов, сосредоточена на северо-востоке региона. Запасы нефти и газа велики на побережье и шельфе Баренцева моря. Край богат природными ресурсами: руды цветные и железные, фосфорные залежи на северо-западе, везде по территории древесина и торф.[9,18]

1.3 Климат

Особенностью климата Европейского Севера является разница в освещенности и нагреве земной поверхности в разные сезоны.

Северная часть региона расположена за полярным кругом. Арктические воздушные массы преобладают здесь почти весь год. Ранняя осень и поздняя весна - заморозки повсеместно. Лето быстрое, прохладное, зимой - длительные бури, метели, крепкие морозы. Ветры с Северного Ледовитого океана ведут к похолоданию и ухудшению метеорологической обстановки, погоды. Зимой ветры с Атлантического океана принесут потепление в регион, а летом - длительные дожди и прохладу. Холодный воздух с Арктики зимой приводит к сильным морозам. Летом могут быть жаркие, сухие дни, когда над регионом будет тропическая воздушная масса, но это случается редко.

Наблюдается полярная ночь, продолжительность которой на разных

широтах колеблется от 24 часов до 64 дней. Зимы суровы. Температура опускается до -50°C . Лето прохладное. Присутствует вечная мерзлота. Теплое течение заканчивается в Баренцевом море, поэтому порт Мурманска не замерзает. Для всего региона характерна высокая влажность и низкая испаряемость. Количество осадков увеличивается во второй половине лета. Имеются большие площади болот и множество водоемов.

Для Архангельской области характерен прохладный и влажный климат, нередко наблюдаются шквалы, сильные ветрами. Зимой температура опускается ниже -20°C , в весенние месяцы и в июне часты заморозки.

В республике Коми климат суровее, с длительной и холодной (до -56°C) зимой. Лето с небольшими значениями температуры, часты заморозки в этот период. Зимой высота снежного покрова достигает до 60-70 см, а в районе Урала - больше 1 м. В одно и то же время разные районы рассматриваемого региона значительно различаются по метеорологическим (погодным) условиям. Например, в конце весны, начале лета, когда на юге региона уже цветет трава, на севере еще лежит снег. На востоке выпадает больше осадков, так как Уральские горы задерживают влажные воздушные массы. В западных районах, из-за воздушных масс с Атлантики, теплее, чем на востоке.[7,8,13,16]

2. Формирование базы данных и анализ ее качества

2.1 Расположение станций и продолжительность рядов наблюдений

Изучаемой климатической величиной является среднемесячная температура воздуха на 19 метеостанциях, расположенных на Севере европейской территории России.

Длительные ряды средних месячных температур воздуха взяты на

таких сайтах, как :

- Российский сайт "Погода и климат"[14]
- The KNMI Climate Explorer (Метеорологический институт Королевства Нидерланды) [15]

Чтобы показать на карте местоположение метеорологических станций, использована программа "ГИС MapInfo", где с помощью координат, сформировался геоинформационная карта.[17]

Расположение метеостанций показано на рис. 2.1.



Рис.2.1. Расположение станций

В результате была сформирована региональная база данных (БД) температуры воздуха. С помощью системы управления базами данных "СУБД Гидрорасчеты ПК" были получены нужные информативные данные сформированной территориальной базы данных(БД) температуры воздуха по 19 метеорологическим станциям Севера ЕТР, которые приведены в табл.2.1

Табл. 2.1

Название станции, координаты и период рядов наблюдений за средней
 месячной температурой воздуха

Код станции	Название	Широта	Долгота	Период	Кол-во лет
22113	MURMANSK	68,97	33,05	1918 - 2021	104
22165	KANIN NOS	68,65	43,3	1915 - 2021	107
22217	KANDALAKSA	67,15	32,35	1912 - 2021	110
22522	KEM'-PORT	64,98	34,8	1862 - 2021	160
22550	ARHANGEL'SK	64,5	40,73	1813 - 2021	209
22583	KOJNAS	64,75	47,65	1913 - 2021	109
22602	REBOLY	63,83	30,82	1914 - 2021	108
22641	ONEGA	63,9	38,12	1887 - 2021	135
22820	PETROZAVODSK	61,82	34,27	1816 - 2021	206
22837	VYTEGRA	61,02	36,45	1878 - 2021	144
22887	KOTLAS	61,23	46,72	1912 - 2021	110
23205	NAR'JAN-MAR	67,63	53,03	1926 - 2021	96
23219	HOSEDA-HARD	67,08	59,38	1931 - 2016	86
23405	UST'-CIL'MA	65,43	52,27	1889 - 2021	133
23418	PECORA	65,12	57,1	1943 - 2021	79
23711	TROICKO-PECER	62,7	56,2	1888 - 2021	134
23804	SYKTYVKAR	61,72	50,83	1817 - 2021	205
27037	VOLOGDA	59,32	39,92	1885 - 2021	137
27051	TOT'MA	59,88	42,75	1884 - 2021	138

Согласно информации, представленной в Табл.2.1, на большом количестве выбранных метеостанций период наблюдений за температурой ведется с конца 19 века и начала 20 века. Количество лет наблюдений неравномерна на станциях, например, Печора, 79 лет, с 1943 года или Архангельск, 208 лет, с 1814 года).

2.2 Оценка однородности и стационарности многолетних рядов температуры воздуха

2.2.1 Теоретические сведения

Наблюдаемый ряд температуры воздуха или другой метеовеличины, приведенный к долгосрочному периоду, может содержать отдельные неоднородные экстремумы или неоднородные средние и дисперсии

отдельных частей ряда.

Однородность ряда наблюдений оценивается на основе генетического и статистического анализа исходных данных наблюдений. Генетический анализ заключается в выявлении физических причин, вызывающих неоднородность данных. Для оценки статистической значимости однородности эмпирического распределения используются критерии резко отклоняющихся экстремальных значений в эмпирическом распределении: критерии Диксона и Смирнова- Граббса.

Существует три основные причины такой неоднородности

- 1) Резко отклоняющиеся метеорологические величины имеют особые условия формирования, например, формируются тайфуны, ураганы;
- 2) Экстремальное событие имеет более редкую вероятность появления, чем вероятность, определяемая эмпирической формулой для короткой серии наблюдений, когда экстремум включен в общую последовательность наблюдений;
- 3) Резко отклоняющееся значение обусловлено значительной ошибкой измерения.

Особенностью критериев оценки однородности является то, что они разработаны для условий нормального симметричного закона распределения совокупности и отсутствия автокорреляции.

Статистика критериев Диксона рассчитывается на основе эмпирических данных по следующим формулам:

а) Для максимального члена, ранжированного в порядке возрастания 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, ранжированного в порядке возрастания выборки (Y_1):

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

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

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

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

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

, где $Y_1 < Y_2 < \dots < Y_n$;

n - объем выборки.

Статистика критерия Смирнова-Граббса для максимального члена ранжированной последовательности (Y_n) и для минимального (Y_1) рассчитывается по формуле:

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

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

, где

Y_n - максимальный член ранжированной последовательности,

Y_1 - минимальный член ранжированной последовательности,

Y_{cp} - среднее значение анализируемой выборки,

σ_y - среднее квадратическое отклонение анализируемой выборки.

$$Y_{cp} = \sum \frac{Y_i}{n} \quad (2.13)$$

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

, где

σ_y^2 - дисперсия,

n - размер выборки,

Y_i - значения анализируемого ряда

Оценка однородности по критериям определяется путем сравнения расчетного значения статистики критерия, полученного по эмпирическим данным, с критическим значением из таблиц. При этом задается уровень значимости (α) 5%, что соответствует принятию нулевой гипотезы об однородности с вероятностью 95%, и объем выборки (n). В результате гипотеза об однородности может быть принята, если рассчитанное значение статистики меньше критического.

Стационарная оценка средних значений и дисперсий для двух последовательных частей ряда анализируется с помощью критериев Стьюдента и Фишера. Анализ по этим критериям проводится после оценки отсутствия резко отклоняющихся экстремальных значений, которые существенно влияют на средние значения и дисперсию.

Для оценки стационарных вариаций и средних значений, соответственно, по критериям Фишера и Стьюдента, временной ряд разбивается на две или более частей одинаковой или разной длины, причем границы разбиения желательно связать с датами предполагаемого нарушения стационарности. Для каждой подвыборки рассчитываются значения среднего ($Y_{срj}$) и дисперсии (σ_j^2), которые используются для получения расчетных значений статистики Фишера:

$$F = \sigma_j^2 / \sigma_{j+1}^2 \quad (2.15)$$

, когда $\sigma_j^2 > \sigma_{j+1}^2$, где

$\sigma_j^2, \sigma_{j+1}^2$ - соответственно дисперсии двух последовательных подвыборок (j и $j+1$) размером n_1 и n_2

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

Для того чтобы оценить стационарность двух средних значений

последовательных подвыборок, значение статистики критерия Стьюдента рассчитывается по формуле:

$$t = \frac{Y_{cp1} - Y_{cp2}}{\sqrt{n_1\sigma_1^2 + n_2\sigma_2^2}} \sqrt{\frac{n_1n_2(n_1 + n_2 - 2)}{n_1 + n_2}} \quad (2.16)$$

, где Y_{cp1}, Y_{cp2} , σ_1^2, σ_2^2 среднее значение и дисперсия двух последовательных выборок; n_1, n_2 - объемы выборок[1,2,3]

Оценка устойчивого состояния по критерию Стьюдента также проводится путем сравнения расчетного и критического значений статистики. Если расчетное значение меньше критического при заданном уровне значимости, то принимается гипотеза об однородности (стационарности).[2]

2.2.2 Анализ однородности и стационарности многолетних рядов январской температуры воздуха

Для оценки однородности максимального и минимального экстремумов многолетнего ряда среднемесячной температуры воздуха были вычислены значения статистических критериев Диксона и Смирнова-Граббса, критические значения которых были взяты из таблиц при известном объеме ряда наблюдений, рассчитанных значениях коэффициентов асимметрии и автокорреляции и выбранном уровне значимости 5%.

Для оценки фиксированных дисперсий и средних значений ряд долгосрочных наблюдений сначала был разделен на две равные части или подвыборки. Для каждой части рассчитаны средние значения и дисперсий. Из полученных дисперсий и средних значений были определены оценочные значения статистик Фишера и Стьюдента.

В таблице знак «+» означает принятие гипотезы о однородности и фиксированности, в то время как знак «-» относится к отклонению гипотезы.

Исследование однородности и фиксированности с помощью статистических критериев - предварительный этап, позволяющий оценить, есть ли статистически значимые изменения в рядах формального деления ряда на две равные части.

Итоги оценки однородности и стационарности для холодного месяца (января) представлены в таблице 2.2.

Табл.2.2

Итоги анализа однородности эмпирических распределений январской температуры воздуха по критериям Диксона и Смирнова-Грabbса для резко отклоняющихся экстремумов (максимумов и минимумов) и оценки стационарности по критериям Фишера и Стьюдента.

Name of station	Dixon criteria		Smirnov-Grubbs criteria		Fisher criteria	Student criteria
	Max	Min	Max	Min		
MURMANSK	+	-(1985)	+	-	+	+
KANIN NOS	+	+	+	+	+	+
KANDALAKSA	+	-(1985)	+	-(1968)	+	+
KEM'-PORT	+	+	+	+	+	+
ARHANGEL'SK	+	+	+	+	+	+
KOJNAS	+	+	+	+	+	+
REBOLY	+	+	+	-(1985)	+	+
ONEGA	+	+	+	-(1985)	+	+
PETROZAVODSK	+	+	+	+	+	+
VYTEGRA	+	-(1985)	+	-	+	+
KOTLAS	+	+	+	+	+	+
NAR'JAN-MAR	+	+	+	+	+	+
HOSEDA-HARD	+	+	+	+	+	+
UST'-CIL'MA	+	+	+	+	+	+
PECORA	+	+	+	+	+	+
TROICKO-PECER	+	+	+	+	+	+
SYKTYVKAR	+	+	+	+	+	+
VOLOGDA	+	-(1940)	+	-(1985)	+	+
TOT'MA	+	+	+	+	+	+

Итоги анализа однородности по критериям Смирнова-Граббса и Диксона: для девятнадцати станций в январе максимальные экстремумы однородны. Минимальные экстремумы неоднородны по критерию Диксона для 4 станций - Вытегра, Вологда, Мурманск, Кандалакша, общий год проявления неоднородности - 1985. При оценке однородности по Смирнову Граббсу минимальные экстремумы для 6 станций оказались неоднородными (те же станции: Вытегра, Вологда, Мурманск, Кандалакша, а также Реболы и Онега), общий год неоднородности 1985. В этом году на нескольких станциях наблюдались низкие температуры до -25°C , поэтому это не может быть ошибкой наблюдения.

Продолжительные ряды для всех выбранных станций стационарны по критериям Стьюдента и Фишера за январь.

Графики нестационарных и неоднородных рядов январской температуры воздуха показаны на рис. 2.2

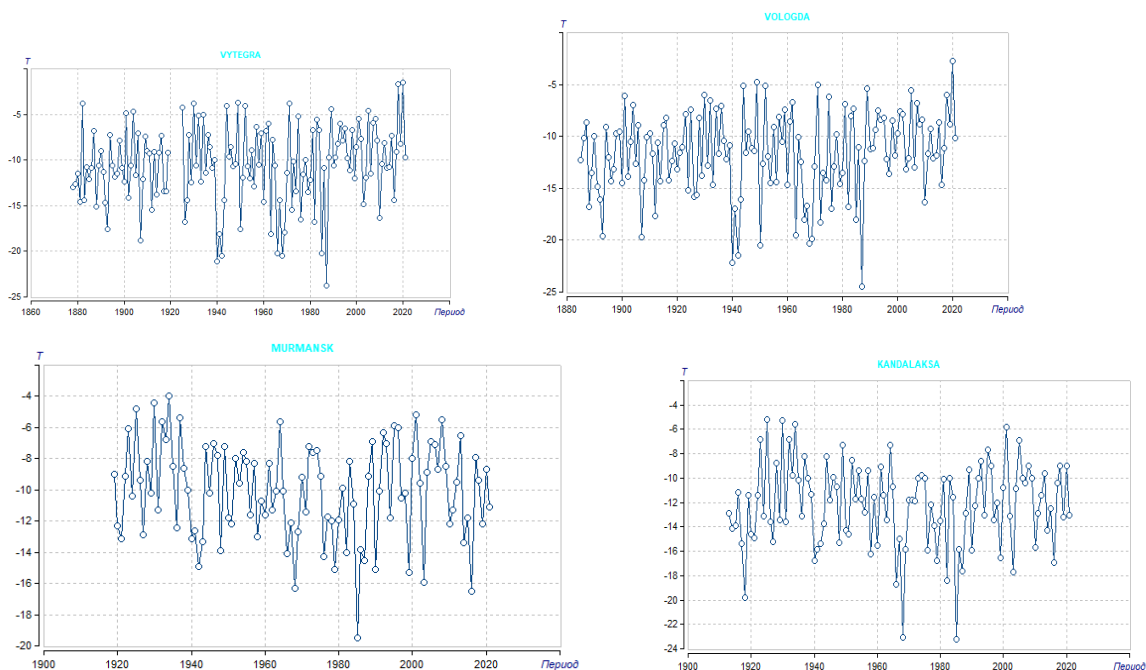


Рис. 2.2 Неоднородные ряды наблюдений за январской температурой воздуха

2.2.3 Оценка однородности и стационарности многолетнего ряда температуры воздуха июля

Конечный результат анализа однородности и стационарности для теплого месяца (июля) представлены в таблице 2.3

Табл.2.3

Итоги анализа однородности эмпирических распределений июльских температуры воздуха по критериям Диксона и Смирнова-Грэмбса для резко отклоняющихся экстремумов (максимумов и минимумов) и оценки стационарности по критериям Фишера и Стьюдента

Name of station	Dixon criteria	Smirnov-Grubbs criteria	Fisher criteria	Student criteria
MURMANSK	+	+	+	+
KANIN NOS	+	+	+	-
KANDALAKSA	+	+	+	+
KEM'-PORT	+	+	+	+
ARHANGEL'SK	+	+	+	+
KOJNAS	+	+	+	+
REBOLY	+	+	+	+
ONEGA	+	+	+	-
PETROZAVODSK	+	+	+	+
VYTEGRA	+	+	+	+
KOTLAS	+	+	+	+
NAR'JAN-MAR	+	+	+	+
HOSEDA-HARD	+	+	+	+
UST'-CIL'MA	+	+	+	-
PECORA	+	+	+	+
TROICKO-PECER	+	+	+	+
SYKTYVKAR	+	+	+	-
VOLOGDA	+	+	+	+
TOT'MA	+	+	+	+

Минимальные и максимальные экстремумы однородны у рядов всех станций. (критерии Диксона и Смирнова-Граббса)

Ряды всех станции являются стационарными по критерию Фишера для июля. По критерию Стьюдента нестационарными являются Канин нос, Онега, Сыктывкар, Усть-Цильма.

Последовательные графики нестационарных и неоднородных рядов июльской температуры воздуха изображены на рис. 2.3

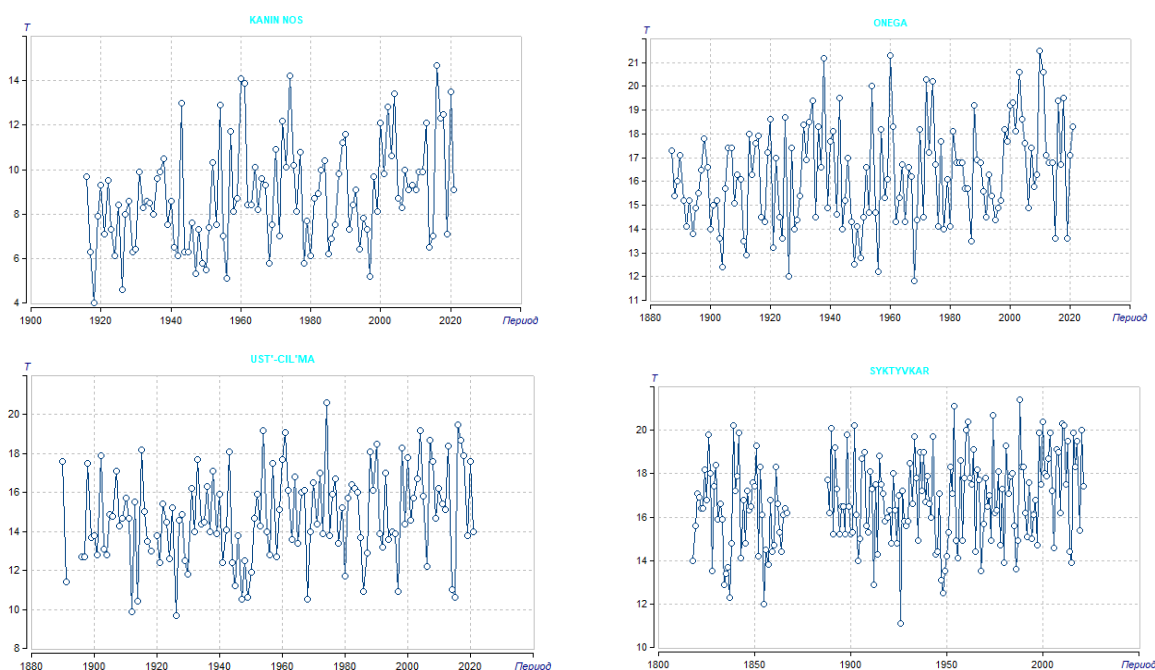


Рис. 2.3 Нестационарный ряд наблюдений за температурой воздуха в июле

2.2.4 Оценка однородности и стационарности продолжительного ряда температуры воздуха в апреле

Результаты однородности и стационарности для апреля представлены в таблице 2.4.

Табл.2.4

Итоги анализа распределений апрельской температуры воздуха по критериям Диксона и Смирнова-Граббса для резко отклоняющихся экстремумов

(максимумов и минимумов) и оценки стационарности по критериям Фишера
и Стьюдента

Name of station	Dixon criteria	Smirnov-Grubbs criteria	Fisher criteria	Student criteria
	Min	Min		
MURMANSK	-(1929)	-(1956)	+	-
KANIN NOS	+	+	+	+
KANDALAKSA	+	+	+	-
KEM'-PORT	+	+	+	+
ARHANGEL'SK	+	-(1929)	+	-
KOJNAS	+	+	+	+
REBOLY	+	+	+	-
ONEGA	+	+	+	+
PETROZAVODSK	+	+	+	+
VYTEGRA	-(1929)	-	+	+
KOTLAS	+	+	+	+
NAR'JAN-MAR	+	+	+	+
HOSEDA-HARD	+	+	+	+
UST'-CIL'MA	+	+	+	+
PECORA	+	+	+	+
TROICKO-PECER	+	+	+	+
SYKTYVKAR	+	+	+	+
VOLOGDA	+	+	+	+
TOT'MA	+	+	+	+

При анализе однородности по критериям Смирнова-Грubbса, Диксона выявлено, что для всех станций максимальные экстремумы однородны. Минимальные экстремумы неоднородны для 3 станций: Вытегра, Архангельск, Мурманск; общий год проявления неоднородности - 1929. В течение этого года отрицательная температура -5...-9°C наблюдалась на нескольких станциях, что указывает на то, что это не ошибка измерения.

Ряды всех станций стационарны по критерию Фишера для апреля. По критерию Стьюдента, все станции являются стационарными, кроме Реболы, Канда拉克ши, Мурманска, Архангельска

Хронологические графики нестационарных и неоднородных рядов апрельской температуры воздуха показаны на рис. 2.4

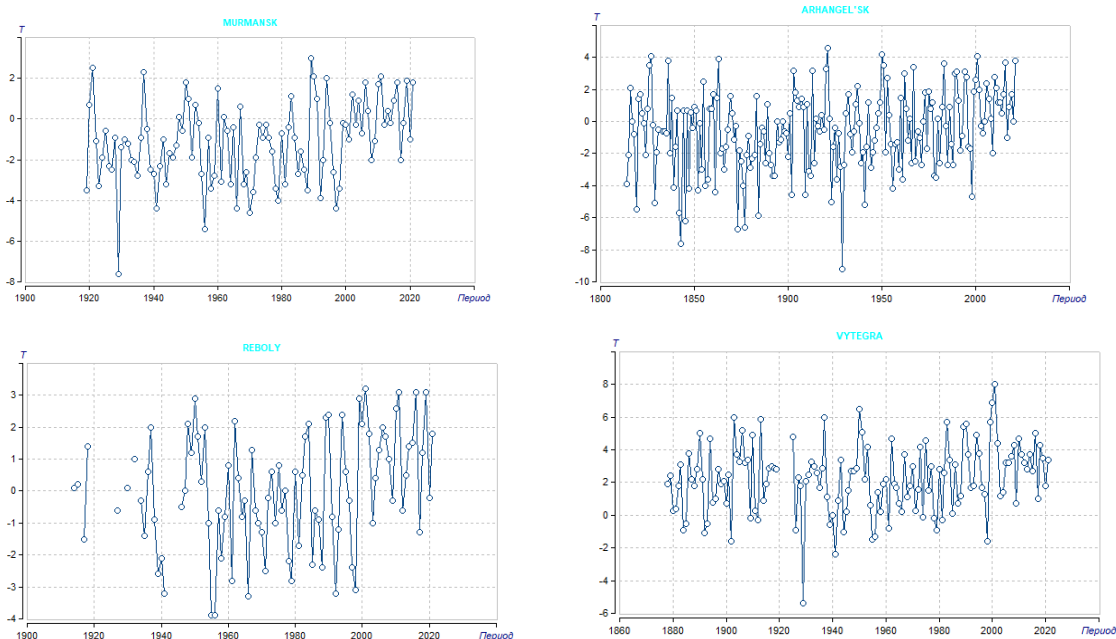


Рис. 2.4 Нестационарные и неоднородные ряды наблюдений за температурой воздуха в апреле

2.2.5 Анализ однородности и стационарности многолетнего ряда температуры воздуха октября

Выводы после анализа однородности и стационарности для октября представлены в таблице 2.5.

Табл.2.5.
Анализ однородности распределений октябрьской температуры воздуха по критериям Диксона и Смирнова-Грabbса для резко отклоняющихся экстремумов (максимумов и минимумов) и оценки стационарности по критериям Фишера и Стьюдента

Name of station	Dixon criteria	Smirnov-Grubbs criteria	Fisher criteria	Student criteria
	Min	Min		
MURMANSK	+	+	+	+
KANIN NOS	+	+	+	+
KANDALAKSA	-1992	-1992	+	+

KEM'-PORT	+	+	+	+
ARHANGEL'SK	+	+	+	+
KOJNAS	+	+	+	+
REBOLY	+	+	+	+
ONEGA	+	+	+	+
PETROZAVODSK	+	+	+	+
VYTEGRA	+	+	+	+
KOTLAS	+	+	+	+
NAR'JAN-MAR	+	-1992	+	+
HOSEDA-HARD	+	+	+	+
UST'-CIL'MA	+	+	+	+
PECORA	-1977	-1977	+	-
TROICKO-PECER	+	+	+	+
SYKTYVKAR	+	+	+	+
VOLOGDA	+	+	+	+
TOT'MA	+	+	+	+

Анализ однородности по критериям Смирнова-Граббса, Диксона показал, что для всех станций максимальные экстремумы однородны. Минимальные экстремумы неоднородны для 3 станций: Печора, Нарьян-Мар, Кандалакша; Общий год неоднородности для двух станций - 1992. В этом году наблюдались отрицательные температуры -6 и -9°C, что говорит о том, что это не ошибка измерения. Для станции Печора минимальный экстремум наблюдался в 1977 году.

Характеристики рядов всех метеостанций - стационарные по критерию Фишера для октября.

При рассмотрении по Стьюдента все станции, кроме Печоры, являются стационарными.

Хронологические графики нестационарных и неоднородных рядов октябрьской температуры воздуха представлены на рис. 2.5.

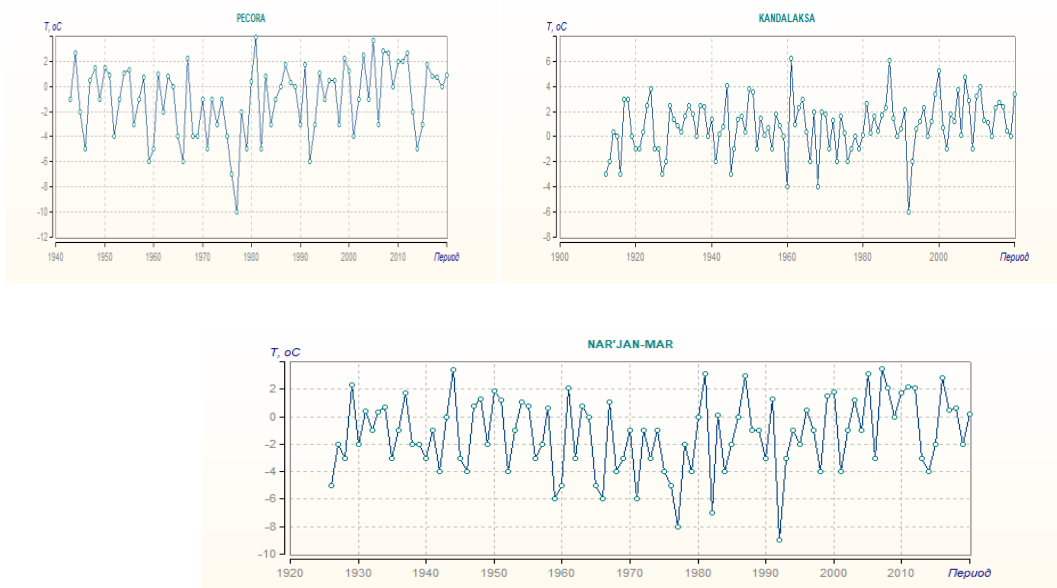


Рис. 2.5 Нестационарные и неоднородные ряды октябрьской температуры воздуха

3. Климатические пространственные закономерности температуры воздуха

3.1 Теоретическая информация

Надежные результаты по оценке нормы, т.е. среднемесячной многолетней температуры, температуры редкой повторяемости раз в 100 и 200 лет, могут быть получены только на основе длинных рядов. Поэтому необходимо восстановить пробелы и привести короткие ряды данных к длинному периоду.

Восстановление пропущенных наблюдений и приведение рядов к долгосрочному периоду основано на построении уравнений регрессии с одним или несколькими предложенными аналогами, имеющими как более длительный период наблюдений, так и данные наблюдений в те годы, которые были пропущены на другой станции.

Реконструированные данные получены на основе уравнений наименьших квадратов (МНК).

Чтоб восстановить недостающие наблюдений и привести ряд к длительному периоду нужно определить уравнение регрессии, которое содержит три гипотетических аналога, с продолжительным или более полным рядом.

Уравнение множественной линейной регрессии для восстановления выглядит следующим образом:

$$Y = k_0 + k_1 Y_1 + k_2 Y_2 + \dots + k_j Y_j + \dots + k_l Y_l \quad (3.1)$$

,где

Y - значения метеорологических характеристик в данной точке;

Y_j - значения метеорологических характеристик в аналоговых точках;

k_0 - абсолютный срок;

k_j - коэффициенты уравнения регрессии при $j = 1, 2, \dots, l$

l - количество аналогов.

Для эффективного уравнения связи одной метеостанции с аналогами было учтено:

$$n' \geq 10$$

n' - количество совместных лет наблюдений в исследуемом пункте и пунктах аналогах - 10.

Количество точек аналогов выбрано - 3.

$$R \geq R_{кр}$$

R - коэффициент парной или множественной корреляции между значениями гидрометеорологической величины в представленном пункте и их значениями в пунктах-аналогах;

$R_{кр}$ - критическое значение коэффициента парной или множественной корреляции (минимальное значение принималось равным 0,90);

$$k/\sigma_k \geq B_{кр}$$

k - коэффициенты уравнения регрессии;

σ_k - средняя квадратичная ошибка коэффициента уравнения регрессии

$B_{кр}$ - критическое значение отношения k/σ_k , равное $\geq 2,0$.

Основная задача, для решения которой проводятся расчеты в стационарных условиях, - определение параметров и расчетных климатических характеристик редкой повторяемости.

Определение параметров и квантилей распределения при наличии данных наблюдений достаточной продолжительности осуществляется с помощью аналитических функций распределения годовых вероятностей превышения - кривых вероятности.

Эмпирическая годовая вероятность превышения P_m метеорологических характеристик определяется по формуле:

$$P_m = \frac{m}{n+1} * 100\% \quad (3.2)$$

,где

m - порядковый номер членов ряда метеорологических характеристик, расположенных в порядке убывания;

n - общее количество членов ряда.

Эмпирические кривые распределения годовых вероятностей превышения строятся по клетчаткам вероятностей. Вид клетчаток вероятностей выбирается в соответствии с принятой аналитической функцией распределения вероятностей и полученным отношением C_S коэффициента асимметрии к C_V коэффициентом вариации.

Наиболее распространенным является клетчатка нормального закона распределения. Для сглаживания и экстраполяции эмпирических кривых распределения годовых вероятностей превышения используются

трехпараметрические распределения: Крицкого-Менкеля (гамма-распределение) при любом соотношении C_S / C_V и распределение Пирсона III типа (биномиальная кривая) при $C_S / C_V > 2$

Коэффициент вариации C_V и коэффициент асимметрии C_S для трехпараметрического гамма-распределения должны быть определены методом приближенного наибольшего правдоподобия.

Целью расчетов является определение достоверной климатической нормы (среднего многолетнего значения) для ряда, приведенного к многолетнему периоду, а также расчетных климатических характеристик редкой повторяемости: повторяемости 1 раз в 100 лет и 1 раз в 200 лет. Для температуры воздуха выбор доступности зависит от рассматриваемой задачи. Если исследуются условия засухи, то для температуры июля выбирается обеспеченность 1% и 0,5%. Для температуры января при оценке ожидаемого потепления климата решаются задачи и анализа самых низких температур (вероятность 99% и 99,5%) и высоких (вероятность 1% и 0,5%). [1,2,3]

3.2 Пространственные климатические закономерности температуры воздуха в январе

В соответствии с представленной процедурой были восстановлены разрывы и краткосрочные ряды наблюдений за температурой воздуха сведены к многолетнему с заданным минимальным коэффициентом корреляции $R = 0,90$, итоги показаны в таблице 3.1

Табл.3.1.

Эффективность восстановления среднемесячных температур января

Код	Название	Кол-во исх.	Кол-во восст.	Ср. ошибка	Коэф. корреляции.	Кол-во аналогов
22113	MURMANSK	103	109	0,97	0,95-0,96	3
22165	KANIN NOS	106	-	-	-	-
22217	KANDALAKSA	109	197	1,25	0,91-0,96	3

22522	KEM'-PORT	131	206	0,94	0,94-0,99	3
22550	ARHANGEL'SK	206	208	1,69	0,93	2
22583	KOJNAS	109	208	1,12	0,94-0,99	3
22602	REBOLY	90	201	1,06	0,92-0,99	3
22641	ONEGA	134	208	0,56	0,98-0,99	2
22820	PETROZAVODSK	122	185	0,57	0,95-0,99	3
22837	VYTEGRA	139	199	1,06	0,98-0,99	3
22887	KOTLAS	93	205	0,77	0,91-0,99	3
23205	NAR'JAN-MAR	96	127	1,84	0,91	3
23219	HOSEDA-HARD	85	133	1,54	0,90-0,98	3
23405	UST'-CIL'MA	127	181	1,77	0,93-0,97	3
23418	PECORA	78	159	1,35	0,92-0,99	3
23711	TROICKO-PECER	133	183	1,13	0,92-0,99	3
23804	SYKTYVKAR	183	188	1,43	0,93	3
27037	VOLOGDA	137	180	1,06	0,93-0,99	3
27051	TOT'MA	138	200	1,25	0,92-0,95	3

Средний период наблюдений увеличен с 120 до 180 лет. Восстановление для январских температур удачно на 18 станциях, кроме станции Канин нос. Из таблицы следует, что минимальные коэффициенты корреляции между рядами составляют 0,91. Средняя ошибка восстановленных значений 1,2°C. Минимальная ошибка, равная менее 0,6°C, оказалась на двух станциях Петрозаводск и Онега. Наибольшие ошибки восстановленных значений, более 1,7°C, на двух станциях Усть-Цильма и Нарьян-Мар, 1,77°C и 1,84°C, соответственно.

Результатом расчетов в стационарных условиях является пространственная интерполяционная модель средней многолетней температуры января (рис.3.1), пространственное распределение январских температур редкой повторяемости раз в 100 и 200 лет (рис.3.2, рис.3.3)

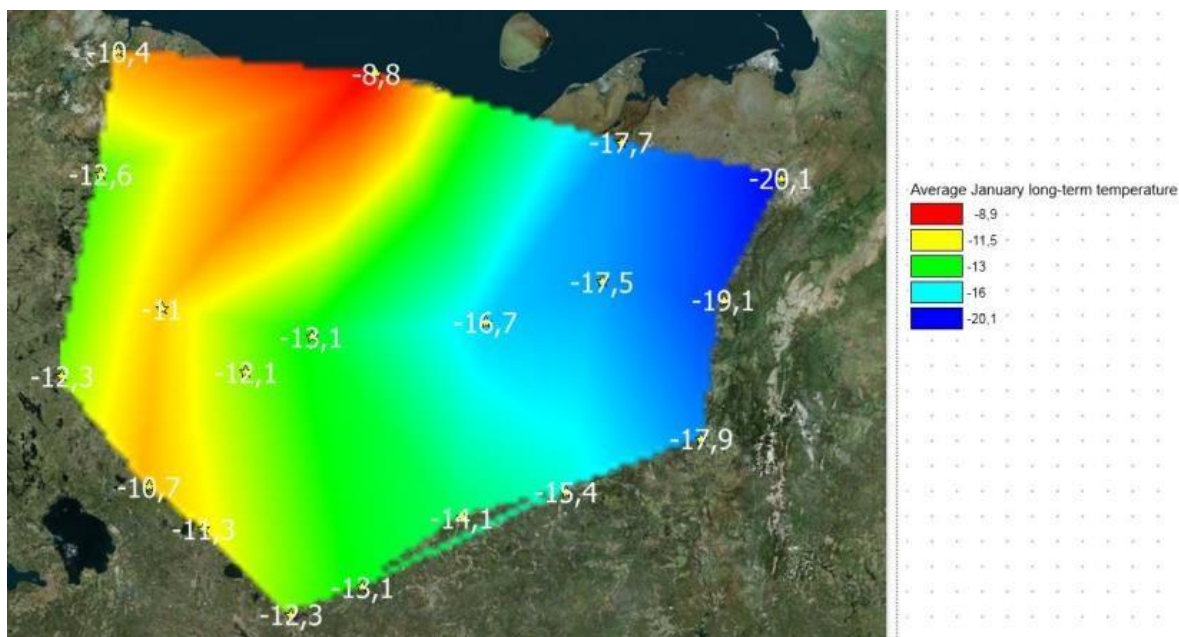


Рис.3.1. Средняя многолетняя температура января

Из рисунка 3.1 видно, что на севере европейской части России самые высокие средние температуры января наблюдаются на северном побережье, станция Канин Нос, температура составляет $-8,8^{\circ}\text{C}$, что связано с теплым течением Гольфстрим. Самые низкие температуры в глубине материка в восточной части рассматриваемого региона, температура опускается до -20°C , станция Хоседа-Хард, Печора. Западная часть имеет довольно высокие значения ($-10...-12^{\circ}\text{C}$). Температура колеблется по территории $|11|^{\circ}\text{C}$.

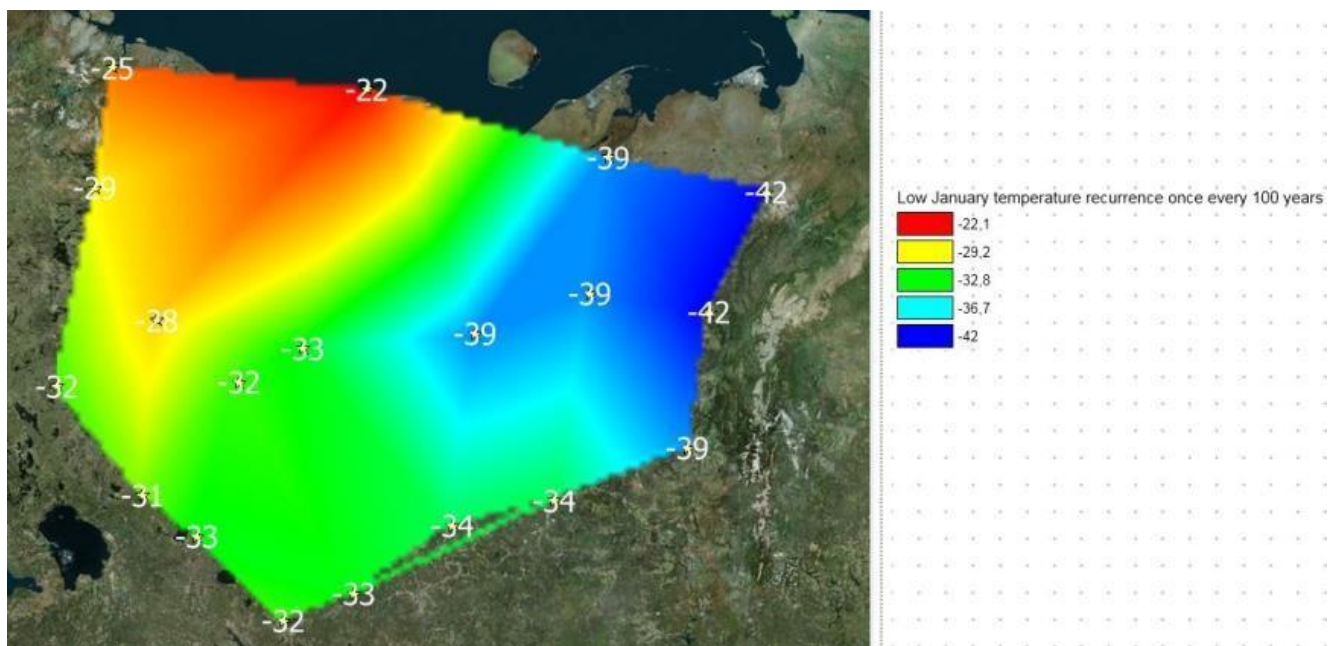


Рис.3.2.Повторяемость январских низких температур 1 раз за 100 лет

Из этого рисунка следует, что на севере европейской части России наблюдается понижение температуры с северо-запада на восток. Самые высокие температуры января наблюдаются на северном побережье, станция Канин Нос, температура составляет -22°C . Самые низкие температуры во внутренних районах материка в восточной части рассматриваемого региона, температура опускается до -42°C . В западной части средние значения ($-28...-32^{\circ}\text{C}$). Температура колеблется по территории $|20|^{\circ}\text{C}$. Отличие от средней климатической нормы составляет $14...22^{\circ}\text{C}$.

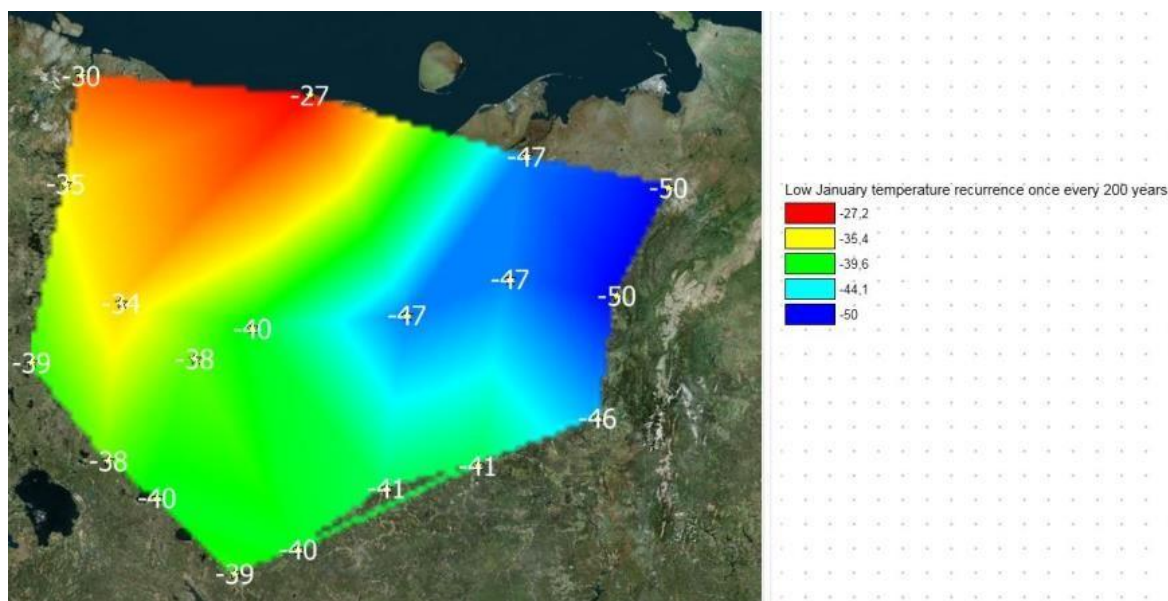


Рис.3.3.Повторяемость январских низких температур 1 раз за 200 лет

Из рис. 3.3 видно, что на севере европейской части России наблюдается понижение температуры с северо-запада на восток. Самые высокие температуры января наблюдаются на северном побережье, станция Канин Нос, температура -27°C. Самые низкие температуры во внутренних районах материка в восточной части рассматриваемого региона, температура опускается до - 50°C. В западной части средние значения (-34...- 39°C). Температура колеблется по территории |23|°C. Отличие от средней климатической нормы составляет 17... 30 °C. Отличие от температуры с повторяемостью один раз в 100 лет составляет 5...9 °C.

3.3 Пространственные климатические закономерности июльской температуры воздуха

В соответствии с представленным методом были восстановлены разрывы и краткосрочные ряды наблюдений за температурой воздуха сведены к долгосрочному периоду с заданным минимальным коэффициентом корреляции $R = 0,90$, итоги показаны в таблице 3.2

Табл.3.2

Эффективность восстановления июльских среднемесячных температур

Код	Название	Кол-во исх.	Кол-во восст.	Ср. ошибка	Коэф. корреляции.	Кол-во аналогов
22113	MURMANSK	103	109	0,83	0,91-0,92	2
22165	KANIN NOS	106	-	-	-	-
22217	KANDALAKSA	109	-	-	-	-
22522	KEM'-PORT	128	147	0,69	0,92	3
22550	ARHANGEL'SK	207	-	-	-	-
22583	KOJNAS	109	208	0,59	0,91-0,98	3
22602	REBOLY	89	177	0,59	0,91-0,96	3

22641	ONEGA	135	208	0,35	0,96-0,99	2
22820	PETROZAVODSK	122	183	0,44	0,96-0,98	3
22837	VYTEGRA	138	183	0,46	0,97	3
22887	KOTLAS	94	208	0,45	0,94-0,99	3
23205	NAR'JAN-MAR	96	134	0,72	0,95-0,98	3
23219	HOSEDA-HARD	84	134	0,81	0,91-0,97	3
23405	UST'-CIL'MA	127	168	0,81	0,94-0,98	3
23418	PECORA	78	134	0,45	0,97-0,99	3
23711	TROICKO-PECER	134	184	0,73	0,93-0,95	2
23804	SYKTYVKAR	184	188	0,80	0,92	3
27037	VOLOGDA	137	176	0,59	0,92-0,96	2
27051	TOT'MA	138	183	0,62	0,93-0,96	2

Средний период наблюдений за июльской температурой увеличен со 120 лет до 170 лет. Восстановление июльских температур удачно на 16 станциях, кроме Архангельска, Канина Носа, Кандалакши.

Из таблицы следует, что минимальные коэффициенты корреляции между строками составляют 0,91. Средняя ошибка восстановленных значений 0,6°C. Минимальная ошибка восстановления, равная 0,35°C, была получена на станции Онега. Наибольшие ошибки восстановленных значений, более 0,8°C, имеют станции Усть-Цильма, Хоседа-Хард и Мурманск, 0,81 и 0,83°C соответственно.

Результатом расчетов в стационарных условиях является пространственная интерполяционная модель средней температуры июля (рис. 3.4), пространственное распределение июльских температур редкой повторяемости раз в 100 и 200 лет (рис. 3.5, рис. 3.6)

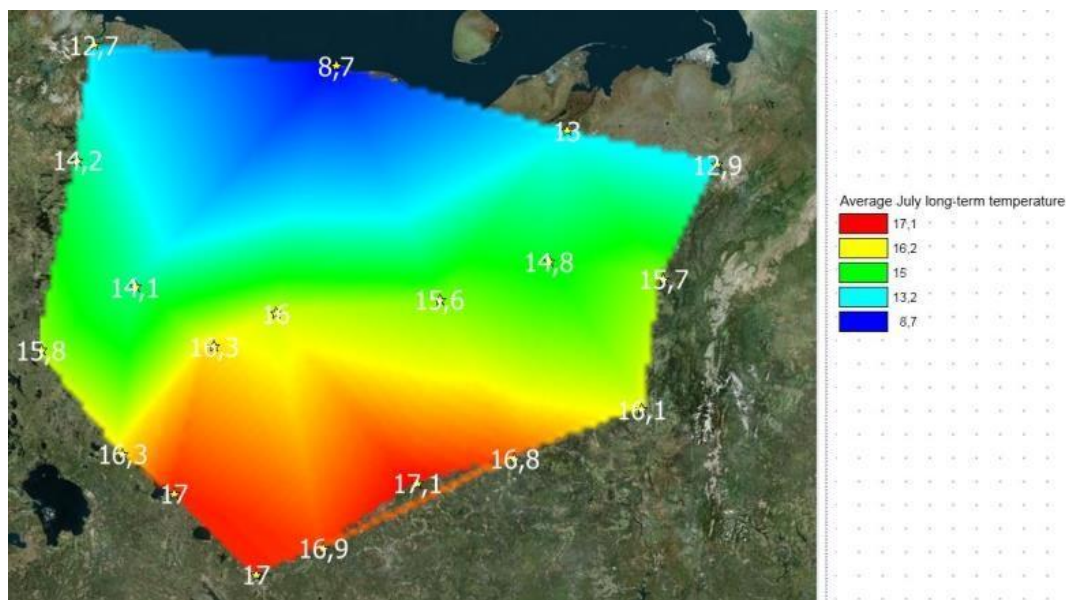


Рис.3.4 Средняя многолетняя температура июля

Из Рис.3.4: на севере европейской части России наблюдается общее повышение температуры с севера на юг. Т.е. происходит зональное изменение температуры. Самые низкие средние температуры июля наблюдаются на северном побережье, станция Канин Нос, +8,7°C. Самые высокие температуры в глубине материка на юге рассматриваемого региона, температура достигает +17°C, станция Вологда. По территории температура колеблется на уровне 8°C.

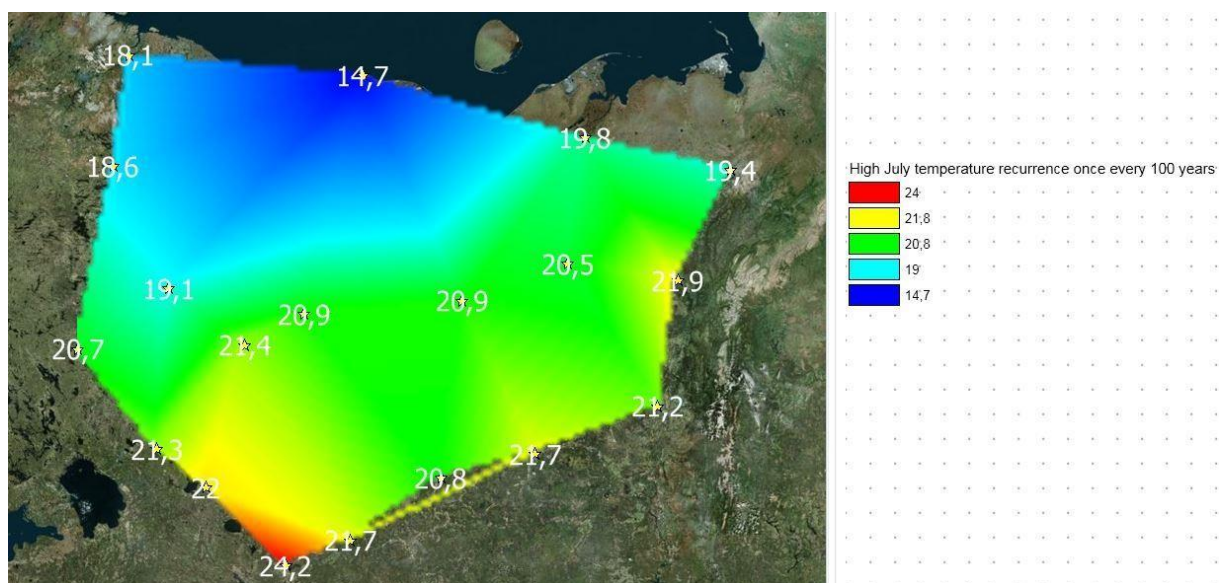


Рис.3.5.Повторяемость высоких июльских температур 1 раз в 100 лет

Рис. 3.5 показывает, что на Европейском Севере России самые низкие температуры наблюдаются в северной и северо-северо-западной частях региона. Самые высокие значения на юге. На рисунке показано зональное распределение температуры. Самые низкие июльские температуры наблюдаются на северном побережье, станция Канин Нос, температура 14,7°C. Самые высокие температуры во внутренних районах материка на юге рассматриваемого региона, температура достигает 24°C. Температура колеблется по территории на 10°C. Отличие от средней климатической нормы составляет 5...7°C.

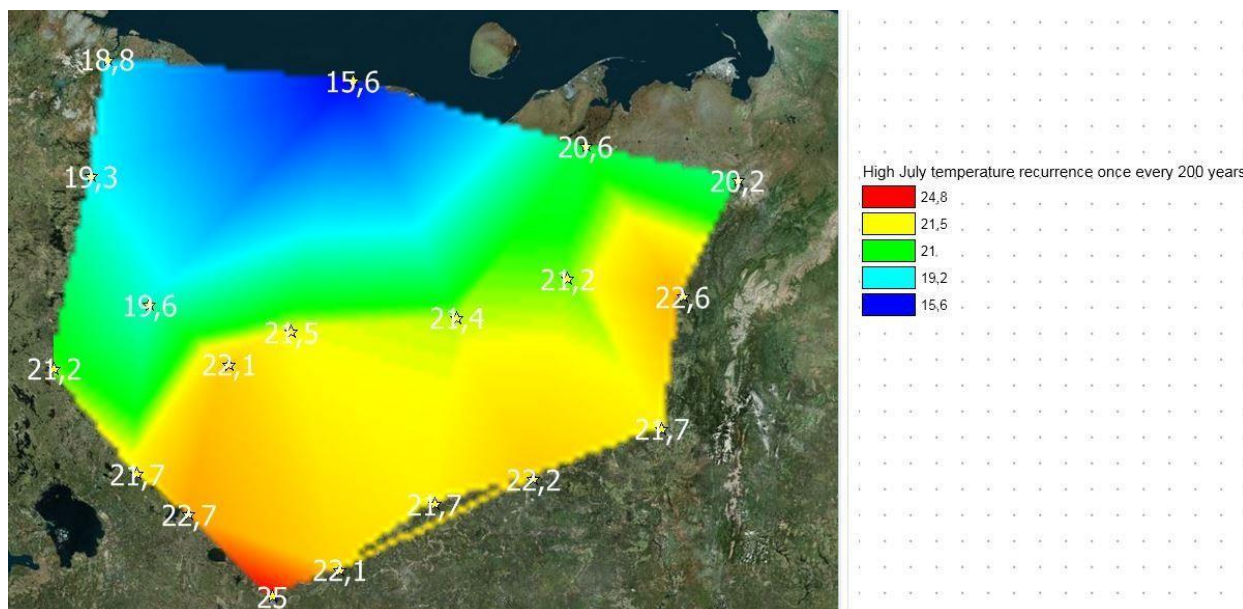


Рис. 3.6.Повторяемость высоких июльских температур 1 раз в 200 лет

Из рисунка 3.6 следует, что на севере европейской части России температура повышается с северо-северо-запада на юго-юго-запад. Самые низкие температуры июля наблюдаются на северном побережье, станция Канин Нос, температура 16°C. Самые высокие температуры во внутренних районах материка на юге рассматриваемого региона, температура достигает 25°C. Температура колеблется по территории на 10°C. Отличие от средней климатической нормы составляет 7...9°C. Отличие от температуры с повторяемостью один раз в 100 лет не достигает и 2°C

3.4 Пространственные климатические закономерности температуры воздуха в апреле

В соответствии с представленным методом были восстановлены разрывы и краткосрочные ряды наблюдений за температурой воздуха сведены к долгосрочному периоду с заданным минимальным коэффициентом корреляции $R = 0,90$, выводы видны в таблице 3.3

Табл.3.3

Эффективности восстановления апрельской среднемесячной температуры

Код	Название	Кол-во исх.	Кол-во восст.	Ср. ошибка	Коэф. корреляции.	Кол-во аналогов
22113	MURMANSK	103	110	0,75	0,92-0,94	3
22165	KANIN NOS	106	119	0,90	0,92-0,93	3
22217	KANDALAKSA	109	120	0,65	0,94	3
22522	KEM'-PORT	132	138	0,49	0,94-0,97	3
22550	ARHANGEL'SK	207	-	-	-	-
22583	KOJNAS	109	142	0,64	0,95-0,99	3
22602	REBOLY	91	116	0,52	0,95-0,97	3
22641	ONEGA	135	167	0,37	0,97-0,99	2
22820	PETROZAVODSK	122	143	0,47	0,95-0,97	3
22837	VYTEGRA	139	150	0,60	0,95-0,97	3
22887	KOTLAS	94	135	0,47	0,96-0,99	3
23205	NAR'JAN-MAR	96	115	1,55	0,91-0,96	3
23219	HOSEDA-HARD	84	117	1,34	0,91-0,98	3
23405	UST'-CIL'MA	127	133	0,99	0,94-0,96	3
23418	PECORA	78	106	0,75	0,96-0,99	3
23711	TROICKO-PECER	134	138	1,11	0,92	1

наблюдается общее повышение температуры с севера на юг, самые низкие температуры на северо-востоке. Т.е. наблюдается зональное изменение температуры. Самые низкие средние температуры апреля наблюдаются на метеостанции Хоседа-Хард, температура составляет -9°C . Самые высокие температуры во внутренних районах материка на юге рассматриваемого региона, температура достигает $+3^{\circ}\text{C}$, например, на станции Вологда. Температура колеблется по территории на уровне 10°C .

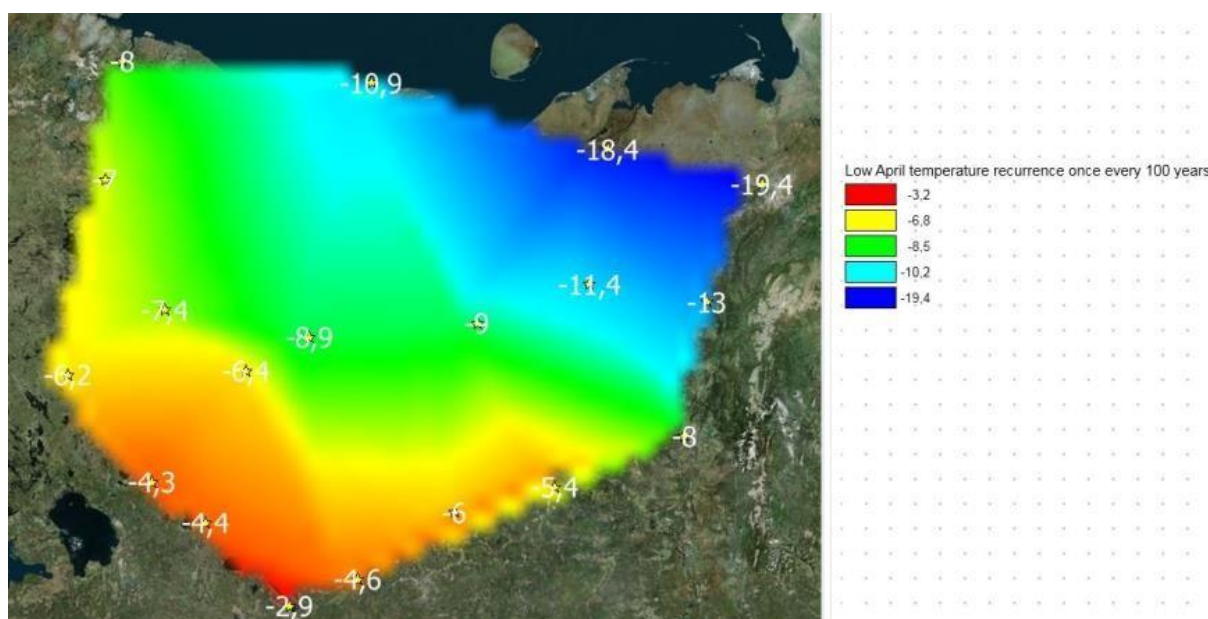


Рис3.8. Повторяемость низких апрельских температур 1 раз в 100 лет

Из рис. 3.8 видно, что наблюдается снижение температуры с юга на северо-восток. Самые низкие апрельские температуры наблюдаются на метеостанциях Нарьян-Мар, Хоседа-Хард, температура опускается до -19°C . Самые высокие температуры в глубине материка на юге рассматриваемого региона, температура достигает -3°C . По территории температура колеблется на уровне -16°C . Отклонение от средней климатической нормы $4...6^{\circ}\text{C}$, а в некоторых местах на севере доходит до 10°C .

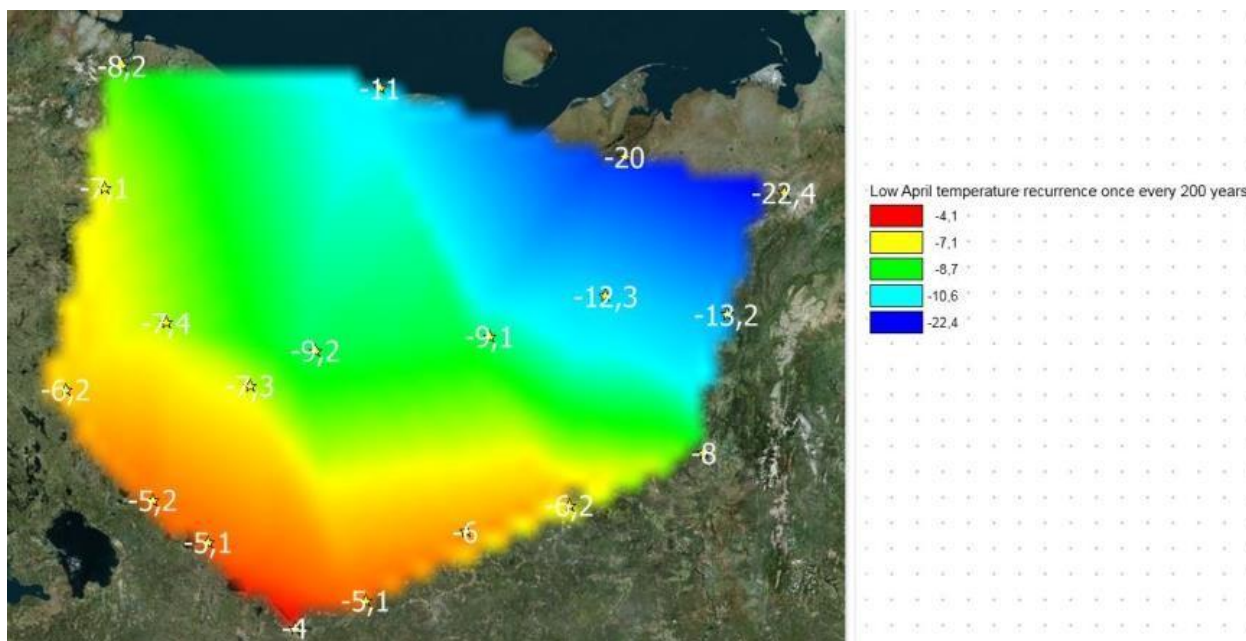


Рис3.9 . Повторяемость низких апрельских температур 1 раз в 200 лет

Рисунок 3.9 показывает, что температура снижается с юга на северо-восток. Самые низкие апрельские температуры наблюдаются на метеостанциях Нарьян-Мар, Хоседа-Хард, температура опускается до -20...-22°C. Самые высокие температуры на юге этого региона, температура поднимается до - 4°C. Температура колеблется по территории на уровне 18°C. Отклонение от средней климатической нормы 6...8°C, а в некоторых местах на севере достигает до 12°C. Отличие от температуры с повторяемостью раз в 100 лет составляет 2... 4°C

3.5 Пространственные климатические закономерности температуры воздуха в октябре

В соответствии с представленным методом были восстановлены разрывы и краткосрочные ряды наблюдений за температурой воздуха сведены к долгосрочному периоду с заданным минимальным коэффициентом корреляции $R = 0,90$, итоги показаны в Табл.3.4

Табл.3.4.

Эффективность восстановления октябрьских среднемесячных температур

Код	Название	Кол-во исх.	Кол-во восст.	Ср. ошибка	Коэф. корреляции.	Кол-во аналогов
22113	MURMANSK	103	114	0,58	0,94-0,98	3
22165	KANIN NOS	105	109	0,66	0,9-0,92	3
22217	KANDALAKSA	109	120	0,51	0,95-0,97	3
22522	KEM'-PORT	129	153	0,45	0,92-0,99	3
22550	ARHANGEL'SK	207	-	-	-	-
22583	KOJNAS	108	151	0,39	0,96-0,99	3
22602	REBOLY	88	141	0,40	0,97-0,99	3
22641	ONEGA	134	182	0,29	0,98-0,99	2
22820	PETROZAVODSK	120	159	0,39	0,97-0,98	2
22837	VYTEGRA	136	160	0,46	0,97-0,99	2
22887	KOTLAS	93	147	0,39	0,94-0,99	3
23205	NAR'JAN-MAR	95	116	0,69	0,91-0,98	3
23219	HOSEDA-HARD	85	109	0,77	0,97-0,99	3
23405	UST'-CIL'MA	128	139	0,85	0,93-0,98	3
23418	PECORA	78	115	0,56	0,91-0,99	3
23711	TROICKO-PECER	133	142	0,72	0,96	3
23804	SYKTYVKAR	184	-	-	-	-
27037	VOLOGDA	136	151	0,67	0,92-0,99	3
27051	TOT'MA	137	156	0,69	0,93-0,97	3

Средний период наблюдений за октябрьской температурой воздуха увеличен со 110 лет до 140 лет. Восстановление удачно для 17 станций, кроме Архангельска и Сыктывкара.

Из таблицы следует, что минимальные коэффициенты корреляции между рядами составляют 0,90. Средняя ошибка восстановленных значений 0,56°C. Минимальная ошибка, равная 0,29°C, была получена на станции Онега. Наибольшие ошибки восстановленных значений, около 0,8°C, на двух станциях Усть-Цильма и Хоседа-Хард, 0,85 и 0,77 соответственно.

Результатом расчетов в стационарных условиях является пространственная интерполяционная модель средней температуры октября (рис. 3.10), пространственное распределение октябрьских температур редкой повторяемости раз в 100 и 200 лет (рис. 3.11, рис. 3.12)

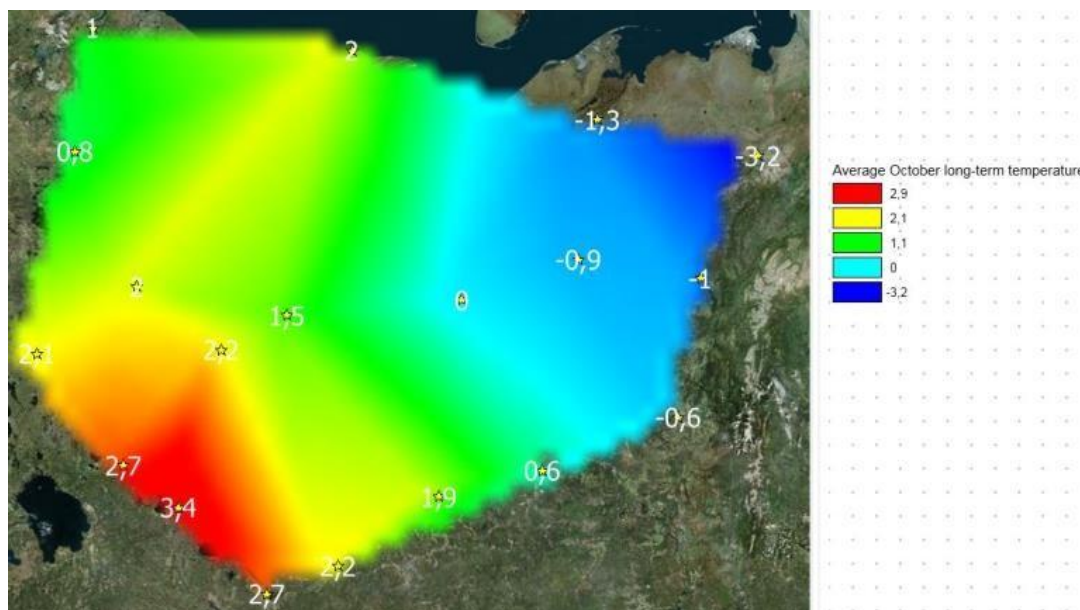


Рис3.10.Средняя многолетняя температура октября

Из этого рисунка следует, что на севере европейской части России наблюдается понижение температуры с северо-востока на юго-запад. Самые низкие средние температуры октября наблюдаются на метеостанции Хоседа-Хард, температура составляет $-3,2^{\circ}\text{C}$. Самые высокие температуры на юго-западе рассматриваемого региона, температура достигает $+3,3^{\circ}\text{C}$ станция Вытегра, Петрозаводск. Температура колеблется по территории на 6°C .

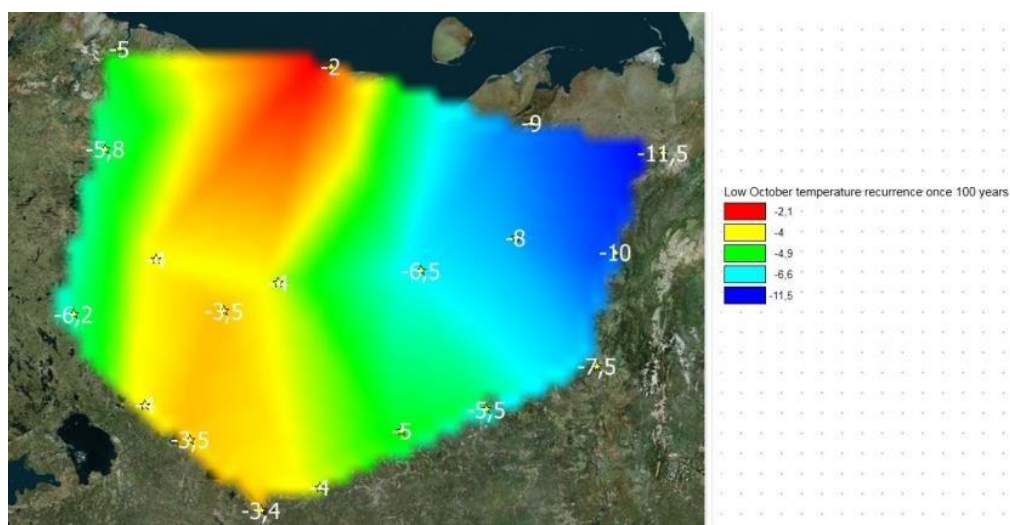


Рис3.11. Повторяемость низких октябрьских температур 1 раз в 100 лет

Из рисунка 3.11 следует, что самые низкие температуры октября

наблюдаются в восточной части на метеостанциях Печора, Хоседа Хард, температура опускается до $-11,5^{\circ}\text{C}$. Самые высокие температуры на северном побережье рассматриваемого региона, температура составляет -2°C . Температура колеблется по территории на уровне 9°C . Отклонение от средней климатической нормы $6...8^{\circ}\text{C}$

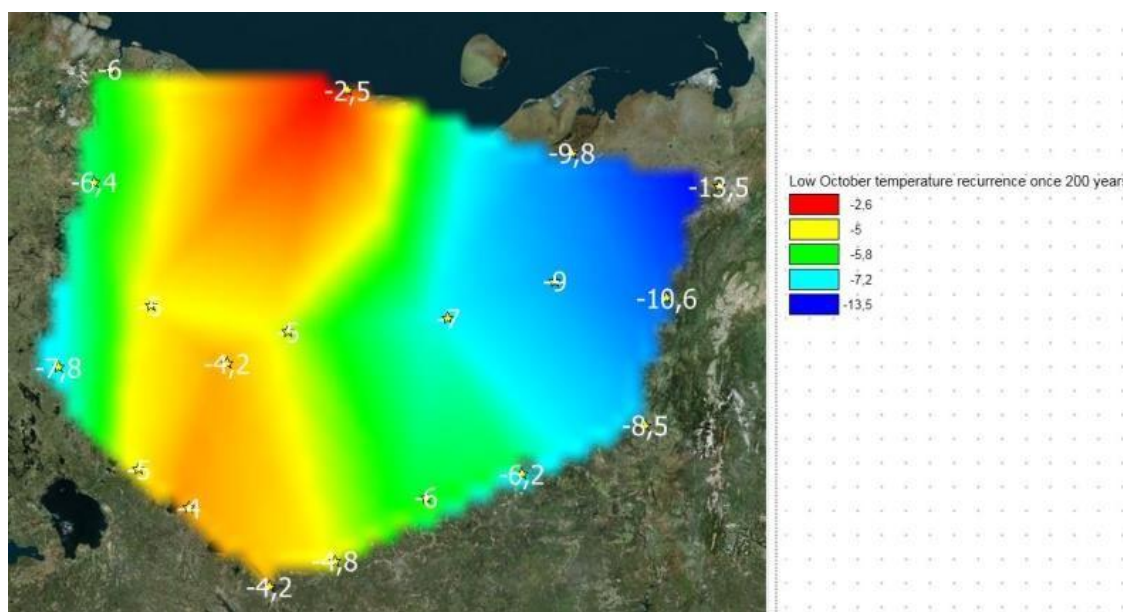


Рис3.12 . Повторяемость низких октябрьских температур 1 раз в 200 лет

Из рис. 3.12: самые низкие октябрьские температуры наблюдаются на метеорологических станциях Печора, Хоседа-Хард, температура опускается до $-11...-14^{\circ}\text{C}$. Самые высокие температуры на севере этого региона, на побережье Северного Ледовитого океана, температура составляет $-2,5^{\circ}\text{C}$. Температура колеблется по территории на 10°C . Отклонение от средней климатической нормы $8...10^{\circ}\text{C}$. Отличие от температуры с повторяемостью раз в 100 лет составляет $1...3^{\circ}\text{C}$.

4. Оценка современных климатических изменений

4.1 Теоретические положения

Структура временного ряда может быть представлена двумя основными типами моделей: стационарной и нестационарной. В стационарной модели главные характеристики временного ряда, среднее значение и дисперсия, постоянны или стационарны во времени. Обычно вычисляется среднее значение за длительный период наблюдений, которое является климатической нормой. Даже в условиях современного изменения климата считается, что колебания климатических характеристик являются квазистационарными для некоторых небольших отрезков временного ряда, например, для 30 лет, согласно рекомендациям ВМО (1961-1990 гг.).

Кроме случайных отклонений во временном ряду, могут быть нестационарные компоненты с большими временными масштабами, связанные факторами климатической системы.

Существует три основных типа нестационарных моделей:

- монотонные изменения в виде линейного тренда;
- циклические колебания;
- ступенчатые переходы из одного стационарного состояния в другое.

Все происходящие изменения в природе носят циклический характер, а тенденция является частью достаточно большого цикла процесса, который проявляется как ветвь подъема или спада в пределах рассматриваемого ограниченного временного интервала.

Если нестационарные составляющие являются реакцией климатической системы на внешние воздействия, то показатели этих воздействий могут быть двух основных типов: монотонные (тренд или циклические колебания) и ступенчатые изменения.

Модель линейного тренда характеризуется зависимостью

рассматриваемой климатической характеристики (Y) от времени (t):

$$Y(t)=b_1t+b_0 \quad (4.1)$$

, где b_1, b_0 - коэффициенты уравнения регрессии наименьших квадратов

$$b_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - Y_{cp})(t_i - t_{cp})}{\sum_{i=1}^n (t_i - t_{cp})^2} \quad (4.2)$$

$$b_0 = Y_{cp} - b_1 t_{cp} \quad (4.3)$$

, где Y_{cp} , t_{cp} - средние значения климатической характеристики и временного ряда

Статистическая значимость модели линейного тренда оценивается по статистической значимости коэффициента b_1 или коэффициента корреляции R, который рассчитывается по формуле(4.4):

Модель пошагового изменения похожа на две (или более) стационарные модели для двух (или более) частей временного ряда, которая характеризуется постоянным во времени средним значением и средним квадратическим отклонением для каждой части ряда(4.5, 4.6):

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - Y_{cp})(t_i - t_{cp})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - Y_{cp})^2 \sum_{i=1}^n (t_i - t_{cp})^2}} \quad (4.4)$$

$$Sr1(t1) = const1, \sigma1(t1) = const1 \quad (4.5)$$

$$Sr2(t2) = const2, \sigma2(t2) = const2 \quad (4.6)$$

, где $Sr1, \sigma1$ - среднее и среднее квадратическое отклонение первой части ряда при изменении $t1$;

$Sr2, \sigma2$ - среднее и среднее квадратическое отклонение первой части ряда при изменении $t2$;

n - объем ряда.

Стандартное отклонение остатков ступенчатой модели для одного

этап и двух стационарных интервалов определяется по формуле:

$$\sigma_{\text{сгуп}} = \sqrt{\frac{\sigma_1^2 * n_1 + \sigma_2^2 * n_2}{n_1 + n_2 - 1}} \quad (4.7)$$

, где

$\sigma_{\text{сгуп}}$ - стандартное отклонение остатков модели пошагового изменения;

σ_1, σ_2 - стандартные отклонения стационарных сегментов временного ряда;

n_1, n_2 - объемы стационарных сегментов

Для модели линейного тренда стандартное отклонение остатков рассчитывается по формуле:

$$\sigma_{\varepsilon} = \sigma_y * \sqrt{1 - R^2} \quad (4.8)$$

, где

σ_y - стандартное отклонение исходного ряда (модель стационарного среднего);

σ_{ε} - стандартное отклонение остатков относительно модели линейного тренда;

R - коэффициент корреляции уравнения линейного тренда.

Для количественной оценки различий между моделью тренда и моделью пошагового изменения и моделью стационарного среднего относительные ошибки рассчитываются по формулам:

$$d_{st} = \Delta_{\text{ступ}} = \frac{\sigma_y - \sigma_{\text{ступ}}}{\sigma_y} * 100\% \quad (4.9)$$

$$d_{tr} = \Delta_{tr} = \frac{\sigma_y - \sigma_{\varepsilon}}{\sigma_y} * 100\% \quad (4.10)$$

, где

d_{tr}, d_{st} - относительные ошибки или отличия (в %) модели тренда и модели ступенчатого изменения от модели стационарной выборки;

σ_y , σ_5 , $\sigma_{\text{ступ}}$ - стандартные отклонения остатков моделей случайной выборки, линейного тренда и пошаговых изменений, соответственно.

Алгоритм оценки эффективности и устойчивости параметров нестационарных моделей состоит в следующем:

- 1) модели переходного среднего аппроксимируют временной ряд за весь период наблюдения и предварительно оценивают их эффективность и год перехода от одних стационарных условий к другим;
- 2) год начала наблюдений постепенно смещается из прошлого в настоящее и оценивается стабильность показателей эффективности нестационарных моделей (R_{tr} , Δ_{tr} и Δ_{st}) и года перехода (Год) при различных начальных годах временного ряда;
- 3) если показатели модели нестационарного среднего эффективны, то какая из двух моделей оценивается лучше: линейный тренд или пошаговые изменения путем сравнения Δ_{tr} и Δ_{st} ;
- 4) на основе анализа устойчивости нестационарных показателей выбирается наиболее повторяющийся год перехода от одного стационарного состояния к другому (год) и временной ряд за этот год делится на две части;
- 5) статистическая значимость коэффициента корреляции (R_{tr}) оценивается с течением времени для каждой части временного ряда с целью оценки стационарности средних значений;
- 6) для количественной оценки влияния изменения климата рассчитывается разница между средними значениями и сравнивается со средним квадратичным отклонением всего ряда, что характеризует естественную климатическую изменчивость.

4.2 Оценка климатических изменений температуры января

Используя этот способ получены необходимые характеристики

стационарной и нестационарной моделей для многолетней среднемесячной температуры в холодный месяц (январь), теплый месяц (июль), переходные периоды (апрель и октябрь) на 19 метеостанциях.

В таблицах 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 можно видеть итоги вычислений по моделям временных рядов для января, июля, апреля, октября. Другим шрифтом и цветом выделены случаи нестационарных моделей при $\Delta > 10\%$ (где d_{tr} и d_{st} - относительные ошибки или отличия (в%) модели тренда и модели пошагового изменения от модели стационарной выборки), а также статистически значимые коэффициенты уравнений линейного тренда R .

В таблицах 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 также указаны: код - код станции, год - год перехода от одной стационарной части ряда к другой согласно модели пошагового изменения (выбранный вероятный год перехода выделен красным цветом); R_{tr} - коэффициент корреляции модели линейного тренда.

В таблице 4.1 показаны итоги вычислений по моделям временных рядов для января.

Табл.4.1

Эффективность нестационарных моделей для
долгосрочных рядов температуры января

Код		Весь период	1900	1920	1940	1960	1980	1990	2000
22113	d_{tr}	0.4		0.4	0.4	0.9	0.8	0.7	4.9
	d_{st}	2.7		2.7	2.6	4.0	5.5	3.7	9.4
	year	1939		1939	1992	1988	1991	2010	2010
	R_{tr}	-0.09		-0.09	0.09	0.13	0.13	-0.12	-0.31
22165	d_{tr}	0.0	0.0	0.3	0.2	1.9	1.3	0.1	0.3
	d_{st}	1.1	1.1	2.0	1.8	3.9	4.0	2.2	2.5
	year	2004	2004	1956	2004	1992	1992	2004	2010
	R_{tr}	0.01	0.01	-0.07	0.07	0.19	0.16	0.04	-0.07
22217	d_{tr}	0.0	0.0	0.4	0.4	1.8	2.3	0.2	2.4

	d st	1.2	1.2	2.4	2.4	4.6	6.9	2.0	5.6
	year	1923	1923	1940	1992	1988	1991	2010	2010
	R tr	-0.02	-0.02	-0.09	0.09	0.19	0.21	-0.06	-0.22
22522	d tr	0.1	0.1	0.0	1.1	3.6	7.5	4.9	0.0
	d st	1.7	2.1	2.4	4.2	6.7	10.9	0.0	0.9
	year	1992	1992	1992	1992	1992	1992	2010	2010
	R tr	0.03	0.04	0.02	0.15	0.27	0.38	0.31	0.02
22550	d tr	0.5	0.0	0.0	0.8	4.2	2.7	0.4	0.0
	d st	1.1	1.2	1.3	2.9	6.2	5.6	1.2	1.6
	year	1992	1993	1993	1992	1992	1992	2004	2010
	R tr	0.10	0.01	-0.01	0.13	0.29	0.23	0.09	-0.01
22583	d tr	0.0	0.0	0.3	0.3	3.5	1.8	0.4	0.0
	d st	1.4	1.4	2.4	2.0	5.5	4.5	3.0	1.6
	year	1963	1963	1963	1993	1993	1993	2004	2010
	R tr	-0.01	-0.01	-0.07	0.08	0.26	0.19	0.09	0.00
22602	d tr	0.6	0.6	0.4	2.5	3.3	2.3	0.0	0.6
	d st	3.4	3.4	3.3	5.4	6.6	5.1	1.1	0.3
	year	1988	1988	1988	1988	1988	1991	2009	2010
	R tr	0.11	0.11	0.09	0.22	0.25	0.21	-0.01	0.11
22641	d tr	0.6	0.4	0.2	1.9	5.1	4.2	0.8	0.1
	d st	2.2	2.2	2.2	4.1	7.2	6.1	1.2	1.6
	year	1989	1989	1989	1988	1988	1992	2005	2010
	R tr	0.11	0.09	0.07	0.20	0.31	0.29	0.13	0.03
22820	d tr	2.3	1.8	2.0	2.8	4.9	2.4	0.0	0.6
	d st	4.1	5.3	5.5	6.0	8.4	4.8	1.1	0.3
	year	1988	1988	1988	1988	1988	1991	2010	2010
	R tr	0.21	0.19	0.19	0.24	0.31	0.22	0.00	0.11
22837	d tr	0.9	0.7	1.1	3.9	6.1	2.8	0.3	0.1
	d st	3.4	3.4	3.9	6.0	8.7	4.0	0.5	1.5
	year	1988	1988	1988	1988	1988	1991	2005	2010
	R tr	0.13	0.12	0.15	0.28	0.34	0.24	0.08	0.04
22887	d tr	1.0	1.0	1.2	2.7	6.5	2.3	0.7	0.0
	d st	3.1	3.1	3.2	4.1	7.2	4.3	0.9	0.6
	year	1993	1993	1993	1993	1992	1993	2000	2010
	R tr	0.14	0.14	0.15	0.23	0.35	0.21	0.12	0.00
23205	d tr	0.3		0.3	0.0	1.5	0.2	0.0	3.3
	d st	2.4		2.4	1.5	2.8	1.5	1.6	0.0

	year	1963		1963	1963	1993	2004	2004	2010
	R tr	-0.08		-0.08	0.01	0.17	0.06	0.01	-0.26
23219	d tr	1.0	1.0	0.7	0.1	0.3	0.7	1.1	0.0
	d st	2.9	2.9	2.3	1.5	1.7	1.6	0.7	0.6
	year	1963	1963	1963	1963	1981	1997	2006	2010
	R tr	-0.14	-0.14	-0.14	-0.04	0.07	-0.1	-0.15	0.03
23405	d tr	0.1	0.0	0.4	0.4	2.5	0.7	0.2	0.0
	d st	1.0	0.8	2.4	1.6	3.9	2.5	2.1	1.1
	year	1920	1920	1939	2004	1993	1993	2004	2010
	R tr	0.04	0.02	-0.09	0.08	0.22	0.12	0.06	-0.01
23418	d tr	0.1		0.1	0.4	2.5	0.2	0.3	0.0
	d st	3.7		3.7	4.0	3.9	1.6	2.3	2.2
	year	1963		1963	1963	1975	2004	2004	2010
	R tr	-0.04		-0.04	0.04	0.22	0.06	0.08	-0.02
23711	d tr	0.8	0.7	0.0	0.7	3.9	0.5	0.2	0.1
	d st	1.5	1.6	1.2	1.8	5.4	2.2	1.2	2.5
	year	1930	1915	1963	1993	1975	1993	2004	2010
	R tr	0.13	0.12	0.01	0.12	0.28	0.10	0.06	-0.04
23804	d tr	0.7	1.1	0.2	2.1	6.3	2.0	0.5	0.3
	d st	2.1	2.9	2.4	4.2	8.0	4.9	1.1	1.3
	year	1993	1993	1993	1993	1993	1993	2000	2010
	R tr	0.12	0.15	0.07	0.20	0.35	0.20	0.10	0.08
27037	d tr	1.0	0.7	1.1	4.1	6.7	2.7	0.4	0.5
	d st	3.5	3.4	4.0	6.0	9.1	4.0	0.4	0.9
	year	1989	1989	1989	1989	1989	1992	2010	2010
	R tr	0.14	0.12	0.15	0.28	0.36	0.23	0.09	0.10
27051	d tr	1.5	1.0	0.9	3.6	6.8	2.6	0.5	0.3
	d st	3.3	3.2	3.3	5.3	8.6	4.2	0.3	1.1
	year	1989	1989	1989	1989	1989	1992	2005	2010
	R tr	0.17	0.14	0.13	0.27	0.36	0.23	0.10	0.08

При анализе таблицы выше: для января из 19 рядов наблюдений только 1 ряд с моделью пошагового изменения является неустойчивым. Статистически значимые коэффициенты корреляции у 12 рядов.

Можно сделать вывод, что показатели нестационарности (d tr, d st) не превышают 10%, за исключением станции 22522 (Кемь-порт), где при

рассмотрении ряда с 1980 года $d_{st} = 10,9\%$. При смещении начального года наблюдений с 1900 на 1960, на некоторых станциях до 1980 года показатели нестационарности увеличиваются, а это означает, что в последний период потепление более выражено. Также при рассмотрении рядов с начальным годом от 2000 года также наблюдается потепление.

На основании этих результатов можно сделать вывод, что показатели переходности в таблицах для модели ступенчатого изменения для января выше, чем для соответствующей модели линейного тренда, так как она имеет большее значение $\Delta(d_{st})$ и более правильно отражает изменения средних значений. Так, например, для станции 22820 (Петрозаводск) при рассмотрении ряда с начального 1980 года $\Delta(d_{st}) = 8,4\%$, что больше, чем $\Delta(d_{tr}) = 4,9\%$ за тот же период.

На рисунке 4.1 показано пространственное распределение потепления. Был взят период наблюдений за температурой воздуха с 1950 по 2021 год. Далее он был разделен на две части по годам, выделенным красным цветом для каждой станции в таблице 4.1.

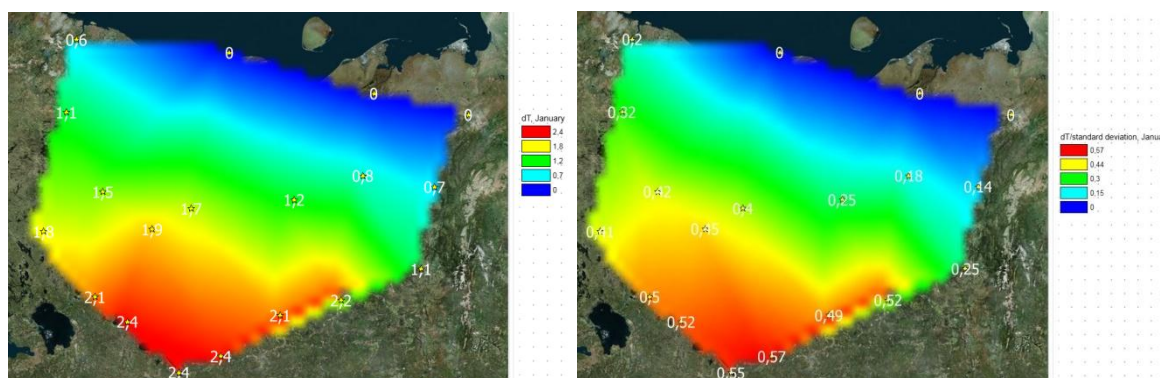


Рис.4.1 Пространственное распределение потепления, январь

На всех станциях наблюдается потепление, за исключением станций на северной границе области, где потепление отсутствует. Максимальный рост, равный $2,4^{\circ}\text{C}$, наблюдается на юге на станциях Вологда, Вытегра. Эта разница температур увеличивается с севера на юг, т.е. наблюдается зональный рост на севере европейской территории России.

Для самого длинного ряда наблюдений на станции Архангельск было проведено скользящее усреднение от начала наблюдений до 1960 года. Этот год является границей, после которой изменения климата стали в большей степени подвергаться влиянию антропогенного фактора. (рис. 4.2)

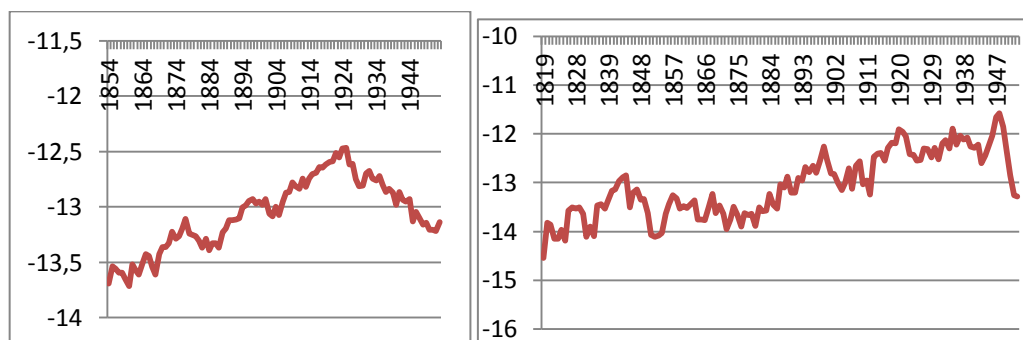


Рис. 4.2 Скользящее среднее значение для станции Архангельск за 80 лет и 24 года, январь

Из рисунка 4.2 следует, что с начала наблюдений до 1920 года наблюдается тенденция к повышению температуры, т.е. в этот период потепление на станции составило около 1,5°C. После 1920 года наблюдается снижение температуры.

4.3 Оценка климатических изменений июльских температур

В таблице 4.2 представлены итоги вычислений по моделям временных рядов для июля

Табл.4.2

Эффективность нестационарных моделей для
долгосрочных рядов июльских температур

Код		Весь период	1900	1920	1940	1960	1980	1990	2000
22113	d tr	0,1	0,1	0,1	2,2	0,7	6,5	6,0	0,1
	d st	2,0	2,0	2,0	3,7	3,2	9,2	7,9	0,9

	year	1999	1999	1999	1999	1999	1999	2000	2010
	R tr	0,04	0,04	0,05	0,21	0,12	0,36	0,34	0,04
22165	d tr	5,9	5,9	4,9	3,9	0,5	7,4	5,9	0,0
	d st	6,6	6,6	6,0	5,5	4,3	11,4	11,3	0,0
	year	1952	1952	1952	2000	2000	2000	2000	2011
	R tr	0,34	0,34	0,31	0,28	0,10	0,38	0,34	-0,02
22217	d tr	1,4	1,4	3,0	5,5	2,4	5,1	6,1	0,0
	d st	4,7	4,7	5,4	6,6	5,1	9,2	8,2	0,9
	year	1923	1923	1998	1998	1998	1998	2000	2010
	R tr	-0,17	-0,17	0,24	0,33	0,22	0,32	0,34	0,00
22522	d tr	0,0	0,8	0,0	1,0	0,1	12,2	4,9	1,9
	d st	2,7	1,7	1,5	1,8	3,4	1,0	0,0	1,4
	year	1878	1913	1944	1957	1976	1991	2000	2011
	R tr	0,00	0,12	0,01	0,14	0,04	0,48	0,83	-0,19
22550	d tr	0,3	2,0	0,9	2,3	1,1	3,7	2,3	1,5
	d st	2,3	3,8	3,6	5,1	5,1	10,0	6,2	0,9
	year	1998	1998	1998	1998	1998	1998	2000	2011
	R tr	0,08	0,20	0,14	0,21	0,15	0,27	0,21	-0,17
22583	d tr	3,8	3,8	3,4	4,8	1,5	3,6	1,6	2,5
	d st	5,2	5,2	5,1	6,1	5,4	9,0	6,8	1,2
	year	1998	1998	1998	1998	1998	1998	2000	2011
	R tr	0,27	0,27	0,26	0,31	0,17	0,26	0,18	-0,22
22602	d tr	0,1	0,1	0,3	2,5	1,4	3,0	3,4	1,2
	d st	3,3	3,3	3,7	5,6	4,9	8,0	7,4	0,4
	year	1997	1997	1997	1997	1997	1997	2000	2011
	R tr	0,03	0,03	0,08	0,22	0,16	0,24	0,26	-0,15
22641	d tr	2,6	2,6	1,5	2,8	1,4	3,2	2,0	4,2
	d st	4,6	4,5	4,3	5,7	5,6	10,4	8,2	2,3
	year	1998	1998	1998	1998	1998	1998	2000	2011
	R tr	0,23	0,23	0,17	0,24	0,17	0,25	0,20	-0,29
22820	d tr	0,0	2,1	2,1	4,5	4,4	3,3	2,6	3,6
	d st	4,5	7,0	7,0	8,5	8,7	8,8	9,3	2,9
	year	199	1997	1997	1997	1997	1997	2000	2011
	R tr	0,00	0,20	0,20	0,30	0,29	0,25	0,23	-0,27
22837	d tr	0,1	0,6	0,2	3,4	3,2	2,6	2,1	3,5
	d st	2,9	3,8	3,8	7,3	7,6	8,4	7,3	1,9
	year	1999	1999	1999	1997	1999	1997	2000	2011

	R tr	0,04	0,11	0,06	0,26	0,25	0,23	0,20	-0,26
22887	d tr	0,8	0,8	1,0	2,8	1,0	1,6	1,9	2,8
	d st	3,3	3,3	3,5	4,7	4,2	5,6	6,5	2,4
	year	1998	1998	1998	1998	1998	1998	2000	2011
	R tr	0,12	0,12	0,14	0,24	0,14	0,18	0,19	-0,24
23205	d tr	3,0	3,0	3,0	4,0	0,5	2,8	1,1	0,0
	d st	4,5	4,5	4,5	7,4	2,3	4,3	1,8	0,2
	year	1952	1952	1952	1998	1998	1998	2000	2010
	R tr	0,24	0,24	0,24	0,28	0,10	0,23	0,15	0,03
23219	d tr	3,8	3,8	3,8	3,9	0,1	0,4	0,0	1,4
	d st	6,9	6,9	6,9	8,3	1,2	1,6	1,1	0,0
	year	1952	1952	1952	1998	1998	1998	2004	2010
	R tr	0,27	0,27	0,27	0,27	0,05	0,08	-0,02	-0,17
23405	d tr	2,9	2,9	3,1	2,4	0,1	1,6	0,7	0,3
	d st	4,2	4,3	4,6	5,4	1,5	3,8	2,3	0,6
	year	1952	1952	1952	1951	1998	1998	2000	2011
	R tr	0,24	0,24	0,25	0,22	0,04	0,18	0,12	-0,08
23418	d tr	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	1,4	0,7	0,0
	d st	1,1	1,1	1,1	1,1	1,0	2,3	1,8	0,4
	year	1998	1998	1998	1998	2002	1998	2002	2010
	R tr	0,07	0,07	0,07	0,07	0,03	0,16	0,12	0,02
23711	d tr	0,8	1,4	2,1	2,6	0,1	1,3	0,9	0,3
	d st	2,2	2,5	3,2	5,2	1,8	3,4	2,2	0,5
	year	1998	1998	1952	1952	1998	1998	2000	2011
	R tr	0,13	0,16	0,20	0,23	0,04	0,16	0,13	-0,08
23804	d tr	2,3	2,3	3,0	3,4	0,8	2,5	1,8	0,9
	d st	3,4	3,9	4,2	4,7	3,7	5,7	5,0	0,9
	year	1998	1998	1998	1952	1998	1998	2000	2011
	R tr	0,21	0,22	0,24	0,26	0,12	0,22	0,19	-0,13
27037	d tr	0,8	2,5	2,3	3,7	3,1	3,2	2,2	4,0
	d st	2,0	3,1	5,8	8,0	8,4	9,6	7,9	2,0
	year	1998	1919	1999	1998	1999	1998	2000	2011
	R tr	0,12	0,22	0,22	0,27	0,25	0,25	0,21	-0,28
27051	d tr	0,1	1,6	2,0	6,7	3,9	4,4	3,0	2,5
	d st	4,1	5,4	6,1	9,6	8,8	10,3	8,6	1,1
	year	1999	1999	1999	1999	1999	1999	1999	2011
	R tr	0,05	0,18	0,20	0,36	0,28	0,29	0,24	-0,22

По данным Табл.4.2: для июля 4 ряда с моделью ступенчатого изменения и 1 ряд с моделью тренда являются неустойчивыми. Статистически значимые коэффициенты корреляции - для в 18 рядах.

Можно сделать вывод, что показатели переходности (d_{tr} или d_{st}) не превышают 10%, за исключением станции 22165(Канин Нос), 22522(Кемь-порт), 22550(Архангельск), 22641(Онега), 27051(Тотьма), где при рассмотрении ряда с 1980 года значение $\Delta(d_{st})$ превышает 10%. Кроме того, для станции 22165 при сдвиге начала наблюдений на период с началом в 1990 году показатель нестационарности (d_{st} или d_{tr}) составляет 11,3%. Это означает, что на станции наблюдается явное потепление и повышение температуры. При смещении начального года наблюдений с 1900 на 1940 показатели нестационарности увеличиваются, а это значит, что в последний период потепление выражено более значительно.

На основании полученных результатов можно сделать вывод, что показатели переходности в таблицах для модели ступенчатого изменения для июля выше, чем для соответствующей модели линейного тренда, так как она имеет большее значение $\Delta(d_{st})$ и более правильно отражает изменения средних значений. Так, например, для станции 22165 при рассмотрении ряда с начального 1980 года $\Delta(d_{st}) = 11,4\%$, что больше, чем $\Delta(d_{tr}) = 7,4\%$ за тот же период.

На рисунке 4.3 показано пространственное распределение потепления. Был взят период наблюдений за температурой воздуха с 1950 по 2021 год. Далее он был разделен на две части по годам, выделенным красным цветом для каждой станции в таблице.4.2.

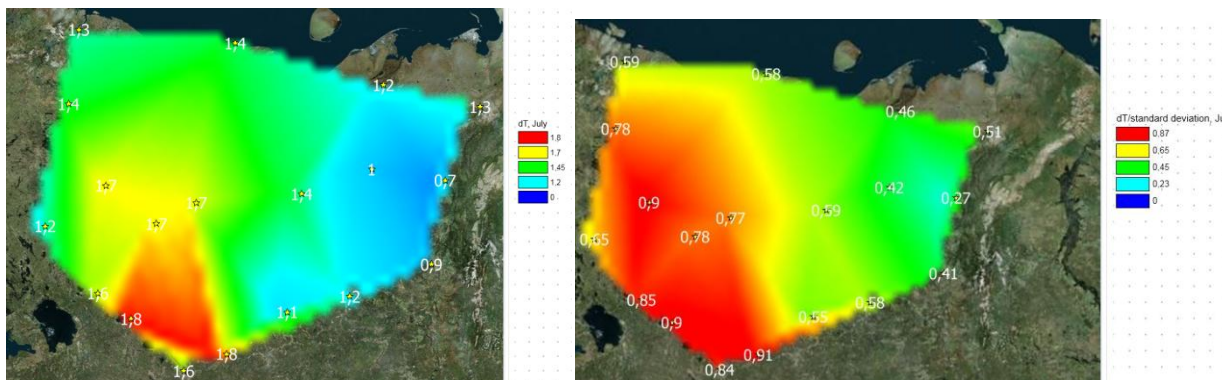


Рис.4.3. Пространственное распределение потепления, июль

На всех станциях наблюдается потепление около 1-2°C. Наибольшая разница в температурах двух рассматриваемых периодов наблюдается в южной части территории, 1,8°C на станциях Тотьма, Вытегра. Наименьшие температуры в восточной части региона.

Для самого длинного ряда наблюдений на станции Архангельск было проведено скользящее усреднение от начала наблюдений до 1960 года. Этот год является границей, после которой изменения климата стали в большей степени подвергаться влиянию антропогенного фактора. (рис. 4.4)

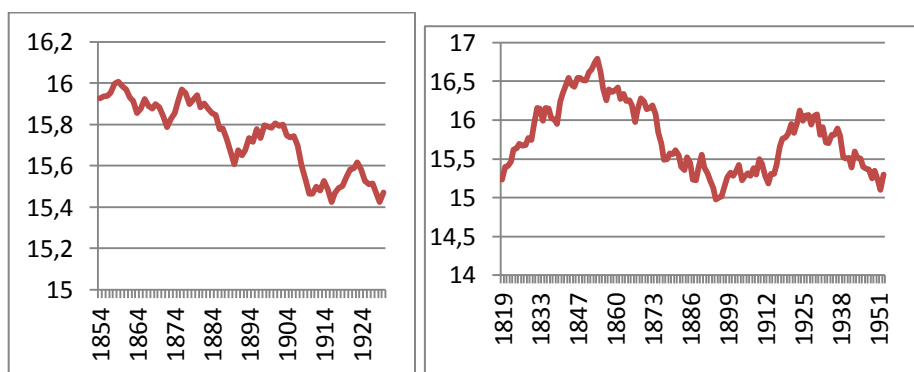


Рис.4.4 Скользящее среднее значение для станции за 80 лет и 24 года, июль

Из рисунка 4.4 следует, что при рассмотрении усреднения за 80 лет наблюдается тенденция к снижению температуры с небольшим ее повышением. При детальном рассмотрении усреднения за 24 года сделаны

выводы: от начала наблюдений до 1960 года наблюдается скачок температуры. Т.е. от начала наблюдений до 1860 года на станции наблюдалось потепление, которое составило почти 2°C. После 1860 года наблюдалось понижение температуры до 1890 года и составило 1,5°C. Затем наблюдалось повышение температуры на 1°C до 1930 года, после чего на станции наступило похолодание.

4.4 Оценка климатических изменений апрельских температур

В таблице 4.3 представлены итоги вычислений по моделям временных рядов для апреля.

Табл.4.3

Эффективность нестационарных моделей для долгосрочных рядов апрельских температур

Код		Весь	1900	1920	1940	1960	1980	1990	2000
22113	d tr	3,2	3,2	2,8	4,7	5,5	2,0	1,8	0,1
	d st	5,1	5,1	5,0	6,3	6,8	4,0	4,8	2,7
	year	1989	1989	1989	1989	1989	1999	2002	2010
	R tr	0,25	0,28	0,23	0,30	0,33	0,20	0,19	0,04
22165	d tr	3,3	3,3	3,0	3,9	8,7	14,6	7,8	4,5
	d st	7,9	7,9	7,9	9,3	12,2	15,5	11,0	9,5
	year	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2010
	R tr	0,25	0,25	0,24	0,28	0,41	0,52	0,39	0,30
22217	d tr	6,1		6,1	9,8	10,0	8,5	11,7	7,6
	d st	9,4		9,4	11,2	11,7	11,4	11,7	13,3
	year	1999		1999	1999	1999	1999	2000	2010
	R tr	0,34	0,34	0,34	0,43	0,44	0,40	0,47	0,38
22522	d tr	0,0	0,0	0,0	0,6	2,8	6,4	5,6	1,7
	d st	1,1	0,9	1,4	2,3	3,8	4,8	0,0	0,0
	year	1873	1993	1955	1993	1993	1993	2000	2010
	R tr	0,00	0,00	-0,01	0,11	0,24	0,35	0,33	0,18
22550	d tr	2,9	2,5	3,5	4,1	3,7	1,9	0,1	1,0

	d st	3,9	4,2	4,8	6,0	6,4	3,8	1,9	0,2
	year	1989	1989	1989	1989	1989	1999	2000	2010
	R tr	0,24	0,22	0,26	0,28	0,27	0,19	0,04	-0,14
22583	d tr	1,1	1,1	1,5	2,0	4,0	4,3	1,3	2,0
	d st	2,8	2,8	3,0	3,7	5,1	5,6	4,3	8,3
	year	2010	1999	2010	2010	1989	2010	2010	2010
	R tr	0,15	0,15	0,17	0,20	0,28	0,29	0,16	0,20
22602	d tr	3,0	3,0	3,7	5,6	7,8	4,9	4,4	0,1
	d st	9,3	9,3	9,5	10,3	12,9	10,6	8,8	0,2
	year	1999	1999	1999	1999	1999	1999	2000	2010
	R tr	0,24	0,24	0,27	0,33	0,39	0,31	0,29	-0,05
22641	d tr	2,3	1,7	2,7	3,7	3,9	2,0	0,2	1,8
	d st	4,2	3,9	4,5	5,8	6,8	5,4	2,3	0,5
	year	1999	1999	1999	1999	1999	1999	2000	2011
	R tr	0,21	0,18	0,23	0,27	0,28	0,20	0,06	-0,19
22820	d tr	3,3		3,9	4,2	6,3	0,9	0,2	0,7
	d st	6,2		6,6	6,7	8,1	3,7	1,6	0,3
	year	1982		1999	1999	1982	1999	2000	2010
	R tr	0,25		0,27	0,29	0,35	0,14	0,06	-0,12
22837	d tr	1,8	1,3	4,2	6,1	4,6	0,7	0,0	5,2
	d st	4,2	4,2	5,9	7,2	6,9	4,2	1,8	1,6
	year	1999	1999	1989	1989	1999	1999	2000	2011
	R tr	0,19	0,16	0,29	0,34	0,30	0,12	-0,02	-0,32
22887	d tr	2,8	2,8	2,9	4,0	2,0	0,9	0,0	2,5
	d st	4,0	4,0	4,0	4,3	3,9	3,5	1,2	0,7
	year	1999	1999	1999	1999	1999	1999	2000	2011
	R tr	0,23	0,23	0,24	0,28	0,20	0,13	0,00	-0,22
23205	d tr	2,0		2,0	1,5	6,9	12,2	4,3	5,8
	d st	6,0		6,0	6,3	9,2	12,2	9,2	16,6
	year	2010		2010	2010	2010	2010	2010	2010
	R tr	0,20		0,20	0,17	0,36	0,48	0,29	0,33
23219	d tr	1,9	1,9	1,9	0,2	2,8	7,2	2,0	7,5
	d st	4,6	4,6	4,6	2,6	4,6	7,6	2,3	0,0
	year	1942	1942	1942	2000	1990	1990	2005	2010
	R tr	-0,19	-0,19	-0,19	0,07	0,24	0,37	0,20	0,38
23405	d tr	0,5	0,3	1,1	1,6	5,2	8,8	3,4	5,7
	d st	3,6	3,6	4,6	5,4	7,3	9,1	7,4	12,0

	year	2010	2010	2010	2010	2010	2010	2010	2010
	R tr	0,10	0,07	0,15	0,18	0,32	0,41	0,26	0,33
23418	d tr	0,3		0,3	0,5	2,3	4,2	2,1	5,0
	d st	4,0		4,0	4,5	5,8	7,8	7,0	14,3
	year	2010		2010	2010	2010	2010	2010	2010
	R tr	0,07	0,07	0,07	0,07	0,21	0,29	0,20	0,31
23711	d tr	1,4	0,2	0,6	0,6	2,4	3,1	0,8	1,3
	d st	2,9	2,5	2,9	3,3	4,7	5,6	4,3	7,6
	year	1903	2010	2010	2010	2010	2010	2010	2010
	R tr	0,17	0,07	0,11	0,11	0,22	0,25	0,13	0,16
23804	d tr	3,3	0,4	1,3	1,5	0,8	0,6	0,0	0,0
	d st	3,9	1,2	1,8	2,1	1,6	1,7	1,3	2,0
	year	1903	1990	1983	1950	1999	2010	2010	2010
	R tr	0,25	0,09	0,16	0,17	0,13	0,11	0,02	-0,02
27037	d tr	2,5	2,2	3,8	7,4	4,6	0,8	0,4	3,2
	d st	4,9	4,7	5,8	8,3	7,2	3,3	2,1	1,0
	year	1989	1989	1989	1989	1989	1999	2003	2011
	R tr	0,22	0,21	0,27	0,38	0,30	0,13	-0,09	-0,25
27051	d tr	0,4	0,1	1,6	4,7	3,1	0,4	0,3	2,0
	d st	2,1	2,3	3,2	5,2	4,5	2,2	2,1	0,6
	year	1989	1923	1989	1989	1989	1999	2002	2011
	R tr	0,09	0,05	0,18	0,30	0,25	0,09	-0,08	-0,20

По данным таблицы, для апреля 6 рядов с моделью пошагового изменения и 3 ряда с моделью изменения тренда являются нестационарными. Коэффициенты корреляции значимы для 18 рядов.

Исходя из данных таблицы, показатели переходности (d tr или d st) не превышают 10%, за исключением станций 22165(Канин Нос), 22217(Кандалакша), 22602(Реболы), 23205(Нарьян-Мар), 23405(Усть-Цильма), 23418(Печора). Для станции 22165, при рассмотрении рядов с начальными годами 1960,1980,1990, значение Δ (d st) превышает 10%, кроме того, для этой станции, при сдвиге начала наблюдений на период с началом в 1980 году, показатель неустойчивого линейного тренда d tr превышает 10%. Это означает, что на станциях наблюдалось явное потепление. Для станций

22217 и 22602, при рассмотрении рядов с начальными годами 1940,1960,1980, (и только для первой станции) 1990,2000, значение $\Delta (d\ st)$ превышает 10%. Также для станции 22217, при смещении начала наблюдений на период с началом в 1960 и 1990 годах, показатель нестационарного линейного тренда $d\ tr$ превышает 10%. Это означает, что на этих станциях наблюдался явный рост температуры. Для станции 23405 и 23418, при рассмотрении рядов с начальными годами 2000 года, значение $\Delta (d\ st)$ превышает 10%. Для станции 23205, при сдвиге начала наблюдений на период с началом 1980 года, значения переходности линейного тренда и ступенчатых изменений превышают 10%. А с 2000 года только $d\ st$ превышает 10%. Т.е. потепление на станции наблюдается с 1980 года.

Для большинства других рядов при смещении начального года наблюдений с 1900 на 1940 (1960 для части станций) показатели переходности увеличиваются, что означает, что в последний период потепление более значительное. При рассмотрении ряда с начальным 2000 годом линейный тренд оказывает большее влияние, так как $d\ tr$ больше $d\ st$.

Показатели переходности в таблицах для модели ступенчатых изменений для апреля выше, чем для соответствующей модели линейного тренда, поскольку она имеет большее значение $\Delta (d\ st)$ и более правильно отражает изменения средних значений.

На рисунке 4.5 показано пространственное распределение потепления. Был взят период наблюдений за температурой воздуха с 1950 по 2021 год. Далее он был разделен на две части по годам, выделенным красным цветом для каждой станции в таблице 4.3.

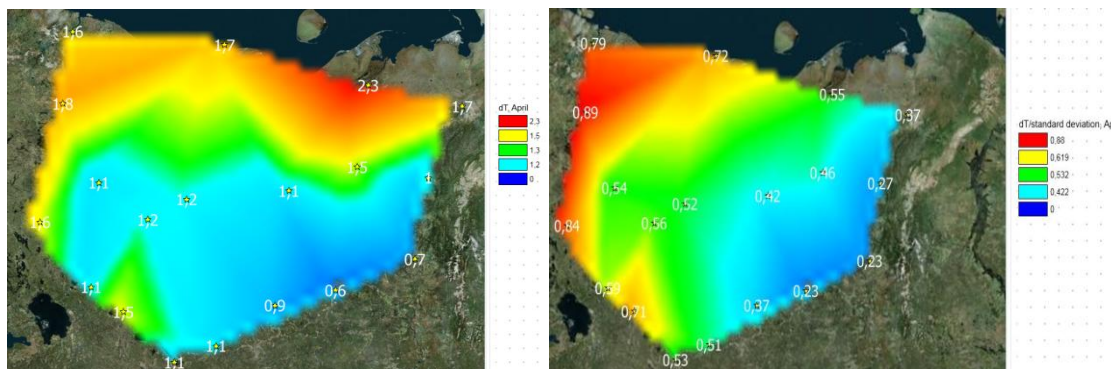


Рис. 4.5 Пространственное распределение потепления, апрель

На всех станциях наблюдается потепление около 1-2 °С. Наибольшая разница температур двух рассматриваемых периодов наблюдается в северо-северо-восточной части территории, например, 2,3°С на станции Нарьян-Мар, наименьшая на юго-востоке, станция Сыктывкар 0,6°С.

Для самого длинного ряда наблюдений на станции Архангельск было проведено скользящее усреднение от начала наблюдений до 1960 года. Этот год является границей, после которой изменения климата стали в большей степени подвергаться влиянию антропогенного фактора. (Рисунок 4.6)

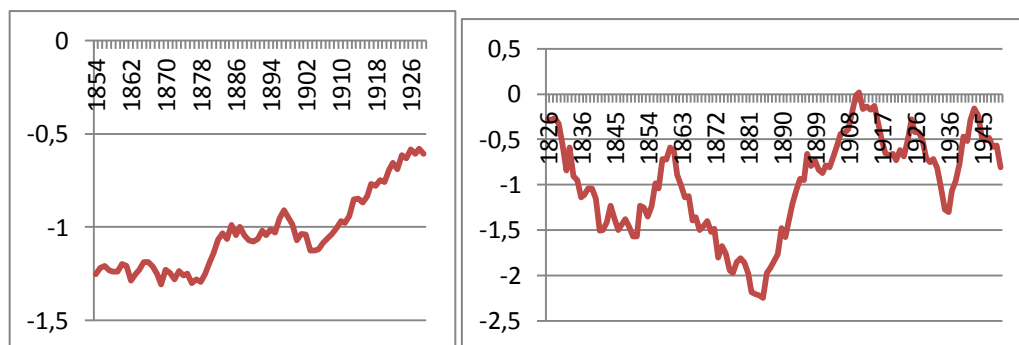


Рис.4.6 Скользящее среднее для 80 лет и 24 лет, апрель

Из рисунка 4.6 следует, что при рассмотрении усреднения за 80 лет наблюдалась общая тенденция потепления с небольшим снижением в начале 1900 года. При рассмотрении усреднения за 24 года были сделаны следующие выводы: от начала наблюдений до 1960 года наблюдается скачок температуры. Т.е. от начала наблюдений до 1850 года на станции

наблюдалось похолодание, которое составило около 1,5°C. После 1850 года наблюдалось незначительное повышение температуры до 1860 года, которое составило 1°C. Затем наблюдалось понижение температуры на 2°C до 1880 года, после чего на станции произошло потепление на 2,5°C. Которое сменилось периодом колебаний температуры в течение восьми лет. К 1960 году наступило похолодание.

4.5 Оценка климатических изменений температуры октября

В таблице 4.4 показаны итоги вычислений по моделям временных рядов для октября

Табл.4.4

Эффективность нестационарных моделей для долгосрочных рядов октябрьских температур

Код		Весь	1900	1920	1940	1960	1980	1990	2000
22113	d tr	1,8		1,7	1,5	3,4	1,0	3,0	0,4
	d st	3,5		3,4	3,6	4,9	3,3	4,7	0,1
	year	1999		1999	1999	1996	1999	2000	2010
	R tr	0,19		0,18	0,17	0,26	0,14	0,24	-0,09
22165	d tr	2,5		2,4	2,6	4,7	2,0	3,2	0,1
	d st	5,8		5,8	6,1	7,6	5,2	5,4	0,0
	year	1999		1999	1999	1999	1999	2003	2010
	R tr	0,22		0,22	0,23	0,30	0,20	0,25	-0,04
22217	d tr	2,3		1,8	2,0	2,3	1,2	4,6	0,1
	d st	3,6		3,6	3,9	4,2	3,3	5,4	0,3
	year	1995		1995	1995	1995	1999	2000	2010
	R tr	0,21		0,19	0,20	0,21	0,15	0,30	-0,05
22522	d tr	3,1	3,7	2,9	1,6	2,3	2,9	1,2	0,1
	d st	3,5	3,8	3,1	2,8	3,6	0,7	0,1	0,0
	year	1929	1929	1981	1981	1981	1990	2000	2010
	R tr	0,25	0,27	0,24	0,18	0,21	0,24	0,27	0,10

22550	d tr	0,9	2,8	2,6	2,4	3,3	1,3	2,2	0,1
	d st	3,0	4,2	4,8	4,9	5,7	3,4	3,0	0,4
	year	1994	1994	1994	1994	1994	1994	2003	2010
	R tr	0,13	0,24	0,23	0,22	0,26	0,16	0,21	-0,04
22583	d tr	2,7		2,4	2,4	4,7	2,0	3,2	0,0
	d st	5,2		5,2	5,5	7,2	4,3	4,0	0,3
	year	1994		1994	1994	1994	1999	2003	2010
	R tr	0,13		0,22	0,22	0,30	0,20	0,25	0,00
22602	d tr	1,0		1,0	2,0	1,8	0,2	2,7	0,1
	d st	3,0		3,1	3,8	3,7	1,7	2,6	0,0
	year	1994		1994	1994	1994	1995	2005	2010
	R tr	0,14		0,15	0,20	0,19	0,07	0,23	0,04
22641	d tr	4,4	4,6	4,0	3,9	4,0	2,2	3,5	0,0
	d st	5,2	5,3	5,8	6,0	6,1	4,5	4,5	0,0
	year	1994	1994	1994	1994	1998	1998	2003	2010
	R tr	0,29	0,30	0,28	0,28	0,28	0,21	0,26	0,01
22820	d tr	8,5		1,7	1,9	1,3	0,0	1,2	0,0
	d st	9,3		3,5	3,7	3,4	0,8	2,2	0,1
	year	1839		1980	1980	1980	2005	2005	2010
	R tr	0,18		0,18	0,20	0,16	0,01	0,16	0,01
22837	d tr	2,0	3,3	2,7	3,1	1,2	0,0	0,2	0,0
	d st	3,3	4,2	4,1	4,6	3,4	0,7	0,8	0,6
	year	1980	1980	1980	1980	1980	1994	2003	2010
	R tr	0,20	0,25	0,23	0,25	0,16	0,00	0,07	-0,02
22887	d tr	1,2		1,4	2,7	3,4	0,8	0,9	0,1
	d st	4,2		4,5	5,3	5,9	3,2	1,5	0,7
	year	1994		1994	1994	1994	1994	2003	2010
	R tr	0,15		0,17	0,23	0,26	0,13	0,14	-0,04
23205	d tr	0,7		0,7	1,5	5,8	1,8	4,6	0,2
	d st	4,2		4,2	5,0	7,4	4,4	7,6	0,6
	year	1999		1999	1999	1999	1999	2003	2010
	R tr	0,12		0,12	0,17	0,34	0,19	0,30	-0,07
23219	d tr	0,3		0,3	1,7	5,3	0,1	1,4	3,3
	d st	3,1		3,1	4,8	9,0	1,9	3,3	0,0
	year	1980		1980	1980	1980	1999	2000	2010
	R tr	0,08		0,08	0,18	0,32	0,05	0,16	-0,26
23405	d tr	1,9	2,2	1,7	3,0	6,5	1,9	5,2	0,0

	d st	4,4	4,7	5,2	6,3	8,3	4,5	7,6	0,2
	year	1994	1994	1994	1994	1994	2003	2003	2010
	R tr	0,19	0,21	0,19	0,24	0,35	0,20	0,32	0,00
23418	d tr	1,9		1,9	3,1	6,7	0,8	2,0	0,2
	d st	5,1		5,1	6,3	10,3	2,6	4,2	0,4
	year	1980		1980	1980	1980	2003	2003	2010
	R tr	0,19		0,19	0,19	0,36	0,13	0,20	-0,06
23711	d tr	2,2	2,1	1,0	2,1	5,7	0,9	1,6	0,1
	d st	3,6	3,9	3,9	5,1	7,8	3,0	3,5	0,5
	year	1994	1994	1994	1994	1980	1994	2003	2010
	R tr	0,21	0,20	0,14	0,20	0,33	0,14	0,18	-0,04
23804	d tr	1,7	2,6	2,2	4,2	4,8	1,0	1,6	0,1
	d st	3,6	4,3	4,8	6,3	6,5	2,9	2,6	0,1
	year	1994	1994	1994	1994	1994	1994	2003	2010
	R tr	0,19	0,23	0,21	0,29	0,31	0,14	0,18	0,05
27037	d tr	1,9	2,8	3,7	4,5	3,0	1,5	2,1	0,9
	d st	3,3	3,8	4,4	5,1	4,4	2,9	3,3	0,0
	year	1994	1994	1994	1994	1994	2003	2003	2010
	R tr	0,19	0,24	0,27	0,30	0,24	0,17	0,21	0,13
27051	d tr	1,9	2,6	2,9	4,4	3,3	1,2	1,1	0,0
	d st	3,5	3,9	4,6	5,8	5,4	3,2	1,7	1,0
	year	1994	1994	1994	1994	1994	1998	2003	2010
	R tr	0,20	0,23	0,24	0,29	0,25	0,15	0,15	0,01

Из Табл.4.4: для октября 1 ряд с моделью пошагового изменения является нестационарным, коэффициенты корреляции значимы для 17 рядов.

Показатели нестационарности (d tr, d st) не превышают 10%, за исключением станции 23418 (Печора), где при рассмотрении ряда с 1960 года d st = 10,3%. При смещении начального года наблюдений с 1900 на 1960, на некоторых станциях до 1980 года показатели нестационарности увеличиваются, следовательно, в последний период потепление более выражено.

Показатели переходности в таблицах для модели ступенчатых изменений для октября выше, чем для соответствующей модели линейного

тренда, так как она имеет большее значение $\Delta (d_{st})$ и более правильно отражает изменения средних значений. Так, например, для станции 22165 (Канин Нос) при рассмотрении ряда от начального 1960 года $\Delta (d_{st}) = 7,6\%$, что больше, чем $\Delta (d_{tr}) = 4,7\%$ за тот же период.

На рисунке 4.7 показано пространственное распределение потепления. Был взят период наблюдений за температурой воздуха с 1950 по 2021 год. Далее он был разделен на две части по годам, выделенным красным цветом для каждой станции в таблице 4.4.

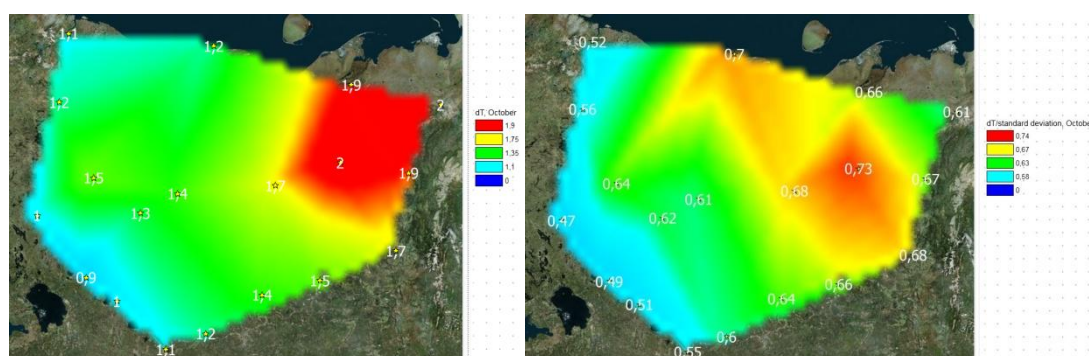


Рис.4.7 Пространственное распределение потепления, октябрь

На всех станциях наблюдается потепление около 1-2 °C. Наибольшая разница в температурах двух рассматриваемых периодов наблюдается в северо-северо-восточной части территории, например, 2 °C на станциях Хоседа-Хард, Усть-Цильма, наименьшая на западе, на станции Петрозаводск потепление составляет 0,9°C.

Для самого длинного ряда наблюдений на станции Архангельск было проведено скользящее усреднение от начала наблюдений до 1960 года. Этот год является границей, после которой изменения климата стали в большей степени подвергаться влиянию антропогенного фактора. (Рис.4.8)

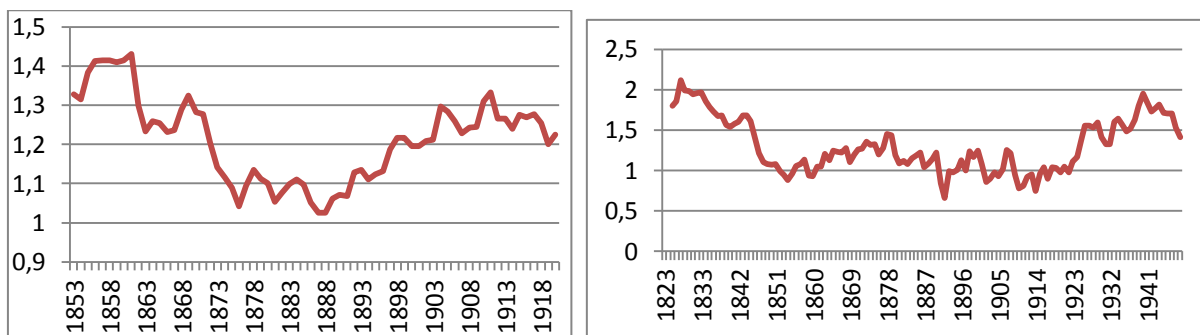


Рис.4.8 Скользящее среднее для 80 лет и 24 лет, октябрь

Из рисунка 4.8 следует, что при рассмотрении осреднения за 80 лет наблюдалась тенденция к незначительному понижению температуры до 1890 года, изменение на $0,4^{\circ}\text{C}$, затем началась тенденция к потеплению. При рассмотрении усреднения за 24 года были сделаны следующие выводы: с начала наблюдений до 1850 года на станции наблюдалось похолодание, которое составило около 1°C . После 1850 года до 1910 года наблюдались незначительные колебания температуры на $0,5^{\circ}\text{C}$. Затем наблюдалось повышение на 1°C до 1940 года, а затем наметилась тенденция к понижению.

Заключение

Таким образом, проведен анализ и оценка современных климатических изменений температуры воздуха на Европейском Севере России. Ниже представлены краткие выводы, сделанные в результате данного изучения.

- 1) Создана территориальная база данных(БД) многолетних рядов наблюдений за температурой воздуха, состоящая из 19 метеорологических станций с конца 19 века по 2021 год включительно. Расположение выбранных метеостанций позволяет описать наблюдениями всю рассматриваемую территорию.
- 2) Проведен анализ однородности эмпирических распределений и стационарности вариаций и средних значений, что позволило

сформулировать предварительный вывод о практической однородности и стационарности рассматриваемого ряда для всего длинного ряда наблюдений за температурами января, июля, апреля, октября.

3) В ходе этого анализа для января неоднородные минимальные экстремумы были обнаружены на станциях Вытегра, Вологда, Мурманск, Кандалакша, Реболы и Онега, общий год неоднородности 1985. В течение этого года на нескольких станциях наблюдались низкие температуры до -25°C .

4) Для июля было выявлено, что все экстремумы для 19 станций однородны.

5) Для апреля получено, что минимальные экстремумы неоднородны для 3 станций: Вытегра, Архангельск, Мурманск; общий год проявления неоднородности - 1929. В течение этого года отрицательная температура $-5\ldots-9$ наблюдалась на нескольких станциях, что указывает на то, что это не ошибка измерения.

6) Для октября минимальные экстремумы неоднородны для 3 станций: Печора, Нарьян-Мар, Кандалакша.

7) Для получения достоверных результатов по оценке среднемесячной многолетней температуры, температуры редкой повторяемости раз в 100 и 200 лет были восстановлены пропуски и приведены короткие ряды данных за многолетний период. Это позволило увеличить продолжительность температурных рядов примерно на 30% и получить пространственные распределения средних многолетних температур и расчетных температур редкой повторяемости.

8) Самые высокие средние температуры января наблюдаются на северном побережье, на станции Канин Нос температура составляет $\approx -9^{\circ}\text{C}$. Самые низкие температуры в глубине материка в восточной части, где температура опускается до -20°C , например, на станциях Печора, Нарьян-Мар. Температуры с повторяемостью раз в 100 и 200 лет понижаются с северо-запада на восток. Самые высокие температуры - на северном побережье, на станции Канин Нос -22°C и -27°C . Низкие - в глубине материка в восточной части, где температура опускается до -42°C и -50°C соответственно.

9) В июле наблюдается зональное повышение температуры. Самые низкие - на северном побережье, например, Канин Нос, $+8,7^{\circ}\text{C}$. Самые высокие - на юге, где температуры достигают, $+17^{\circ}\text{C}$ в Вологде. Для температур с повторяемостью один раз в 100 и 200 лет, низкие температуры также наблюдаются на северном побережье и равны 14°C и 16°C , соответственно. Высокие температуры на юге, где температура достигает 24°C и 26°C .

10) В апреле температура повышается с севера на юг. Самые низкие значения на северо-востоке, на метеостанции Хоседа-Хард, температура составляет $\approx -9^{\circ}\text{C}$. Самые высокие на юге, на станции Вологда, температура достигает $+2,7^{\circ}\text{C}$. Температуры с повторяемостью раз в 100 и 200 лет понижаются с юга на северо-восток. Низкие температуры наблюдаются на метеостанциях Нарьян-Мар, Хоседа-Хард, температура опускается до -19°C , -22°C . Самые высокие температуры в глубине материка на юге региона, температура составляет -3 , -5°C .

11) В октябре температура понижается с северо-востока на юго-запад. Самые низкие средние температуры октября наблюдаются на метеостанции Хоседа-Хард, температура составляет $-3,2^{\circ}\text{C}$. Самые высокие температуры во внутренних районах материка на юго-западе, где температура достигает $+3,4^{\circ}\text{C}$, станция Вытегра, Петрозаводск. Редкие повторяемости температур изменяются неравномерно. Низкие температуры октября наблюдаются в восточной части на метеостанциях Печора, Хоседа-Хард, температура опускается до $-11...-14^{\circ}\text{C}$. Самые высокие температуры на севере, на побережье Северного Ледовитого океана.

12) Оценка современных климатических изменений температуры воздуха позволила установить, что для большинства станций при смещении начального года наблюдений с 1900 на 1980 показатели нестационарности возрастают, а это означает, что в последние периоды потепление более значительное. Установлено, что большинство изменений происходит после 1960 года.

13) Построено пространственное распределение температуры января,

наблюдается зональное повышение температуры с севера на юг. На севере потепления не наблюдается. Максимальный рост, равный $2,4^{\circ}\text{C}$, наблюдается на станции Вологда.

14) При анализе пространственного распределения июльских температур видно, что потепление наблюдается на всех станциях. Наибольшее повышение температуры наблюдается в южной части, $1,8^{\circ}\text{C}$ на станциях Тотьма, Вытегра. Наименьшее - в восточной части на станции Печора $0,7^{\circ}\text{C}$.

15) Из пространственного распределения температур апреля следует, что потепление наблюдается на всех станциях. Наибольший рост наблюдается в северо-северо-восточной части территории, $2,3^{\circ}\text{C}$ на станции Нарьян-Мар, наименьший - на юго-востоке, станция Сыктывкар $0,6^{\circ}\text{C}$.

16) При рассмотрении пространственного распределения октябрьских температур был сделан вывод. На всех станциях наблюдается потепление. Наибольшее повышение температуры наблюдается в северо-северо-восточной части, на 2°C на станциях Хоседа-Хард, Усть-Цильма, наименьшее на юго-западе, на станции Петрозаводск потепление составило $0,9^{\circ}\text{C}$.

17) Для января: нестационарным является 1 ряд с моделью ступенчатых изменений, станция Кемь-Порт, где при рассмотрении ряда с 1980 года $d\ st = 10.9\%$.

18) Для июля нестационарными при $\Delta > 10\%$ являются 4 ряда с моделью ступенчатых изменений и 1 ряд с моделью трендовых изменений. На станциях Канин Нос, Кемь-порт, Архангельск, Онега, Тотьма при рассмотрении рядов с 1980 года значение $\Delta(d\ st)$ превышает 10% .

19) Для апреля: нестационарными при $\Delta > 10\%$ являются 6 рядов с моделью ступенчатых изменений и 3 ряда с моделью трендовых изменений. Так, например для станций Печора и Нарьян-Мар при рассмотрении рядов с начальными годами 2000 года значения $\Delta(d\ st)$ равны 12% и $14,3\%$, т.е. на станциях наблюдалось потепление.

20) Для октября: нестационарным является 1 ряд с моделью ступенчатых изменений. На станции Печора при рассмотрении ряда с 1960 года показатель d_{st} равен 10.3%.

Список используемых источников

1. Лобанов В.А., Методические указания «Оценка современных региональных изменений климатических характеристик». – СПб.: Изд. РГГМУ, 2018. – 91 с.
2. Лобанов В.А., Смирнов И.А., Шадурский А.Е.. Практикум по климатологии. Часть I. Учебное пособие. - СПб.: РГГМУ, 2011. - 145 с.
3. Лобанов В.А., Смирнов И.А., Шадурский А.Е. Практикум по климатологии. Часть 2. Учебное пособие. – СПб.: изд. РГГМУ, 2012 – 180 с
4. «Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change», IPCC.– Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2013 – 1535 с.
5. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Росгидромет - Москва.: ГУ ВНИИГМИ-МЦД, 2008 - 1400с
6. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации - Москва.: ГУ ВНИИГМИ-МЦД, 2018 - 1400с
7. Груза Г.В., Ранькова Э.Я. Колебания и изменения климата на территории России // Известия РАН Физика атмосферы и океана. 2003. – Т. 39. N 2. – с. 166-187.
8. Груза Г.В., Ранькова Э.Я. Наблюдаемые и ожидаемые изменения климата России: температура воздуха. Обнинск: ФГБУ ВНИИГМИ-МЦД, 2012.-194с

9. Под ред. Н. В. Кобышевой Климат России. - СПб. : Гидрометеиздат, 2001. - 654с
10. Дроздов О.А, Васильев В.А., Кобышева Н.В., Раевский А.Н., Смекалова Л.К., Школьный Е.П. Климатология.- Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 568с.
11. Рубинштейн Е.С., Полозова Л.Г. Современное изменение климата.- Л.:Гидрометеиздат, 1966. -200 с.
12. Бардин М.Ю. Изменчивость температуры воздуха над западными территориями России и сопредельными странами в XX веке - Метеорология и гидрология, 2002. № 8. С. 5-23.
13. Анисимов О.А., Белолуцкая М.А., Лобанов В.А. Современные изменения климата в области высоких широт Северного полушария - Метеорология и гидрология. - 2003. - N 1. - С.18-30.
14. Российский сайт «Погода и климат» <http://www.pogodaiklimat.ru>
15. Сайт Королевского метеорологического института Нидерландов <http://climexp.knmi.nl>
16. Сайт по географии <http://geography-ege.ru/>
17. MapInfo Professional. Руководство пользователя (полное). – MapInfo Corporation, Troy, New York, 2003. – 726 с.
18. Интернет-энциклопедия "Википедия"