



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
(магистерская диссертация)

На тему «Изменение климатических характеристик в западном секторе
российской Арктики»

Исполнитель Смирнов Илья Валерьевич
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель доктор технических наук, профессор
(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)

Сернухова Ольга Станиславовна

(фамилия, имя, отчество)

« 15 » февраля 2021 г. (дата антиплагиата)

Санкт-Петербург

2021

Оглавление

Оглавление	4
Введение	3
Глава 1. Физико-географическое описание исследуемого региона	5
1.1 Территория западного сектора Российской Арктики.....	5
1.2 Климат региона	7
1.3 Рельеф региона.....	11
Глава 2. Методика оценки изменения климатических характеристик.....	14
2.1 Источники данных для исследования.....	14
2.2 Методика оценки изменения климата западного сектора российской Арктики.....	18
Глава 3. Оценка изменений температур воздуха в январе	27
3.1 Результаты моделирования временных рядов в пунктах наблюдений	27
3.2 Пространственное обобщение показателей нестационарности	30
Глава 4. Оценка изменений температур воздуха в апреле	35
4.1 Результаты моделирования временных рядов в пунктах наблюдений за апрель	35
4.2 Пространственное обобщение показателей нестационарности	38
Глава 5. Оценка изменений температур воздуха в июле	43
5.1 Результаты моделирования временных рядов в пунктах наблюдений за июль	43
5.2 Пространственное обобщение показателей стационарности	45
Глава 6. Оценка изменений температур воздуха в октябре	51
6.1 Результаты моделирования временных рядов в пунктах наблюдений за октябрь.....	51
6.2 Пространственное обобщение показателей стационарности	54
Глава 7. Оценка изменений температур воздуха за среднегодовые значения	59
7.1 Результаты моделирования временных рядов в пунктах наблюдений	59
7.2 Пространственное обобщение показателей нестационарности	62
Заключение.....	66
Литература	68

Введение

Изменение климата – одна из самых важнейших глобальных проблем и особенно этот вопрос актуален для арктического региона

Арктика является уникальным регионом в части формирования температурного режима, она играет роль «кухни погоды». В северных регионах протекают процессы, воздействующие на окружающую среду в глобальном масштабе, и служат индикаторами глобальных природных изменений, в особенности климатических сдвигов. Наибольшее глобальное повышение средней температуры у поверхности Земли во время «кульминации» потепления составляло $0,6^{\circ}\text{C}$. Температурные повышения в Арктике происходят примерно в полтора-два раза быстрее, чем в других частях планеты, а за последние 10 лет в этом арктическом регионе температура повысилась в среднем более чем на 10 градусов.

На севере, помимо повышения температуры воздуха, наблюдается уменьшение ледяного покрова, увеличение стока рек и деградация многолетней мерзлоты. При этом отмечается тенденция, что потепление в летний период происходит стремительнее чем в холодный.

Со стороны мирового сообщества уделено большое внимание изучению глобального изменения климата, создан ряд межгосударственных организаций для взаимного сотрудничества по данному вопросу. Тема полноценной оценки климатических изменений всей Арктики и отдельных её частей является актуальной не только для России, но и для всего мира.

Целью настоящей работы является выявление климатических изменений на основе данных температур приземного воздуха на метеостанциях западной части российской Арктики, пространственно-визуальное обобщение проведенного исследования. В работе также проведена оценка эффективности нестационарных моделей ступенчатых изменений и линейного тренда, а также проведено сравнение многолетних данных с рядом данных с 1960 года.

Объектами исследования являются данные по многолетним наблюдениям за температурой воздуха на метеостанциях западного сектора российской Арктики.

Предмет исследования: температурные изменения в западном секторе российской Арктики.

Для достижения поставленной цели, необходимо было выполнить следующие задачи:

- 1) Собрать многолетние данные среднемесячных температур по 32 станциям
- 2) Оценить эффективность моделей ступенчатых изменений и линейных трендов, эффективности коэффициентов корреляции
- 3) Построить графики и карты изменения температур и показателей нестационарности
- 4) Произвести анализ общих тенденций температурного режима и его изменений

Структура работы: работа содержит 7 глав. В первой главе даётся характеристики физико-географических и климатических условий. Во второй главе описывается методика исследования. С третьей по шестую главу анализируются показатели нестационарности и температурных тенденций за январь, апрель, июль, октябрь, а в седьмой оценивается по среднегодовым значениям.

Глава 1. Физико-географическое описание исследуемого региона

1.1 Территория западного сектора Российской Арктики

Границы Арктики и её географическое описание уточнялось учёными на протяжении почти всего двадцатого века. В начале исследований было только узкое понимание территории Арктики, и в неё включали только моря и острова Северного Ледовитого океана, ограниченные с юга изотермой самого теплого месяца (июль) $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$. В современном понимании границей Арктики считается линия июльской изотермы $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Данная линия примерно совпадает с северной границей лесной зоны и началом зоны тундр, здесь в условиях вечной мерзлоты существуют покровные ледники, на которых однолетний лед в отдельные годы не вытает в весенне-летний период, превращаясь затем в многолетний. Полярный круг является границей, севернее которой Солнце не поднимается над горизонтом во время зимнего солнцестояния (21 декабря) и не заходит за горизонт во время летнего солнцестояния (21 июня) [4].

Область западного сектора российской Арктики включает в себя Мурманскую область (Кольский полуостров) моря Северного Ледовитого океана: Баренцево Море, Карское море и Белое море (рисунок 1.1.1)

Основой государственной политики в арктическом регионе является стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации (АЗРФ), рассчитанная минимум на период до 2035 года, подписанная Президентом Российской Федерации 26 октября 2020 г. В этом документе Арктическая зона Российской Федерации (АЗРФ) определяется как часть Арктики, в которую входят полностью или частично территории Республики Саха (Якутия), Мурманской и Архангельской областей, Красноярского края, Ненецкого, Ямало-Ненецкого и Чукотского автономных округов, примыкающие к ним внутренние морские воды территориальное море Российской Федерации, участки континентального шельфа Российской Федерации, а также земли и острова, которые в будущем могут быть открыты, расположенные в Северном

Ледовитом океане к северу от побережья Российской Федерации до Северного полюса в пределах между меридианом тридцать два градуса четыре минуты тридцать пять секунд восточной долготы от Гринвича, проходящим по восточной стороне Вайда-губы через триангуляционный знак на мысе Кекурский, и меридианом сто шестьдесят восемь градусов сорок девять минут тридцать секунд западной долготы от Гринвича, проходящим по середине пролива, разделяющего острова Ратманова и Крузенштерна группы островов Диомида в Беринговом проливе.

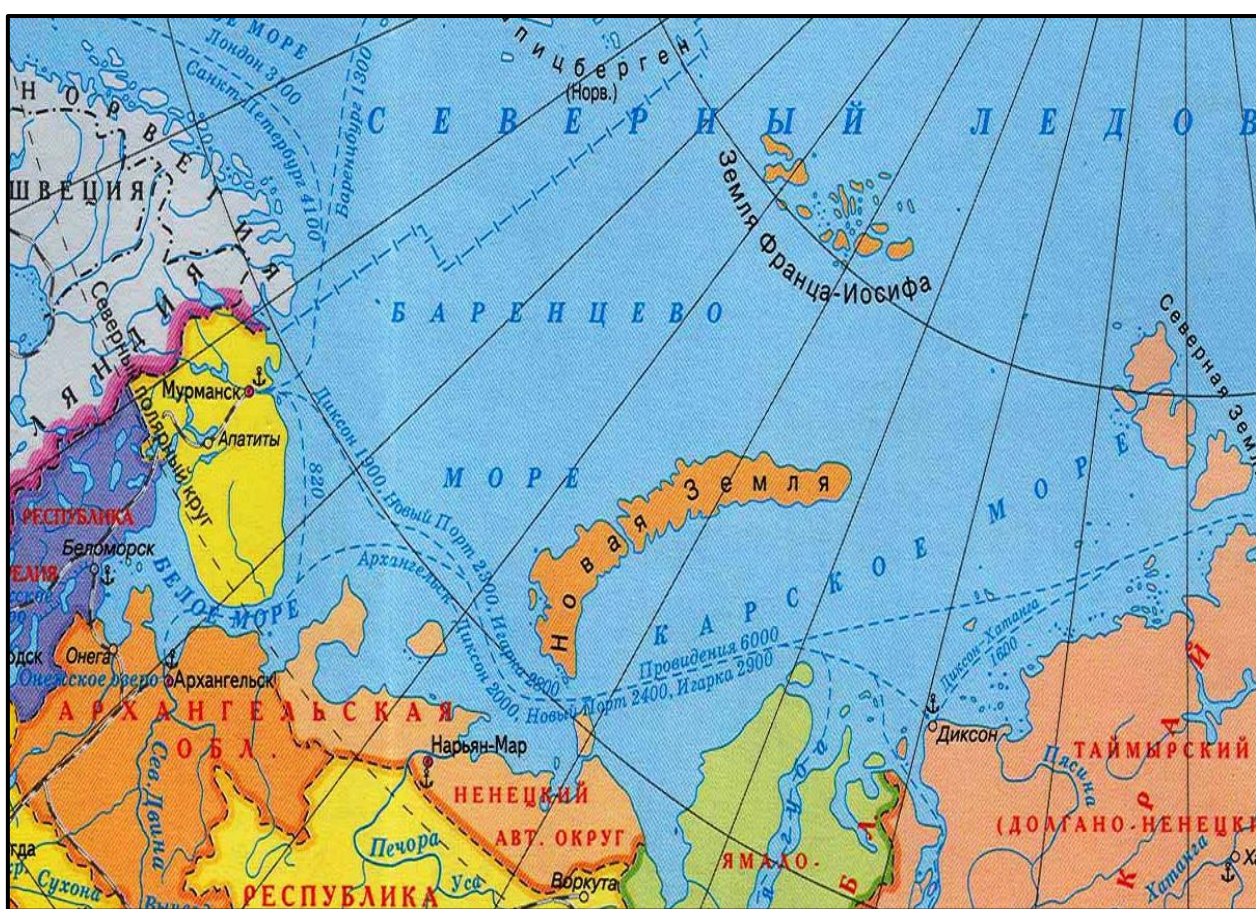


Рис.1.1.1 Административная карта западного сектора Российской Арктики

В данной работе был рассмотрен западный сектор российской Арктики, как наиболее важный в хозяйственно-экономическом отношении (Северный морской путь, нефтедобыча на шельфе Баренцева и Карского морей и т.д.).

В него входят следующие территориальные единицы:

- Архангельская область: Архангельск, Северодвинск, Новодвинск, городской округ Новая Земля и Земля-Франца Мезенский район, Онежский район, Приморский район, Лешуконский район, Пинежский район.
- Республика Карелия: Костомукша, Беломорский район, Калевальский район, Кемский район, Лоухский район, Сегежский район.
- Республика Коми: Воркута, Инта, Усинск, Усть-Цилемский район.
- Все населённые пункты и административно-территориальные образования Мурманской области и Ненецкого автономного округа.

1.2 Климат региона

Арктика - это уникальный регион в части формирования температурного режима. Основная климатическая особенность – большая продолжительность отрезка времени с низкими температурами.

Согласно классификации типов климата Алисова Б.П., в исследуемом регионе наблюдается три климатических пояса: арктический, субарктический и умеренный [4].

Климат на этой большой территории формируется не только под влиянием низких температур, приходящих с высоких широт, но под влиянием притоков солнечной энергии. Севернее 70° параллели зимой солнце не появляется вовсе и этот период был назван полярной ночью в которую поверхность не прогревается. Летом наоборот, долгое время солнце не уходит за горизонт и это – полярный день, но из-за светлых поверхностей снега и льда с большой отражательной способностью (альбедо), большое количество энергии солнца отражается обратно. Территория имеет низкие температуры воздуха зимой (до -40°C).



Рис.1.2.1. Климатические пояса западного сектора
Российской Арктики [4].

В период полярного дня наблюдается большой приток солнечной радиации, но и большая облачность с туманами.

Годовая сумма атмосферных осадков 100-200 мм. Наибольшая часть атмосферных осадков выпадает в твердом виде, снежный покров лежит в течение 7–8 месяцев и всё это способствует формированию многолетней мерзлоты и связанных с ней форм рельефа.

В зонах перехода к субарктическому климату развивается циклоническая деятельность и атмосферные осадки увеличиваются до 400 мм в год.

В зимний период, продолжительность которого более 6,5 месяцев, над океаном располагается устойчивая область высокого давления - Арктический антициклон, центр которого смещён относительно полюса в сторону Норвежского моря. Холодные сухие массы арктического воздуха в зимнее

время проникают вглубь окружающих океан материков вплоть до субтропического климатического пояса и вызывают резкое понижение температуры воздуха. В июне - сентябре формируется Исландская депрессия, вызванная летним повышением температуры, а также в результате интенсивной циклонической деятельности на смещённом почти к самому полюсу арктическом фронте. Положительные температуры в это время года связаны приходом тепла с юга за счёт проникающего в полярную зону воздуха Атлантических умеренных широт и за счёт стока речных вод.

В горных районах на территории архипелага Новая Земля и Земля Франца-Иосифа климатообразующим фактором является высотная поясность и экспозиция склонов, их расположение по отношению к господствующим воздушным массам и удаленностью от океанов.

Для наглядного представления климатических особенностей в данном регионе была построена карта при помощи ГИС-программы MapInfo с применением интерполяционного метода оценки средних приповерхностных температур воздуха на протяжении всего года.

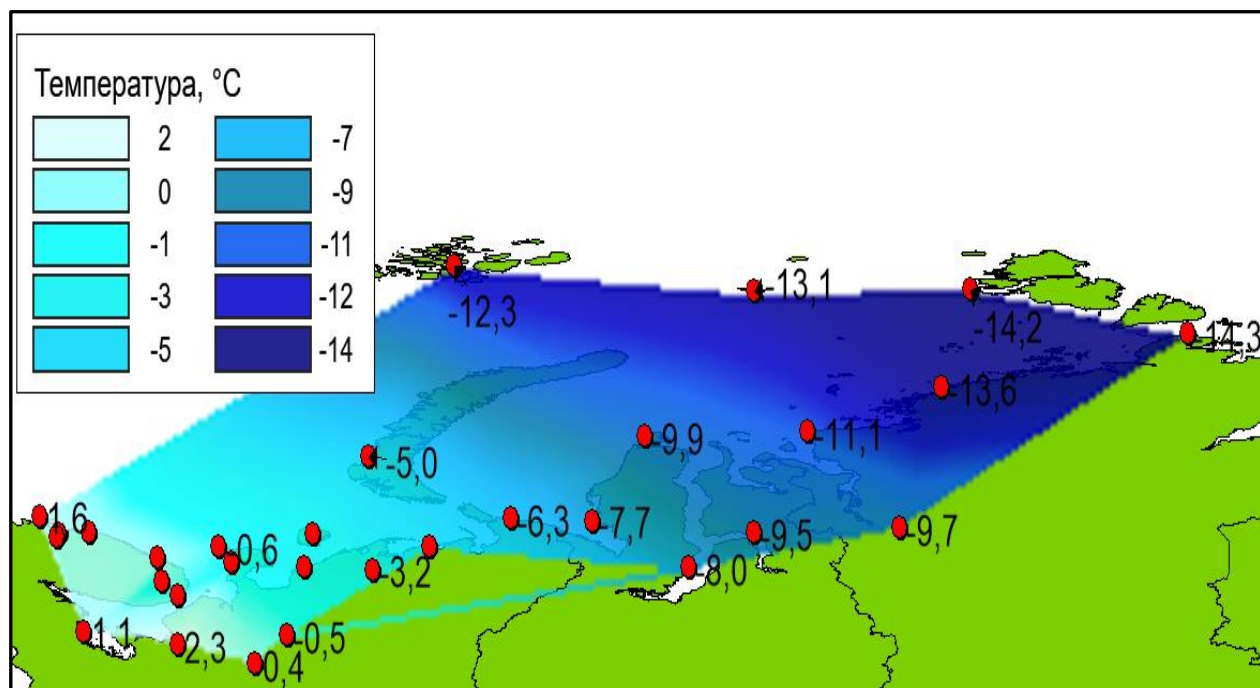


Рис.1.1.2. Распределение среднегодовых температур воздуха в регионе, °C

Для полноценного понимания климатических особенностей западного сектора российской Арктики была построена карта в GIS-Marinfo с пространственным распределением среднегодовых приповерхностных температур воздуха. Анализируя полученную карту, представленную на рисунке 1.2.2 и таблицу 1.2.1, можно сделать вывод, что значения температур понижаются с продвижением от Баренцева моря на восток. Самый «тёплый» арктический регион находится на Кольском полуострове Мурманской области, северных частях Республики Коми и Архангельской области, среднегодовая температура в этих регионах составляет $+0,4^{\circ}\text{C}$ – $+1,6^{\circ}\text{C}$. На станциях, расположенных ближе всего к северному полюсу, среднегодовая температура варьируется в пределах -12°C - -15°C (остров Визе, Малые Кармакулы, ОГМС им.Кренкеля). В центральном районе (юго-восток Карского моря) среднегодовые значения температур составляют -6°C - -9°C . На востоке региона наблюдаются самые низкие температуры воздуха -13°C - -15°C (станции Стерлегова, Голомянный, им.Е.К.Фёдорова).

Таблица 1.2.1.

Среднегодовая температура воздуха на анализируемых станциях, $^{\circ}\text{C}$

Станция	Температура воздуха, $^{\circ}\text{C}$
Им. Э.Т.Кренкеля	-12,3
Визе	-13,1
Голомянный	-14,2
Им. Е.К.Федорова	-14,3
Стерлегова	-13,6
Им.М.В.Попова	-9,9
Диксон	-11,1
Малые Кармакулы	-5,0
Вайда-Губа	1,6
Полярное	0,7
Териберка	0,7

Колгуев Северный	-2,4
Мурманск	0,5
Святой Нос	0,4
Канин Нос	-0,6
Каневка	-1,5
Шойна	-1,1
Индига	-2,4
Сосновец остров	-0,4
Кемь-порт	1,1
Архангельск	2,3
Койнас	-0,5
Сура	0,4
Амдерма	-6,3
Марресаля	-7,7
Антипаюта	-9,5
Дудинка	-9,7
Мыс Константиновский	-4,4
Нарьян-Мар	-3,2
Новый Порт	-8,0

1.3 Рельеф региона

Географы разделяют Кольский полуостров, на котором находится Мурманская область, на две части – западную и восточную. Границей между этими двумя частями считаются река Воронья, озера Ловозеро и Умбозеро и долина реки Умбы. В регионе сложный рельеф: ряд возвышенностей высотой свыше одного километра вплоть до прибрежной части Баренцева моря, резкие обрывы плато у берега до 100-150 метров, узкие фьорды, множество впадин и долин, по которым проходят реки. Южную часть в основном составляют равнины с болотами и озерами. Север области представляет собой приподнятые ровные участки земли – плато с изрезанными узкими ущельями, по которым протекают реки. В центральной части большое количество

возвышенностей с наивысшей точкой в Хибинах в 1200 метров над уровнем моря (гора Юдычвумчорр).

Карельский регион - это большая холмистая равнина. На западе республики расположен хребет Манселья, протяженный по границе с севера на юг, имеющий на возвышенности наивысшую точку 576 м – гора Нуоруунен. Ряд низменностей, прилегающих к Ладожскому и Онежскому озерам, а также к Белому морю, сильно заболочены.

Заполярные острова Арктики в основном низкогорные и низменные с материковым происхождением.

В состав архипелага Земля Франца-Иосифа (ЗФИ), находящийся на северной окраине шельфа, за 80 широтой, включают более 190 островов, среди которых самый северный остров России – остров Рудольфа. Архипелаг можно разделить на три части: восточную, отделенную от других Австрийским проливом; центральную – между Австрийским проливом и проливом Британский канал, где расположена наиболее значительная по численности группа островов; западную – к западу от пролива Британский канал. Острова образовались в результате тектонических движений и разрушения ледников. Островные территории здесь сильно расчленены, имеется протяженная береговая линия и глубокие разделительные проливы (глубиной 500 – 600 метров). Большую часть времени проливы покрыты неподвижными ледовыми образованиями. Средние высоты островов составляют 400-500 метров. Острова представлены большим количеством плато со склонами и утёсами вдоль берега. Барьеры ледников, выходящих из воды, занимают прибрежную территорию. В связи с постоянным ростом температуры воздуха и уменьшением количества арктических льдов появляются новые сухопутные образования.

Новая Земля состоит из двух больших островов – Большого и Северного, а также ряда мелких островов. Разделение проходит по проливу Маточкин Шар и по речным долинам. Рельеф гористый, с высотами более 1000 – 1500 метров. На прибрежной части есть образования фьордов, в северной части они

заходят вглубь на 30-40 километров. Самая высокая точка – 1547 м находится на северном острове Новой Земли, к югу от залива Норденшельда

Остальная территория региона имеет менее сложный рельеф. Побережье Архангельской области и НАО преимущественно равнинное, заболоченное. Выделяется кряж Ветреный пояс, высотой до 345 м, в Архангельской области, хребет Пай-Хой высотой 423 м и Тиманский кряж высотой 471 м в НАО, также проходящий через республику Коми. Континентальная часть представляет собой равнину с речными долинами, небольшими холмами и поднятиями до 300 м. В северной части республики Коми находятся небольшие возвышенности Большеземельской тундры и Печорская низменность. Здесь слабо пересечённый рельеф с большим количеством равнин с невысокими грядами и рыхлыми отложениями, равнина имеет общий уклон к северу. Высоты не превышают 1000 метров. Стоит отметить Уральские горы на востоке республики Коми и НАО, Тиманский кряж, также проходящий через эти 2 субъекта Российской Федерации.

Большую часть территории Российской части западной Арктики занимает Северный Ледовитый океан. В этом районе широко развита область шельфа с глубинами менее 200 м, занимаемая морями: Баренцево, Белое, Карское, море. Дно этих морей — подводное продолжение платформенных структур суши. Переходная зона представлена материковым склоном с глубинами 180— 3000 м. Центральная часть океана — Арктический бассейн — область глубоководных котловин (глубина до 5449 м в котловине Нансена) и подводных хребтов, среди которых самым большим считается хребет Ломоносова.

Глава 2. Методика оценки изменения климатических характеристик

2.1 Источники данных для исследования

В начале XX века начинается активное развитие северной гидрометеослужбы России, в середине века на всех гидрометеорологических станциях севера производятся полноценные наблюдения, в том числе с целью комплексного изучения климатических процессов.



Рис.2.1.1. Месторасположение анализируемых станций

Для полноценной оценки изменений климатических характеристик в западном секторе российской Арктики было уделено внимание температурам воздуха, так как значения именно этого параметра наиболее наглядно демонстрируют изменения климата. В работе анализировались данные с

момента начала наблюдений по 2018 год, а также отдельно анализировались данные начиная с 1960 с целью более точных выводов на основе более современных данных, географическое расположение метеостанций представлено на рисунке 2.1.2.

Также, в самом начале работы анализировались ряды других метеоданных, такие как скорость ветра и количество осадков. Они не дали полноценной картины изменения климата в рассматриваем северном регионе, в отличие от приземной температуры воздуха.

Таблица 2.1.1.

Список анализируемых станций, период инструментальных наблюдений, географические координаты

Код поста	Наименование	Период наблюдения	Широта, град	Долгота, град
20046	Им.Э.Т.Кренкеля	1957 - 2018	80,60	58,10
20069	Визе	1945 - 2018	79,50	77,00
20087	Голомянный	1931 – 2018	79,60	90,60
20107	Баренцбург	1940 – 2018	78,10	14,20
20289	Русский	1936 – 1995	77,20	96,60
20292	Им.Е.К.Федорова	1933 – 2018	77,70	104,30
20476	Стерлегова	1934 – 2018	75,40	88,80
20667	Им.М.В.Попова	1940 – 2018	73,30	70,10
20674	Диксон	1917 – 2018	73,50	80,40
20744	Малые Кармакулы	1876 – 2018	72,40	52,70
22003	Вайда-Губа	1940 – 2018	69,90	32,00
22019	Полярное	1934 – 2018	69,12	33,27
22028	Териберка	1889 – 2018	69,20	35,10
22095	Колгуев Северный	1933 – 2018	69,10	49,20
22113	Мурманск	1918 – 2018	69,00	33,10

22140	Святой Нос	1918 – 2018	68,09	39,44
22165	Канин Нос	1915 – 2018	68,60	43,30
22249	Каневка	1949 - 2018	67,10	39,70
22271	Шойна	1932 - 2018	67,90	44,10
22292	Индига	1923 - 2018	67,70	48,70
22355	Сосновец остров	1862 - 2018	66,50	40,70
22520	Кемь-порт	1863 - 2018	64,98	34,80
22550	Архангельск	1813 - 2018	64,40	40,70
22583	Койнас	1912 - 2018	64,80	47,60
22676	Сура	1924 - 2018	63,60	45,60
23022	Амдерма	1934 - 2018	69,80	61,70
23032	Марресаля	1940 - 2018	69,70	66,80
23058	Антипаюта	1959 - 2018	69,20	77,00
23074	Дудинка	1906 - 2012	69,40	86,20
23114	Мыс Константиновский	1959 - 2018	68,60	56,60
23205	Нарьян-Мар	1926 - 2018	67,60	53,00
23242	Новый Порт	1951 - 2018	67,70	72,90

При выполнении исследований была сформирована обширная и полноценная база данных с продолжительными рядами приземных температур воздуха (ПТВ, °С): средняя за год, средние центральные месяцы сезона (январь, апрель, июль, октябрь) для 32 метеостанций арктического региона. Список станций, используемых для анализа, представлен в таблице. В качестве источников были использованы данные Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации – Мирового центра данных ВНИИГМИ-МЦД, данные с сайта Королевского Метеорологического института Нидерландов (KNMI), а также архивные данные ФГБУ «Северное УГМС». Пример отбора информации с сайта ВНИИГМИ представлен на рисунке 2.1.2.

тренда. Проанализирована эффективность модели линейного тренда ($\Delta_{\text{тр}}$) и модели ступенчатых изменений ($\Delta_{\text{ст}}$) по отношению к стационарной модели в процентах, для модели линейного тренда оценивается статистическая значимость коэффициента корреляции ($R_{\text{тр}}$) за период с 1916 по 2018 года, по характерным для сезонов центральным месяцам (январь, апрель, июль, октябрь). Проанализирован и современный период начиная с 1960 года и было произведено сравнение этих двух периодов. Для наглядного представления и обобщения климатических изменений в ГИС-программе MapInfo были построены карты с пространственными распределениями показателей нестационарности.

2.2 Методика оценки изменения климата западного сектора российской Арктики

Арктика является уникальным регионом в части формирования температурного режима, синоптики называют этот северный регион «кухней погоды». На полярных широтах протекают процессы, воздействующие на окружающую среду в глобальном масштабе. Именно изменение температурного режима является одним из наиболее «ярких индикаторов» глобальных природных изменений, в особенности изменения климата. Арктика считается одним наиболее уязвимых регионов к изменениям климата [14].

Долгое время ученые полагали, что климат является неизменным по своей природе. Но в 1920-х годах появилось много сообщений о признаках потепления в Арктике. Так в 1921 году Н.М. Книпович выявил, что воды Баренцева моря стали заметно теплее [4]. Считалось, что это потепление касается только арктической области. Позднее было отмечено, что это было глобальное потепление. Особенностью потепления было то, что в высоких полярных широтах Северного полушария оно было выражено более чётко и ярко. Данные метеорологических, океанографических и ледовых наблюдений,

изложенные далее в этой работе показывают, что в регионе происходят большие изменения по сравнению с другими регионами Земли. Приповерхностная температура в арктическом регионе растёт в 2 раза быстрее, чем в среднем на планете [4].

Интерес к изменениям климата в полярных широтах объясняется также и тем, что они сопрягаются с каждодневными задачами человечества – использование морских путей, добыча ресурсов в недрах морского шельфа, из-за таяния арктических ледников происходит повышение уровня моря и затопление прибрежных территорий.

Само определение климата предполагает условие стационарности, по крайней мере, за какой-либо интервал времени. На любом рассматриваемом интервале времени структура временного ряда может быть представлена двумя основными видами моделей: стационарной и нестационарной. В стационарной модели основные параметры временного ряда, такие как среднее значение и дисперсия являются неизменными во времени или стационарными. Для такой ситуации можно рассчитывать среднее значение за многолетний период наблюдений, которое является климатической нормой. В настоящее время определение климатических норм рекомендуется Всемирной метеорологической организацией (ВМО) за период 1961-1990 гг., за который средние значения допускаются считать стационарными. Поэтому стационарная модель является основополагающей для климатологии и все остальные виды моделей необходимо сравнивать и сопоставлять с ней.

На уровне рассмотрения простых моделей проявление изменений климата в многолетних временных рядах может быть трех основных видов:

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

Однако можно утверждать, что все нестационарные изменения в природе являются циклическими, причём тренд – это часть цикла процесса

достаточно большого масштаба, которая проявляется в виде линейной ветви подъёма или спада цикла на конечном рассматриваемом интервале времени.

Если считать, что нестационарные составляющие являются реакцией климатической системы на внешние воздействия, воздействий могут быть двух основных видов: монотонные (тренд или циклические колебания) и ступенчатые изменения. Механизм монотонных изменений имеет место в равновесной системе, которая практически сразу же откликается на направленные внешние воздействия. Механизм ступенчатых изменений, или триггерный механизм характеризует неравновесную систему, которая определенное время может «нейтрализовывать» направленные внешние воздействия или сопротивляться им до тех пор, пока их суммарный эффект не переведет систему на новый уровень.

Моделирование временных рядов включает три основные стадии:

- расчет параметров моделей;
- оценка эффективности нестационарных моделей по отношению к стационарной;
- оценка статистической значимости нестационарных моделей по отношению к стационарной.

Параметрами стационарной модели являются среднее значение (Y_{cp}) и среднеквадратическое отклонение (σ), определяемые по ряду наблюдений.

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

$$Y_{1cp} = \text{const1}, \quad Y_{2cp} = \text{const1}, \\ \sigma_1 = \text{const1}, \quad \sigma_2 = \text{const2}$$

Момент ступенчатых изменений (t_n) определяется визуально или на основе дополнительной информации о факторе и дате нарушения стационарности, а

также может быть определен итерациями при достижении минимального значения суммы квадратов отклонений двух частей временного ряда:

$$SS = \sum_1^{n_1} (Y_i - Y_{1cp})^2 + \sum_{n_1+1}^n (Y_i - Y_{2cp})^2 = \min$$

где n_1, n_2 - объемы каждой из двух частей временного ряда; SS - общая сумма квадратов отклонений.

Стандартное отклонение остатков ступенчатой модели для одной ступени и двух стационарных интервалов определяется по формуле:

$$\sigma_{ступ} = \sqrt{\frac{\sigma_1^2 n_1 + \sigma_2^2 n_2}{(n_1 + n_2 - 1)}}$$

где $\sigma_{ступ}$ - стандартное отклонение остатков модели ступенчатых изменений;

σ_1, σ_2 - стандартные отклонения стационарных отрезков временного ряда;
 n_1, n_2 – объемы стационарных отрезков.

Модель линейного тренда выражается следующим уравнением:

$$Y(t) = b_1 t + b_0$$

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

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

$$b_0 = Y_{cp} - b_1 t_{cp}$$

Статистическая значимость модели линейного тренда оценивается по статистической значимости коэффициента b_1 или коэффициента корреляции R зависимости (3.4), который рассчитывается по формуле:

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

Статистическая значимость R определяется из условия $R \geq R^*$, где R^* - критическое значение коэффициента корреляции, определяемые при заданном числе степеней свободы (v) и уровне значимости (α). где $v = n-2$, n - объем ряда, $\alpha=5\%$.

Для модели линейного тренда стандартное отклонение остатков вычисляется по формуле:

$$\sigma_\varepsilon = \sigma_y \sqrt{1 - R^2}$$

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 отличий модели тренда и модели ступенчатых изменений от модели стационарного среднего рассчитываются относительные погрешности по формулам:

$$\Delta_{тр} = \left(\frac{\bar{b}y - \bar{b}\varepsilon}{\bar{b}y} \right) * 100 \% ,$$

$$\Delta_{ступ} = \left(\frac{\sigma_y - \sigma_{ступ}}{\sigma_y} \right) * 100 \% ,$$

где: $\Delta_{тр}$, $\Delta_{ступ}$ – относительные погрешности или отличия (в %) модели тренда и модели ступенчатых изменений от модели стационарной выборки;

σ_y , σ_ε , $\sigma_{ступ}$ – стандартные отклонения остатков соответственно моделей случайной выборки, линейного тренда и ступенчатых изменений.

Следующее теоретическое положение состоит в том насколько полученное преимущество той или иной модели относительно базовой (стационарной) является статистически значимым. Для оценки статистической значимости монотонных (трендовых) и ступенчатых изменений во временных рядах применяется критерий Фишера, количественно показывающий, насколько статистически значимо отличаются остаточные дисперсии выбранных моделей от дисперсии временного ряда (стационарной модели). Статистики критерия Фишера для каждой из двух конкурирующих моделей по отношению к модели стационарной выборки вычисляются по формулам:

$$F_{ТР} = \frac{\sigma_y^2}{\sigma_\varepsilon^2} ,$$

$$F_{СТУП} = \frac{\sigma_y^2}{\sigma_{ступ}^2}$$

В числителе всегда будет дисперсия исходного ряда наблюдений, т.к. она является наибольшей или, по крайней мере, равна остаточной дисперсии конкурирующей модели. В случае если расчетное значение статистики Фишера оказывается больше критического, то дисперсии двух моделей имеют статистически значимое различие и соответствующая модель (тренда или ступенчатых изменений) статистически эффективнее, чем модель стационарной выборки.

Для оценки показателей эффективности нестационарных моделей линейного тренда и модели ступенчатых изменений по отношению к модели стационарной выборки используется специальная вычислительная программа TIMOD, пример работы представлен на рисунке 2.2.1. С помощью данной программы есть возможность произвести расчёт показателей нестационарности, статистик критерия Фишера и коэффициента корреляции со временем. Эффективной нестационарной моделью считается, если Δ_{tr} или Δ_{st} равно или более 10%. нестационарная модель является статистически значимой, если коэффициенты Фишера F_{tr} или F_{st} больше их критических значений при уровне значимости $\alpha=5\%$. Также с помощью базовой статистической программы TIMOD рассчитывались годы ступенчатых изменений температуры и показатель коэффициента корреляции R_{tr} .

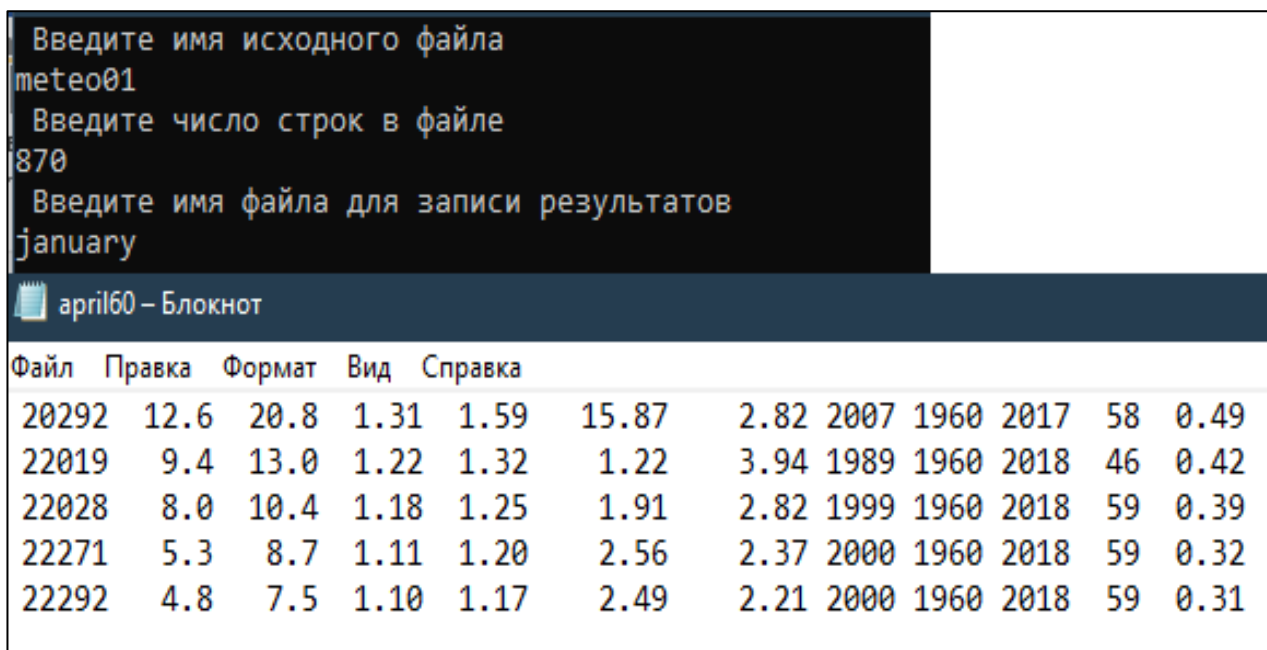


Рис.2.2.1. Пример работы программы TIMOD

Порядок выполнения расчётов в программе ТИМОД следующий: 1) создается текстовый файл с рядами многолетних данных, с кодовыми номерами станций и с соответствующим годом производства наблюдений; 2) задаётся количество строк файла с метеоданными 3) создаётся отдельный файл со статистическими расчётами.

Для изучения пространственного распределения характеристик были построены интерполяционные карты с помощью программы Mapinfo.

Для оценки изменения климата в рассматриваемом регионе выполнялись следующие виды работ:

- сбор архивных данных по среднегодовым значениям, по среднемесячным температурам воздуха в январе, апреле, июле, октябре на 32 метеостанциях;
- формирование полноценной единой базы данных;
- оценка качества рядов наблюдений и их однородности
- оценка параметров для нестационарных моделей рядов наблюдений и вывод об эффективности этих моделей;

- нахождение переломных (ступенчатых) лет, когда началось изменение метеопараметров,
- наглядное представление данных нестационарных моделей в виде графиков и таблиц;
- пространственная визуализация с помощью ГИС MapInfo полученных обобщенных расчётов для нестационарных моделей;
- выявление тенденций изменений температур воздуха на территории и их сравнение между разными периодами года (начало наблюдений по 2018 и 1960 – 2018 год)

Также, для полноценной и корректной оценки данных были использованы следующие статистические, аналитические и математические методы:

- для анализа стационарности дисперсий и средних значений временных рядов использовались критерии Фишера и Стьюдента;
- модели стационарных средних, нестационарные модели линейного тренда и ступенчатых переходов;
- для картографических данных применялись пространственные интерполяции MapИнфо.

Глава 3. Оценка изменений температур воздуха в январе

3.1 Результаты моделирования временных рядов в пунктах наблюдений

По данным температур января эффективная нестационарная модель линейного тренда отмечается только на одной станции (им.Э.Т.Кренкеля). Эффективная модель ступенчатых изменений - на пяти станциях (Визе, Кренкеля, Баренцбург, о.Русский, Вайда-Губа).

На станциях, с продолжительностью наблюдений более 90 лет, значения $\Delta_{тр}$ и $\Delta_{ступ}$ не доходят до 2,5%, а на станциях с наименьшей продолжительностью значения приближаются к 7%. Станции, расположенные, на Новой Земле, Земле-Франца Иосифа, а также станции в восточной части Карского моря реагируют сильнее на изменение климата, обладают большей нестационарностью по отношению к станциям Архангельской и Мурманской областей. Значение $\Delta_{тр}$ варьируется от 0% до 20,1%, $\Delta_{ст}$ от 1,4 до 25,4%.

При анализе таблицы 3.1.1. было выявлено, что год ступенчатых изменений для января варьирует от 1972 году до 2005, его среднее значение в 1998 году, чаще всего переход встречался в 2004 – 2005 годах.

Коэффициент корреляции со является статистически значимым на пяти станциях.

Таблица 3.1.1.

Расчёт показателей нестационарности модели для января для всего многолетнего периода и для периода с 1960 года.

Код станции	Период	$\Delta_{тр},\%$	$\Delta_{ст},\%$	Год ступенч. изменений	Год начала наблюдений	Год окончания наблюдений	Лет	Коэфф. коррел-ии
Кренкеля	весь	19,7	23,2	2005	1958	2018	61	0,6
	с 1960	20,1	25,4	2005	1960	2018	59	0,6
Визе	весь	7,6	20,2	2005	1945	2018	74	0,38

	с 1960	20,9	23,4	2005	1960	2018	59	0,61
Голомянный	весь	2,6	11	2005	1931	2018	88	0,23
	с 1960	19,2	19,9	2005	1960	2018	59	0,59
Баренцбург	весь	0,3	9,1	2005	1933	2018	85	0,08
	с 1960	10,5	20,1	2005	1960	2018	59	0,45
Русский	весь	8,5	14,5	2005	1947	2018	72	0,4
	с 1960	13,2	16,9	2005	1960	2018	59	0,5
Федорова	весь	4,6	10,1	1972	1936	1995	60	-0,3
	с 1960	1,6	5,6	1972	1960	1995	36	0,18
Стерлегова	весь	0,9	9,6	2005	1935	2018	83	0,13
	с 1960	16,1	20,9	2005	1960	2018	59	0,54
М.В.Попова	весь	0,1	4,8	2005	1917	2019	103	0,05
	с 1960	11,7	14,8	2005	1960	2019	60	0,47
Диксон	весь	2,4	8	1993	1940	2018	79	0,22
	с 1960	12,9	15,1	1993	1960	2018	59	0,49
Малые Кармакулы	весь	2,6	9	2005	1897	2018	122	0,23
	с 1960	8,1	16,4	2005	1960	2018	59	0,39
Вайда-Губа	весь	8,1	16,4	2004	1960	2018	59	0,39
	с 1960	6,7	10,7	1991	1960	2018	59	0,36
Полярное	весь	2	6,1	2004	2004	2018	84	-0,2
	с 1960	1,5	4,7	2004	2004	2018	59	0,17
Териберка	весь	0,5	2,8	2004	2004	2018	101	-0,1
	с 1960	0,9	4,3	2004	2004	2018	59	0,13
Колгуев Северный	весь	3,3	4,9	1992	1910	2017	108	0,26
	с 1960	4,7	7,3	1992	1992	2018	59	0,3
Мурманск	весь	0	1,5	2004	1992	2018	103	0
	с 1960	2,7	5,1	2000	2000	2018	59	0,23
Святой Нос	весь	0,8	2,3	2000	2000	2018	129	0,13
	с 1960	1,5	5,2	2000	2000	2018	59	0,17
Канин Нос	весь	0	2,5	2000	2000	2018	70	0,02
	с 1960	0,8	3,3	2000	2000	2018	60	0,13
Каневка	весь	1,0	3,4	2001	2001	2018	86	-0,14
	с 1960	1,1	3,0	2001	2001	2018	59	0,13
Шойна	весь	0,8	2,9	2002	2002	2018	95	-0,13
	с 1960	1,8	3,6	2004	2002	2018	59	0,19
Индига	весь	0,0	3,6	2003	1940	2018	78	0,01
	с 1960	3,5	7,3	2003	1960	2018	59	0,26

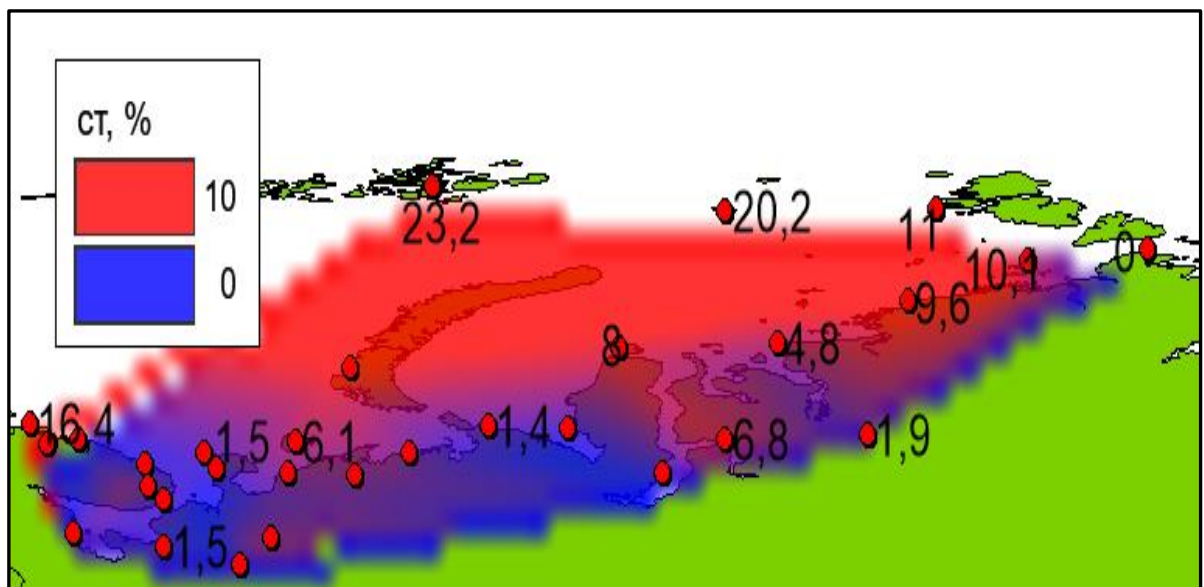
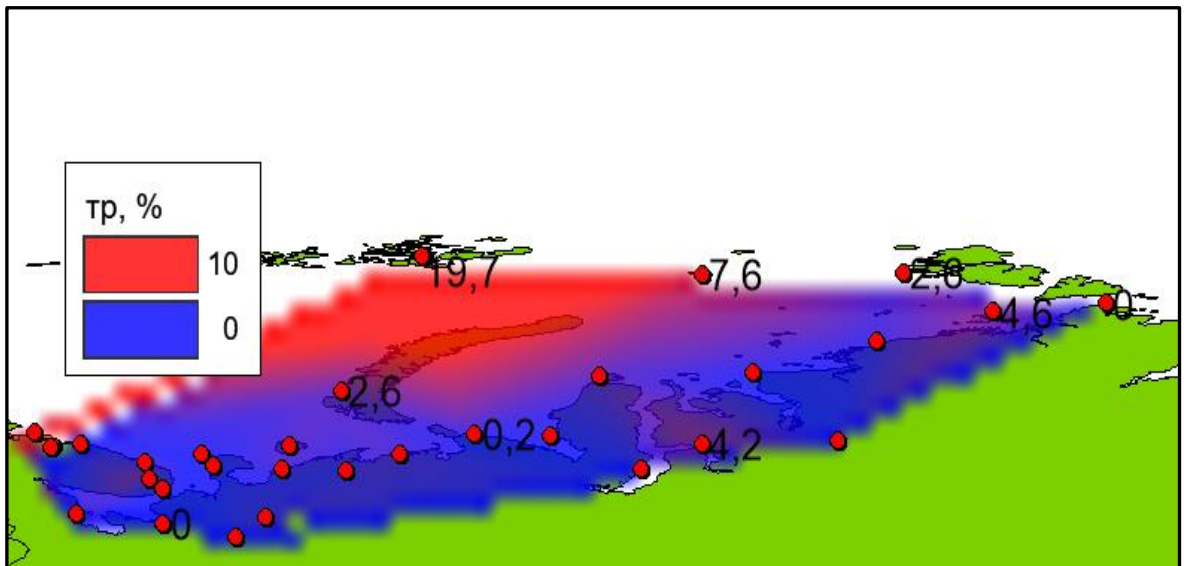
Сосновец	весь	0	2	2004	1919	2018	100	-0,03
	с 1960	4,1	8,1	2004	1960	2018	59	0,28
Кемь-порт	весь	0,5	1,8	1992	1866	2018	153	0,1
	с 1960	3,7	6,3	1992	1960	2018	59	0,27
Архангельск	весь	0	1,5	1993	1919	2018	100	0,02
	с 1960	3,9	5,9	1992	1960	2018	59	0,28
Койнас	весь	1,1	4,6	1972	1924	2018	94	-0,15
	с 1960	3,5	5,2	1992	1960	2018	59	0,26
Сура	весь	0	0,7	1977	1924	2018	94	0,02
	с 1960	0,4	2	1979	1960	2018	58	-0,09
Амдерма	весь	0	3,6	2003	1940	2018	78	0,01
	с 1960	3,5	7,3	2003	1960	2018	59	0,26
Марресалья	весь	0,2	1,4	2003	1934	2018	170	-0,06
	с 1960	4,8	8,6	2004	1960	2018	59	0,31
Антипаюта	весь	4,2	6,8	2004	1959	2018	60	0,29
	с 1960	4,2	6,8	2004	1959	2018	60	0,29
Дудинка	весь	0,2	1,9	2001	1933	2011	79	-0,06
	с 1960	2,9	6	2001	1960	2011	52	0,24
Мыс Константиновский	весь	1,8	4,2	2004	1959	2018	60	0,19
	с 1960	2,5	4,5	2004	1960	2018	59	0,22
Нарьян-Мар	весь	0,7	3,5	2000	1927	2018	92	-0,12
	с 1960	2,4	3,8	2000	1960	2018	59	0,22
Новый Порт	весь	0.4	3.5	2004	1951	2019	69	0.09
	с 1960	2.9	5.2	2004	1960	2019	60	0.24

Сравнивая данные с 1960 года с рядами многолетних данных, можно сказать что они дают более эффективные нестационарные модели. Например, на станции Мыс Константиновский показатели $\Delta_{тр}$ и $\Delta_{ступ}$ 1,8 и 4,2 %, а в многолетнем ряде 2,5 и 4,2 % соответственно. Модели ступенчатых изменений являются эффективными на станциях Визе, Голомянный, Баренцбург, Русский, Федорова, Стерлегова, Попова, Диксон, Вайда-Губа, а модели тренда на Визе, Голомянный, Баренцбург, Русский, Федорова, Стерлегова, Попова, Диксон, Малые Кармакулы, Вайда-Губа. То есть ряды данных с 1960 года дали эффективность $\Delta_{тр}$ на 9 станциях против одной за многолетний период, $\Delta_{ступ}$ на

десяти станциях против пяти. Коэффициент корреляции статистически значим на 19 станциях, то есть R_{tr} отмечается чаще чем на многолетнем периоде.

3.2 Пространственное обобщение показателей нестационарности

Станции, расположенные, на Новой Земле, Земле-Франца Иосифа, а также станции в восточной части Карского моря реагируют сильнее на изменение климата, обладают большей нестационарностью по отношению к станциям Архангельской и Мурманской областей (Рис. 3.3.1, 3.3.2, 3.3.3.)



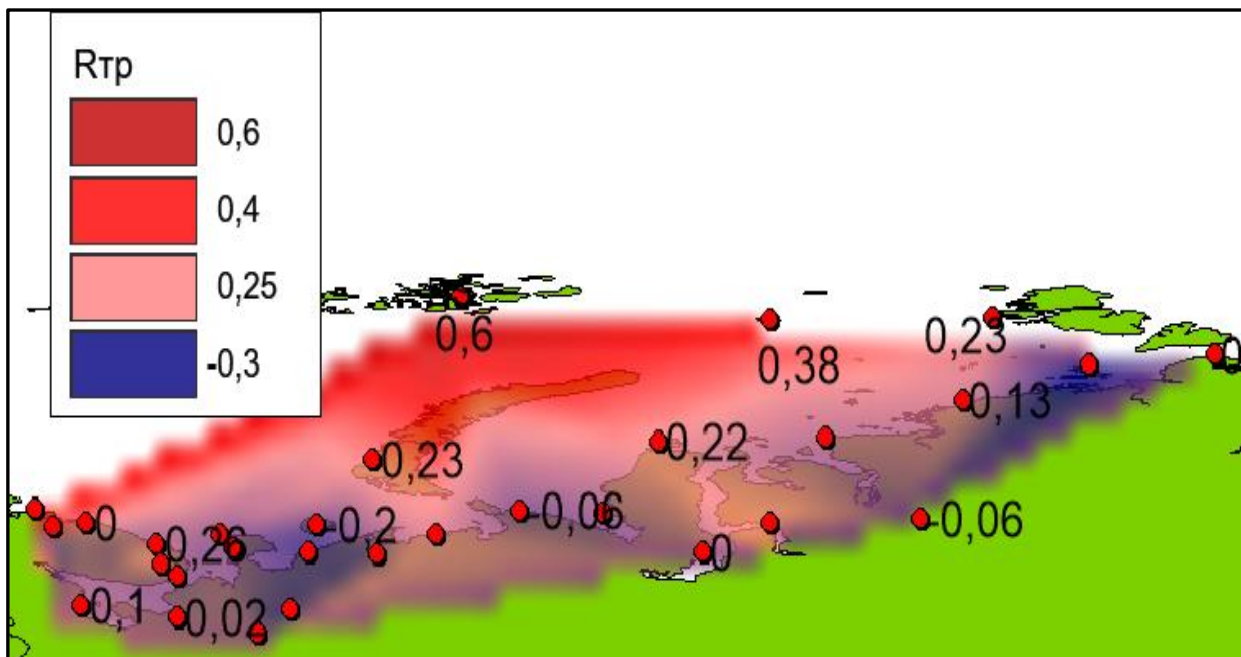


Рис. 3.3.1, 3.3.2, 3.3.3. Пространственные распределения отклонений модели тренда (верхний, $\Delta_{тр}$ в %) и ступенчатых отклонений (средний, $\Delta_{ст}$ в %) от стационарной модели для температуры января и коэффициента корреляции (нижний).

В январе ступенчатое ступенчатый переход температуры чаще отмечался в 2004-2005 году. Эти переходные годы наблюдались на станциях Мурманской области и на полярных станциях, более ранние годы отмечались в южных районах и на восточной оконечности рассматриваемого региона. Так как коэффициенты корреляции в северных и восточных районах статистически значимы, то можно утверждать что в этих районах значения с переходами верны (Рис.3.3.4)

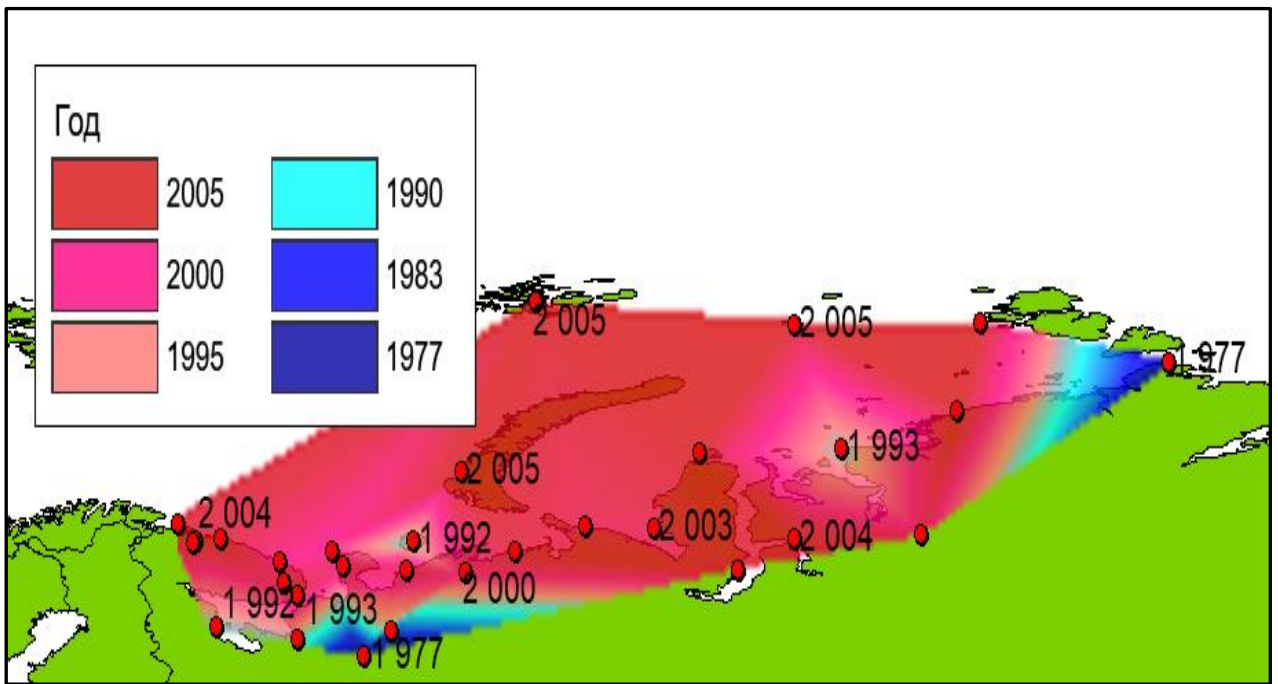


Рис.3.3.4. Годы ступенчатых изменений температуры в январе

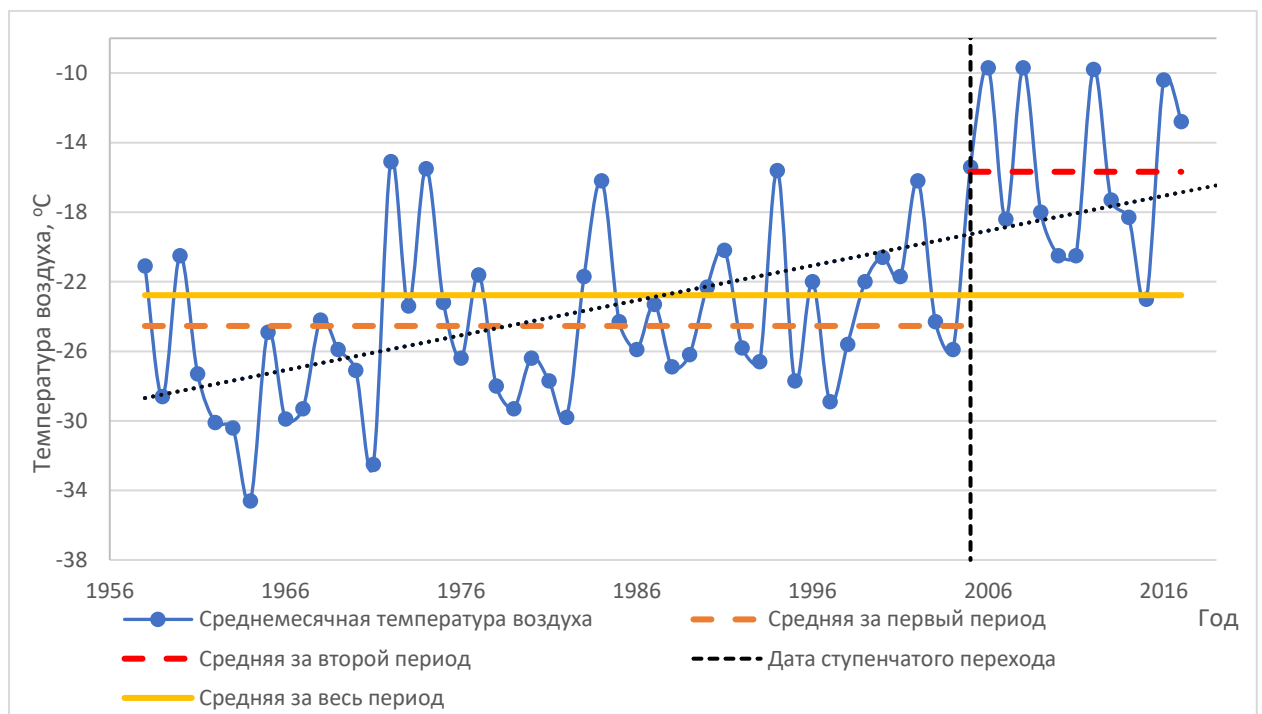


Рис.3.3.5. График нестационарной модели временных рядов температуры воздуха в январе на ОГМС им Э.Т Кренкеля

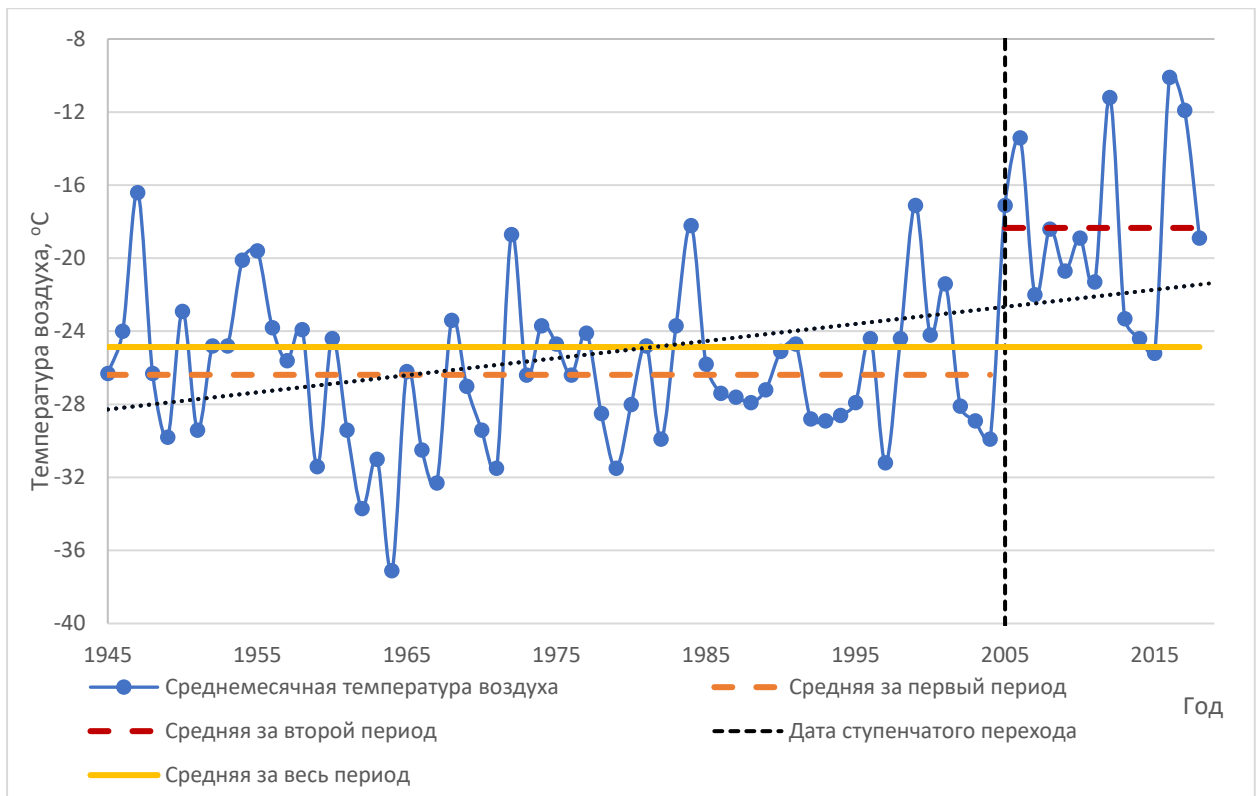


Рис.3.3.6. График нестационарной модели временных рядов температуры воздуха в январе на МГ-2 Визе

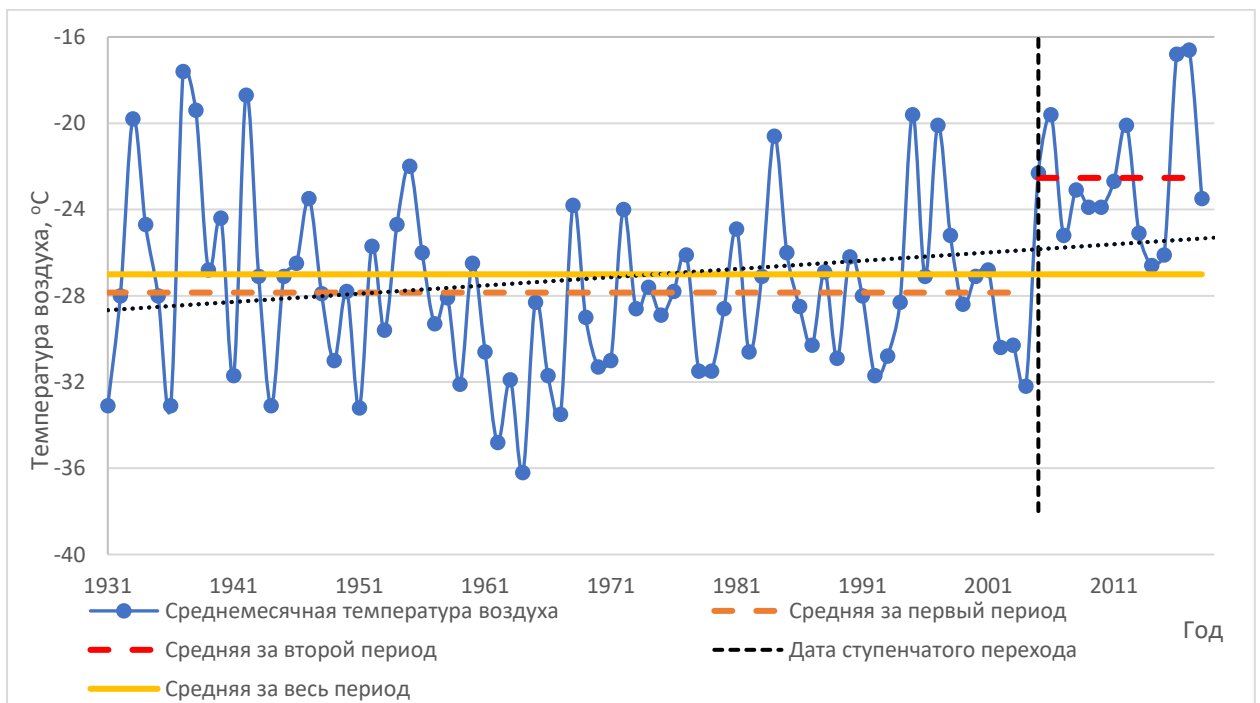


Рис.3.3.7. График нестационарной модели временных рядов температуры воздуха в январе на МГ-2 Голомянный

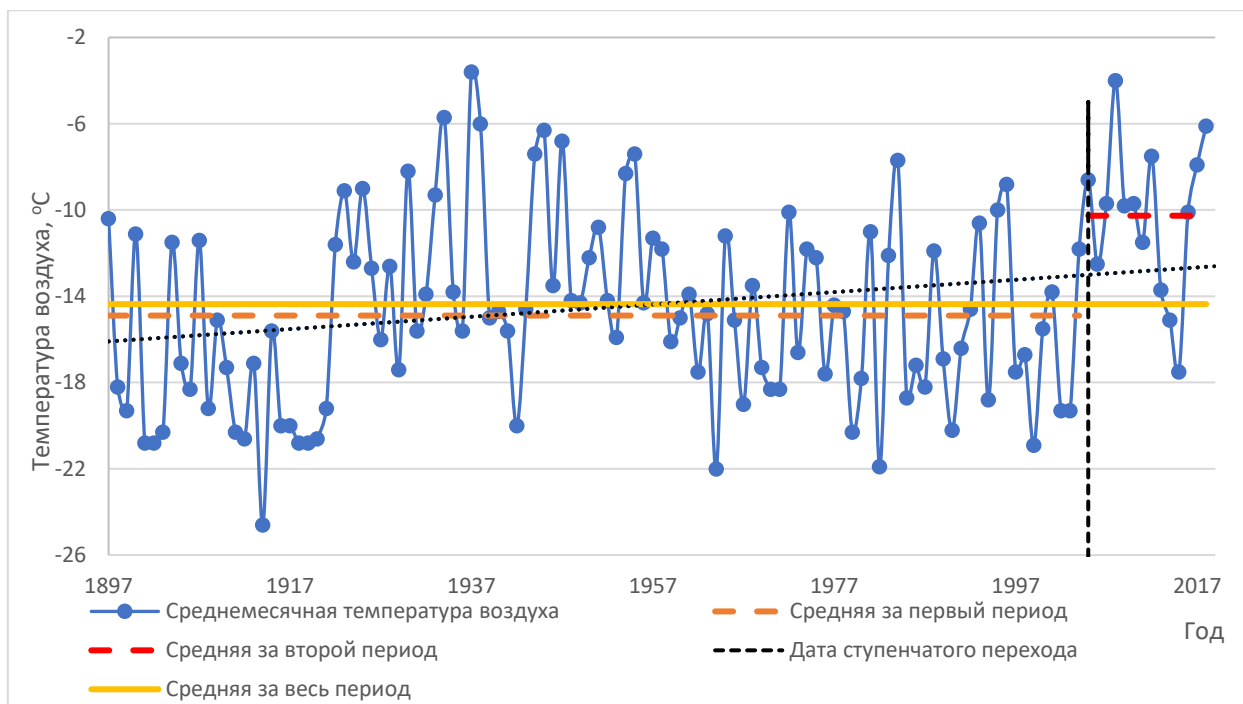


Рис.3.3.8. График нестационарной модели временных рядов температуры воздуха в январе на МГ-2 Малые Кармакулы

На станциях, расположенных ближе всего к северному полюсу (ОГМС им. Кренкеля, Малые Кармакулы, Визе, Голомянный) температура в зимний месяц повысилась на 6°C - 9°C . В центральной части региона, на станциях Амдерма, Марресаля, Антипаюта, им.М.В.Попова повышение температуры на 4°C – 6°C . На востоке региона (станция им.Фёдорова), на Кольском полуострове и на севере Архангельской области наблюдалось небольшое повышение температуры на $1 - 2^{\circ}\text{C}$.

Глава 4. Оценка изменений температур воздуха в апреле

4.1 Результаты моделирования временных рядов в пунктах наблюдений за апрель

По расчётным данным апреля эффективная нестационарная модель линейного тренда отмечается только на одной станции - им.Э.Т.Кренкеля и составил 19,7% Вариация значений от минимального 0, отмеченного на пяти станциях, до максимума 19,7, средний показатель $\Delta_{тр}$ 3,2%. Эффективные модели ступенчатой изменчивости отметились на пяти станциях: Визе, Кренкеля, Фёдорова, Голомянный, Вайда-Губа. Минимальное значение $\Delta_{ст}$ на станции М-2 Архангельск 1,5% до максимального 23,2%, среднее значение эффективности составило 6,8%.

Также, при анализе полученной таблицы было выявлено, что год ступенчатых изменений для апреля варьируется от 1960 до 2007 года, среднее значение в 1994 году, чаще всего переход встречался в 1999 – 2005 годах.

Коэффициент корреляции статистически значим на станциях шести станциях: Кренкеля, Визе, Фёдорова, Голомянный, Вайда-Губа, Полярное, Сосновец. Максимальное значение коэффициента станции им.Кренкеля 0,6, минимальное -0,2 на станции Колгуев Северный, среднее значение для апреля 0,17.

Таблица 4.1.1.

Расчёт показателей нестационарности модели для апреля для всего многолетнего периода и для периода с 1960 года

Код станции	Период	$\Delta_{тр},\%$	$\Delta_{ст},\%$	Год ступенч. изменений	Год начала набл-ий	Год оконч. наблюд-ий	Лет	Коэфф. коррел-ии
Кренкеля	весь	19,7	23,2	2005	1958	2018	61	0,6
	с 1960	10,4	14,4	2006	1960	2018	59	0,44

Визе	весь	9,5	15,6	1995	1945	2018	74	0,43
	с 1960	12,5	16,6	1995	1960	2018	59	0,48
Федорова	весь	5,9	16,4	2007	1933	2018	85	0,34
	с 1960	12,6	20,8	2007	1960	2018	59	0,49
Голомянный	весь	12	16,9	1995	1931	2018	88	0,48
	с 1960	10,7	16,1	1995	1960	2018	59	0,45
Стерлегова	весь	0,9	9,6	2005	1935	2018	84	0,13
	с 1960	6,8	17,5	2007	1960	2018	59	0,36
Попова	весь	2,4	8	1993	1940	2018	79	0,22
	с 1960	10,4	14,1	1990	1960	2018	59	0,44
Диксон	весь	2,1	9,7	2007	1917	2018	102	0,2
	с 1960	7,8	16	2007	1960	2018	59	0,39
Малые Кармакулы	весь	2,7	5,7	2007	1897	2018	122	0,23
	с 1960	8,1	12,2	1989	1960	2018	59	0,39
Вайда-Губа	весь	6,7	10,7	2002	1940	2018	79	0,36
	с 1960	10,3	12,6	1989	1960	2018	59	0,44
Полярное	весь	4,4	7,5	1989	1900	2018	106	0,29
	с 1960	9,4	13,0	1989	1960	2018	59	0,42
Териберка	весь	1,9	5,4	1999	1890	2018	129	0,19
	с 1960	8,0	10,4	1999	1960	2018	59	0,39
Колгуев Северный	весь	2	6,1	1956	1934	2017	84	-0,2
	с 1960	6,8	11,2	1989	1960	2018	59	0,36
Мурманск	весь	0,5	2,8	1939	1918	2018	101	-0,1
	с 1960	6,9	9,7	1999	1960	2018	59	0,37
Святой Нос	весь	3,3	4,9	1992	1910	2018	109	0,26
	с 1960	11,8	13,2	1990	1960	2018	59	0,47
Канин Нос	весь	0	1,5	2004	1916	2018	103	0
	с 1960	7,4	11,4	2000	1960	2018	59	0,38
Каневка	весь	3,8	7,4	1999	1949	2018	70	0,27
	с 1960	6,7	9,1	1999	1960	2018	59	0,36

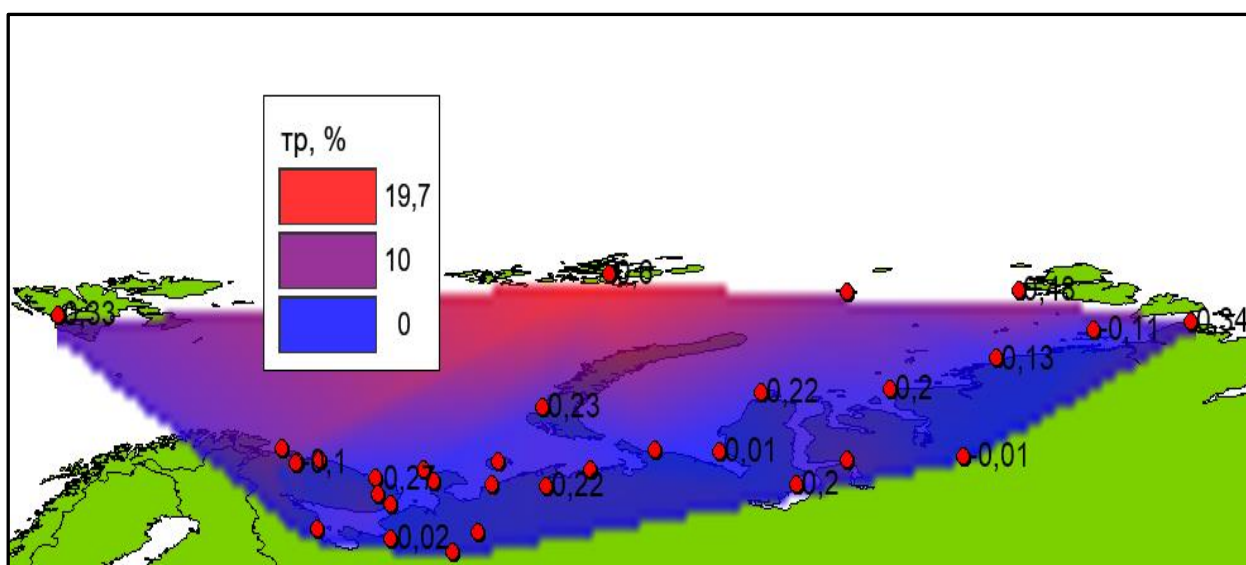
Шойна	весь	0,9	5,0	2000	1933	2018	86	0,13
	с 1960	5,3	8,7	2000	1960	2018	59	0,32
Индига	весь	1,6	4,7	2000	1924	2018	95	0,18
	с 1960	4,8	7,5	2000	1960	2018	59	0,31
Сосновец	весь	3,1	6,8	2000	1919	2018	100	0,25
	с 1960	7,9	11,5	2000	1960	2018	59	0,39
Кемь-порт	весь	1,4	4	1999	1866	2018	153	0,17
	с 1960	5,7	9,9	1999	1960	2018	59	0,33
Архангельск	весь	0	1,5	1993	1919	2018	100	0,02
	с 1960	3,1	5,4	1999	1960	2018	59	0,25
Койнас	весь	1,7	2,9	1989	1924	2018	95	0,18
	с 1960	2,9	4,4	1989	1960	2018	59	0,24
Сура	весь	1,6	2,6	1989	1924	2018	95	0,18
	с 1960	2	3,3	1999	1960	2018	59	0,2
Амдерма	весь	0,2	3,5	1960	1934	2018	85	-0,06
	с 1960	2,7	7,6	2007	1960	2018	59	0,23
Марресала	весь	0	4,3	1956	1940	2018	79	0,01
	с 1960	3	7,8	2006	1960	2018	59	0,24
Антипаюта	весь	0	2,4	1956	1933	2011	79	-0,01
	с 1960	3,7	7,1	2005	1960	2018	59	0,27
Дудинка	весь	0	2,4	1956	1933	2011	79	-0,01
	с 1960	2	2,8	1995	1960	2011	52	0,2
Константи- новский	весь	2,5	4,5	2004	1960	2018	59	0,22
	с 1960	4,2	7,4	2007	1960	2018	59	0,29
Новый Порт	весь	1,9	5,4	2007	1951	2019	69	0,2
	с 1960	4	6,8	2007	1960	2019	60	0,28

Сравнивая данные с 1960 года с рядами многолетних данных, можно сказать что они дают более эффективные нестационарные модели. Например, на станции Кемь-Порт показатели $\Delta_{тр}$ и $\Delta_{ступ}$ 5,7 и 9,9 %, а в многолетнем ряде

1,4 и 4% % соответственно. Модели ступенчатых изменений являются эффективными на станциях 7 станциях: Кренкеля, Визе, Фёдорова Голомянный, Попова, Вайда-Губа. Минимальное значение $\Delta_{тр}=2\%$ на станциях Дудинка, Сура, Колгуев Северный. Эффективные модели тренда на 13 станциях. То есть ряды данных с 1960 года дали эффективность $\Delta_{тр}$ на 7 станциях против одной за многолетний период, $\Delta_{ступ}$ на тринадцати станциях против пяти, среднее значение $\Delta_{ст}=0,2\%$ против $\Delta_{ст}=10,17\%$. Коэффициент корреляции статистически значим на 22 станциях (Визе, Голомянный, Баренцбург, Русский, Федорова, Стерлегова, Попова, Диксон, Вайда-Губа, Полярное, Кемь-Порт, Колуев, Териберка и т.д) то есть $R_{тр}$ отмечается чаще чем на многолетнем периоде.

4.2 Пространственное обобщение показателей нестационарности

Минимальные значения двух коэффициентов отмечаются в юго-восточной и в юго-западной части рассматриваемого региона. Показатели эффективности моделей ступенчатых изменений и моделей линейного тренда повышаются с продвижением к полюсу, максимальные на станции ОГМС им.Кренкеля, находящейся на архипелаге Земля Франца-Иосифа (Рис.4.2.1, 4.2.2, 4.2.3)



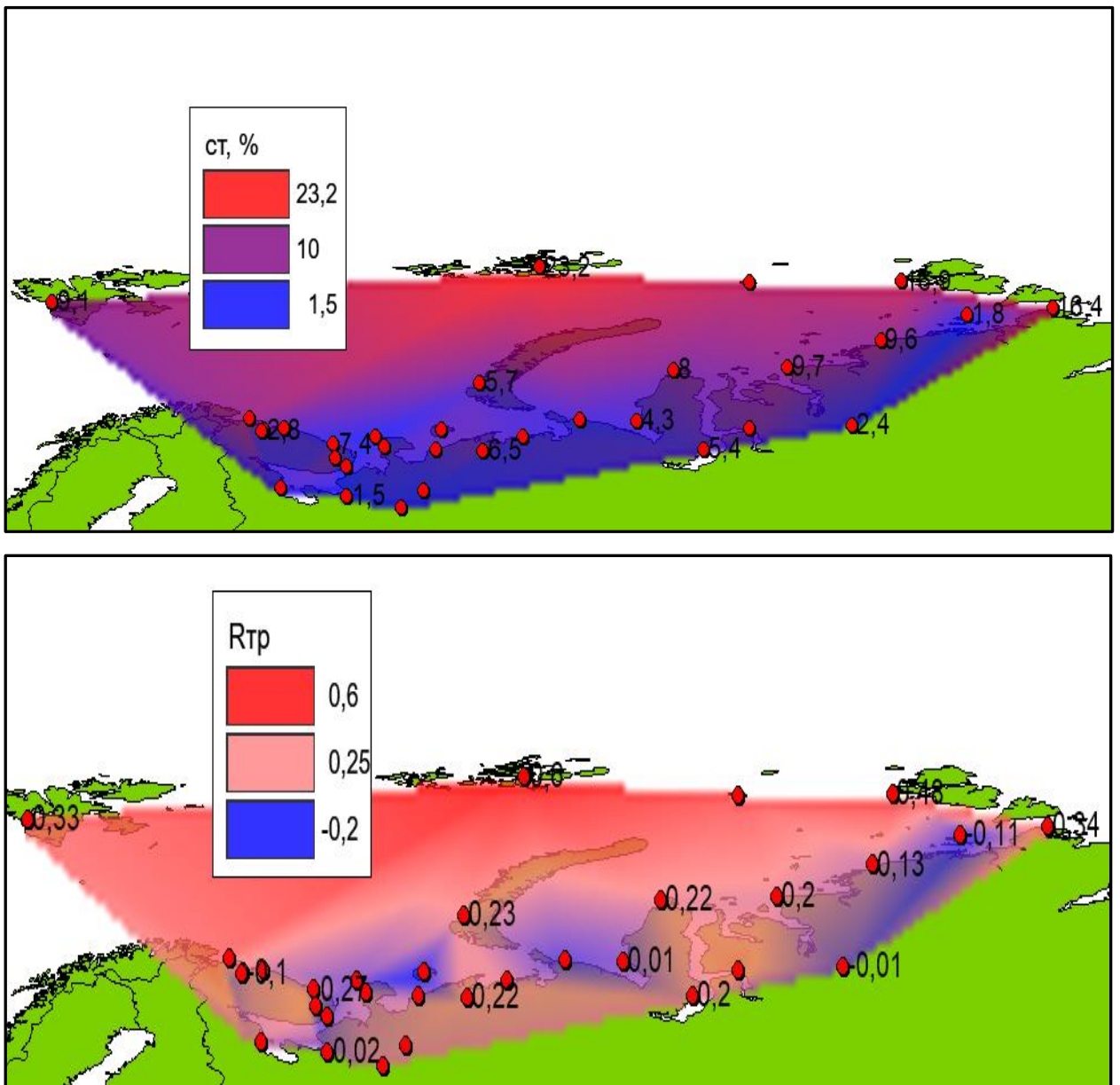


Рис. 4.2.1, 4.2.2, 4.2.3. Пространственные распределения отклонений модели тренда (верхний, $\Delta_{тр}$ в %) и ступенчатых отклонений (средний, $\Delta_{ст}$ в %) от стационарной модели для температуры апреля и коэффициента корреляции (нижний).

Из рисунка чётко видно, что в апреле потепление наступало не одновременно на всех станциях. Более ранние годы потепления были отмечены в центральной части рассматриваемого региона, более поздние в восточной и западной части рассматриваемого региона.

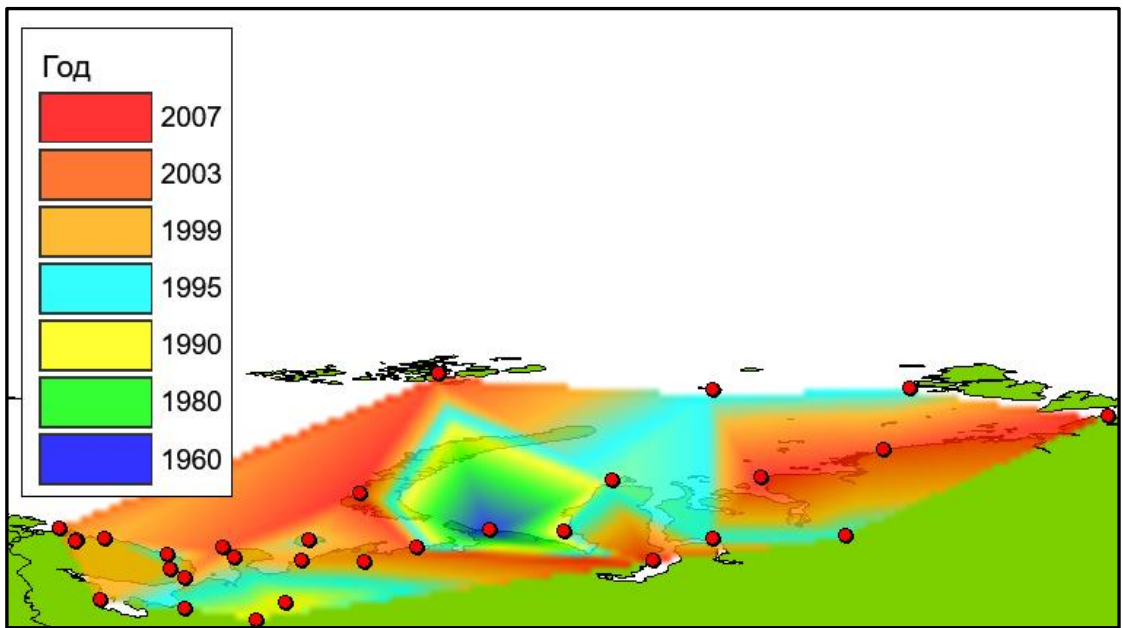


Рис.4.2.4. Годы ступенчатых изменений температуры в апреле

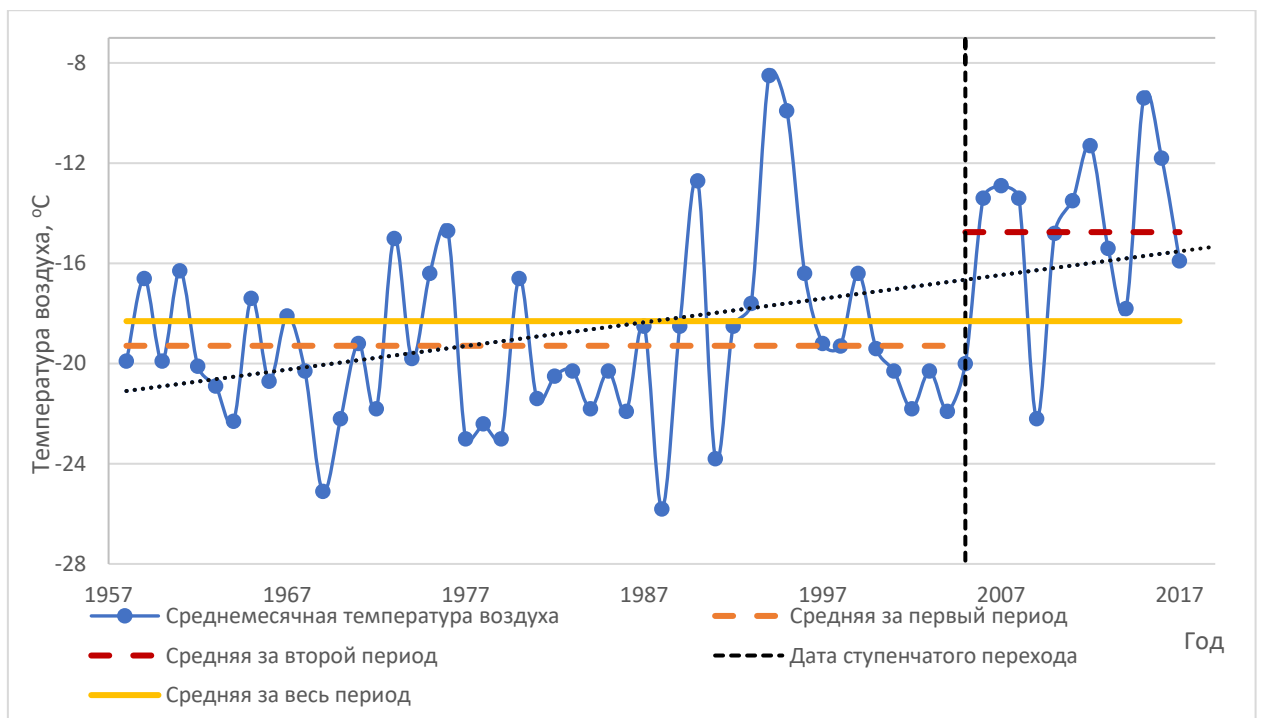


Рис.4.2.5. График нестационарной модели временных рядов температуры воздуха в апреле на ОГМС им.Кренкеля

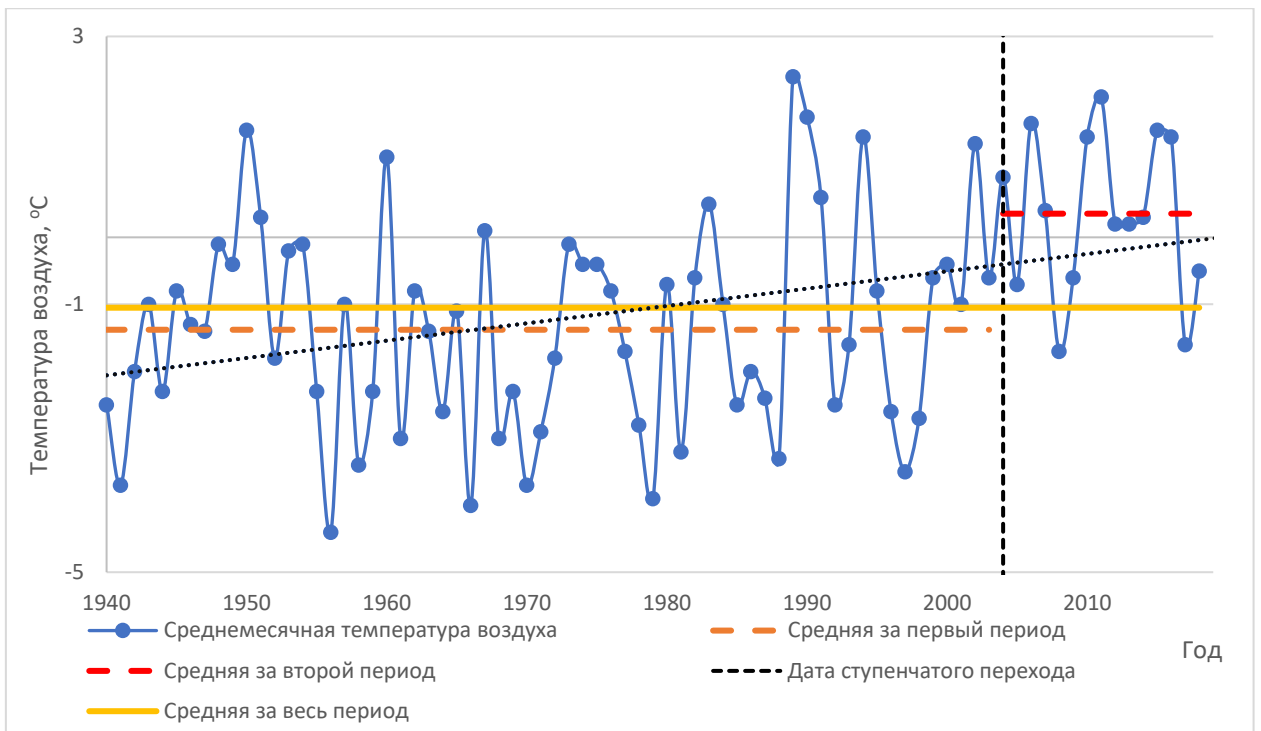


Рис.4.2.6. График нестационарной модели временных рядов температуры воздуха в апреле на Г-2 Вайда-Губа

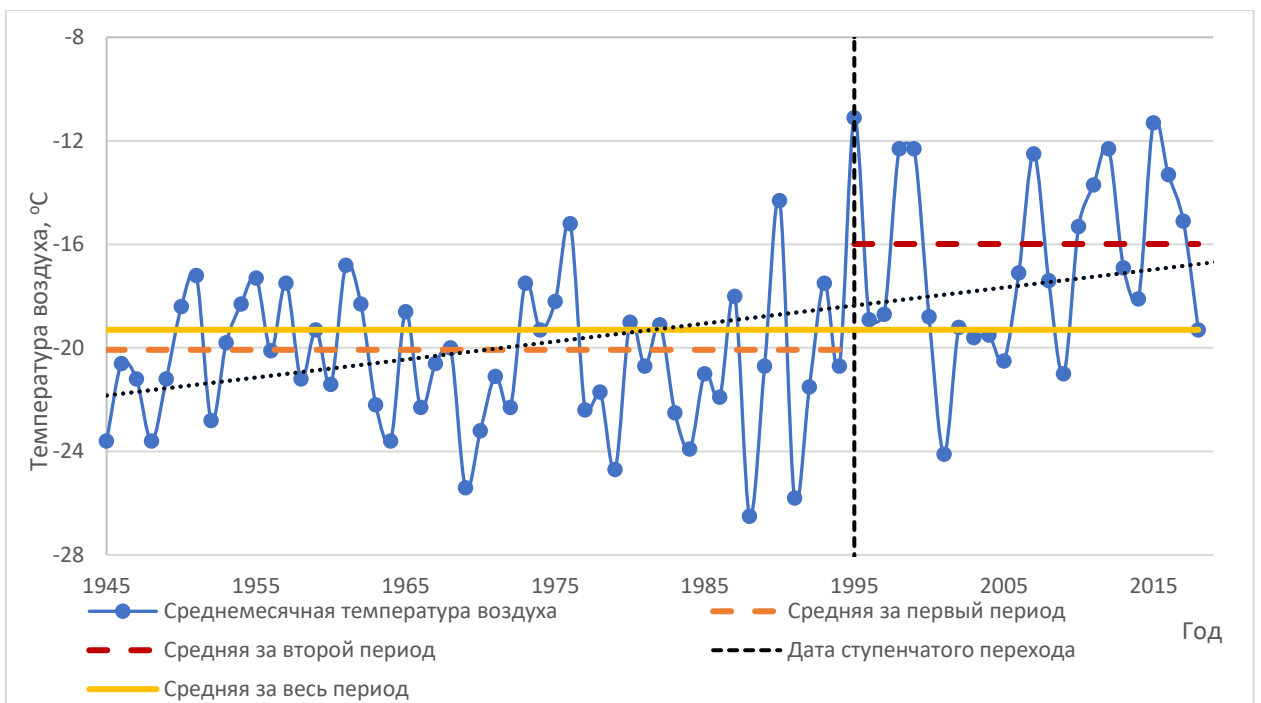


Рис.4.2.7. График нестационарной модели временных рядов температуры воздуха в апреле на МГ-2 Визе

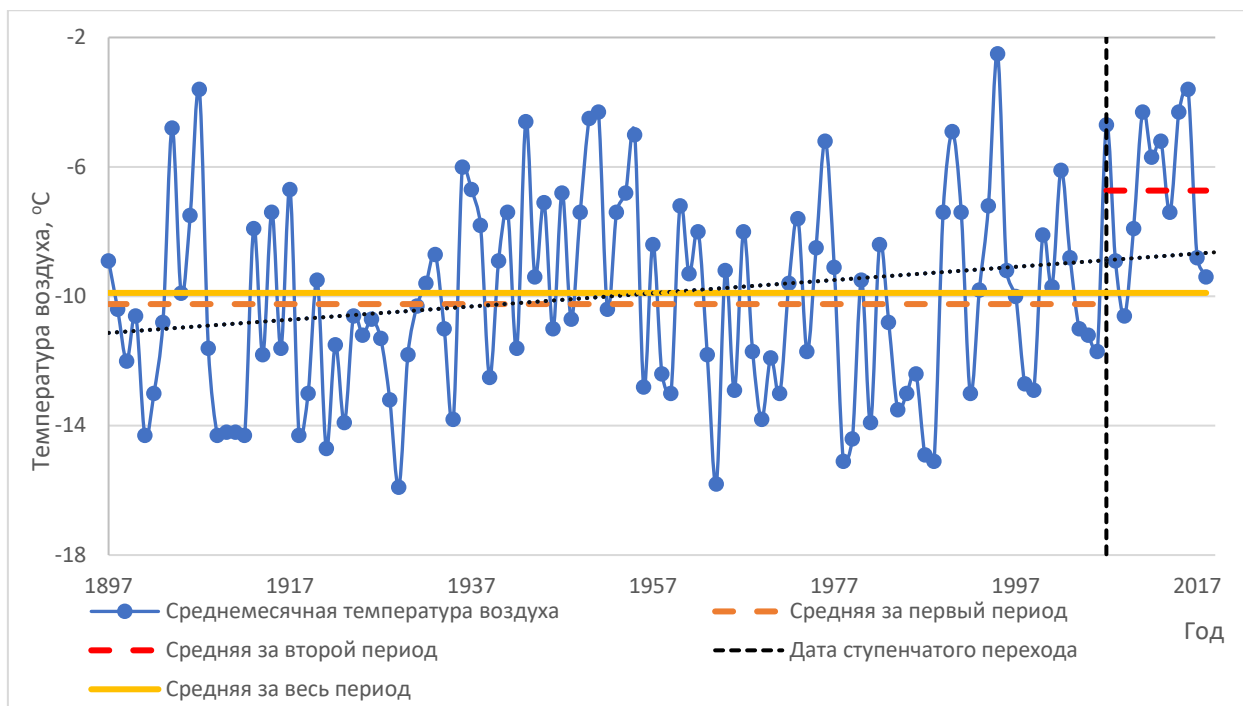


Рис.4.2.8. График нестационарной модели временных рядов температуры воздуха в апреле на МГ-2 Малые Кармакулы

На станциях, расположенных ближе всего к северному полюсу (ОГМС им. Кренкеля, Малые Кармакулы, Визе, Голомянный, Баренцбург) наблюдается наибольшее повышение температуры, а именно на 8°C - 10°C . В центральной части региона, на станциях Амдерма, Марресаля, Антипаюта, им.М.В.Попова и в Ненецком автономном округе на станциях Колгуев, Шойна Сосновец наблюдалось небольшое повышение температуры на $1 - 2^{\circ}\text{C}$. То есть продвижением на север тенденции к повышению температур будут увеличиваться.

Глава 5. Оценка изменений температур воздуха в июле

5.1 Результаты моделирования временных рядов в пунктах наблюдений за июль

Эффективные нестационарные модели линейного тренда и ступенчатых изменений многолетних данных в апреле не были обнаружены. Среднее значение эффективности модели линейного тренда составило 2,1%, с минимумом 0% в Дудинке. Среднее значение модели ступенчатых изменений составило 4,1%, минимум 0,7% на станции им.Кренкеля, а максимум 7,4% Колгуев Северный и Шойна. Коэффициент корреляции за многолетний период статистически значим на 6 станциях: Диксон (0,28), Малые Кармакулы (0,28), Полярное (0,28), Канин Нос (0,29), Шойна (0,32), Амдерма (0,28). Средний год температурных изменений в данном регионе – 1997, варьируется от 1982 до 2006 года, чаще всего ступенчатые изменения происходили с 1999 по 2005 год.

Таблица 5.1.1.

Расчёт показателей нестационарности модели для июля для всего многолетнего периода и для периода с 1960 года

Код станции	Период	$\Delta_{тр},\%$	$\Delta_{ст},\%$	Год ступенч. изменений	Год начала наблюдений	Год оконч. наблюдений	Лет	Коэфф. коррел.
Кренкеля	весь	0,1	0,7	1982	1958	2018	60	-0,04
	с 1960	0	0,6	1982	1960	2018	58	-0,01
Визе	весь	1,8	4,3	1997	1945	2018	74	0,19
	с 1960	1.2	4.1	1997	1960	2018	59	0.15
Федорова	весь	0	0,7	1986	1931	2018	88	0,02
	с 1960	0.2	0.9	1986	1960	2018	59	-0.06
Голомянный	весь	0.1	1.0	1986	1933	2018	85	-0.04
	с 1960	0.0	1.1	1986	1960	2018	58	-0.02
	с 1960	2.8	5.7	1986	1960	1995	36	-0.24
Стерлегова	весь	0,4	3,4	2006	1935	2018	83	0,09

	с 1960	2,2	5,1	2006	1960	2018	58	0,21
Попова	весь	2,2	6,7	2006	1917	2018	102	0,21
	с 1960	9.1	11.5	2004	1960	2018	59	0.42
Диксон	весь	0	0,8	2006	1940	2018	79	-0,03
	с 1960	0,8	2,8	2006	1960	2018	57	-0,13
Малые Кармакулы	весь	4	5	1982	1897	2018	122	0,28
	с 1960	0.5	2.8	1982	1960	2018	59	0.10
Вайда-Губа	весь	4,5	5,7	2000	1940	2018	79	0,3
	с 1960	0.8	4.2	2001	1960	2018	59	0.12
Полярное	весь	4.1	5.6	1999	1899	2018	107	0.28
	с 1960	4.3	8.8	1999	1960	2018	46	0.29
Териберка	весь	1.3	2.7	2000	1890	2018	129	0.16
	с 1960	0.3	3.2	2000	1960	2018	59	0.08
Колгуев Северный	весь	4,5	7,4	2000	1934	2018	85	0,3
	с 1960	2	7	2000	1960	2018	59	0,2
Мурманск	весь	0,1	2,1	2000	1918	2018	101	0,05
	с 1960	0,7	2,9	2000	1960	2018	59	0,11
Святой Нос	весь	1,6	2,7	1998	1910	2018	109	0,18
	с 1960	0	3,3	1998	1960	2018	59	0
Канин Нос	весь	4,4	5,5	1998	1916	2018	103	0,29
	с 1960	0,2	4,3	2000	1960	2018	59	0,06
Каневка	весь	1,8	3,9	1998	1949	2018	70	0,19
	с 1960	0.5	3.7	1998	1960	2018	59	0.10
Шойна	весь	5.2	7.4	1998	1933	2018	86	0.32
	с 1960	1.8	6.5	1998	1960	2018	59	0.19
Индига	весь	3.0	5.1	1998	1924	2018	95	0.24
	с 1960	0.1	1.9	1998	1960	2018	59	0.03
Сосновец	весь	2,8	5,1	1999	1919	2018	100	0,23
	с 1960	1,3	5,9	2000	1960	2018	59	0,16
Кемь-порт	весь	0,7	3,8	1999	1866	2018	153	0,12
	с 1960	2.1	7.1	1999	1960	2018	59	0.21
Архангельск	весь	1,5	5	1998	1919	2018	100	0,17
	с 1960	2	7,3	1998	1960	2018	59	0,2
Койнас	весь	2,9	5,1	1998	1924	2018	95	0,24

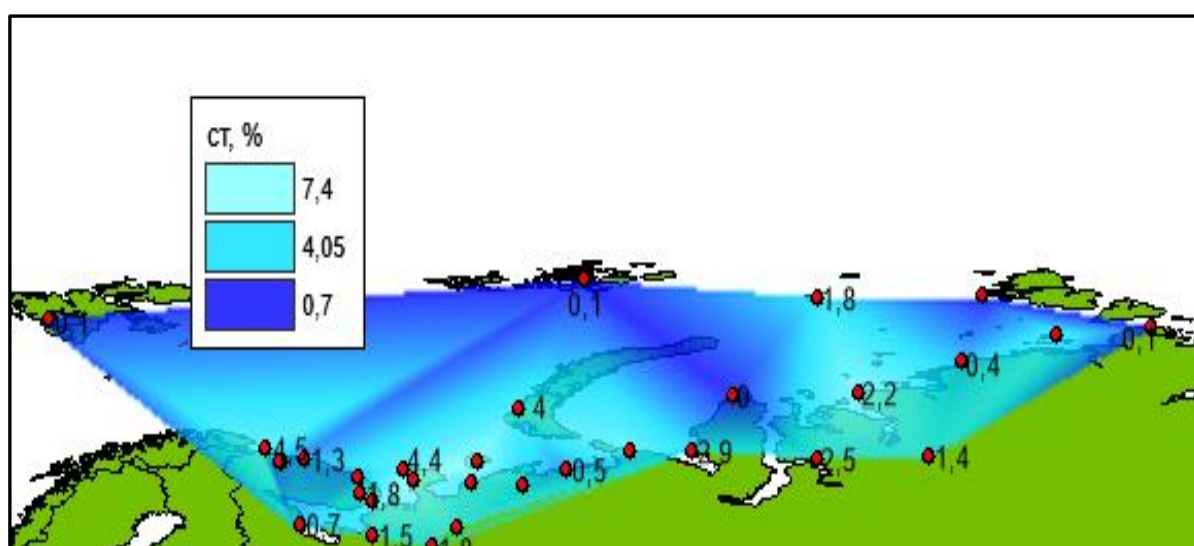
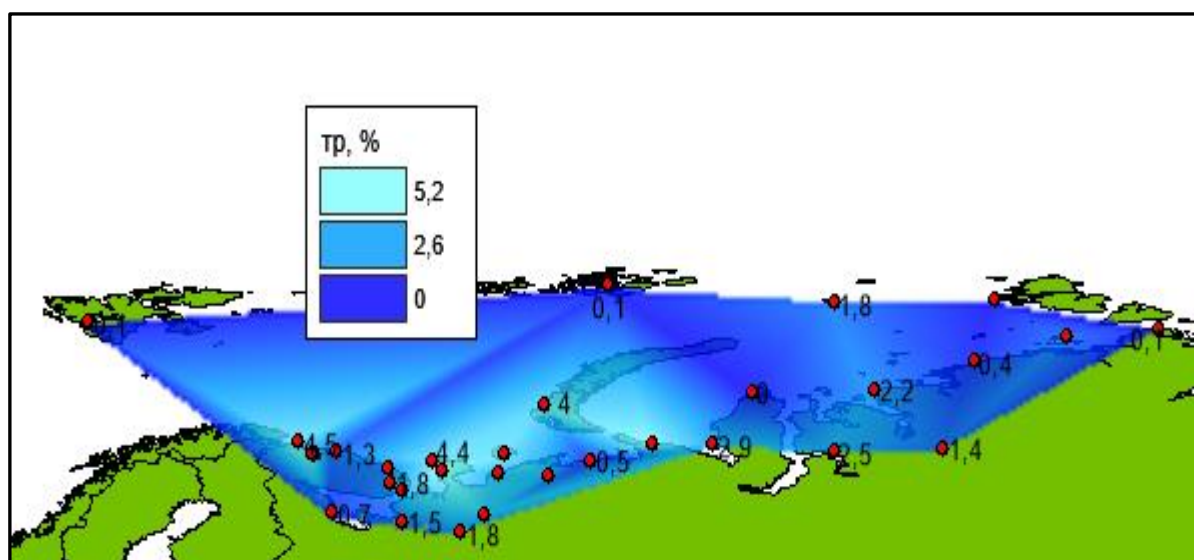
	с 1960	1.8	5.7	1998	1960	2018	59	0.19
Сура	весь	1,8	4,4	1998	1924	2018	95	0,19
	с 1960	1.4	5.7	1998	1960	2018	59	0.17
Амдерма	весь	5,1	6	1987	1934	2018	85	0,31
	с 1960	4	6,4	1987	1960	2018	59	0,28
Марресала	весь	2,9	4,2	2003	1940	2018	79	0,24
	с 1960	3.4	4.9	2003	1960	2018	59	0.26
Антипаюта	весь	2,5	4,8	2006	1959	2018	60	0,22
	с 1960	3.0	5.0	2006	1960	2018	59	0.24
Дудинка	весь	1,4	4,7	2004	1933	2011	79	0,16
	с 1960	0.0	0.8	2004	1960	2011	52	0.00
Константи- новский	весь	0,5	3	2004	1959	2018	60	0,1
	с 1960	1.3	3.6	2004	1960	2018	59	0.16
Нарьян-Мар	весь	2,5	4,1	2000	1927	2018	92	0,22
	с 1960	4	6,4	2000	1960	2018	59	0,28

Сравнивая «обрезанные» данные с 1960 года с рядами всех многолетних данных, можно сказать что дают более эффективные нестационарные модели. Например, на станции Марре-Саля показатели $\Delta_{тр}$ и $\Delta_{ступ}$ 3,4 и 4,9 %, а в многолетнем ряде 2,9 и 4,2% соответственно. За рассматриваемый период была получена только одна эффективная модель ступенчатых изменений и модель тренда на станции им.Попова: $\Delta_{тр}=9.1$, $\Delta_{ступ}=11.5\%$. Ряды данных с 1960 года дали в среднем более эффективную модель тренда и ступенчатых изменений (среднее значение $\Delta_{ст}=4,5\%$ против $\Delta_{ст}=4,1\%$). Коэффициент корреляции статистически значим на 4 станциях: Нарьян-Мар, Марресала, Амдерма и Попова, в среднем значение $R_{тр}$ больше чем на многолетнем период (0,32 против 0,42).

5.2 Пространственное обобщение показателей стационарности

Максимальные значения (>5%) коэффициентов эффективности линейного тренда и ступенчатых изменений отмечаются в центре региона

(Малые Кармакулы, Попова, Марресаля), в целом значения этих двух показателей в июле месяце распределены равномерно по всей территории рассматриваемого региона. Значения коэффициентов корреляции увеличиваются с продвижением на запад от минимальных на востоке региона (станции им.Фёдорова, Голомянный), максимальные значения уже втекают на Новой Земле, также на полуострове Канин Нос и на севере Архангельской области.



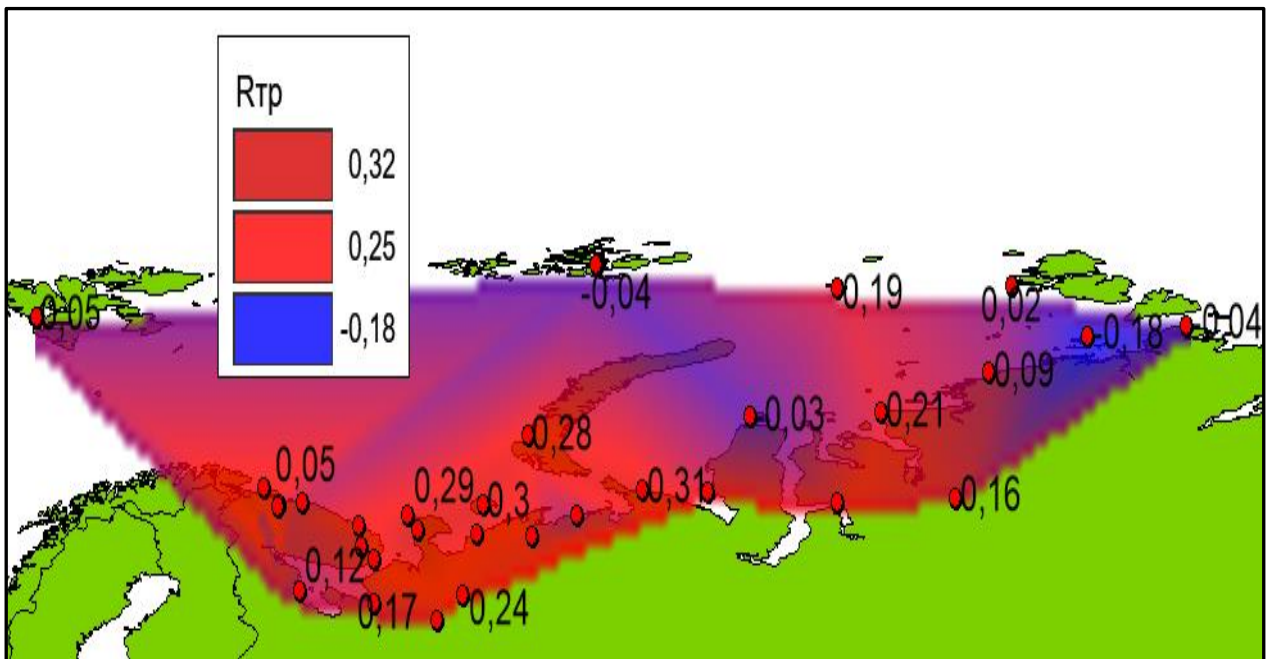


Рис. 5.2.1, 5.2.2, 5.2.3. Пространственные распределения отклонений модели тренда (верхний, $\Delta_{тр}$ в %) и ступенчатых отклонений (средний, $\Delta_{ст}$ в %) от стационарной модели для температуры июля и коэффициента корреляции (нижний).

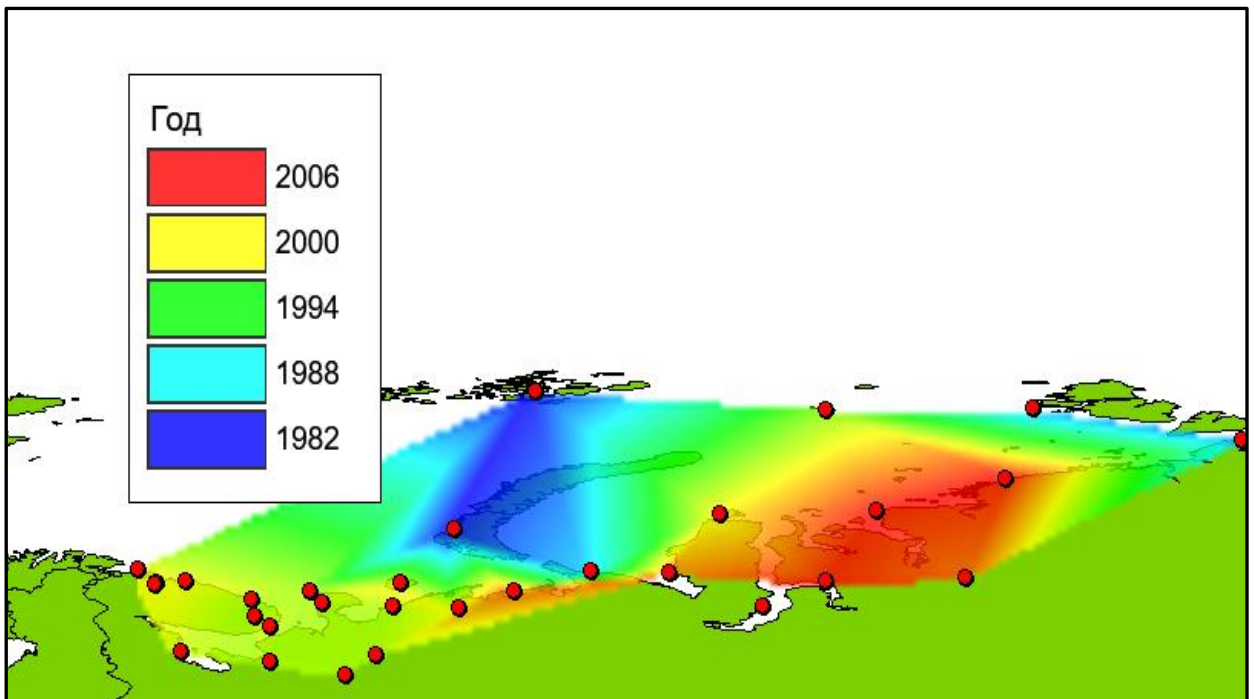


Рис.5.2.4. Годы ступенчатых изменений температуры в июле

В этом месяце значения эффективности минимальны и значения повышения температур небольшие, использовать данные о ступенчатых изменениях не стоит, только лишь принять к сведению как приблизительные. В июле, как видно из рисунка 5.2.4, потепление наступало не одновременно на всей территории. Первые годы с повышением были отмечены в центральной части и приполярной части рассматриваемого региона (станции на Новой Земле, архипелаге Земля Франца-Иосифа, и на станции Амдерма) более поздние изменения температур проявлялись в юго-восточной и части рассматриваемого региона (Дудинка, Стерлегова, Диксон, Антипаюта, Марресалья).

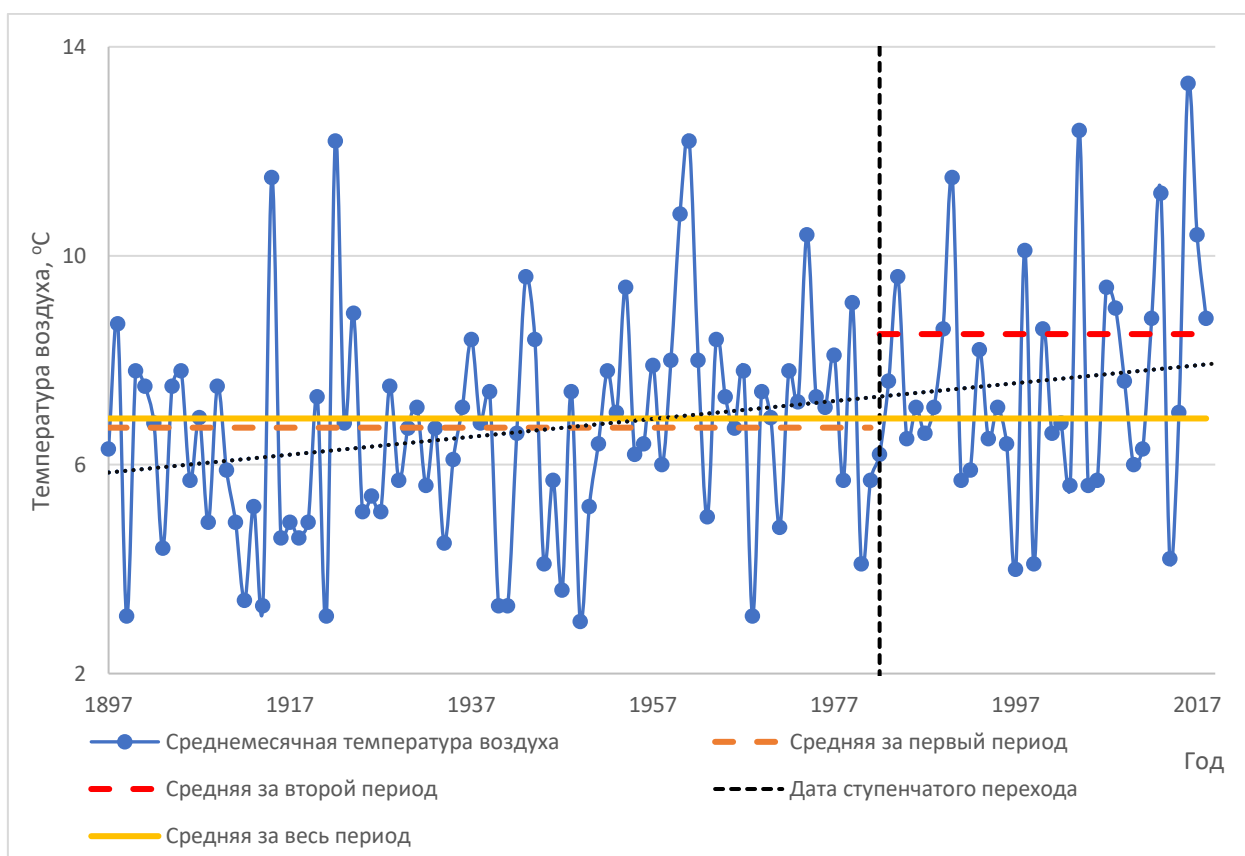


Рис.5.2.5. График нестационарной модели временных рядов температуры воздуха в июле на МГ-2 Малые Кармакулы

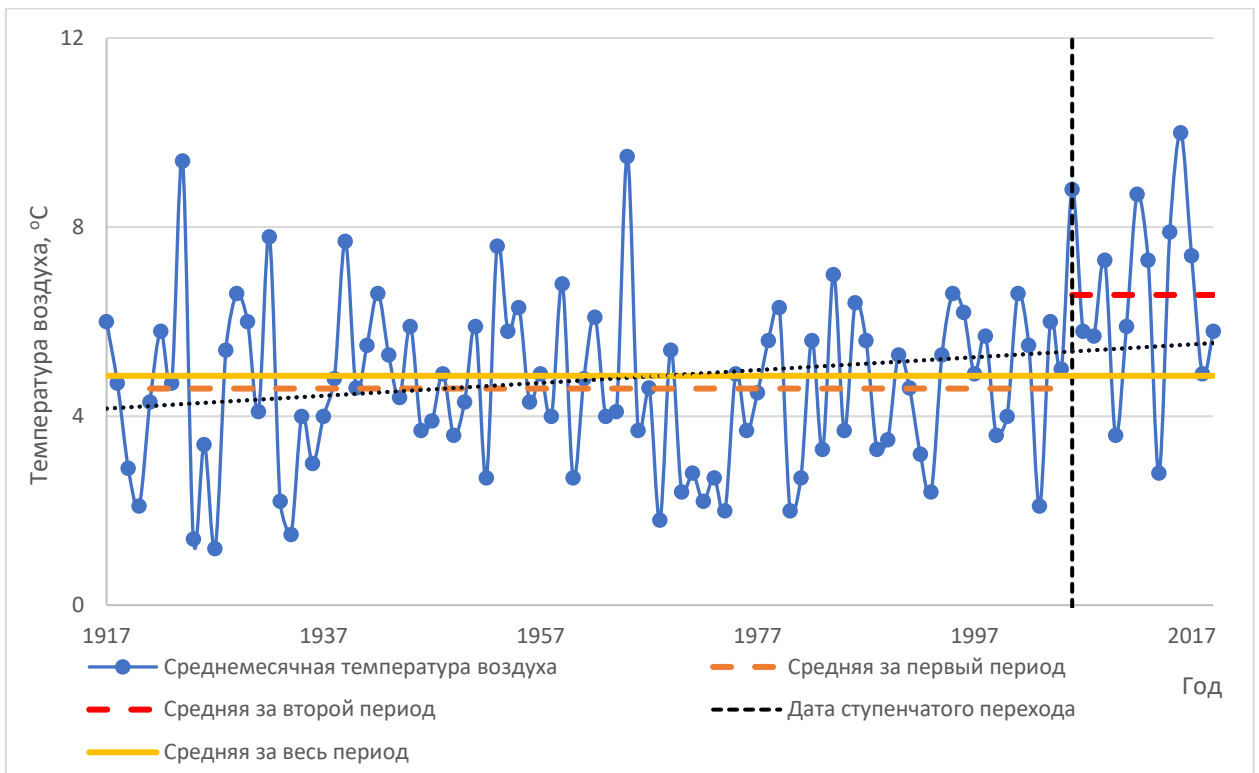


Рис.5.2.6. График нестационарной модели временных рядов температуры воздуха в июле на ОГМС Диксон

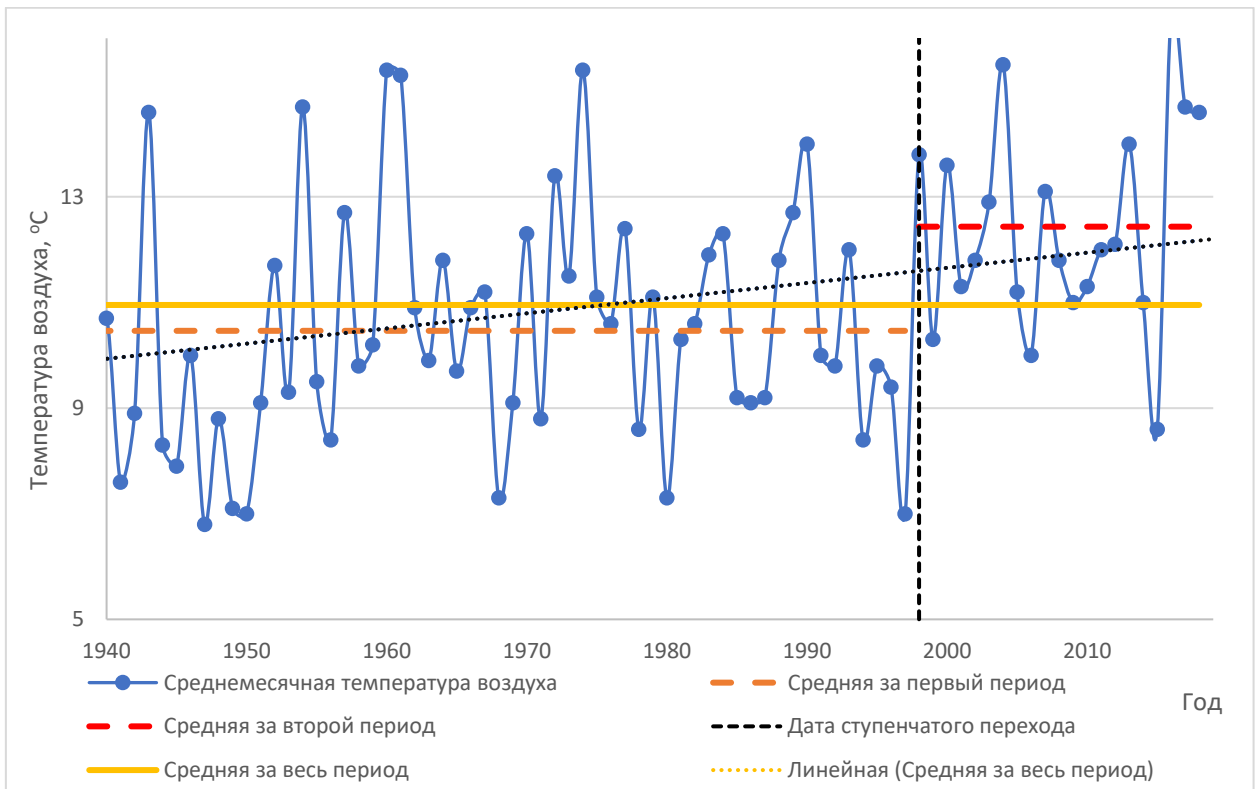


Рис.5.2.7. График нестационарной модели временных рядов температуры воздуха в июле на АЭ Шойна

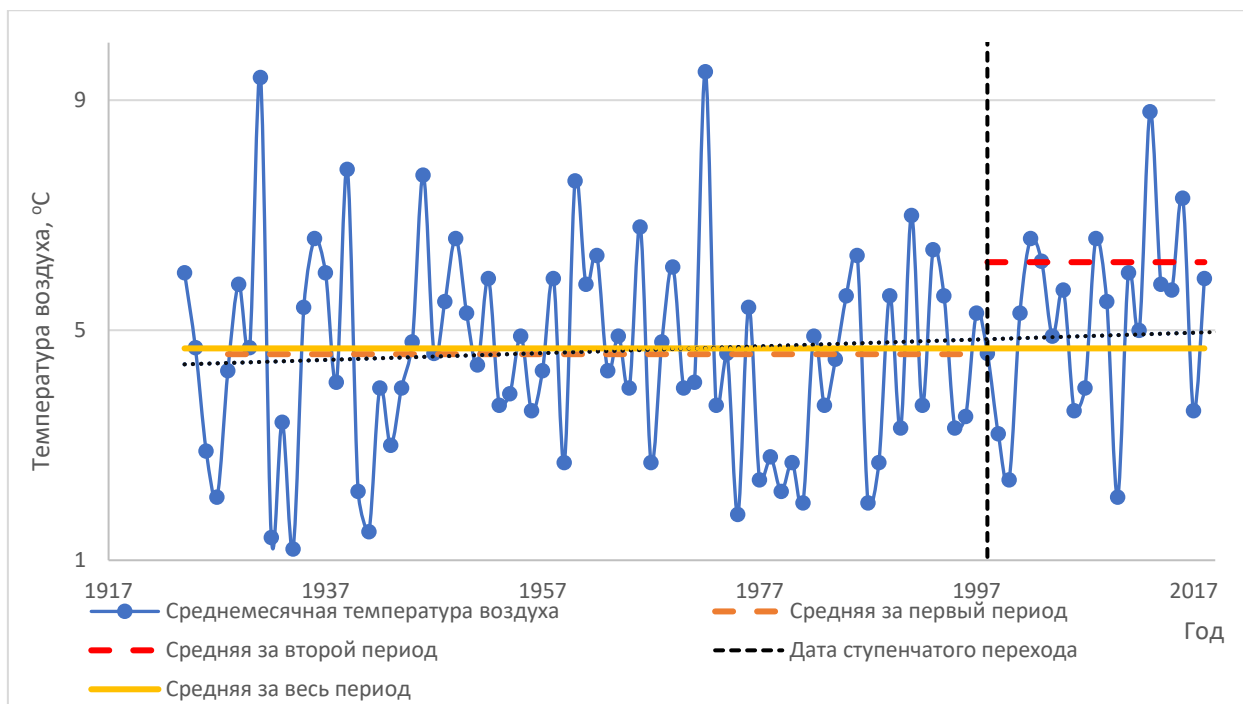


Рис.5.2.8. График нестационарной модели временных рядов температуры воздуха в июле на М-2 Сура

Температурные изменения в июле месяце на территории западного сектора российской Арктики наименьшие из всех рассматриваемых периодов. На станциях, расположенных на Кольском полуострове, на материковой части НАО и Архангельской области, температура повысилась на 2°C – 3°C (рис Рис.5.2.6 - рис.5.2.8). С продвижением на север тенденции на увеличение температур воздуха уменьшаются, так на станциях Баренцбург и Голомянный температура повысилась $0,5^{\circ}\text{C}$, также небольшие изменения температур в восточной части на станциях Фёдорова, Стерлегова, Русский.

Глава 6. Оценка изменений температур воздуха в октябре

6.1 Результаты моделирования временных рядов в пунктах наблюдений за октябрь

Анализируя все полученные результаты по многолетним данным, можно утверждать, что в октябре эффективная нестационарная модель линейного тренда отмечается только на одной из станций станции Святой Нос (Кольский полуостров). Среднее значение в октябре месяце $\Delta_{тр}$ составляет 3%, минимальное значение 0 на станциях Дудинка и Диксон, максимальное значение 12,4% на станции Малые Кармакулы (Новая Земля). Эффективная модель ступенчатой изменчивости была получена на пяти станциях (Попова, Визе, Фёдорова, Кренкеля, Святой Нос), среднее значение составило 7,4%, максимум 19,2 на станции остров Визе, минимум 1,2% на станции Баренцбург (архипелаг Шпицберген). Статистически значимые значения коэффициента корреляции были получены на станциях 7 станциях Кренкеля, Визе, Вайда-Губа, Полярное, Святой Нос, Антипаюта, мыс Константиновский, среднее значение 0,18, максимальное 0,48 на станции Святой Нос.

Года ступенчатых изменений варьируются от 1993 года до 2007 го, в среднем этот показатель – 1993 год, чаще всего изменения с температурой воздуха отмечались в период с 1998, 1999, 2005 и 2007 года.

Таблица 6.1.1

Расчёт показателей нестационарности модели для октября для всего многолетнего периода и для периода с 1960 года

Код станции	Период	$\Delta_{тр},\%$	$\Delta_{ст},\%$	Год ступенч. изменений	Год начала набл-ий	Год оконч. наблюд-ий	Лет	Коэфф. коррел-ии
Кренкеля	весь	9,5	12,9	1993	1958	2018	60	0,43
	с 1960	12,1	14,3	1993	1960	2018	59	0,48

Визе	весь	6,4	19,2	2007	1945	2018	74	0,35
	с 1960	19.3	23.7	2007	1960	2018	59	0.59
Голомянный	весь	2,7	16,5	2005	1931	2018	88	0,23
	с 1960	20.1	28.6	2005	1960	2018	59	0.60
Федорова	весь	0.5	11.7	2005	1933	2018	86	0.10
	с 1960	19.7	25.0	2005	1960	2018	59	0.60
Стерлегова	весь	0,2	6,7	2005	1935	2018	84	-0,05
	с 1960	4	8,5	2006	1960	2018	59	0,28
Попова	весь	2,2	10,4	2000	1940	2018	79	0,21
	с 1960	10,9	16,5	2000	1960	2018	59	0,45
Диксон	весь	0	5,8	2007	1917	2018	102	0,02
	с 1960	9.9	13.9	2007	1960	2018	59	0.43
Малые Кармакулы	весь	2,2	6,3	2007	1897	2018	122	0,21
	с 1960	12.4	14.2	2000	1960	2018	59	0.48
Вайда-Губа	весь	3,9	8,7	1999	1940	2018	79	0,28
	с 1960	7.5	11.0	1999	1960	2018	59	0.38
Полярное	весь	4.9	5.8	1999	1899	2018	107	0.31
	с 1960	1.6	4.8	1999	1960	2018	46	0.18
Териберка	весь	5.4	5.5	1999	1889	2018	130	0.32
	с 1960	5.4	7.4	1999	1960	2018	59	0.32
Колгуев Северный	весь	1,2	8	1999	1934	2018	85	0,15
	с 1960	9,1	13,8	1999	1960	2018	59	0,42
Мурманск	весь	1,7	3,9	1999	1918	2018	101	0,18
	с 1960	4	5,9	1999	1960	2018	59	0,28
Святой Нос	весь	12,4	12,5	1998	1910	2018	109	0,48
	с 1960	8,7	13,7	1998	1960	2018	59	0,41
Канин Нос	весь	2,5	8,3	1999	1916	2018	103	0,22
	с 1960	8,6	13,3	1999	1960	2018	59	0,4
Каневка	весь	1,8	5,4	1998	1949	2018	70	0,19
	с 1960	3.7	6.6	1998	1960	2018	59	0.27
Шойна	весь	1.1	5.8	1999	1932	2018	87	0.15

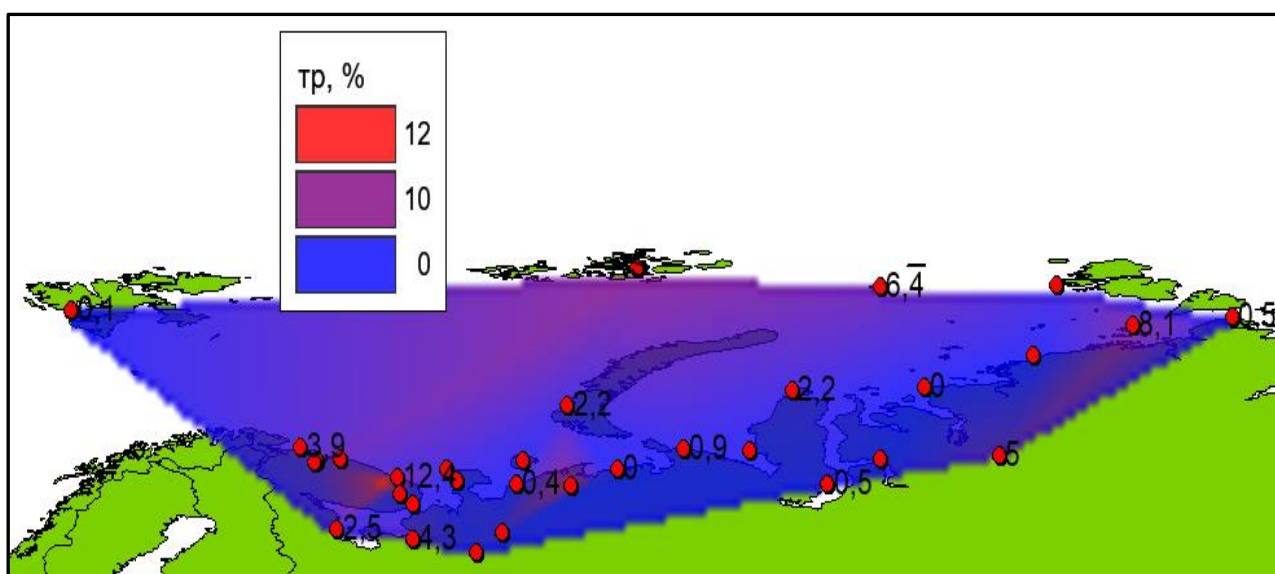
	с 1960	6.6	9.4	1999	1959	2018	60	0.36
Индига	весь	0,4	4,7	2003	1924	2018	95	0,09
	с 1960	4,6	8,1	2003	1960	2018	59	0,3
Сосновец	весь	2,5	6,4	1999	1919	2018	100	0,22
	с 1960	5,1	8,8	1999	1960	2018	59	0,32
Кемь-порт	весь	4,3	4,6	2000	1866	2018	153	0,29
	с 1960	3.0	4.9	2000	1960	2018	59	0.24
Архангельск	весь	2	3,9	1998	1919	2018	100	0,2
	с 1960	2,9	4,9	1994	1960	2018	59	0,24
Койнас	весь	0,9	4,3	1994	1924	2018	95	0,13
	с 1960	4.6	7.0	1994	1960	2018	59	0.30
Сура	весь	0,9	3,7	1994	1924	2018	95	0,14
	с 1960	3.2	5.5	1994	1960	2018	59	0.25
Амдерма	весь	0,9	5,6	1999	1934	2018	85	0,14
	с 1960	8,7	10,1	1999	1960	2018	59	0,41
Марресала	весь	0,3	3,7	2007	1940	2018	79	0,07
	с 1960	5.5	5.9	2007	1960	2018	59	0.33
Антипаюта	весь	5	7,2	2007	1959	2018	60	0,31
	с 1960	4.9	7.1	2007	1960	2018	59	0.31
Дудинка	весь	0	2,9	1956	1933	2011	79	-0,01
	с 1960	3.7	4.9	1983	1960	2011	52	0.27
Константи- новский	весь	9,7	11	1999	1959	2018	60	0,43
	с 1960	8.9	10.6	1999	1960	2018	59	0.41
Нарьян-Мар	весь	0,5	4,4	1999	1927	2018	92	0,09
	с 1960	6,6	8,5	1999	1960	2018	59	0,36

Сравнивая «обрезанные» обработанные данные с 1960 года с рядами всех многолетних данных, можно сказать что они дают более эффективные нестационарные модели. Например, на станции им.Фёдорова $\Delta_{тр}$ и $\Delta_{ступ}$ 0,5 и 11,7 %, а в многолетнем ряду эти показатели составляют 19,7 и 25,0% соответственно. За рассматриваемый период было получено четыре эффективные модель линейного тренда на станциях Визе, Голомянный,

им.Фёдорова, Попова. Среднее значение этого показателя 7,11%, с максимумом 20,1% было на станции Голомянный. Модель ступенчатых изменений была эффективна 13 станциях. Ряды данных с 1960 года дали в среднем более эффективную модель тренда и ступенчатых изменений (среднее значение $\Delta_{ст}=3\%$ против $\Delta_{ст}=7,1\%$ и $\Delta_{ступ}=7,4\%$ против $\Delta_{ступ}=10,1$). Коэффициенты корреляции статистически значимы на 23 станциях и значений $R_{тр}$ за период с 1960 получилось больше чем за многолетнем период (0,17 против 0,42).

6.2 Пространственное обобщение показателей стационарности

Пространственное распределение нестационарных моделей ступенчатых изменений и линейного тренда показывают, что максимум находится на самых северных станциях и уменьшаются с продвижением на юг, минимальные значения в центральной южной части рассматриваемого региона. Минимальные значения коэффициента корреляции в октябре находятся в сибирской части региона и увеличиваются от 0% на станции им.Фёдорова с продвижением на восток. Максимальные значения на приполярных станциях центральной Арктики и на станциях Кольского полуострова.



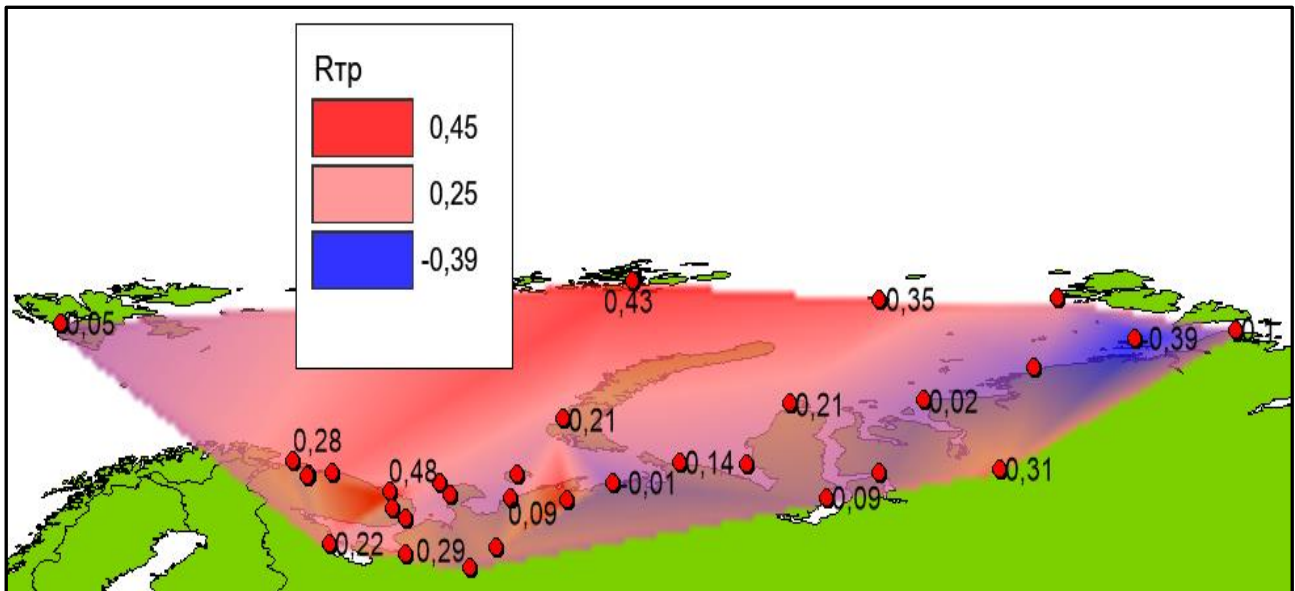
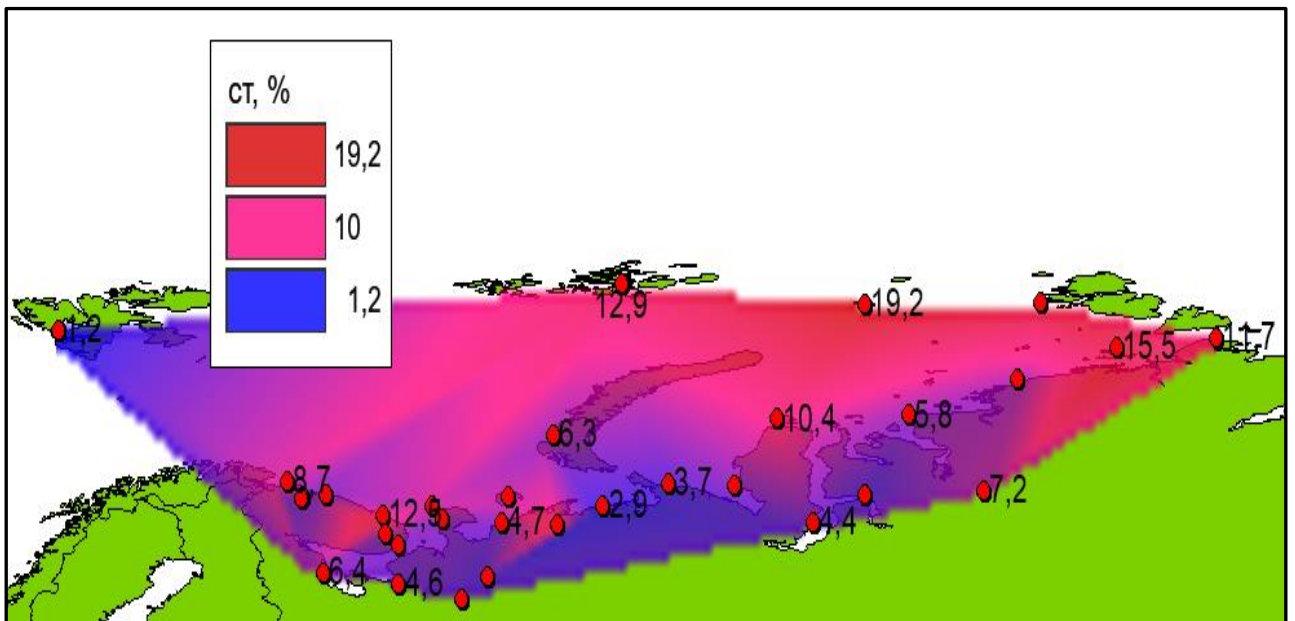


Рис.6.2.1, 6.2.2, 6.2.3. - Пространственные распределения отклонений модели тренда (верхний, $\Delta_{тр}$ в %) и ступенчатых отклонений (средний, $\Delta_{ст}$ в %) от стационарной модели для температуры октября и коэффициента корреляции (нижний).

Потепление в рассматриваемом арктическом регионе в октябре месяца происходило неодновременно. Самые ранние даты ступенчатых изменений температуры были зафиксированы на самой северной станции, на архипелаге Земля Франца-Иосифа (1993 год), далее на Кольском полуострове и в северной

части Архангельской области, в 2005-2007 году изменение температур отмечались в восточной части рассматриваемого региона.

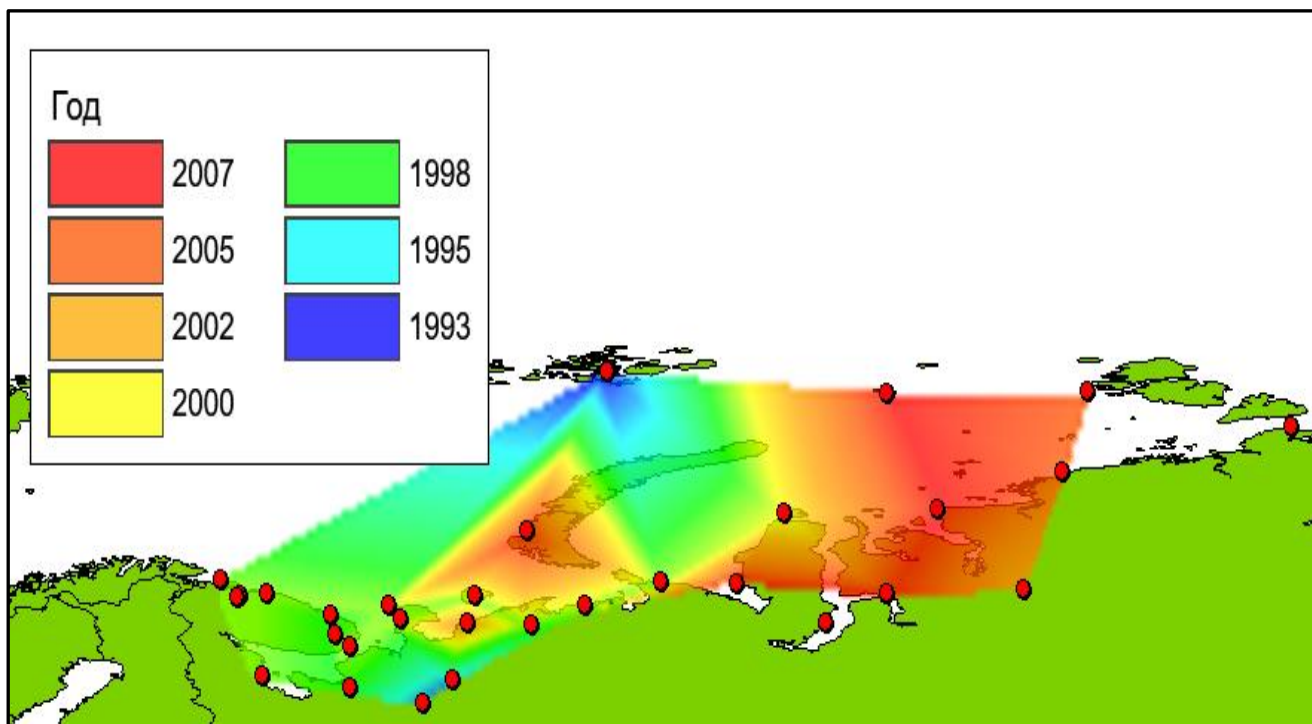


Рис 6.2.4. Годы ступенчатых изменений температуры в октябре

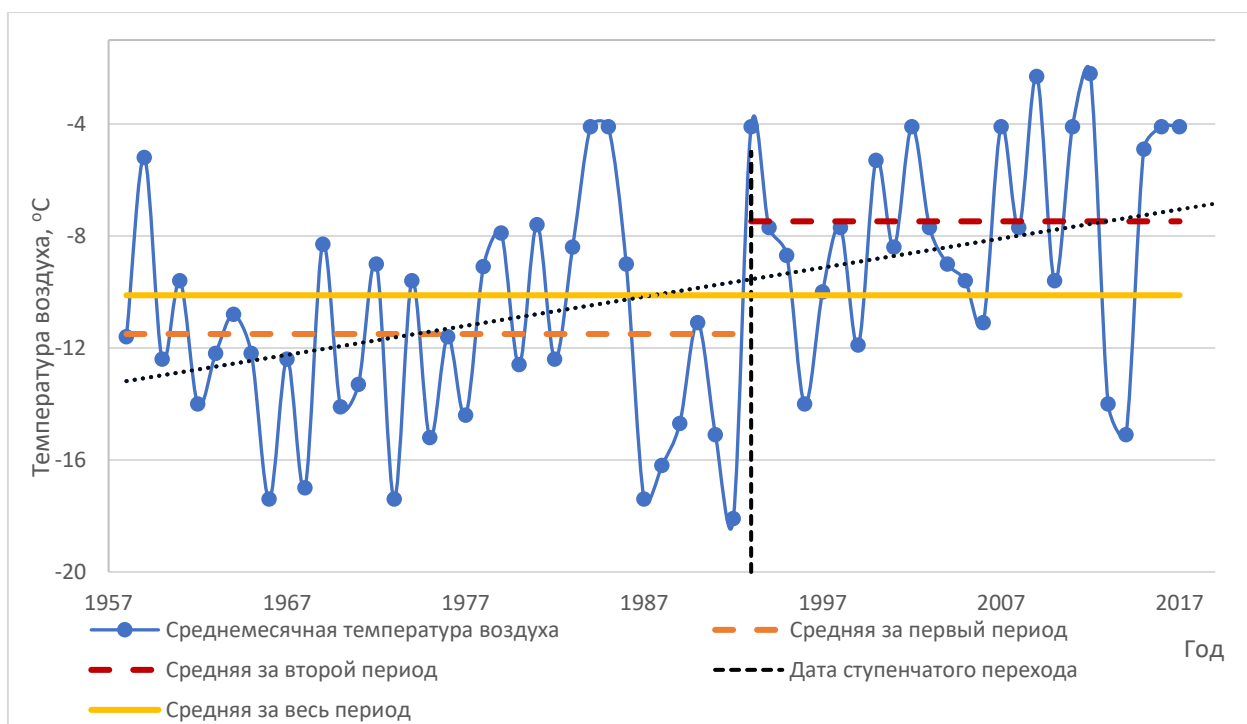


Рис 6.2.5. График нестационарной модели временных рядов температуры в октябре на ОГМС им.Э.Т.Кренкеля

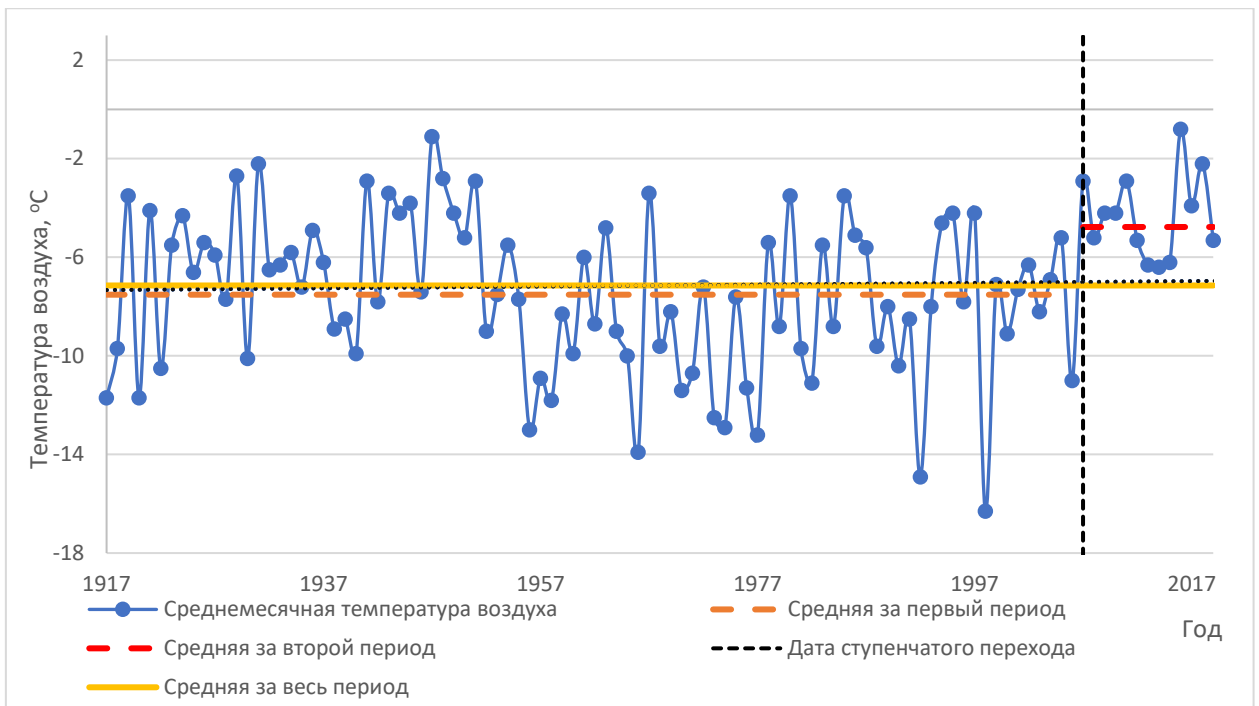


Рис 6.2.6. График нестационарной модели временных рядов температуры в октябре на ОГМС Диксон

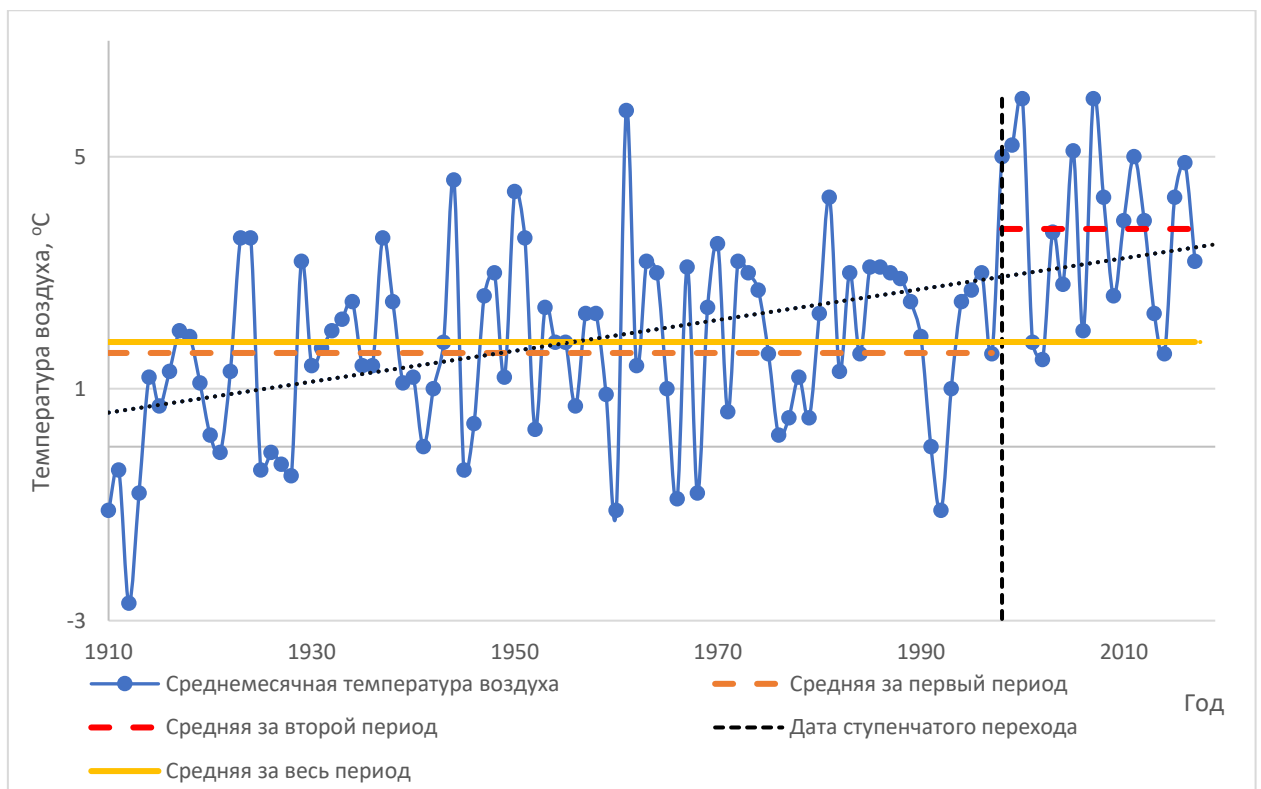


Рис 6.2.7. График нестационарной модели временных рядов температуры воздуха в октябре на МГ-2 Святой Нос

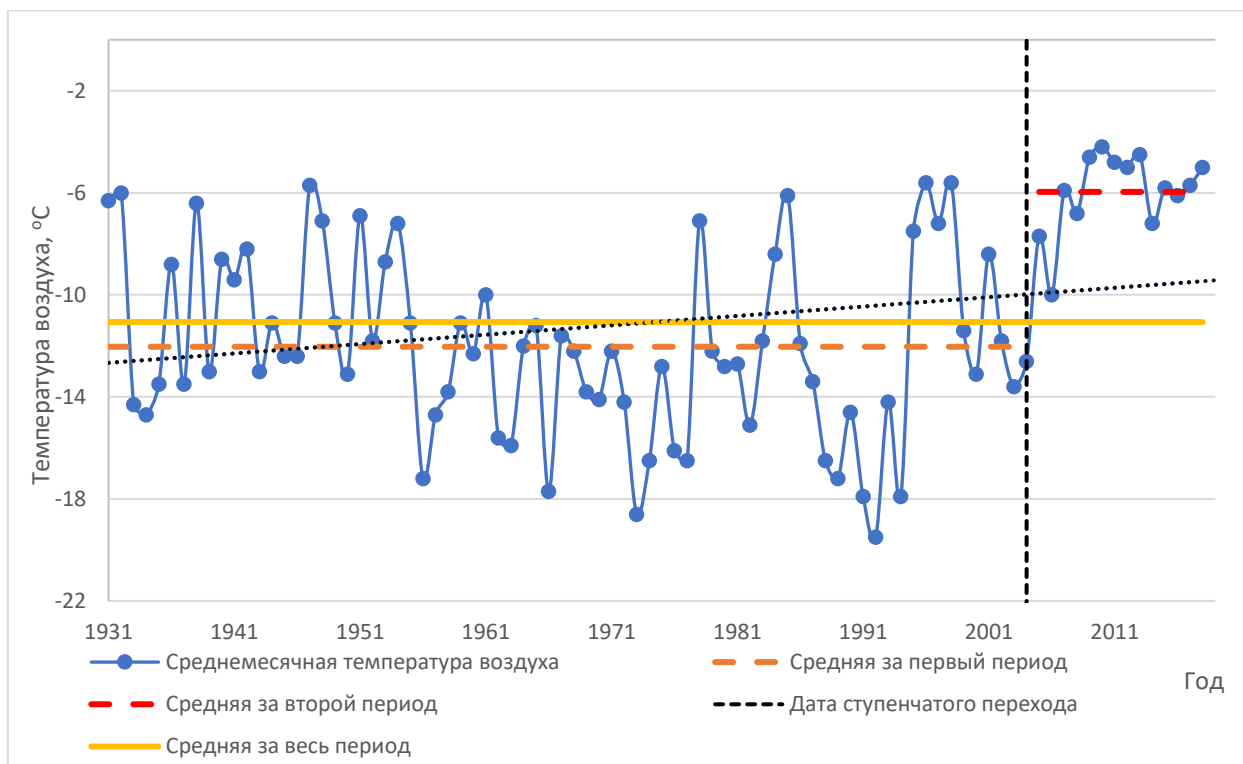


Рис 6.2.8. График нестационарной модели временных рядов температуры воздуха в октябре на МГ-2 Индига

Минимальные изменения температурного режима в осенний месяц отмечаются на востоке региона. На станциях им.Е.К.Фёдорова, Русский, Голомянный температура повысилась не более чем на 1°C. С продвижением на запад количество температурных изменений увеличивается. На станциях Кольского полуострова температура повысилась на 2-3°C, на приполярных станциях (ОГМС им.Э.Т.Кренкеля, остров Визе) температура повысилась на 3,5°C – 4,5°C (рис 6.2.4 – рис.6.2.8).

Глава 7. Оценка изменений температур воздуха за среднегодовые значения

7.1 Результаты моделирования временных рядов в пунктах наблюдений

В ходе работы были проанализированы все полученные данные по среднегодовым значениям за период с начала наблюдений за период с 1960 года с целью более полного понимания картины изменений температур.

Для 11 станций из 32 исследуемого района была получена эффективная нестационарная модель линейного тренда. Среднее значение $\Delta_{тр}$ за год составляет 7,8%, минимальное значение 0 на станциях Дудинка и Диксон, максимальное значение 32,8% на станции ОГМС им.Кренкеля (Земля Франца-Иосифа). Эффективная модель ступенчатой изменчивости была получена на 23 станциях, среднее значение $\Delta_{ст}$ составило 14,9%, максимум 34,6% на станции ОГМС им.Кренкеля (Земля Франца-Иосифа), минимум 3,6% на станции Дудинка.

Статистически значимые значения коэффициента корреляции были получены на станциях 18 станциях, среднее значение коэффициента среди всех станций 0,32, максимальное 0,74.

Значение года ступенчатого перехода по средним многолетним данным варьируется на станциях от 1994 года по 2006, среднее значение 2000 год.

Таблица 7.1.1.

Расчёт показателей нестационарности модели среднегодовых значений для всего многолетнего периода и для периода с 1960 года

Код		$\Delta_{тр},\%$	$\Delta_{ст},\%$	Год ступенч. изменений	Год начала наблюдений	Год оконч. наблюдений		Коэфф. корреляции
Кренкеля	весь	32.8	34.6	2005	1958	2018	60	0.74
	с 1960	36.5	35.2	2005	1960	2018	58	0.77

Визе	весь	14.5	28.7	2005	1945	2018	74	0.52
	с 1960	31.0	35.0	2005	1960	2018	58	0.72
Голомянный	весь	9.4	27.0	2005	1931	2018	88	0.42
	с 1960	29.4	36.0	2005	1960	2018	59	0.71
Баренцбург	весь	13.4	23.1	2000	1947	2018	72	0.50
	с 1960	29.1	29.0	2000	1960	2018	59	0.71
Русский	весь	13.8	24.8	2005	1936	1995	60	-0.51
	с 1960	0.5	1.9	2005	1960	1995	36	0.10
Федорова	весь	2.7	21.4	2006	1933	2018	85	0.23
	с 1960	29.4	38.5	2006	1960	2018	58	0.71
Стерлегова	весь	0.9	14.5	2005	1935	2018	83	0.13
	с 1960	22.1	30.5	2005	1960	2018	59	0.63
Попова	весь	8.8	22.1	2003	1940	2018	78	0.41
	с 1960	35.1	36.6	2003	1960	2018	58	0.76
Диксон	весь	2.9	15.9	2004	1917	2019	103	0.24
	с 1960	31.4	30.4	2004	1960	2019	60	0.73
Малые Кармакулы	весь	11.5	13.4	2005	1897	2018	122	0.47
	с 1960	23.9	28.1	2005	1960	2018	59	0.65
Вайда-Губа	весь	13.0	18.4	1995	1940	2018	79	0.49
	с 1960	17.6	19.8	1995	1960	2018	59	0.57
Полярное	весь	13.3	12.9	1996	1900	2018	106	0.50
	с 1960	7.2	12.2	1996	1960	2018	46	0.37
Териберка	весь	2.4	10.0	1994	1919	2018	100	0.22
	с 1960	13.6	15.9	1994	1960	2018	59	0.50
Колгуев Северный	весь	1.7	9.5	2000	1934	2018	85	0.18
	с 1960	12.9	15.7	2000	1960	2018	59	0.49
Мурманск	весь	1.0	8.5	1996	1918	2018	101	0.14
	с 1960	13.3	15.6	1996	1960	2018	59	0.50
Святой Нос	весь	14.9	16.8	1997	1916	2018	102	0.52
	с 1960	20.7	19.8	1997	1960	2018	59	0.61
Канин Нос	весь	4.4	12.4	1997	1916	2018	103	0.29
	с 1960	16.4	19.8	1997	1960	2018	59	0.55
Каневка	весь	5.0	12.1	1996	1949	2018	70	0.31
	с 1960	11.1	15.4	1996	1960	2018	59	0.46
Шойна	весь	2.3	10.0	2002	1933	2018	86	0.21
	с 1960	11.5	16.3	2002	1960	2018	59	0.47
Индига	весь	2.4	8.2	2002	1924	2018	95	0.22

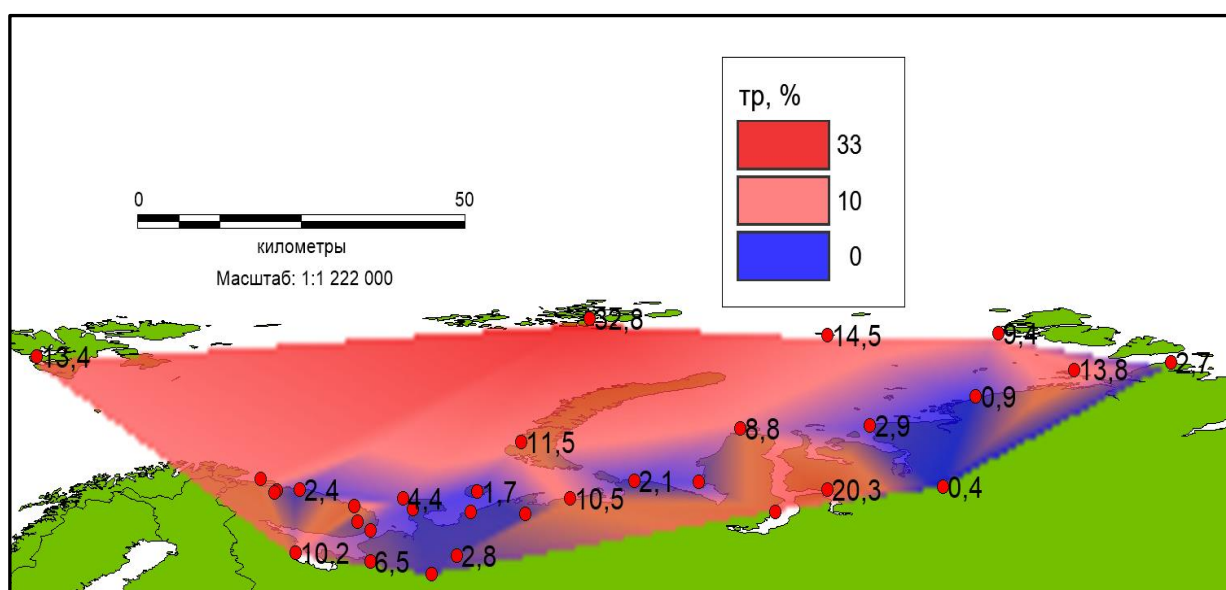
	с 1960	10.2	12.7	2002	1960	2018	59	0.44
Сосновец	весь	4.4	10.4	1998	1919	2018	100	0.29
	с 1960	14.2	16.2	1998	1960	2018	59	0.51
Кемь-порт	весь	10.2	9.5	2000	1866	2018	153	0.44
	с 1960	13.5	15.0	2000	1960	2018	59	0.50
Архангельск	весь	6.5	10.6	1997	1919	2018	100	0.35
	с 1960	11.8	14.6	1997	1960	2018	59	0.47
Койнас	весь	2.8	8.1	1997	1924	2018	95	0.24
	с 1960	11.7	12.1	1997	1960	2018	59	0.47
Сура	весь	2.8	7.8	1997	1924	2018	95	0.24
	с 1960	10.3	11.5	1997	1960	2018	59	0.44
Амдерма	весь	2.1	11.9	2003	1934	2018	85	0.20
	с 1960	17.1	18.8	2003	1960	2018	59	0.56
Марресалья	весь	2.9	9.5	2003	1940	2018	79	0.24
	с 1960	15.7	15.0	2003	1960	2018	59	0.54
Антипаюта	весь	20.3	21.5	2002	1959	2018	60	0.60
	с 1960	19.5	21.2	2002	1960	2018	59	0.59
Дудинка	весь	0.4	3.6	2005	1933	2011	79	0.09
	с 1960	10.0	11.8	2005	1960	2011	52	0.43
Константи- новский	весь	10.5	14.6	2004	1959	2018	60	0.45
	с 1960	14.6	16.7	2004	1960	2018	59	0.52
Нарьян-Мар	весь	2.5	9.4	2000	1927	2018	92	0.22
	с 1960	13.2	15.0	2000	1960	2018	59	0.50
Новый Порт	весь	13.1	15.5	2003	1951	2019	69	0.49
	с 1960	17.2	16.5	2003	1960	2019	60	0.56

Сравнивая обработанные данные с 1960 года с рядами всех многолетних данных, можно сказать что они дают более эффективные нестационарные модели. Например, на станции Новый Порт $\Delta_{тр}$ и $\Delta_{ступ}$ 17,2 и 16,5 %, а в многолетнем ряду эти показатели составляют 13,1 и 15,5% соответственно. За рассматриваемый период на 31 из 32 станций было получено четыре эффективные модели линейного и ступенчатых изменений. Ряды данных с 1960 года дали в более эффективные значение (средние значение $\Delta_{ст}=17,87\%$ против $\Delta_{ст}=7,8\%$ и $\Delta_{ступ}=20,8\%$ против $\Delta_{ступ}=14,9$). Коэффициенты корреляции статистически значимы на всех, кроме одной станции и коэффициент $R_{тр}$ за

период с 1960 получился больше чем за многолетний период данных (0,55 против 0,32).

7.2 Пространственное обобщение показателей нестационарности

Пространственное распределение нестационарных моделей линейного тренда показывают, что максимум находится на самых северных станциях и уменьшаются с продвижением на юг, минимальные значения в акватории Белого моря, Архангельской области, Ненецкого-Автономного округа и в северной части Ямало-Ненецкого автономного округа. Похожая картина для коэффициента и для ступенчатых изменений, но неэффективные модели отметились только в Архангельской области и на станции Дудинка (Ямало-Ненецкий автономный округ). Минимальные значения коэффициента корреляции в восточной части на трёх станциях. С продвижением на юг коэффициент корреляции увеличивается и становится эффективным находятся в сибирской части региона и увеличиваются от 0% на станции им.Фёдорова Максимальные значения на приполярных станциях центральной Арктики и на станциях Кольского полуострова.



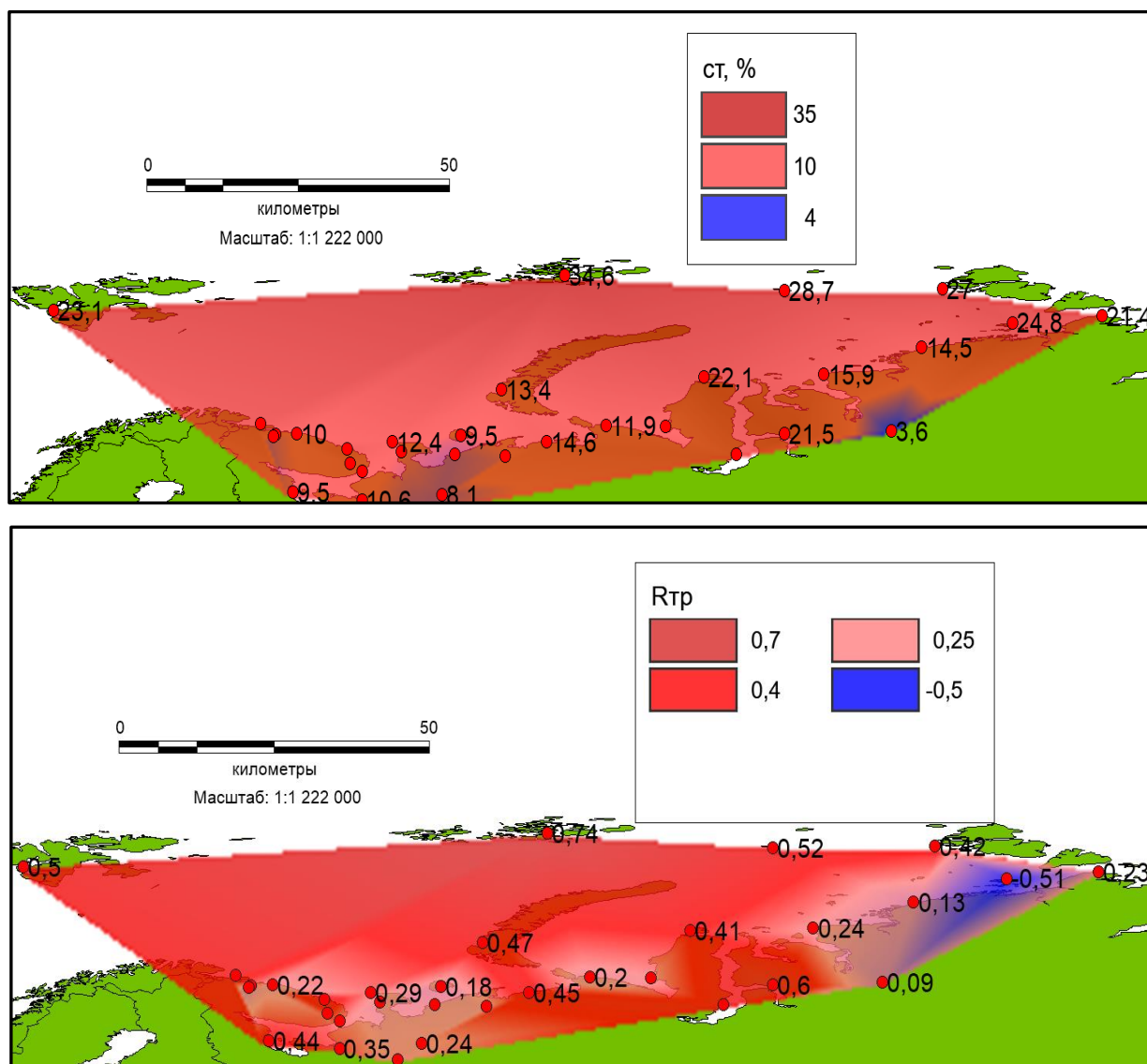


Рис.7.2.1., 7.2.2., 7.2.3 - Пространственные распределения отклонений модели тренда (верхний, $\Delta_{тр}$ в %) и ступенчатых отклонений (средний, $\Delta_{ст}$ в %) от стационарной модели для температуры среднегодовых значений и коэффициента корреляции (нижний).

Потепление в рассматриваемом арктическом регионе по данным среднегодовых значений происходило неодновременно. Самые ранние даты ступенчатых изменений температуры были зафиксированы на Кольском полуострове и на севере Архангельской области (1994-1998 года). С течением времени и с продвижением на восток наступало потепление, самые поздние даты отмечены на самых восточных станциях региона: Фёдорова, Стерлегова, Голомянный.

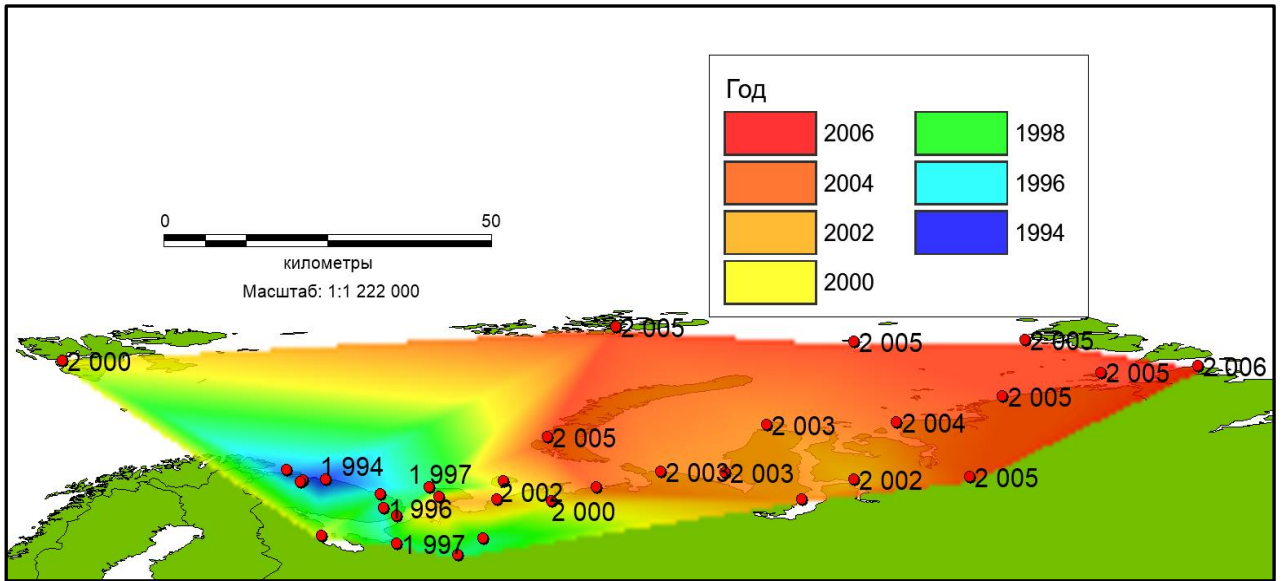


Рис.7.2.4. Годы ступенчатых изменений температуры по среднегодовым данным

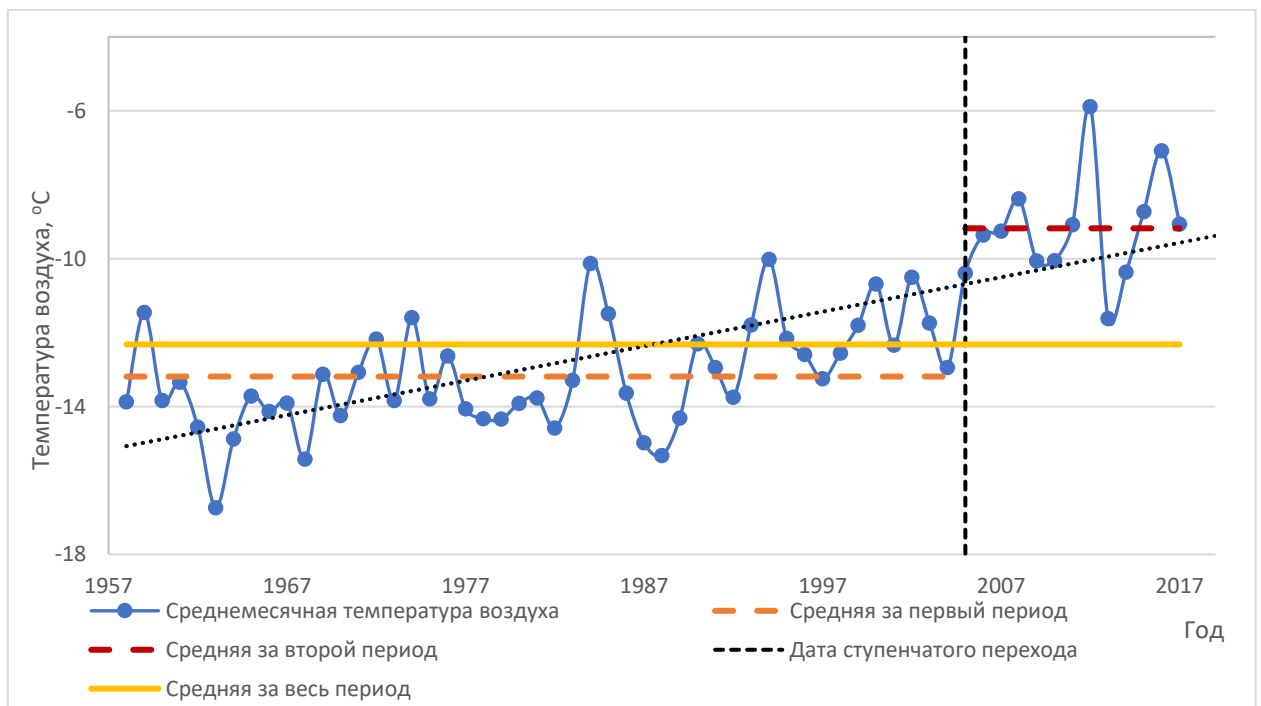


Рис.7.2.5. График нестационарной модели временных рядов температуры на ОГМС им.Э.Т.Кренкеля по среднегодовым данным

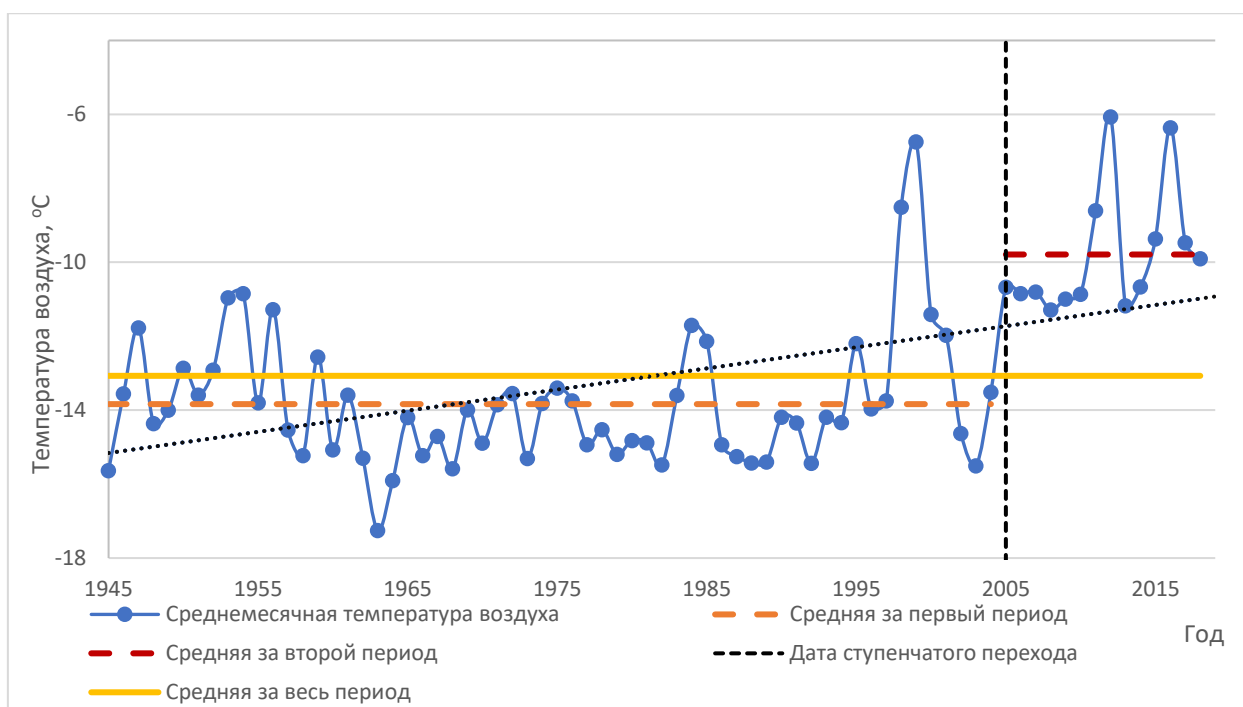


Рис.7.2.6. График нестационарной модели временных рядов температуры в октябре на МГ-2 Визе прят по среднегодовым данным

Информация по среднегодовым значениям большому критическому анализу не подлежит, так как она дает большое количество нестационарных моделей, а остальные данные не попадают в анализ, но тем не менее они дают примерную общую картину изменений. Наибольшие температурные колебания на приполярных территориях (Баренцбург, ОГМС им.Э.Т.Кренкеля, остров Голомянный, Малые Кармакулы, остров Визе) с повышением температуры на $3,5^{\circ}\text{C}$ - 4°C , подобное среднегодовое изменение на станции Кемь-Порт и Амдерма. С продвижением на восток температурные изменения уменьшаются, так на станции им.Е.К.Фёдорова и Антипаюта среднегодовая температура повысилась на 1°C .

Заключение

По итогам проведенного исследования можно сделать ряд выводов:

1. Сформирована комплексная база данных приземного воздуха для среднегодовых температур и среднемесячных температур для центральных месяцев сезона (январь, апрель, июль, октябрь) по западной части российской Арктики.

2. Дана надежная оценка качеству температурных изменений по 32 метеостанциям в районе от Шпицбергена до Северной Земли благодаря продолжительной выборке данных с метеостанций (1900-2018).

3. Нестационарные эффективные модели проявляются не на всей исследуемой территории, значения коэффициентов повышаются с продвижением на север к полюсу. Наиболее эффективные модели линейного тренда и моделей ступенчатых изменений в зимний и весенний периоды. Летом значения моделей практически на всей территории являются неэффективными, а значения нестационарностей смещены на материк. В осенний период территория с эффективными моделями более обширна и занимает территорию от Республики Коми до Новой Земли.

4. Исследования температурного режима показали, что в зимний и весенний периоды происходят наибольшие изменения. В январе и апреле температура на территориях, близких к полюсу выросла на 7-9, в прибрежных зонах Карского моря температура повысилась на 3-4, на юго-востоке региона наименьшие изменения, на 1,5 С. С продвижением на север отмечается тенденция роста средних температур.

5. В июле наблюдаются наименьшие в году колебания и центр температурных изменений смещен с приполярных территорий в сторону Кольского полуострова, Ненецкого автономного округа и материковой части Архангельской области с повышением температуры на 1,5 – 2, во внутренней Арктике температура повысилась на 0,5 С

6. Осенью очаг температурного повышения более обширный и занимает западную часть до Новой Земли. А минимальные изменения температурного режима в октябре отмечаются на востоке региона. На станциях им.Е.К.Фёдорова, Русский, Голомянный температура повысилась не более чем на 1°C. На станциях Кольского полуострова температура повысилась на 2-3°C, на приполярных станциях (ОГМС им.Э.Т.Кренкеля, остров Визе) температура повысилась на 3,5°C – 4,5°C

7. Анализ рядов с данными о начале потепления показали что в районе Кольского полуострова потепление фиксировалось в конце 90-х годов, по мере течения времени потепление продвинулось на восток, и в 2005г постоянное потепление отмечалось на станции им.Е.К.Фёдорова (Северная Земля).

8. При сравнении двух моделей нестационарности показало, что модель ступенчатых изменений эффективнее, чем модель линейного тренда.

9. Анализ данных за период с 1960 года дал более эффективные модели и коэффициентов корреляции.

Литература

1. Алисов Б.П., Дроздов О. А., Рубинштейн Е. С. Курс климатологии. Ч. 1 и 2. - Л.: Гидрометеиздат., 1952. 487 с.
2. Большианов Д.Ю., Анохин В.М., Гусев Е.А. Новые данные о строении рельефа и четвертичных отложений архипелага Новая Земля // Геолого-геофизические характеристики литосферы Арктического региона. СПб.: ВНИИ Океанология, 2006. Вып. 6. С. 149–161.
3. Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. М.: Статистика, 1973. 392 с.
4. Дроздов О.А., Васильев В.А., Кобышева Н.В., Раевский А.Н., Смекалова Л.К., Школьный Е.П. Климатология. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. 568 с.
5. Закс Л. Статистическое оценивание. – М.: Статистика, 1976. 598 с.
6. Лобанов В.А., Смирнов И.А., Шадурский А.Е. Практикум по климатологии. Часть 1. (учебное пособие). СПб., 2011. 144 с.
7. Лобанов, В.А., Анисимов, О.А. Современные изменения температуры воздуха на территории Европы. Метеорология и гидрология, №2, 2003. с.5—14.
8. Лобанов В.А., Шадурский А.Е. Применение эмпирико-статистических методов для моделирования и анализа климатических изменений. Ученые записки РГГМУ №14, 2010, с.73—88.
9. Лобанов В.А., Тощакова Г.Г. Проявление современных изменений климата на территории Костромской области. Монография. ФГБУ «Костромской центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды», Кострома. 2013. 171с.
10. Лобанов В.А., Тощакова Г.Г. Особенности и причины современных климатических изменений в России. Географический вестник, Пермский университет, 2016, № 3(38), с.79—89.

11. Монин А.С., Шишков Ю.А. Климат как проблема физики. УФН. – 2000, Т.170, № 4, с.419—445.
12. Саватюгин Л. М., Дорожкина М. В. Архипелаг Земля Франца-Иосифа: история, имена и названия. — СПб. : ААНИИ, 2012. — 484
13. Химмельблау Д. Анализ процессов статистическими методами. М.: Мир, 1973. 957 с.
14. Фролов А. В., Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории российской федерации, Росгидромет, 2014 – 58с.
15. Воздействие изменения климата на российскую Арктику: анализ и пути решения проблемы», WWF России. – М., 2008 – 28 с.
16. Сайт Королевского Нидерландского метеорологического института (KNMI) [Электронный ресурс]. Режим доступа: . <http://climexp.knmi.nl/selectstation.cgi?someone.a>. Дата обращения: 20.10.20.
17. Сайт Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации (ВНИИГМИ) [Электронный ресурс]. Режим доступа <http://aisori.meteo.ru> Дата обращения: 20.10.20.