

Мониторинг и прогнозирование климатической изменчивости на территории Приволжского федерального округа

Переведенцев Ю.П., Вильфанд Р.М., Шанталинский К.М.,
Николаев А.А.

*Казанский федеральный университет,
Гидрометцентр России*

Ф.К. БРОННЕР



А.Я. КУПФЕР



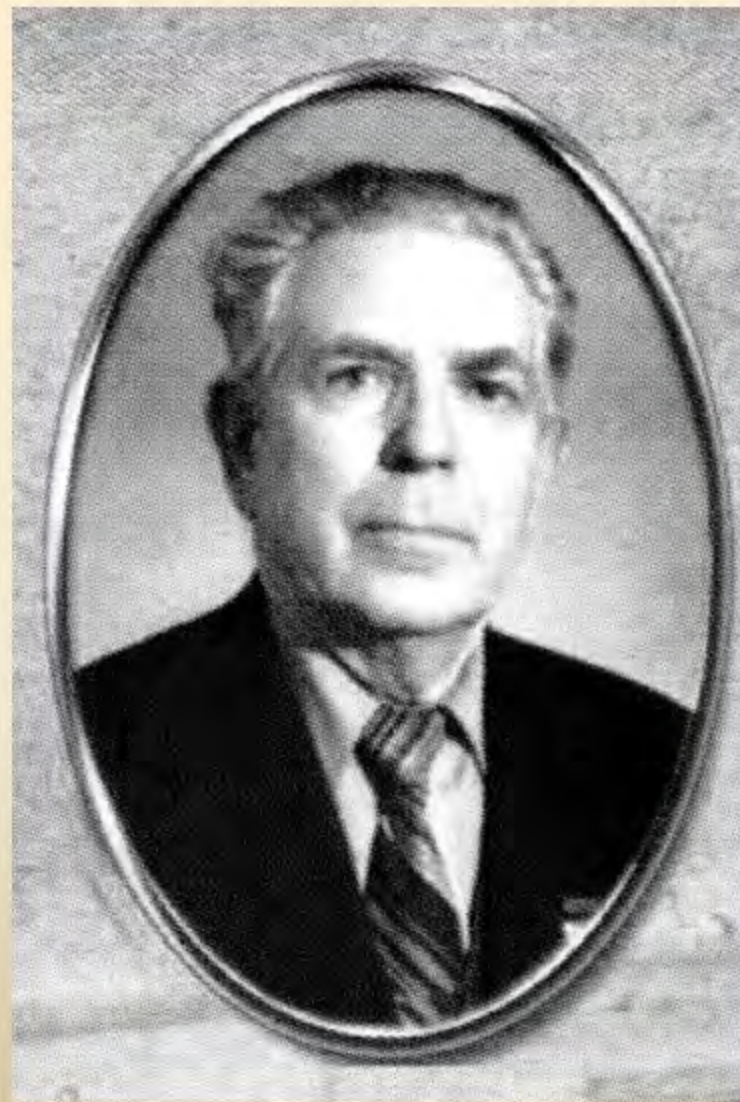
Н.И. ЛОБАЧЕВСКИЙ



В.А. УЛЬЯНИН



Н.В. КОЛОБОВ



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА РОССИИ ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ
И МОНИТОРИНГУ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ



Настоящее Почетное свидетельство удостоверяет, что
Метеорологическая станция Казань-университетская
Республики Татарстан
осуществляет метеорологические наблюдения

с 1812 г.

Результаты наблюдений входят в состав
Государственного фонда данных
о состоянии окружающей природной среды
и являются достоянием
Российской Федерации.

Руководитель Федеральной службы

А.И.Ведрицкий

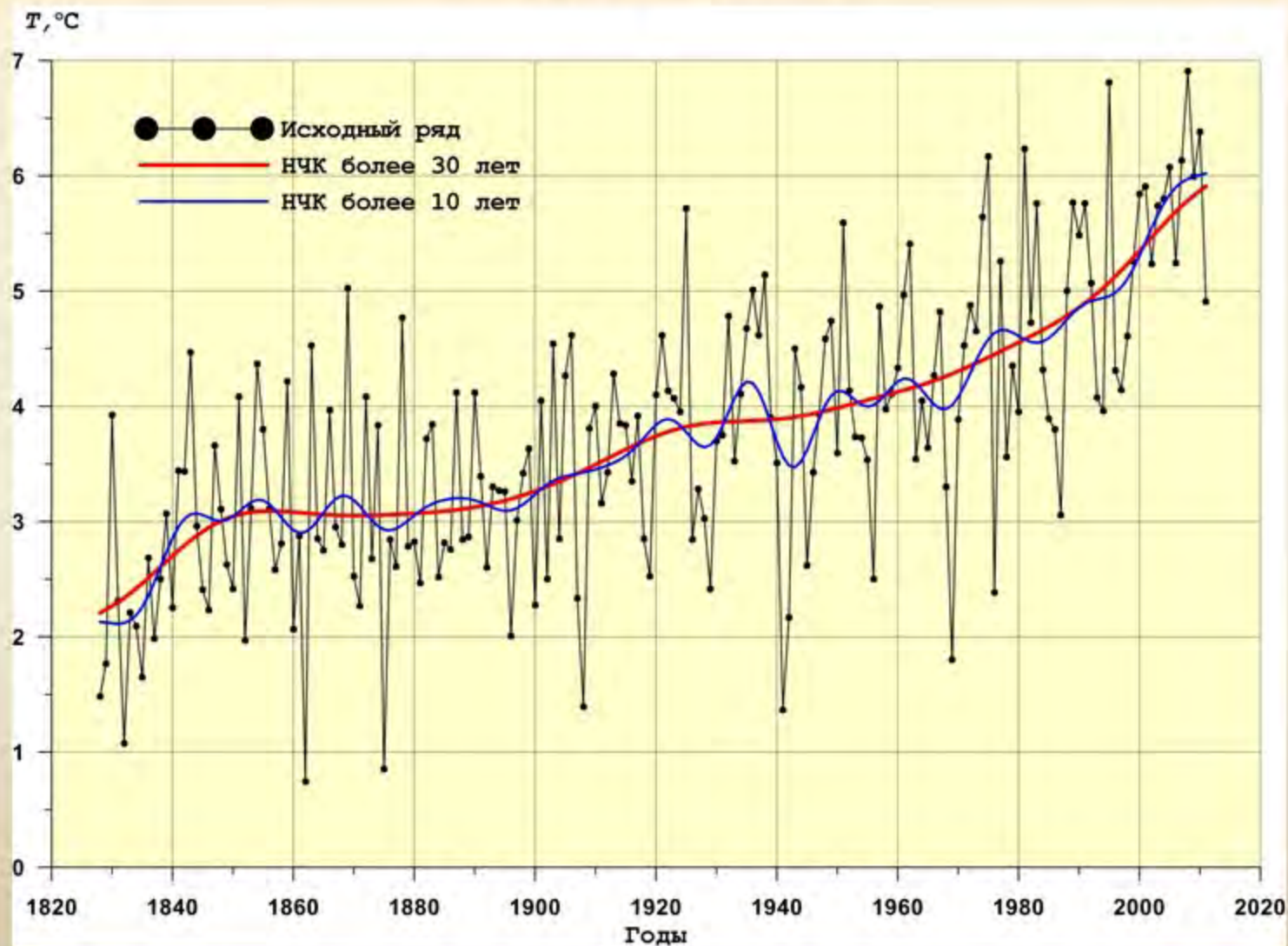
с 1 сентября 1995 года



Исходные данные

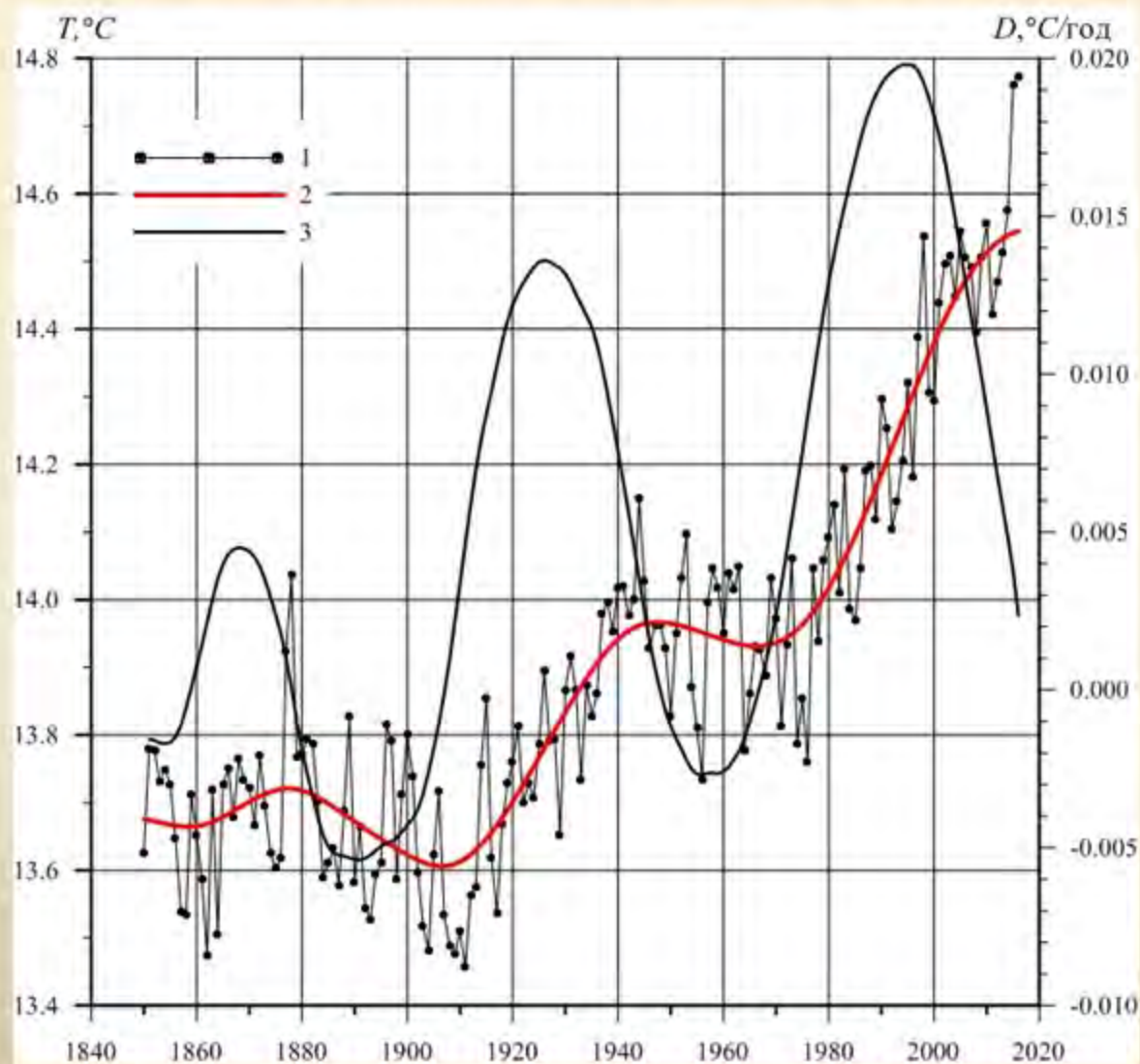
- Мониторинг современных глобальных изменений климата и изменений климата Среднего Поволжья выполнен с привлечением данных приземной температуры воздуха по всему Земному шару (1850–2016 гг.) университета Восточной Англии.
- Данных NCEP/NCAR реанализа о температуре воздуха в тропо-стратосфере Северного полушария (СП) за период 1948–2016 гг.,
- Данных реанализа NCEP/DOE - II в тропо-стратосфере Северного полушария (СП) за период 1979–2016 гг.
- Данных реанализа ERA-Interim о температуре воздуха в тропо-стратосфере по Северному полушарию за период 1979-2016 гг.
- Данных 117 метеостанций Приволжского федерального округа (1955–2009 гг.).

Многолетний ход средней годовой приземной температуры воздуха в Казани.



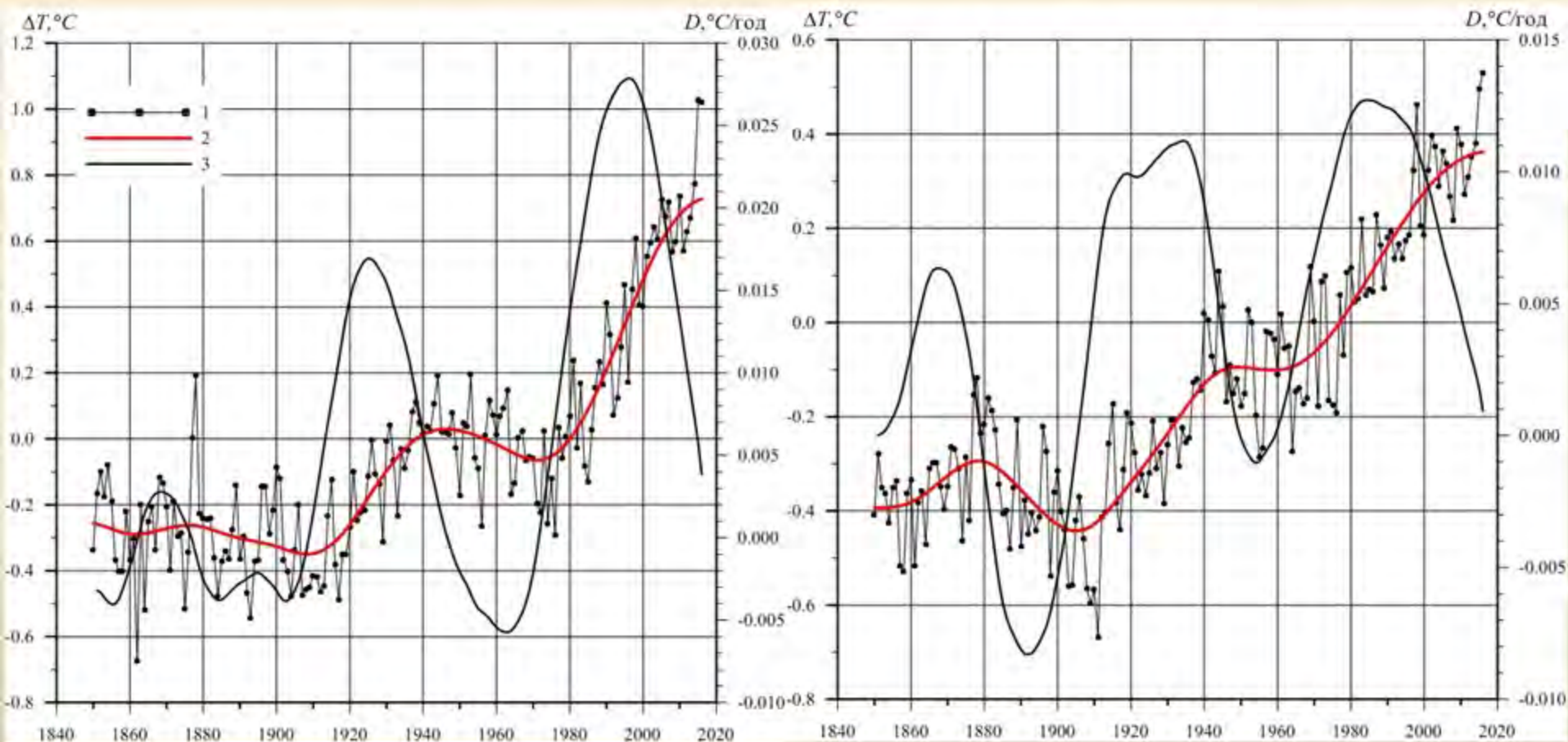
Многолетний ход приповерхностной глобальной средней годовой температуры и скорости ее изменения 1850 – 2016 гг.

1- исходный ряд, 2- НЧК с периодом более 30 лет, 3- скорость изменения



Многолетний ход аномалий (1961-1990 гг.) приповерхностной средней годовой температуры северного и южного полушария и скорости ее изменения 1850 – 2016 гг.

1- исходный ряд, 2- НЧК с периодом более 30 лет, 3- скорость изменения

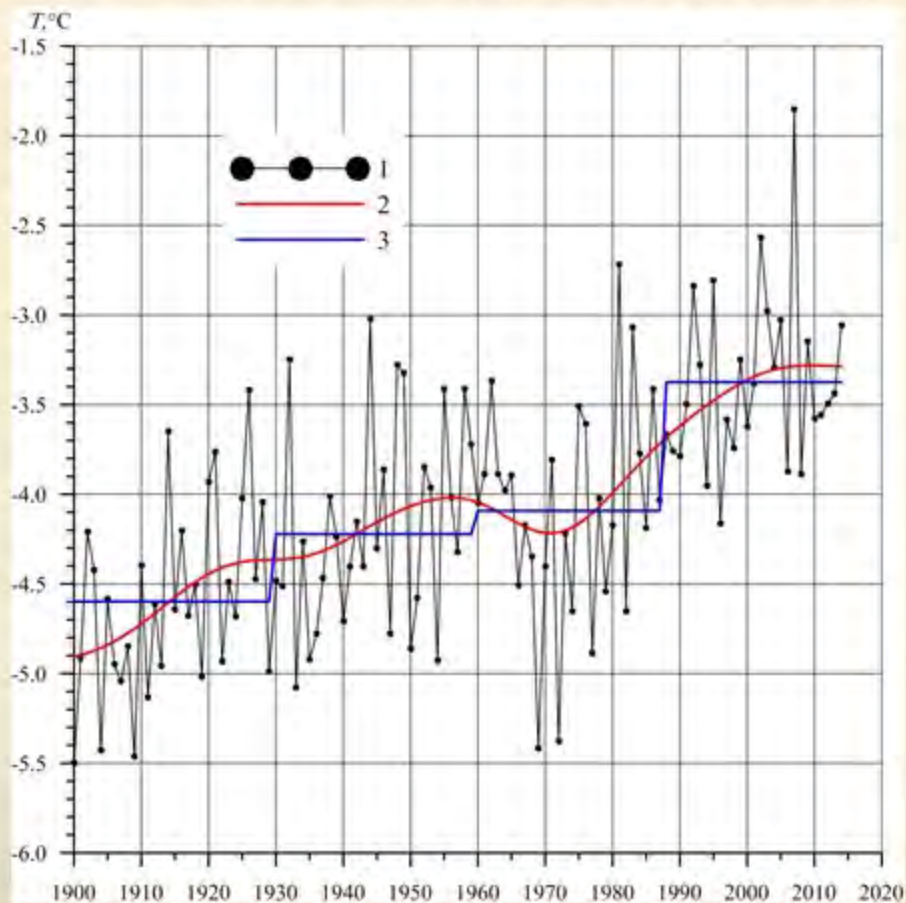


Северное полушарие

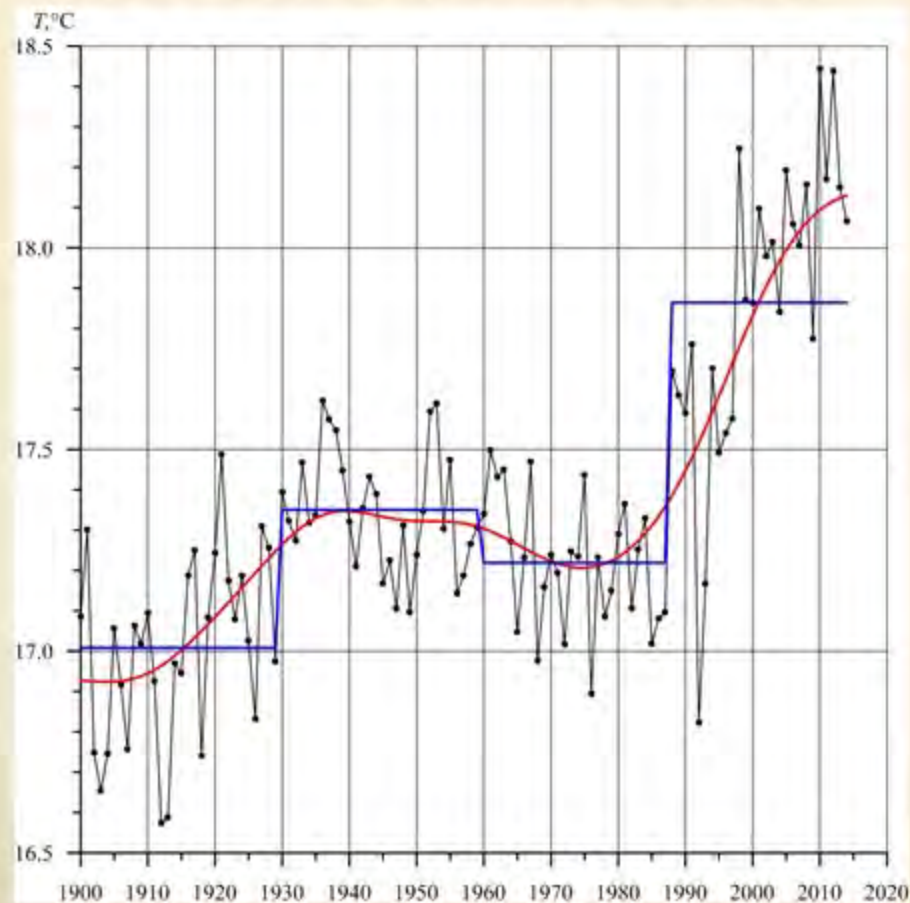
Южное полушарие

Многолетний ход (1900-2016 гг.) приповерхностной температуры северного полушария.

1- исходный ряд, 2- НЧК с периодом более 30 лет, 3- ступенчатый тренд

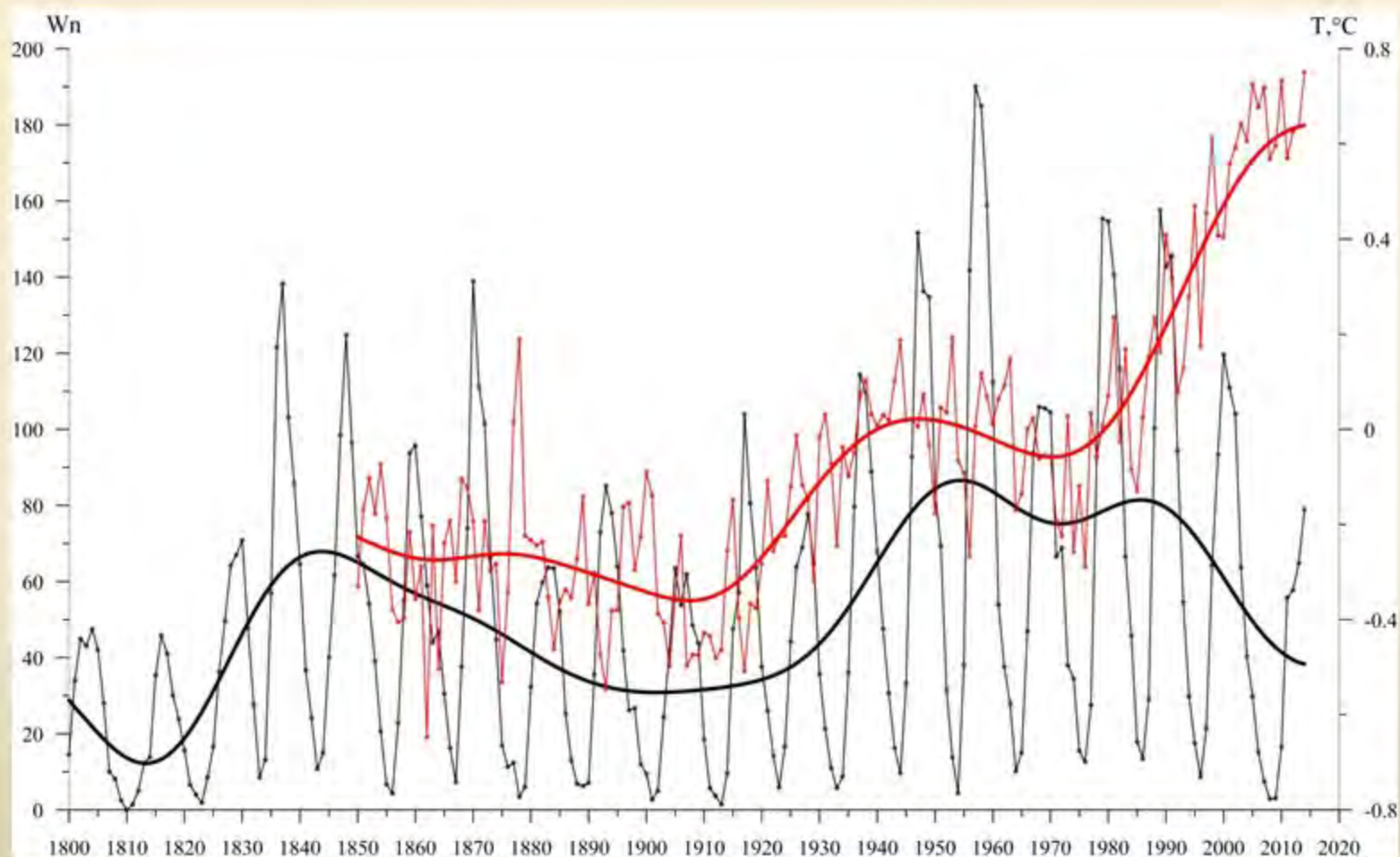


Январь

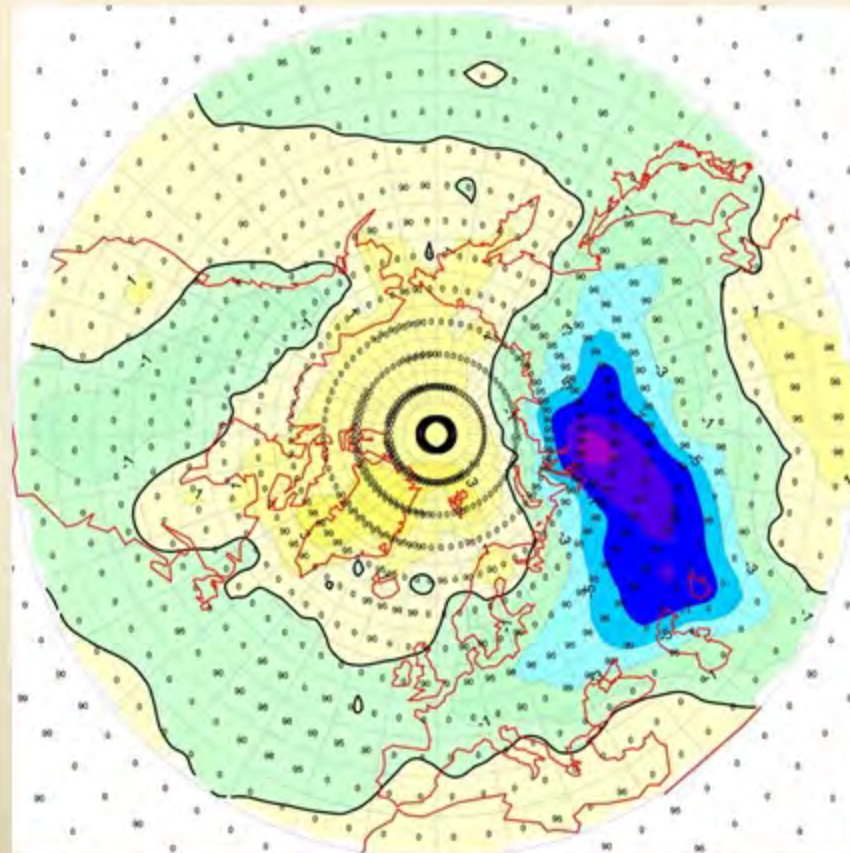
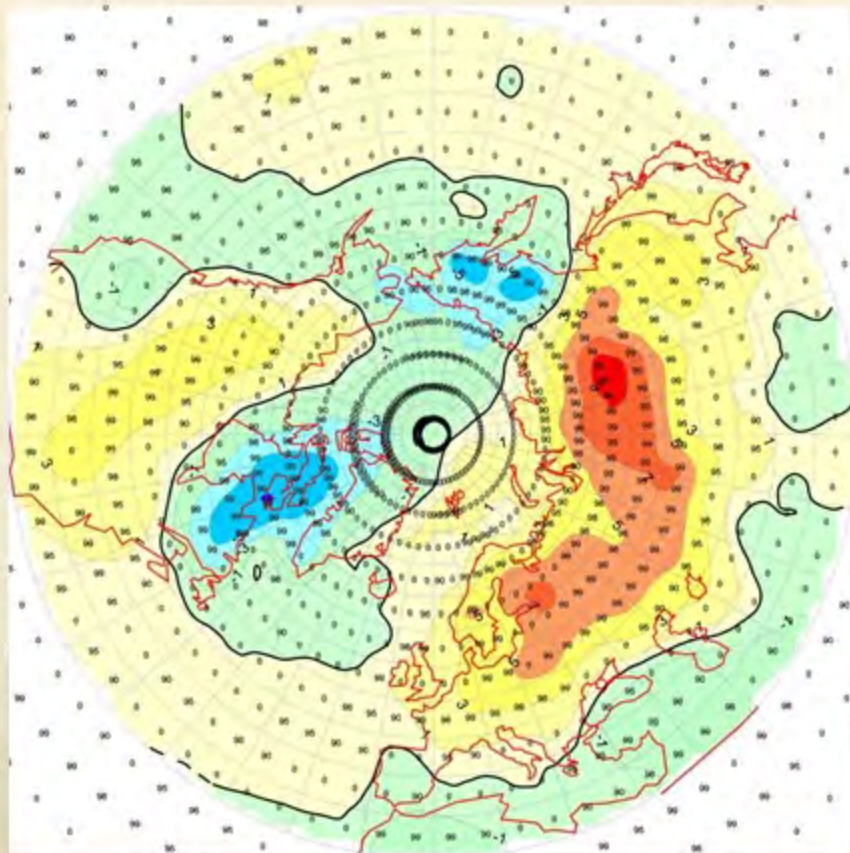


Июль

Многолетний ход чисел Вольфа и аномалий средней годовой температуры Северного полушария



Поле разностного композита приповерхностной температуры для индекса АО (слева) и SCAND (справа) в январе (1950 – 2014 гг.).



Средние многолетние (1966 – 2009 гг.) значения средней годовой приземной температуры ($^{\circ}\text{C}$) воздуха.

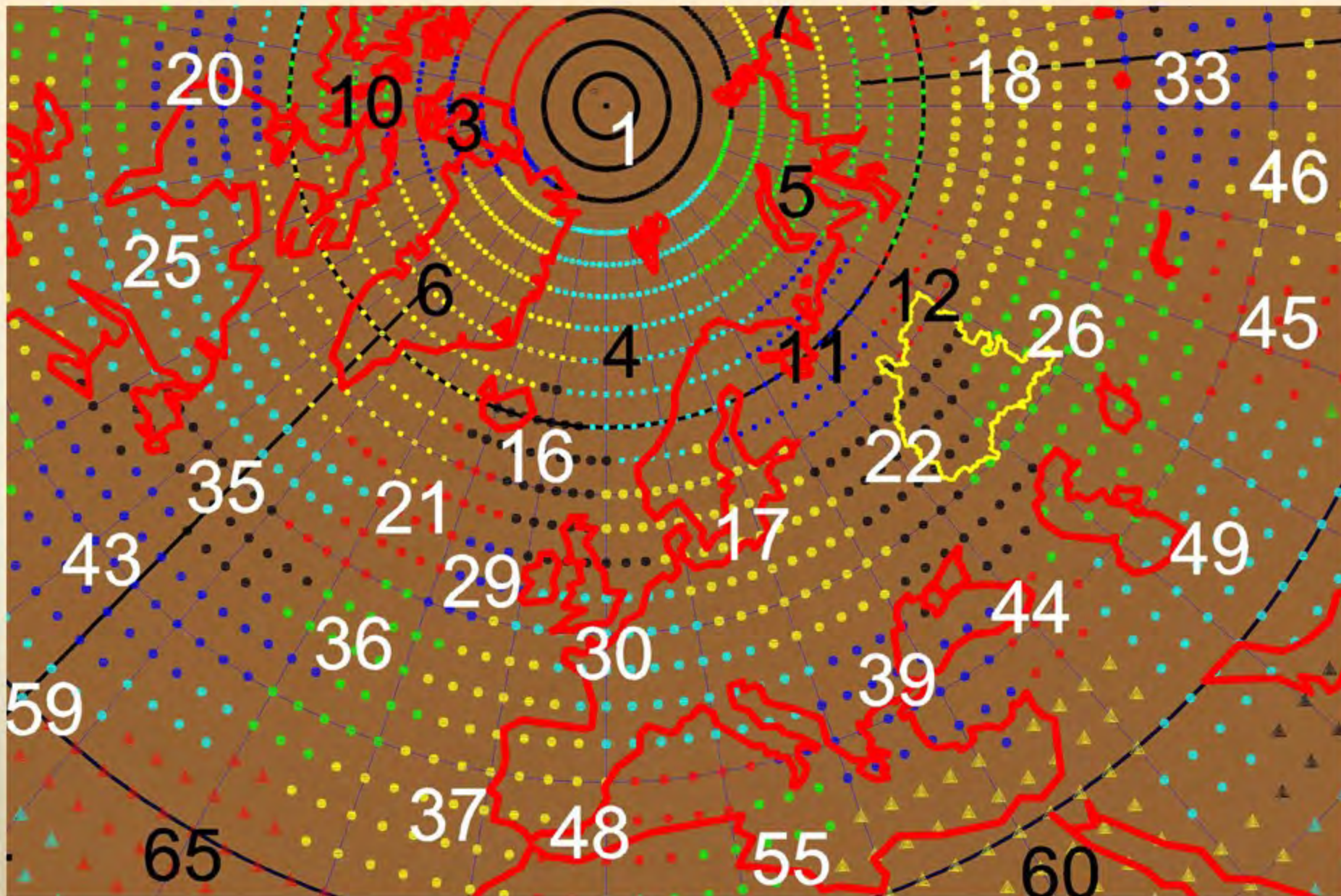


Показатель аналогичности

$$\xi = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i)^2 \sum_{i=1}^n (y_i)^2}} + \frac{\sum_{i=1}^n (x_i)^2}{\sum_{i=1}^n (x_i)^2 + \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}$$

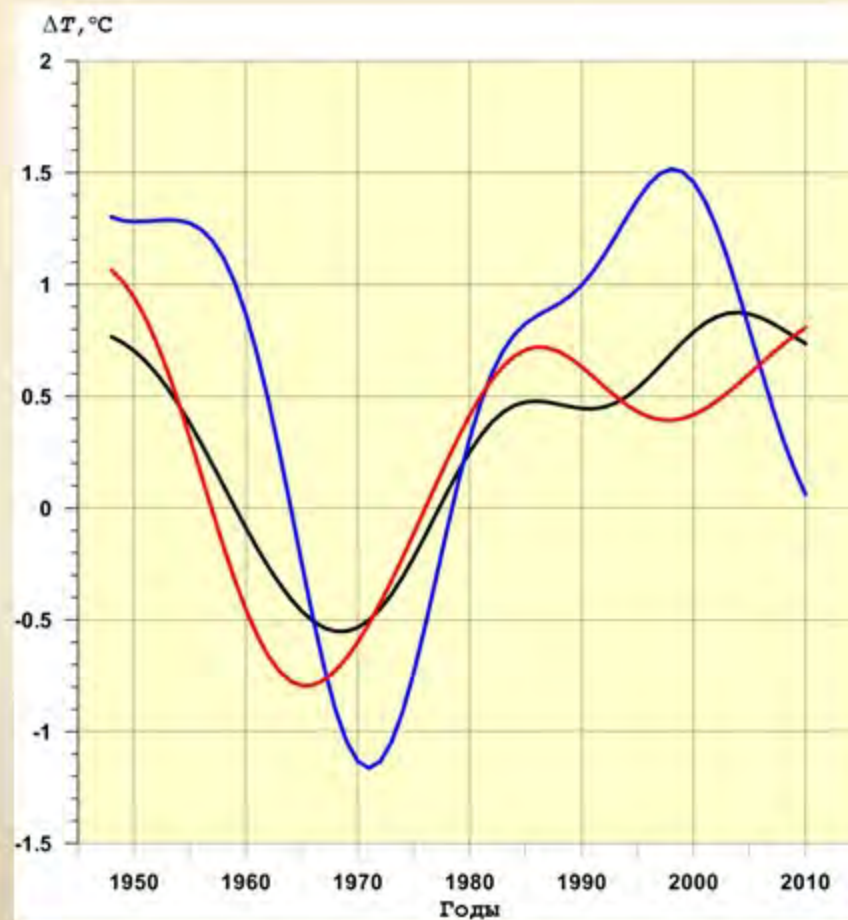
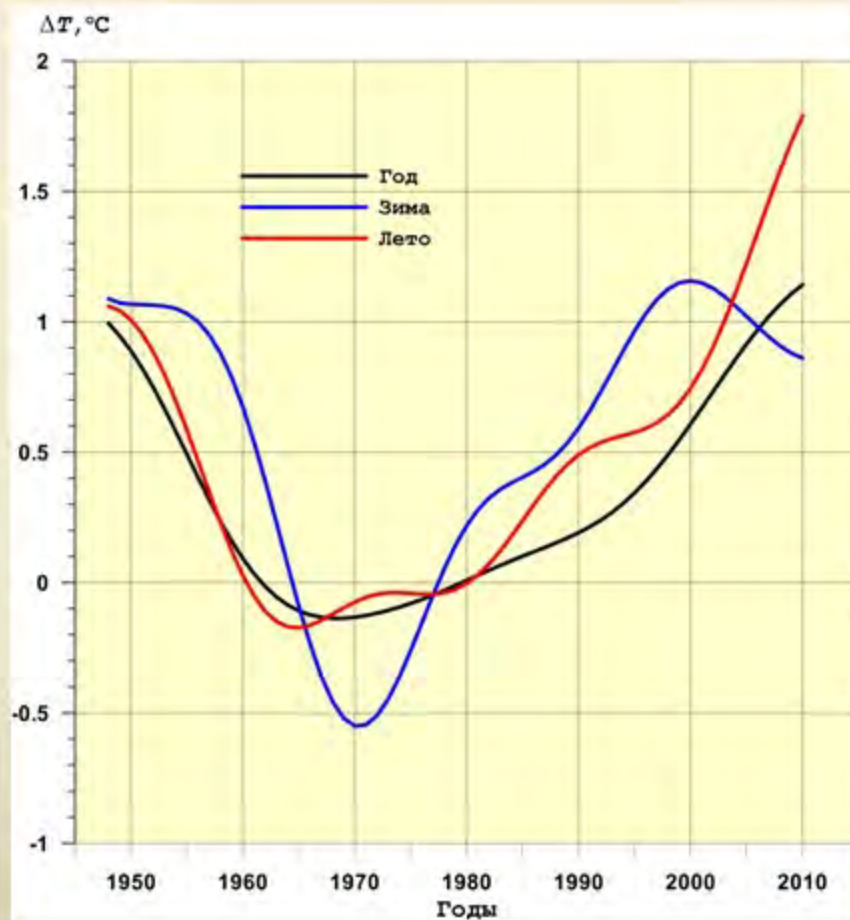
Показатель ξ может принимать значения в интервале от -1 до 2 . При $\xi = 2$ имеет место полная аналогия рассматриваемых полей, при $\xi = -1$ – полная контр аналогия.

Районы с аналогичным характером изменения температуры

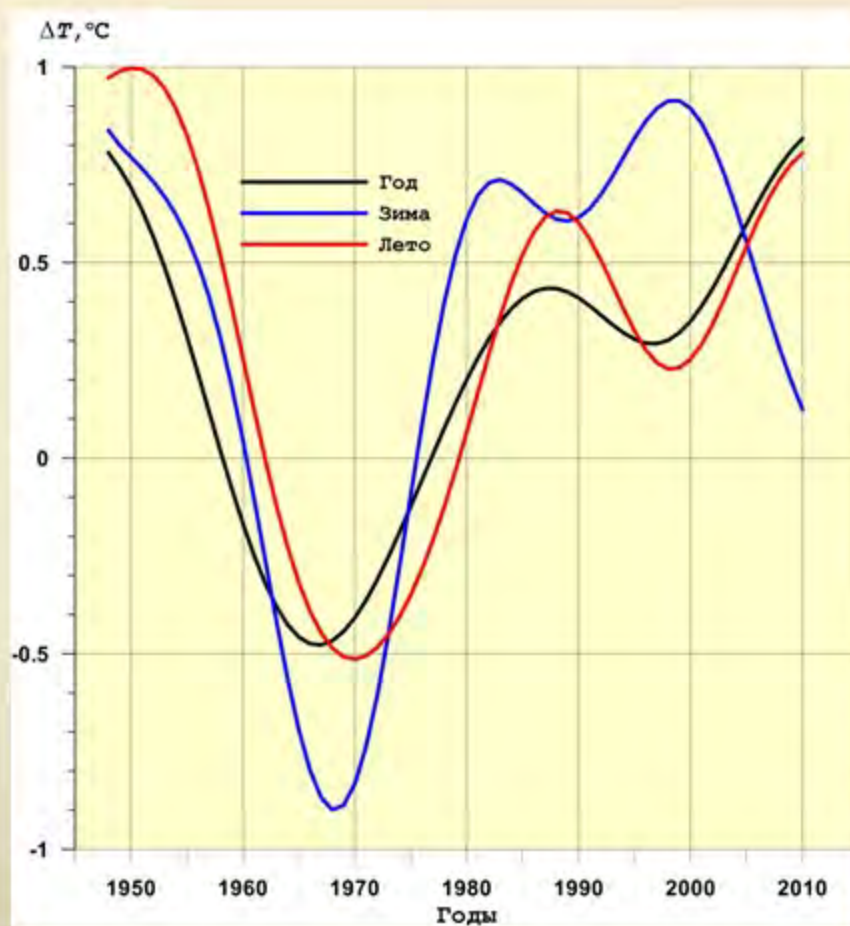


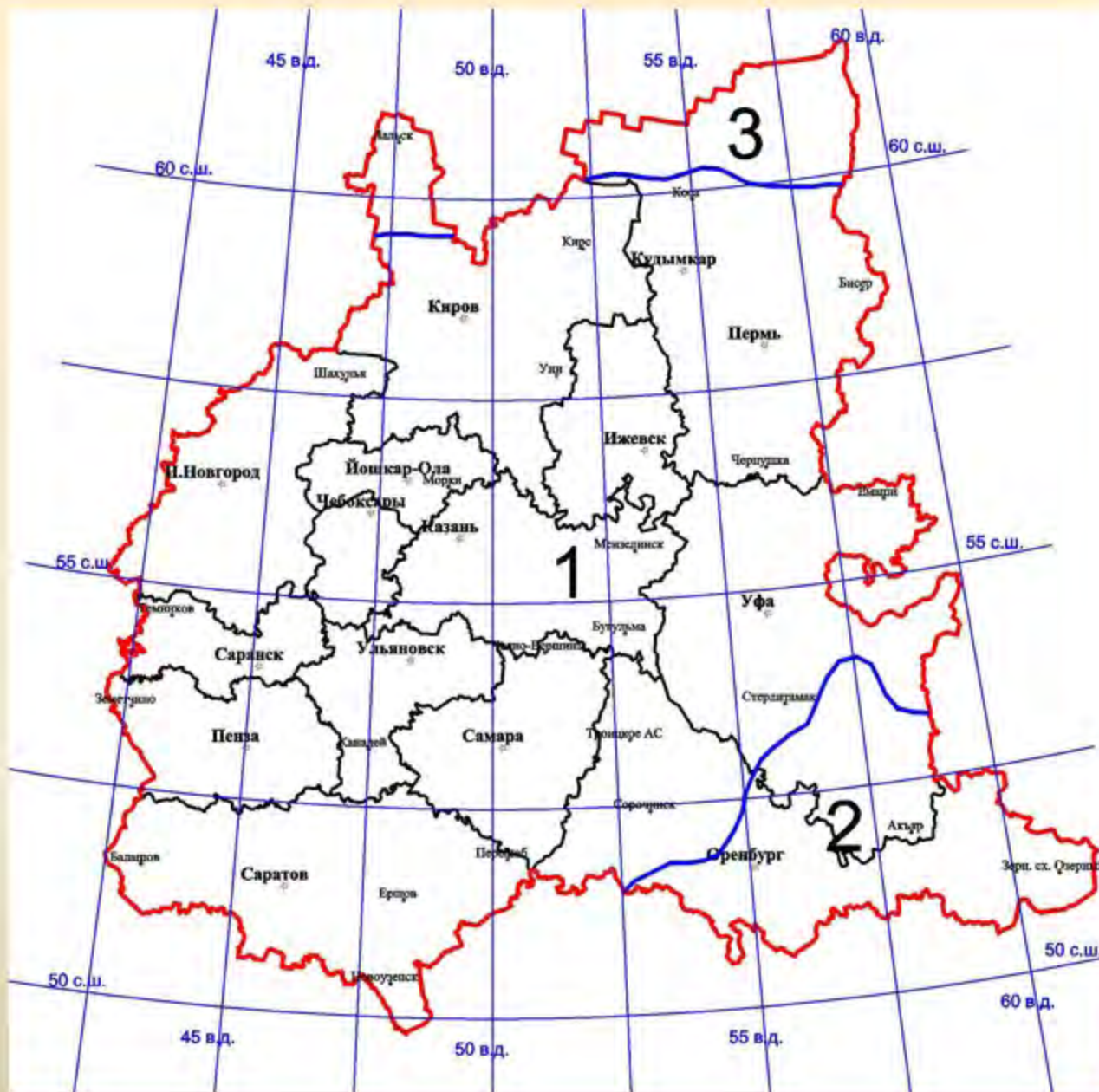


Многолетний ход НЧК средней температуры воздуха зимой и летом в 22 (слева) и 26 регионах Северного полушария (1948 – 2011 гг.)



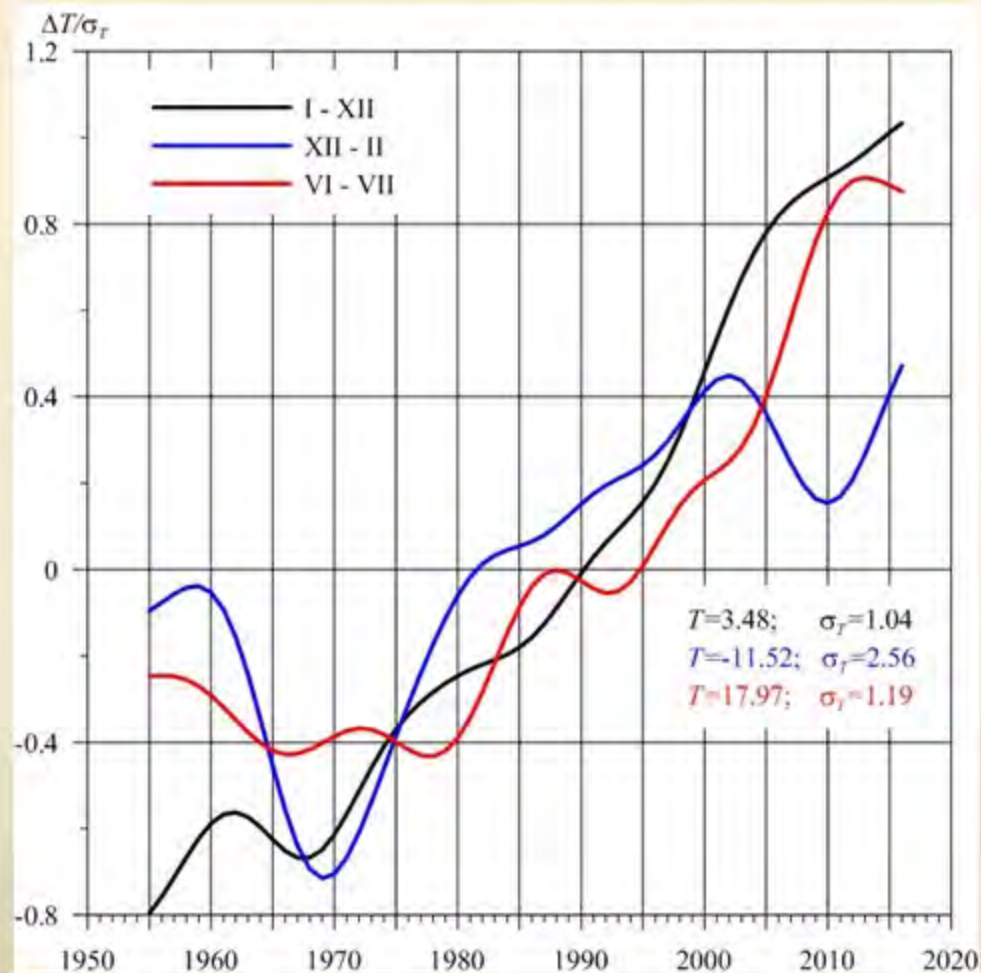
Многолетний ход НЧК средней температуры воздуха зимой и летом в 12 (слева) и 11 регионах Северного полушария (1948 – 2011 гг.)



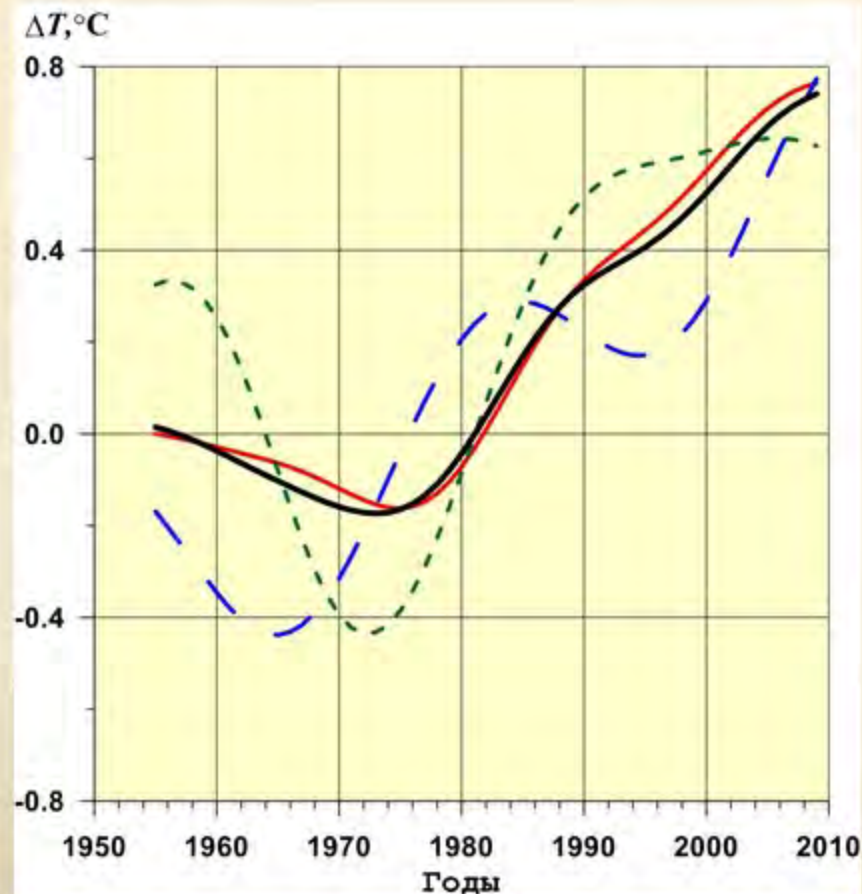
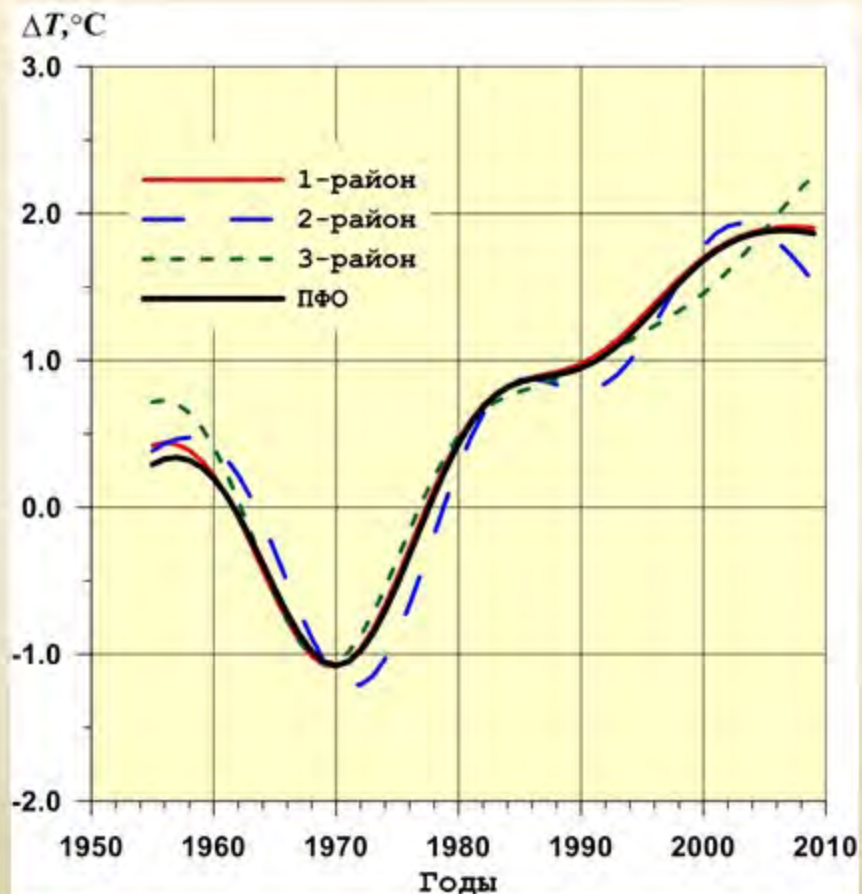


Районы однотипные по характеру изменения температуры

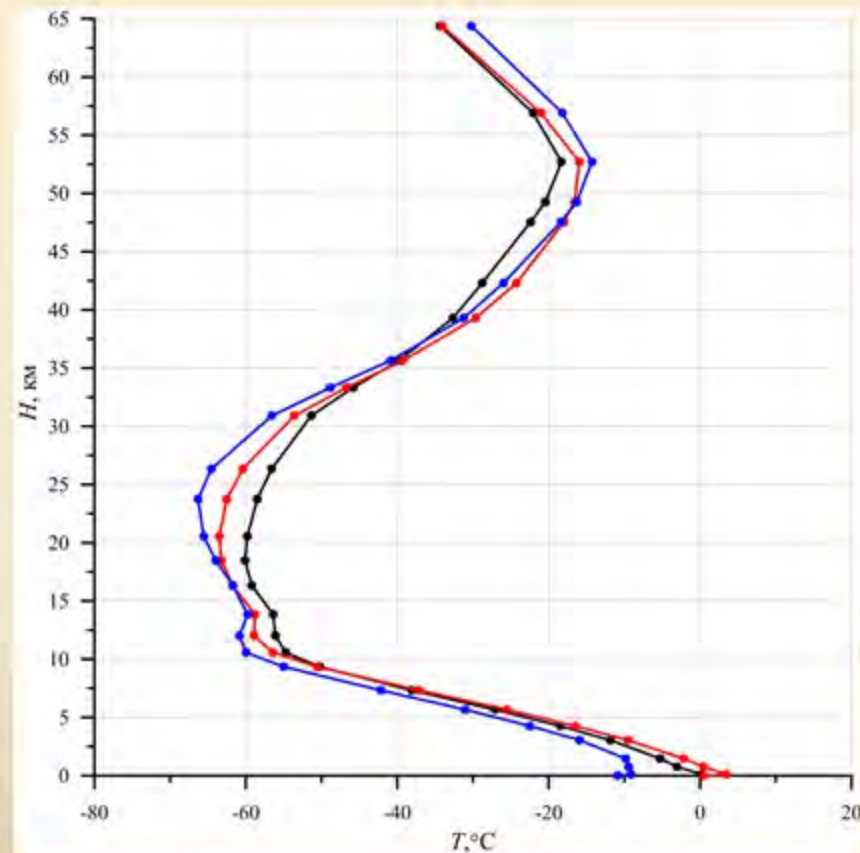
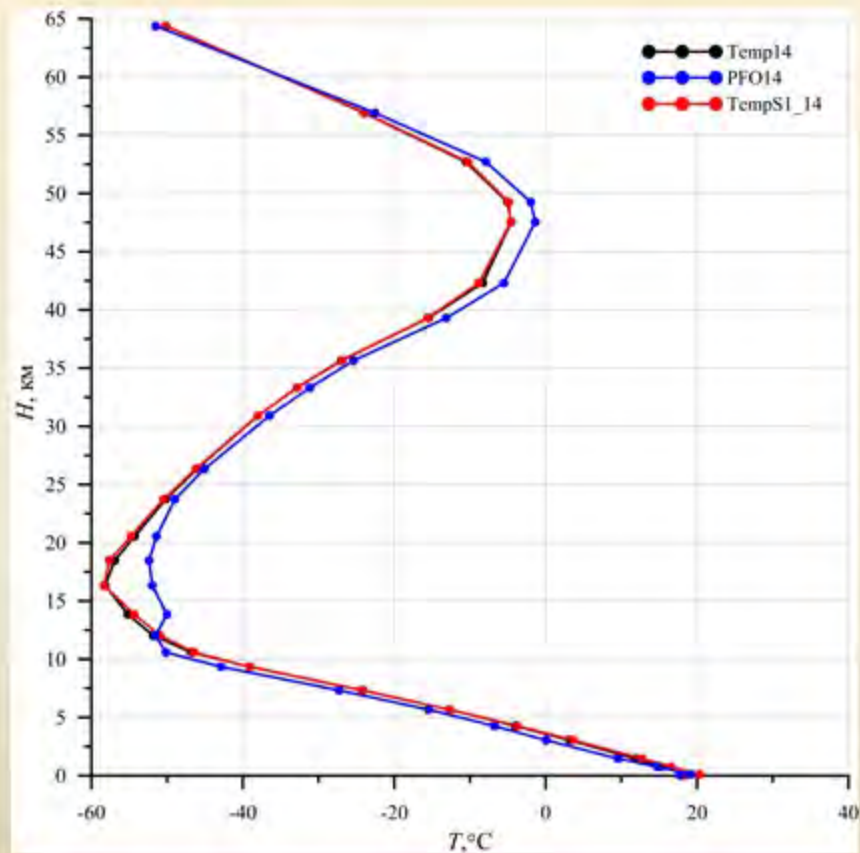
Динамика низкочастотной компоненты с периодом более 10 лет нормированных аномалий температуры воздуха ПФО 1955 – 2016 гг.



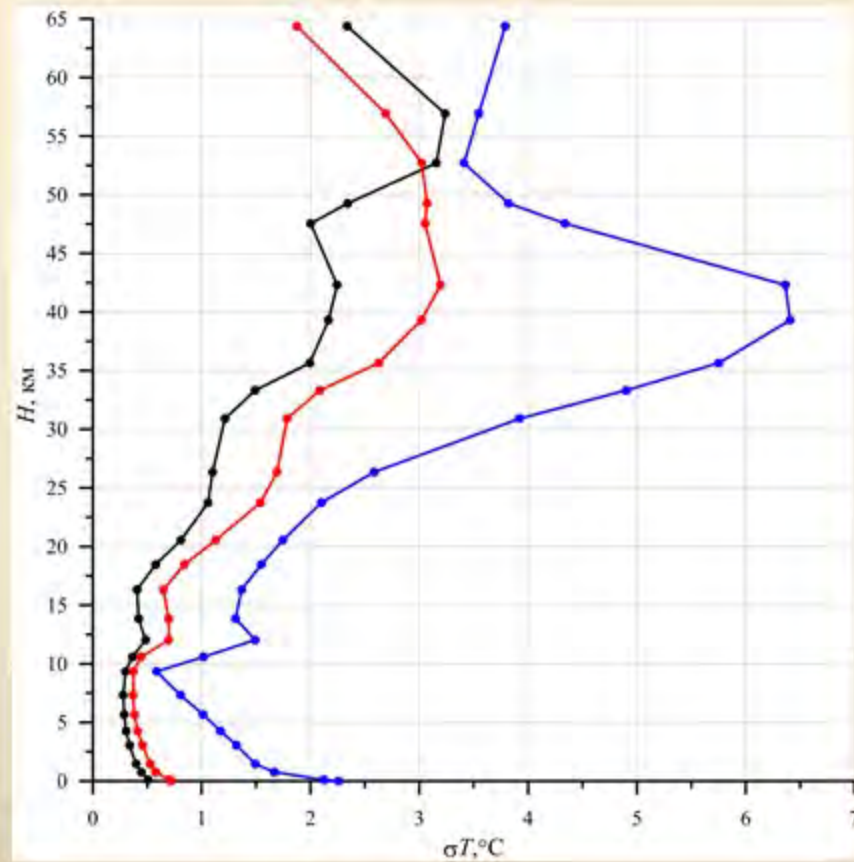
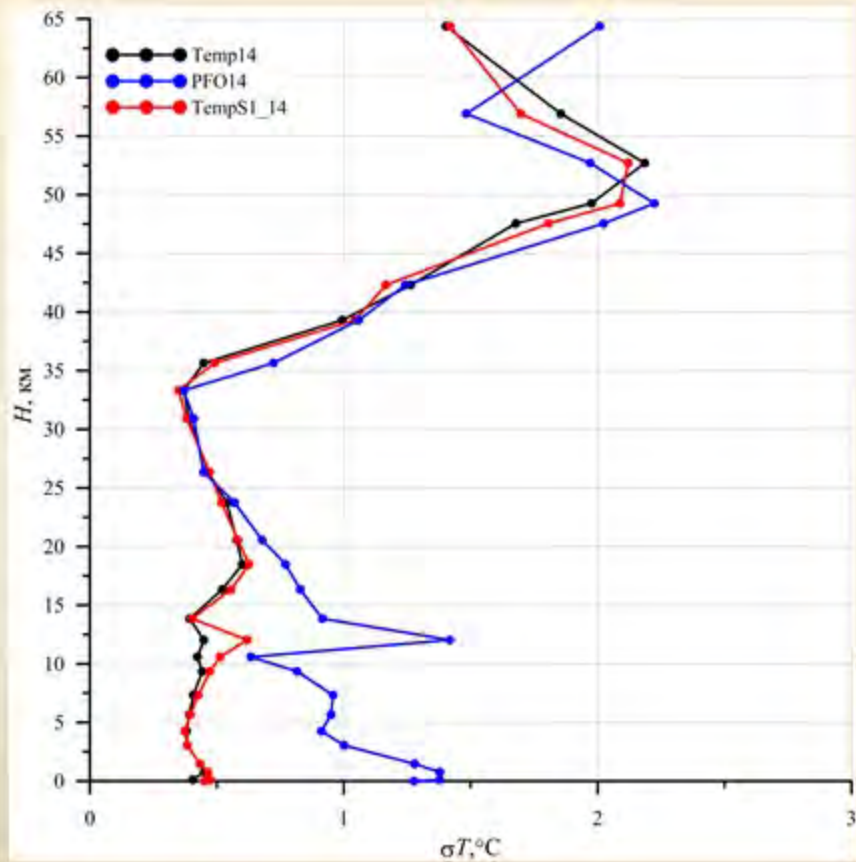
Низкочастотная компонента аномалий средней температуры воздуха зимой (слева) и летом (справа) осредненная по территории трех районов и всей территории ПФО



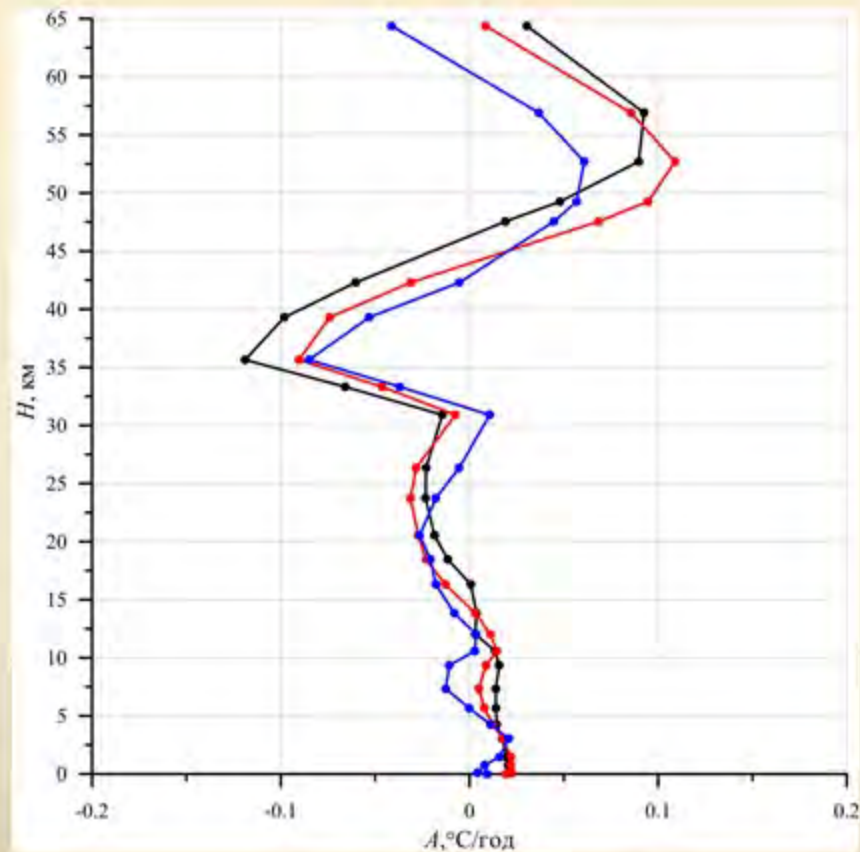
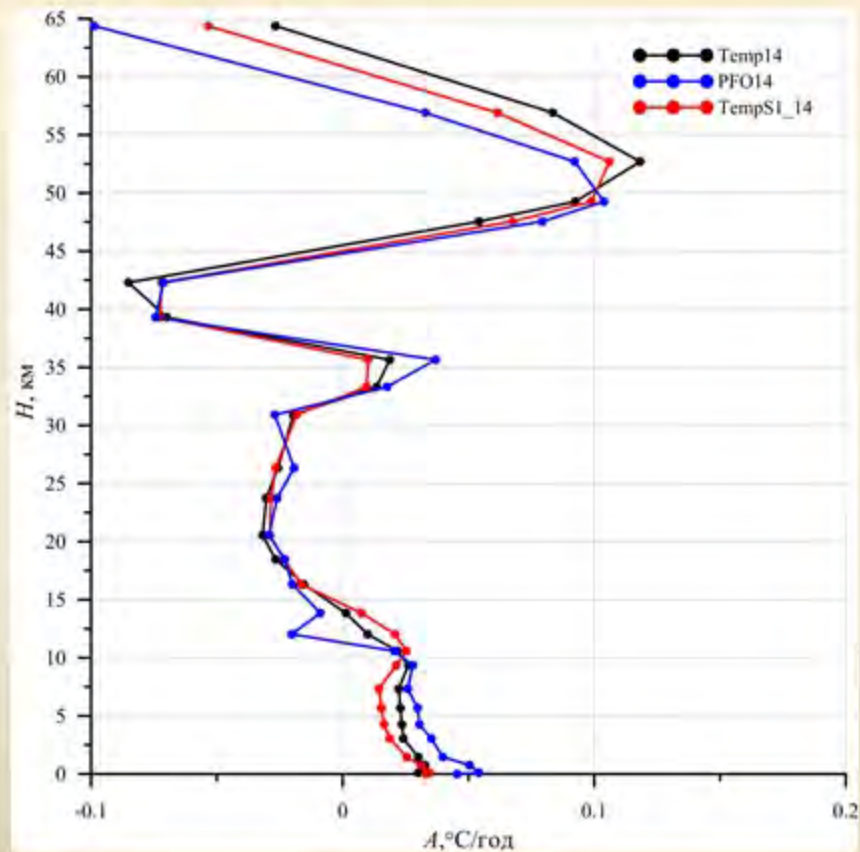
Вертикальные профили средних летних (слева) и зимних (справа) температур воздуха осредненных по территориям умеренной зоны Северного полушария, Атлантико-Европейского сектора умеренной зоны и ПФО.



Вертикальные профили СКО летних (слева) и зимних (справа) температур воздуха осредненных по территориям умеренной зоны Северного полушария, Атлантико-Европейского сектора умеренной зоны и ПФО.



Вертикальные профили КНЛТ летних (слева) и зимних (справа) температур воздуха осредненных по территориям умеренной зоны Северного полушария, Атлантико-Европейского сектора умеренной зоны и ПФО.



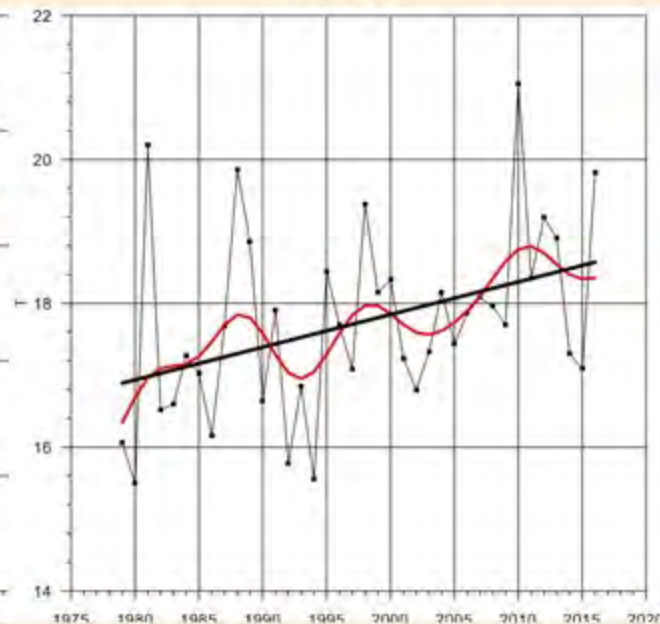
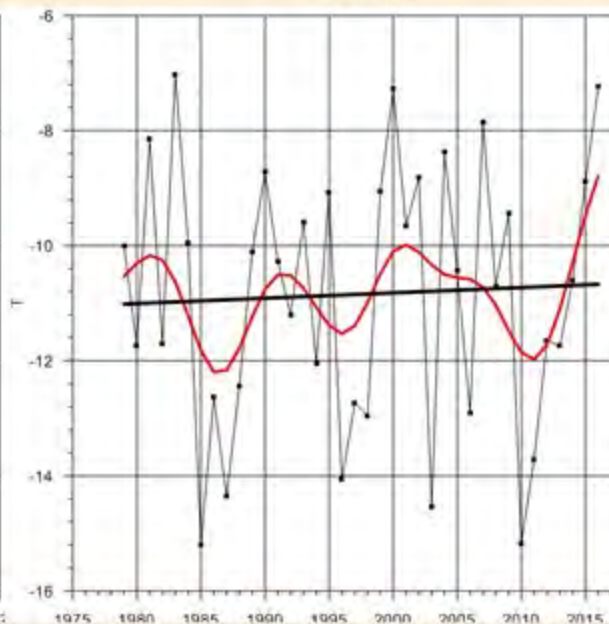
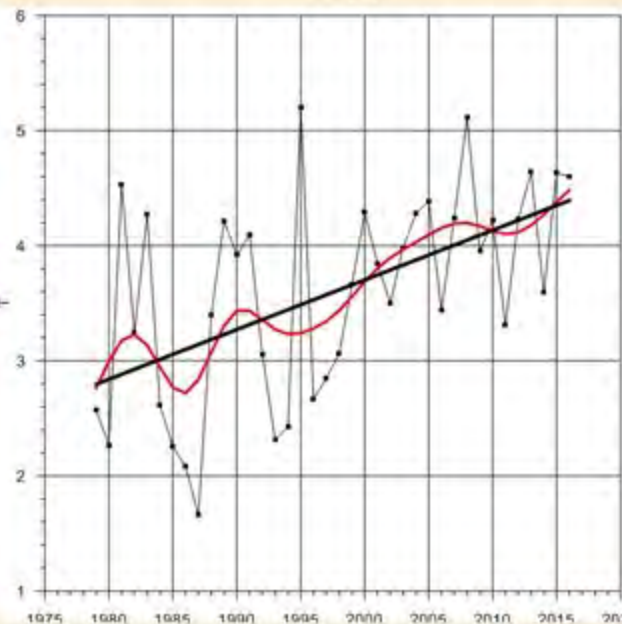
Многолетний ход средних температур воздуха на территории ПФО.
 Годовой (январь-декабрь), зимней (декабрь-февраль и летней (июнь-август).

Уровень Земли

Год

Зима

Лето



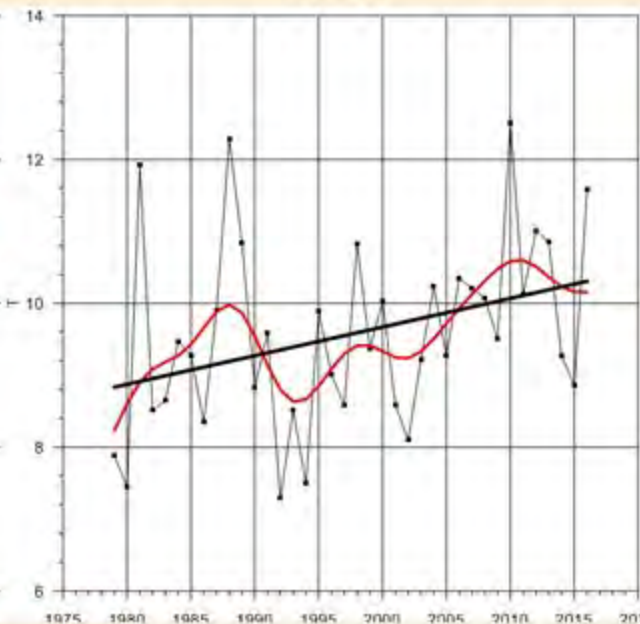
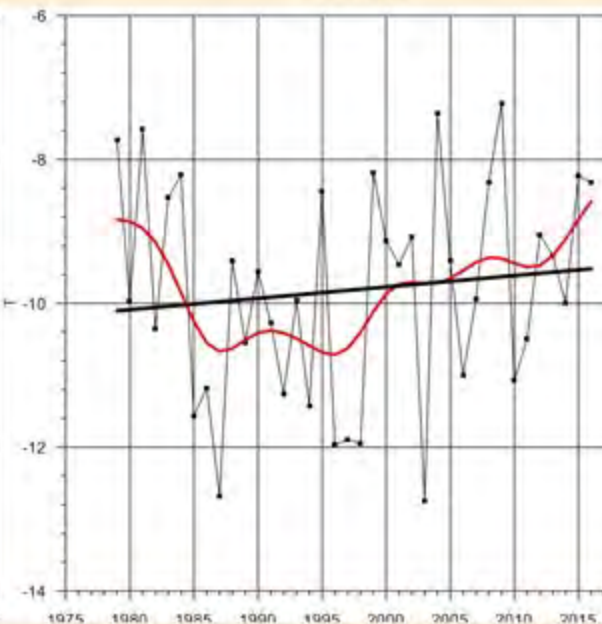
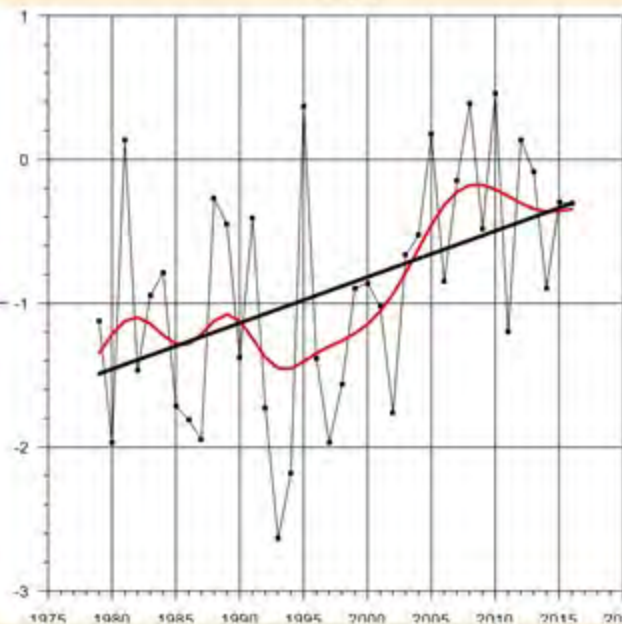
	Год	Зима	Лето
Av, °C	3,6	-10,84	17,73
Rms, °C	0,89	2,26	1,28
A, °C/10 лет	0,43	0,09	0,45
R ² L, %	24	0	11
R ² F, %	44	40	34

Многолетний ход средних температур воздуха на территории ПФО.
 Годовой (январь-декабрь), зимней (декабрь-февраль) и летней (июнь-август).
 Уровень 850 гПа.

Год

Зима

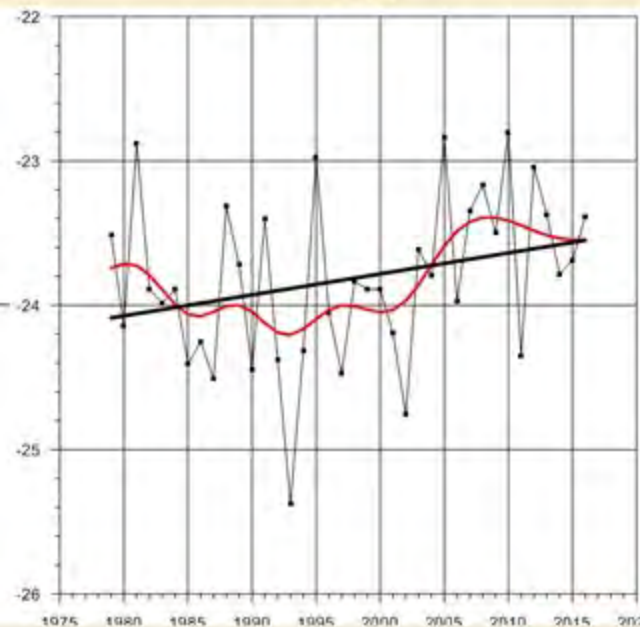
Лето



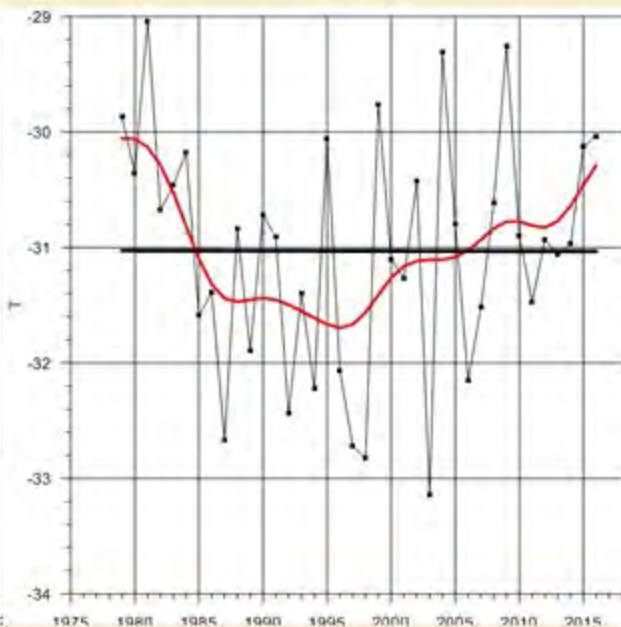
	Год	Зима	Лето
$\bar{A}_v, ^\circ\text{C}$	-0,9	-9,81	9,57
$R_{ms}, ^\circ\text{C}$	0,79	1,49	1,28
$A, ^\circ\text{C}/10 \text{ лет}$	0,32	0,16	0,40
$R^2L, \%$	15	0	7
$R^2F, \%$	37	27	37

Многолетний ход средних температур воздуха на территории ПФО.
 Годовой (январь-декабрь), зимней (декабрь-февраль и летней (июнь-август).
 Уровень 500 гПа.

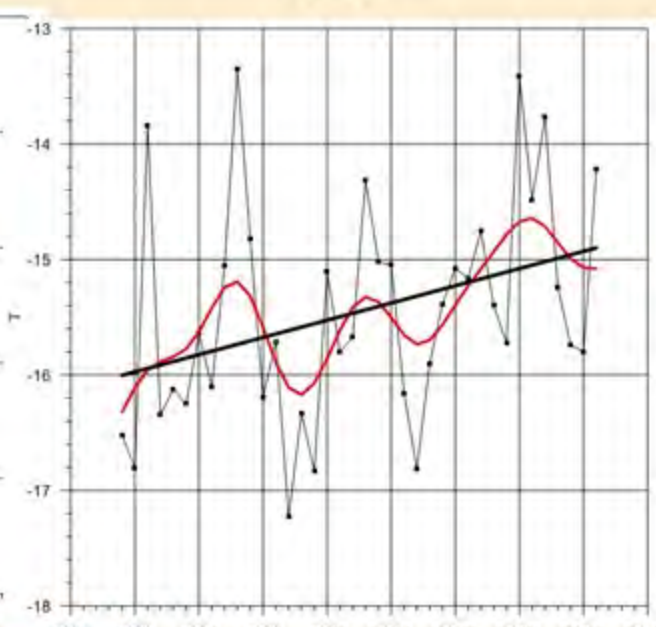
Год



Зима



Лето



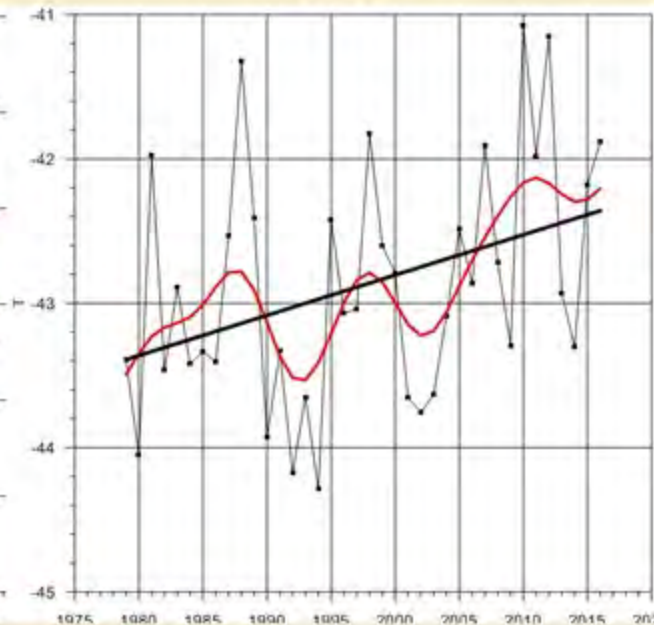
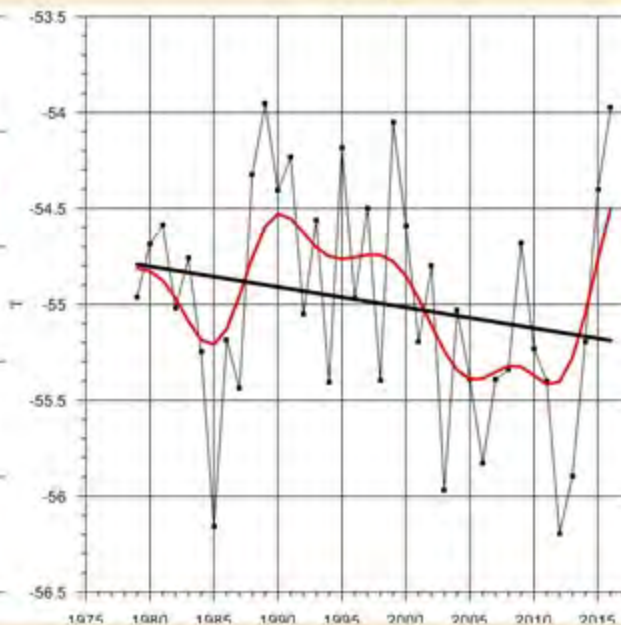
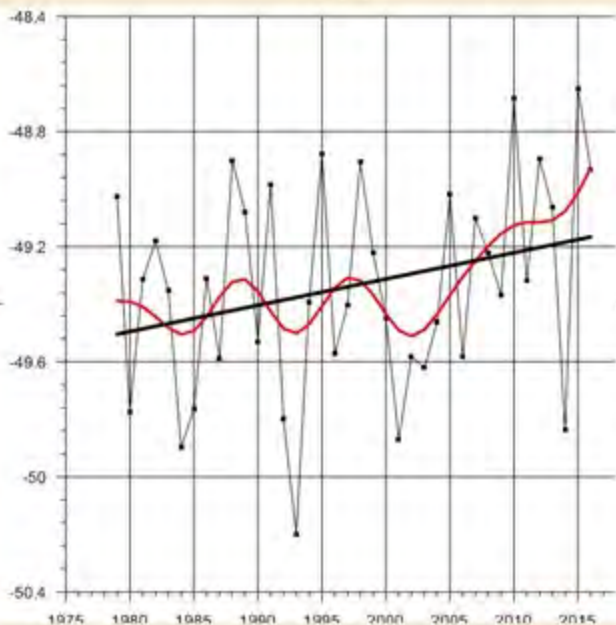
	Год	Зима	Лето
$A_v, ^\circ\text{C}$	-23,82	-31,03	-15,45
$R_{ms}, ^\circ\text{C}$	0,57	1,01	0,95
$A, ^\circ\text{C}/10 \text{ лет}$	0,15	0	0,30
$R^2L, \%$	3	0	7
$R^2F, \%$	30	31	41

Многолетний ход средних температур воздуха на территории ПФО.
 Годовой (январь-декабрь), зимней (декабрь-февраль) и летней (июнь-август).
 Уровень 300 гПа.

Год

Зима

Лето



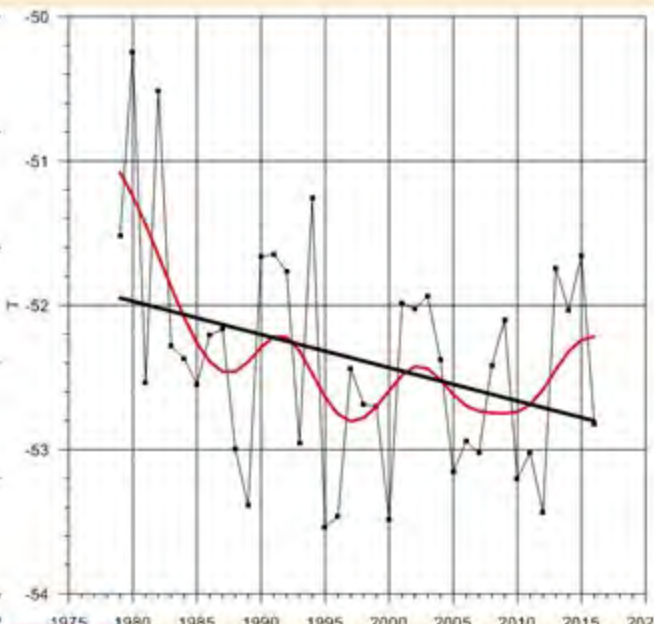
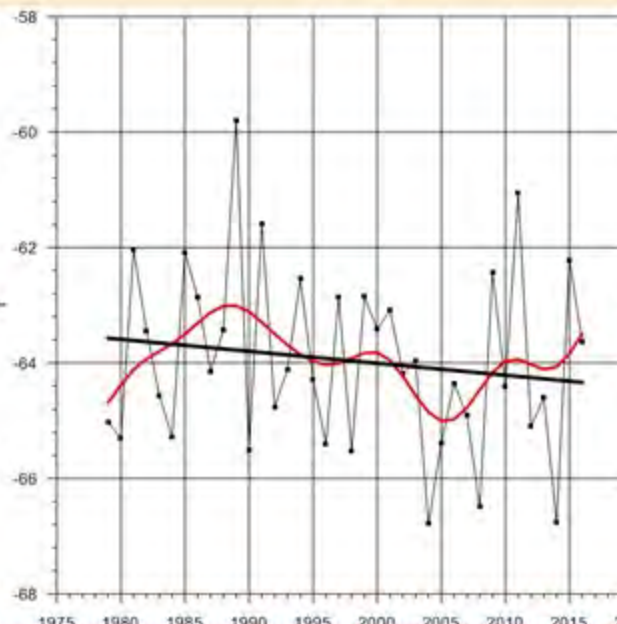
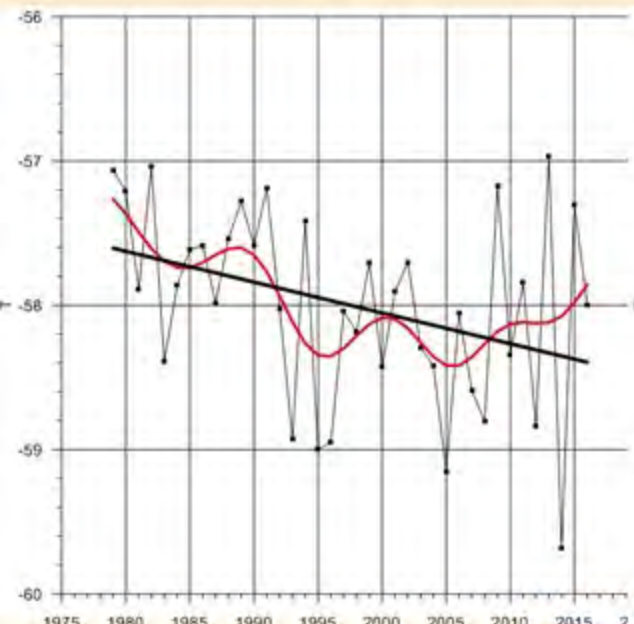
	Год	Зима	Лето
Av, °C	-49,33	-54,99	-42,87
Rms, °C	0,36	0,59	0,82
A, °C/10 лет	0,09	-0,11	0,28
R ² L, %	2	0	9
R ² F, %	27	52	43

Многолетний ход средних температур воздуха на территории ПФО.
 Годовой (январь-декабрь), зимней (декабрь-февраль) и летней (июнь-август).
 Уровень 70 гПа.

Год

Зима

Лето



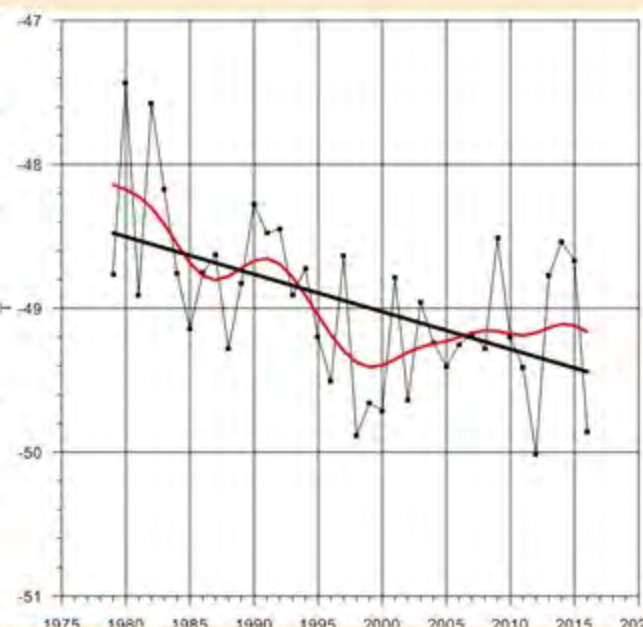
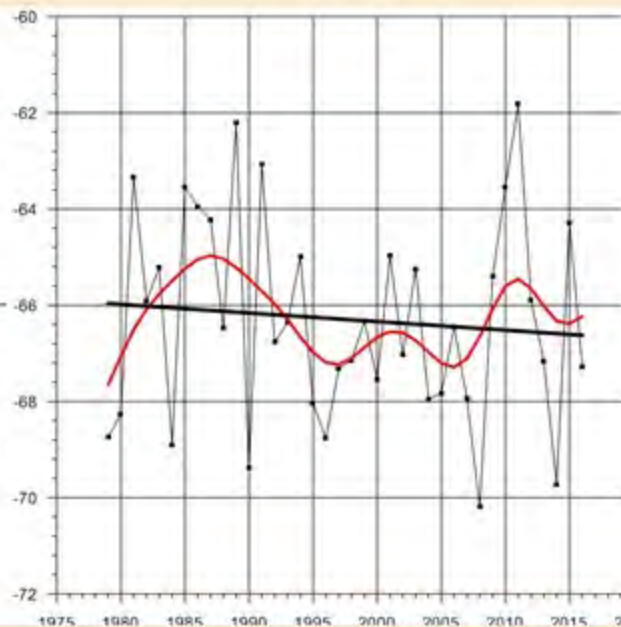
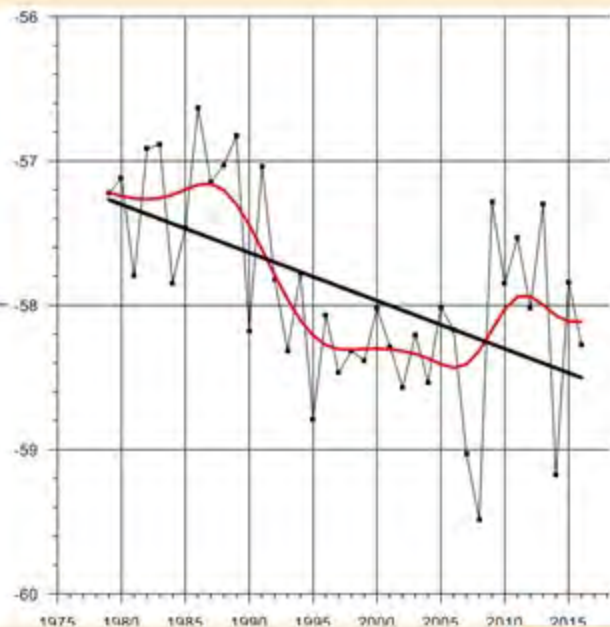
	Год	Зима	Лето
Av, °C	-58,0	-63,95	-52,38
Rms, °C	0,66	1,55	0,77
A, °C/10 лет	-0,21	-0,21	-0,23
R ² L, %	8	0	6
R ² F, %	31	21	36

Многолетний ход средних температур воздуха на территории ПФО.
 Годовой (январь-декабрь), зимней (декабрь-февраль) и летней (июнь-август).
 Уровень 30 гПа.

Год

Зима

Лето



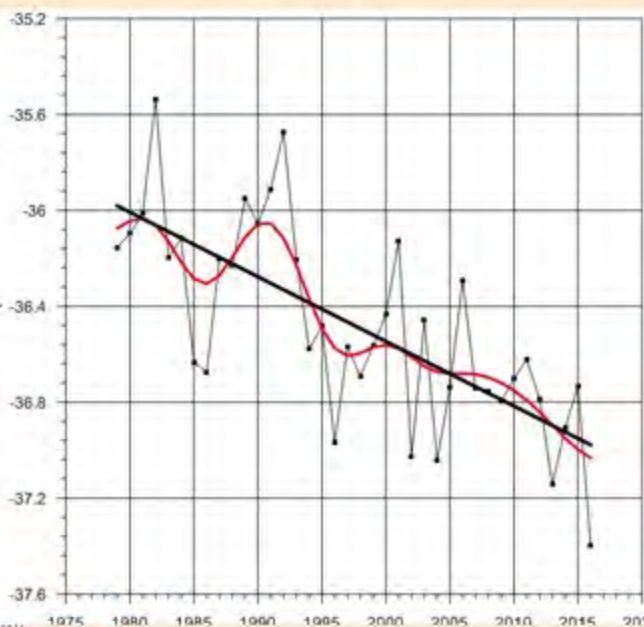
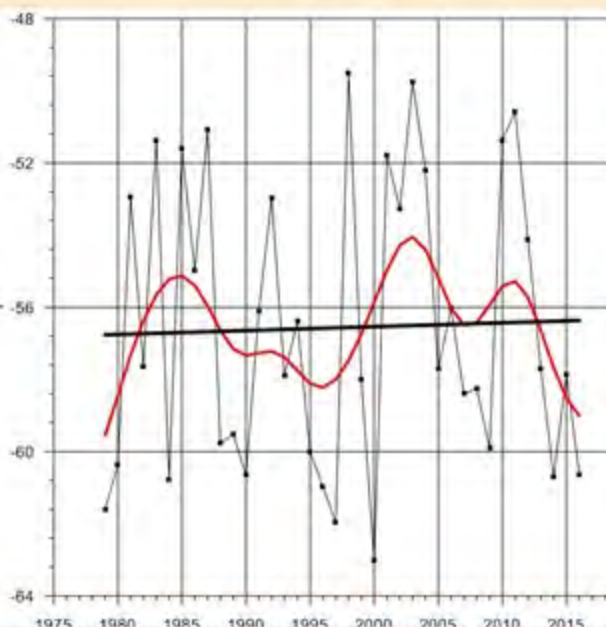
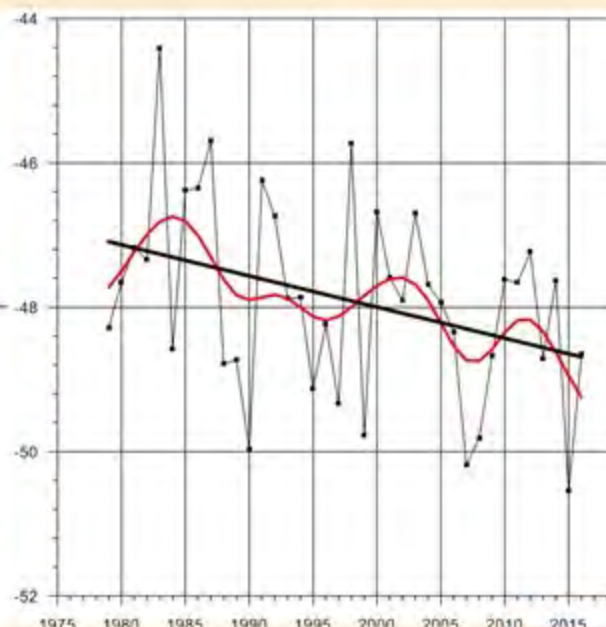
	Год	Зима	Лето
Av, °C	-57,89	-66,29	-48,96
Rms, °C	0,68	2,1	0,57
A, °C/10 лет	-0,33	-0,18	-0,26
R ² L, %	25	0	21
R ² F, %	55	27	46

Многолетний ход средних температур воздуха на территории ПФО.
 Годовой (январь-декабрь), зимней (декабрь-февраль) и летней (июнь-август).
 Уровень 10 гПа.

Год

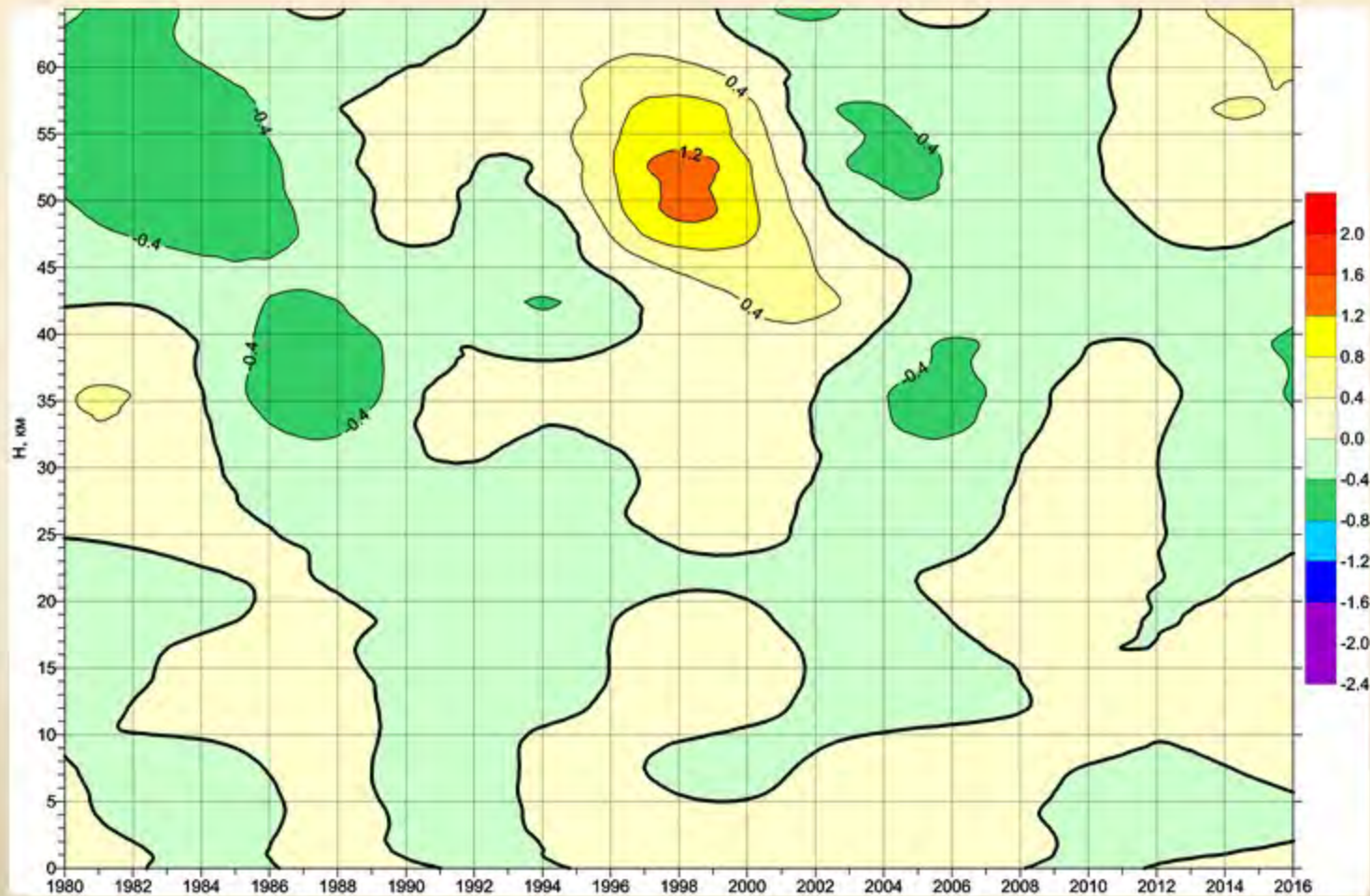
Зима

Лето



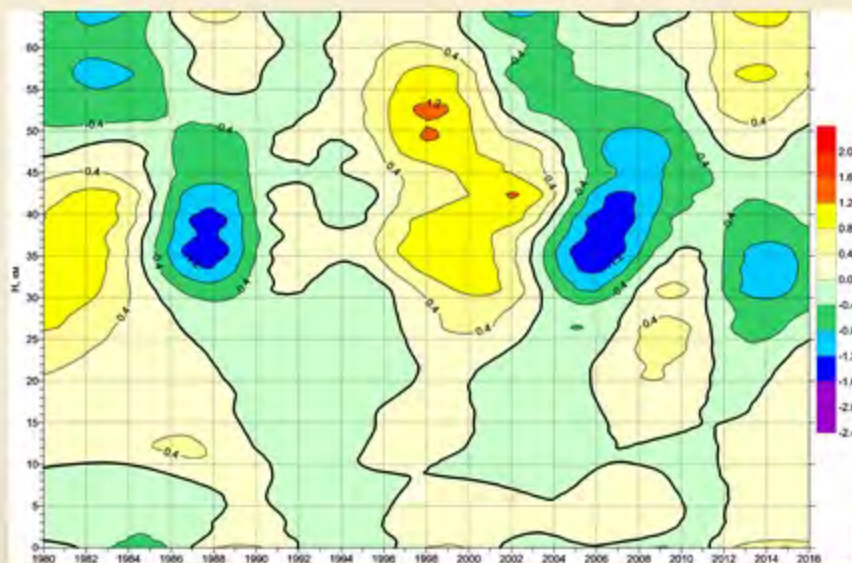
	Год	Зима	Лето
Av, °C	-47,89	-56,57	-36,48
Rms, °C	1,32	3,92	0,41
A, °C/10 лет	-0,43	0,11	-0,27
R ² L, %	8	0	49
R ² F, %	33	33	69

Временной ход вертикального профиля первых разностей НЧК средней годовой температуры воздуха с периодом более 10 лет на территории ПФО, °С/год.

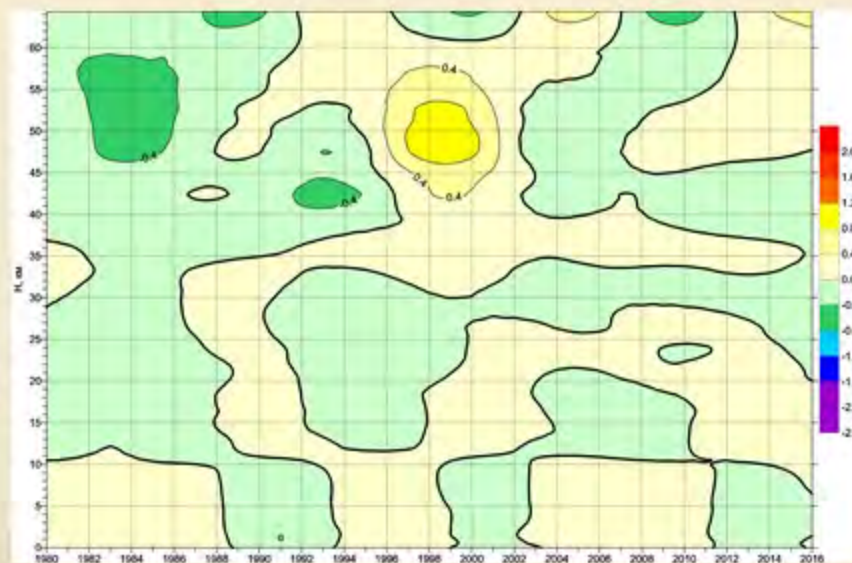


Временной ход вертикального профиля первых разностей НЧК средних зимних (слева) и летних (справа) температур воздуха с периодом более 10 лет на территории ПФО, °С/год.

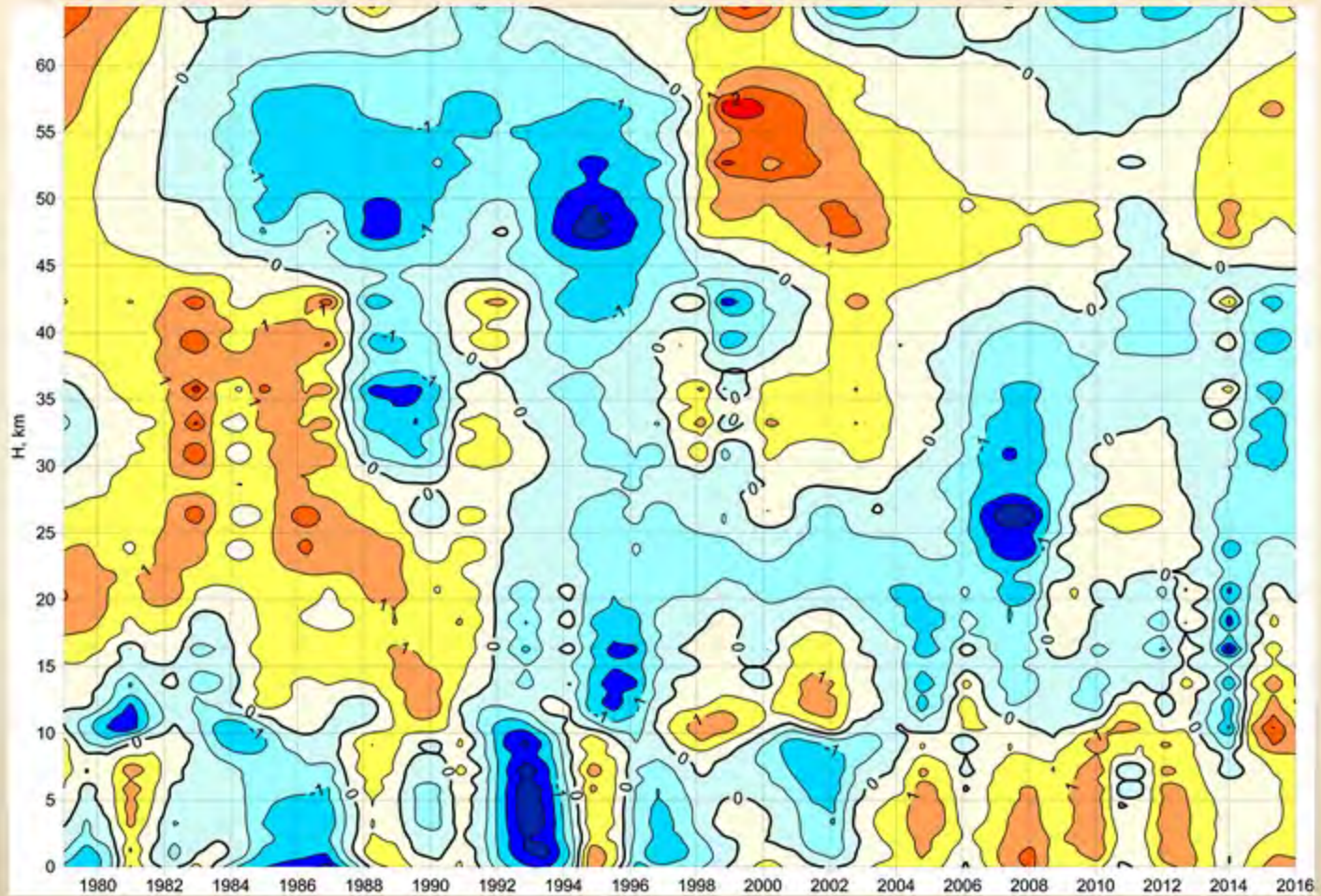
Зима



Лето

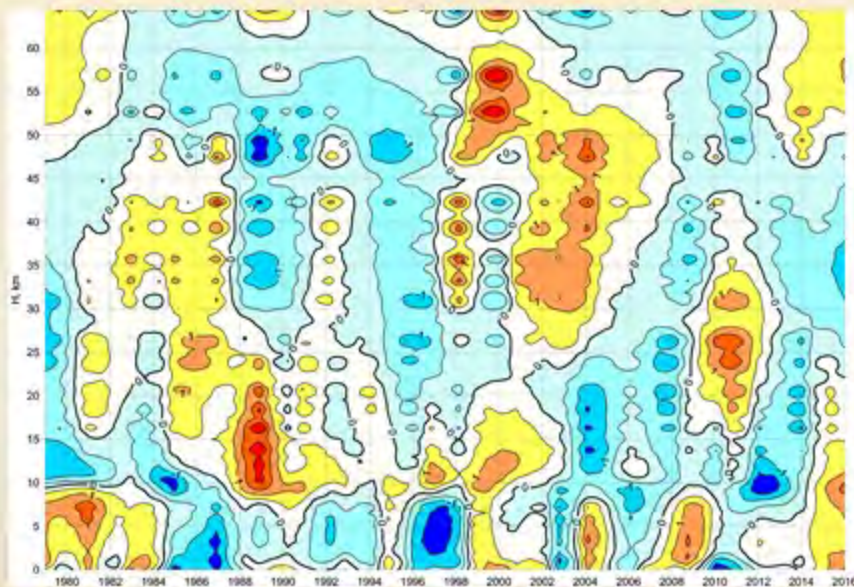


Вертикальный разрез временного хода нормированных аномалий средней годовой температуры воздуха на территории ПФО.

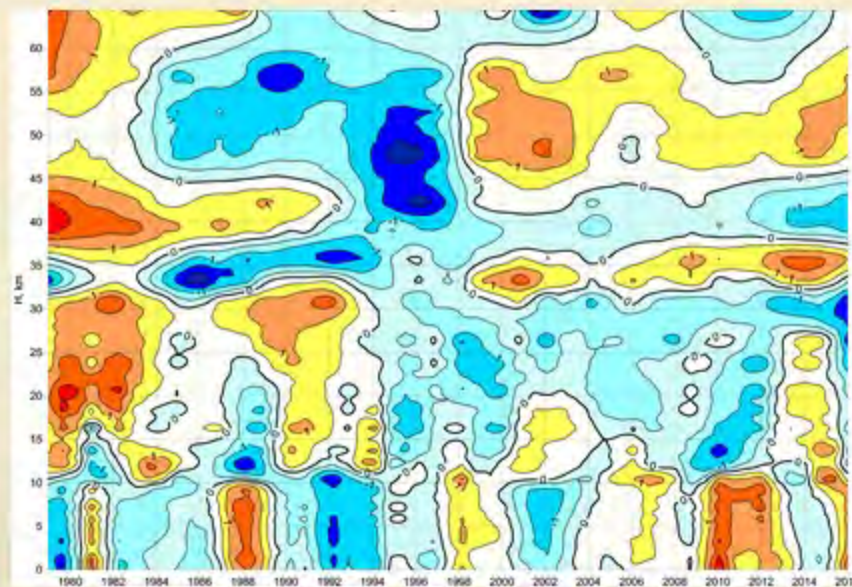


Вертикальный разрез временного хода нормированных аномалий средней зимней и летней температур воздуха на территории ПФО.

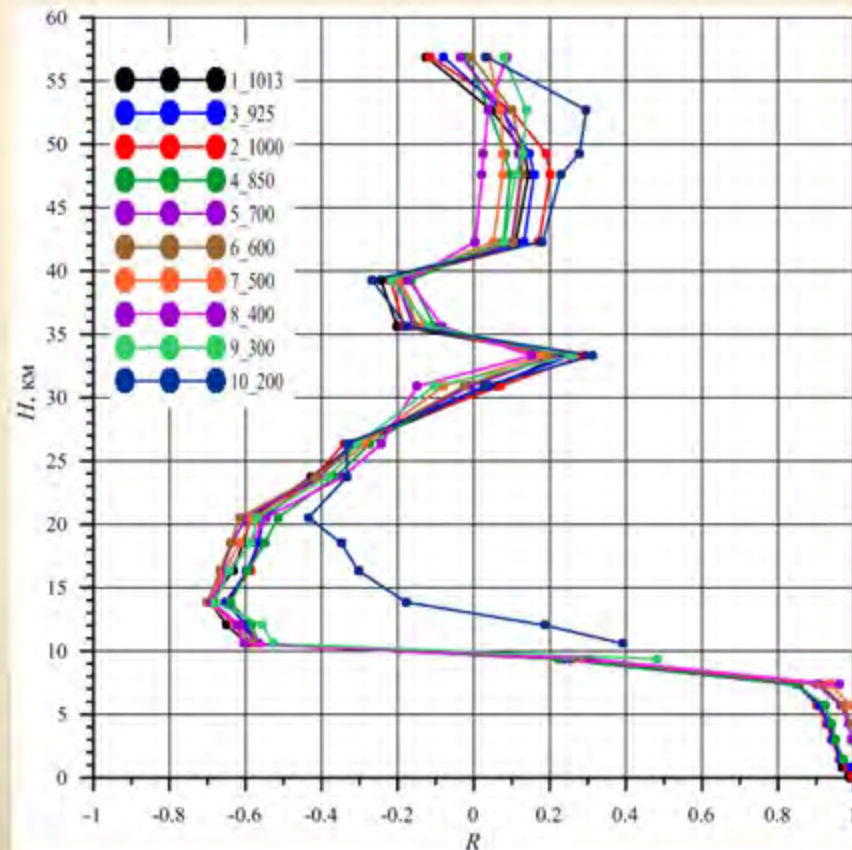
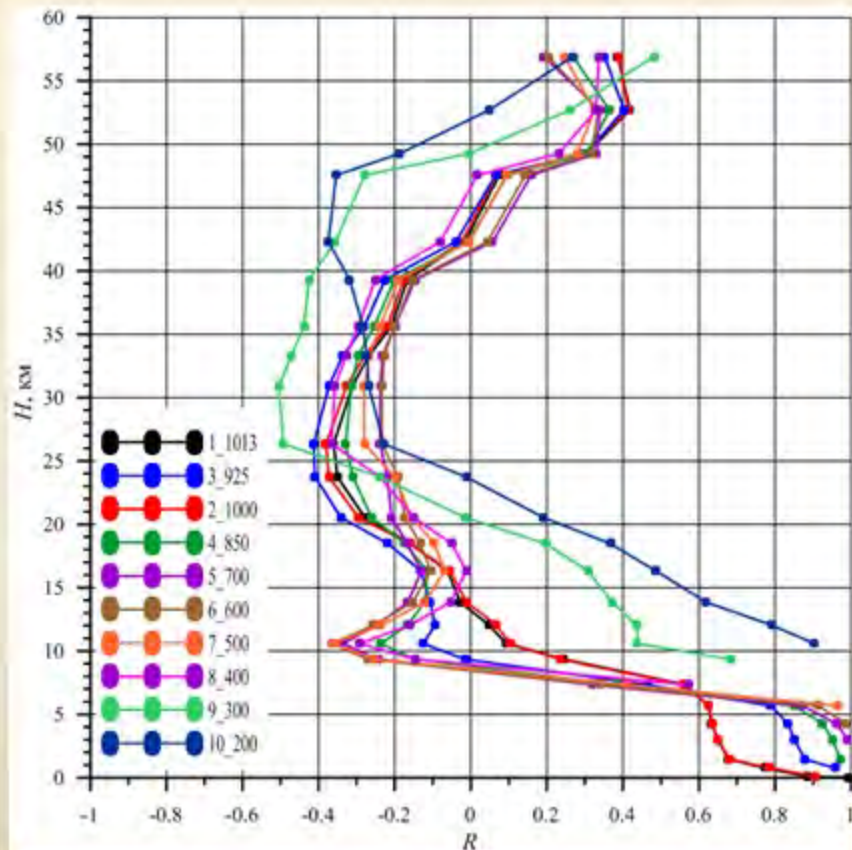
Зима



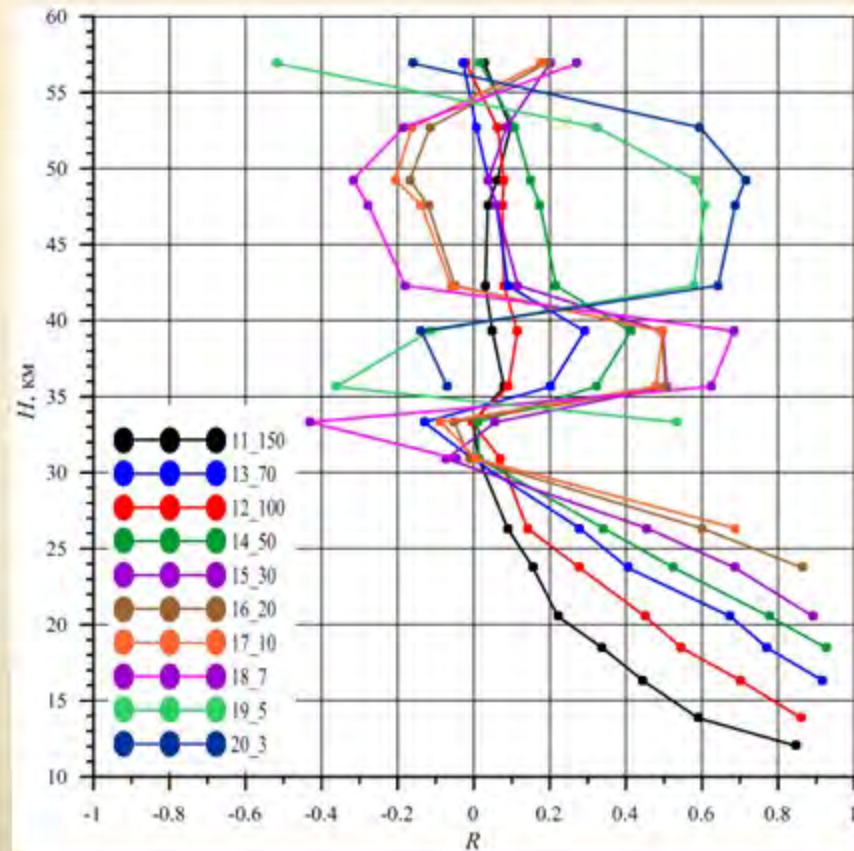
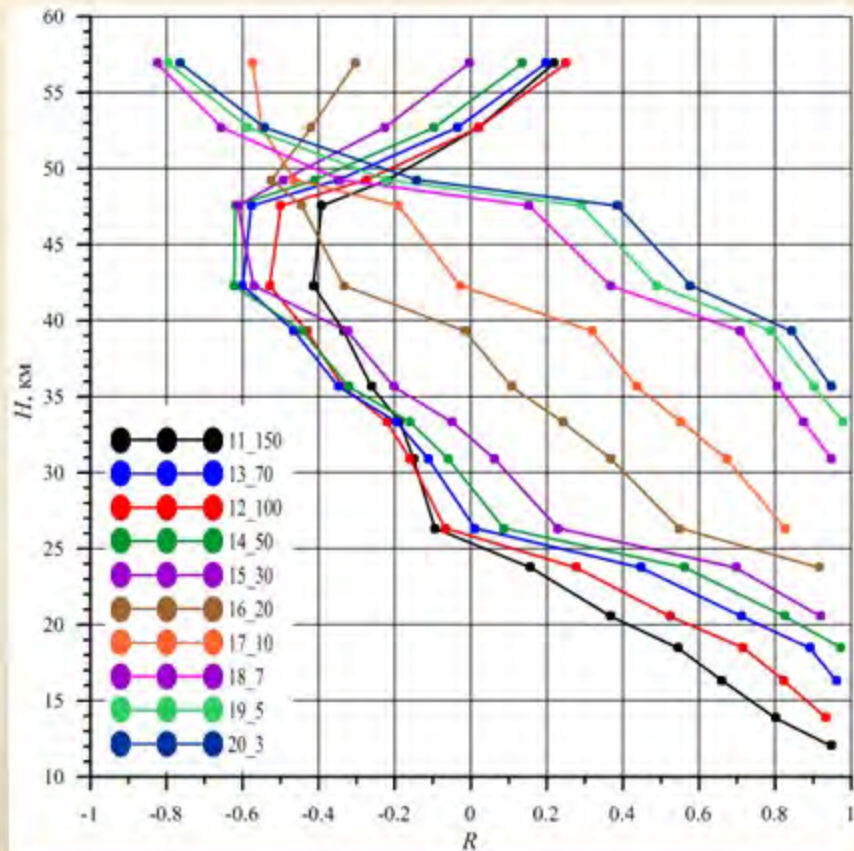
Лето



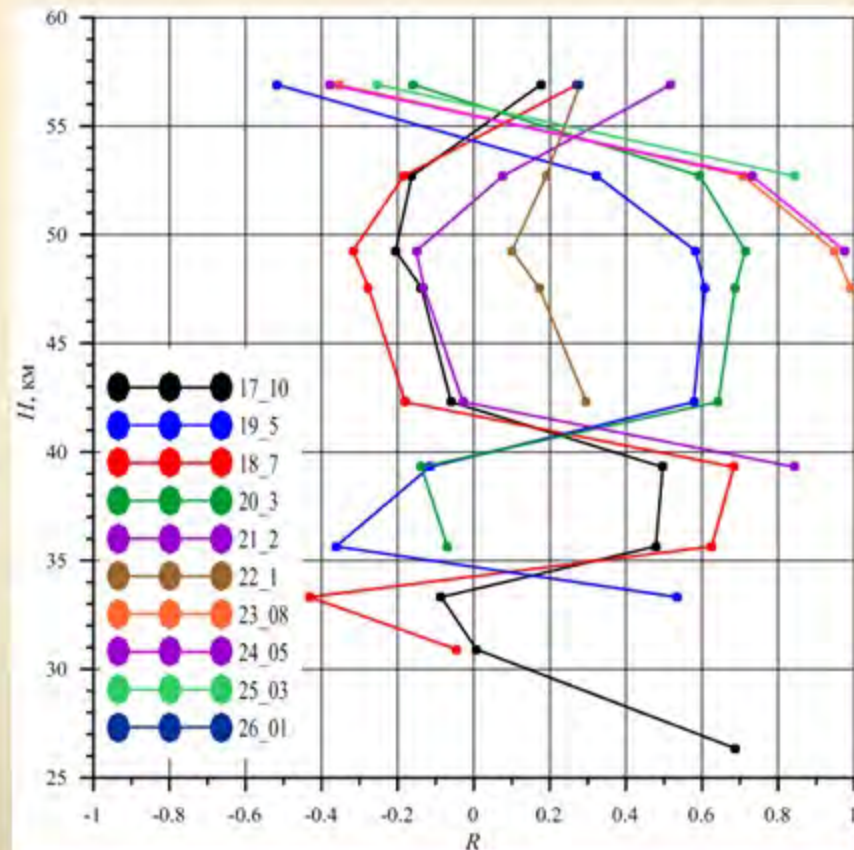
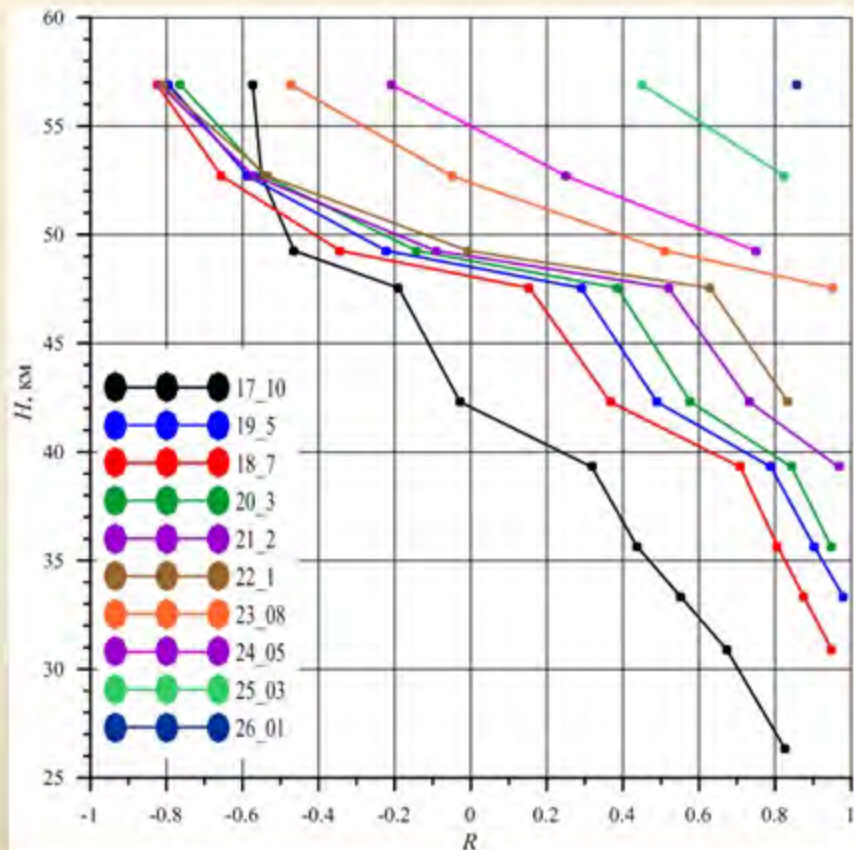
Коэффициенты корреляции температуры воздуха осредненной по территории ПФО на нижней и вышележащих поверхностях тропосферы зимой (слева) и летом (справа) за период (1979-2016 гг.).



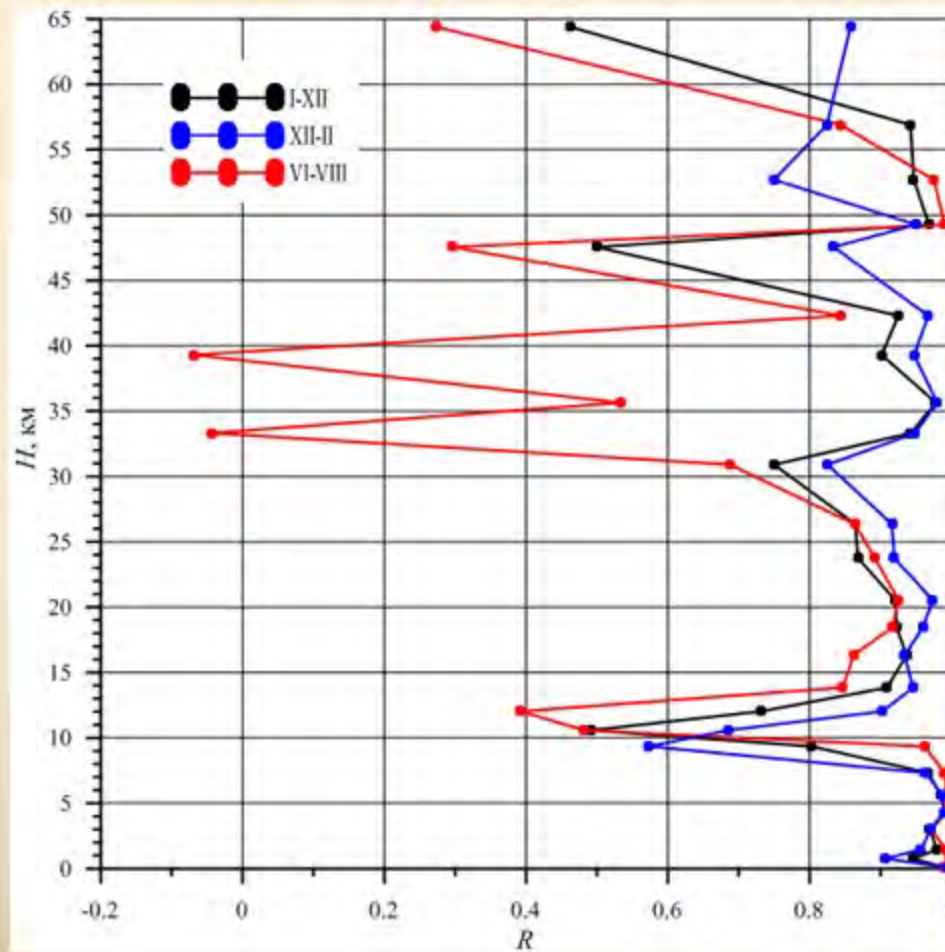
Коэффициенты корреляции температуры воздуха осредненной по территории ПФО на нижней и вышележащих поверхностях нижней стратосферы зимой (слева) и летом (справа) за период (1979-2016 гг.).



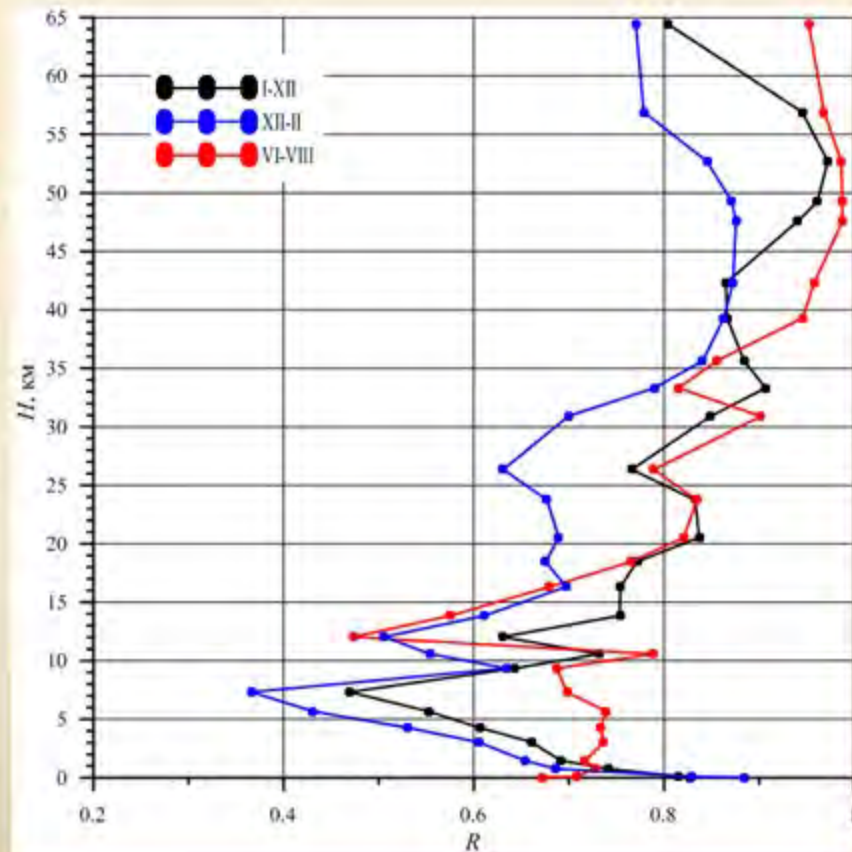
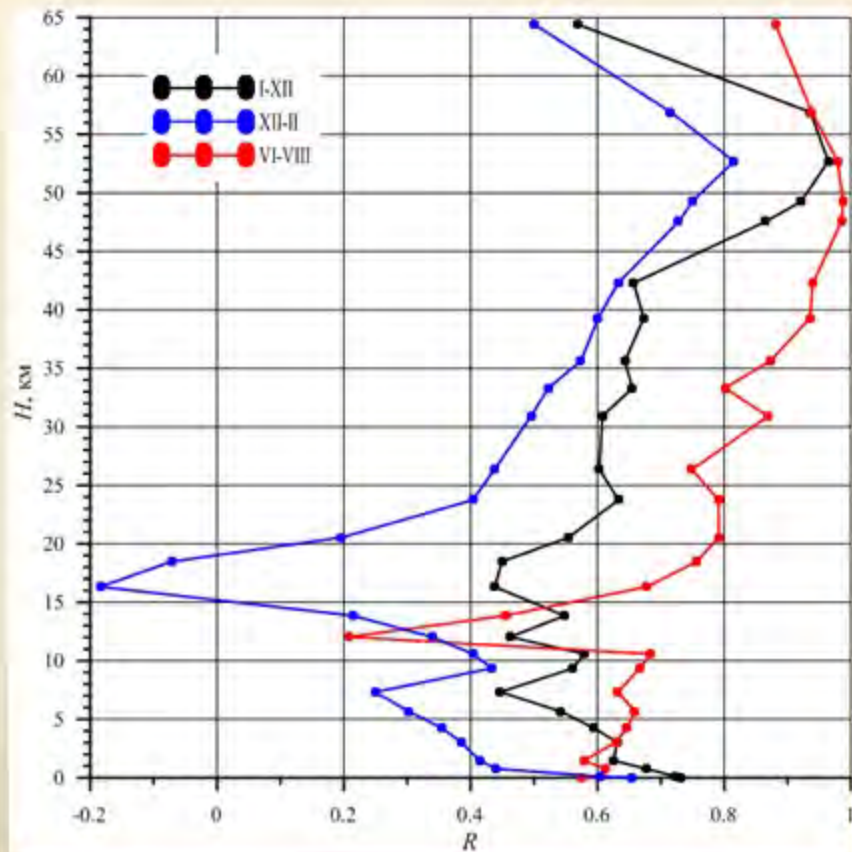
Коэффициенты корреляции температуры воздуха осредненной по территории ПФО на нижней и вышележащих поверхностях верхней стратосферы зимой (слева) и летом (справа) за период (1979-2016 гг.).



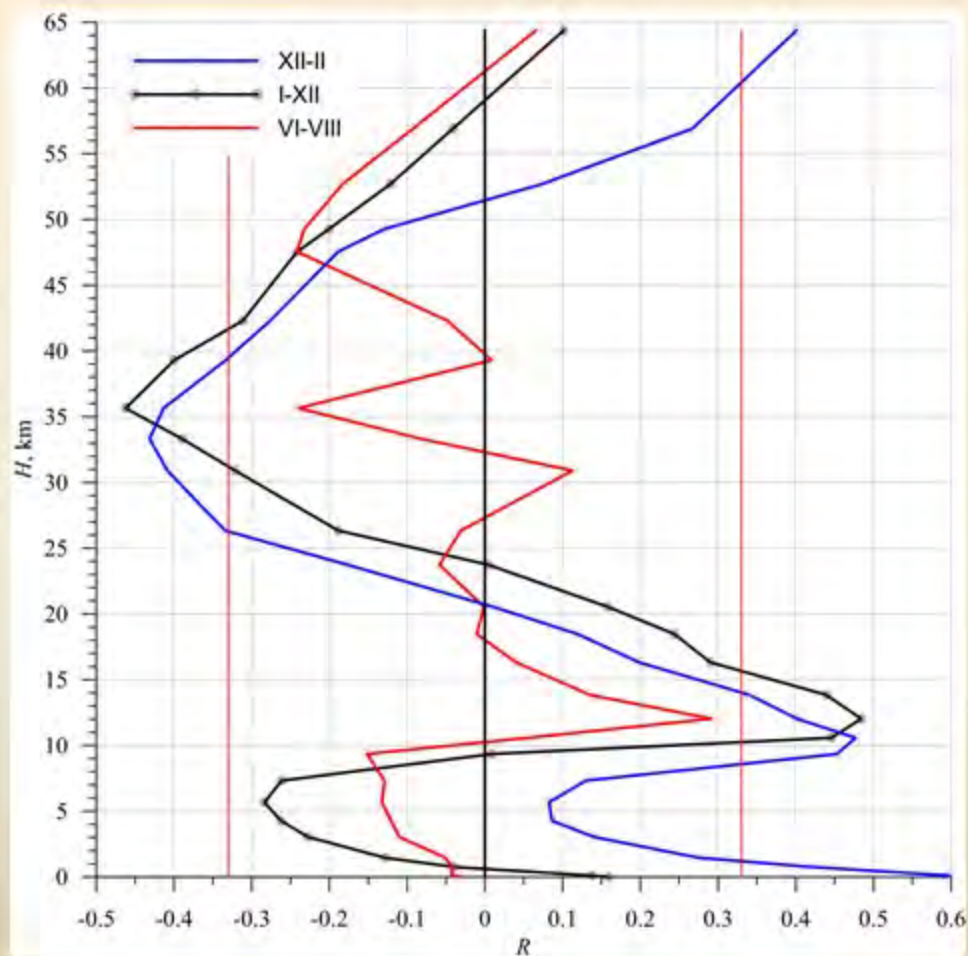
Значения коэффициентов линейной корреляции средней годовой, летней (июнь-август) и зимней (декабрь-февраль) температур воздуха на соседних изобарических поверхностях тропосферы, стратосферы и нижней мезосферы на территории ПФО



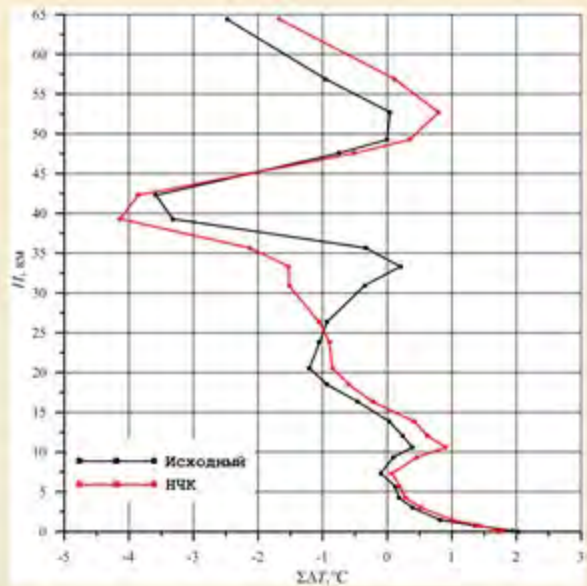
Значения коэффициентов линейной корреляции средней годовой, летней (июнь-август) и зимней (декабрь-февраль) температур воздуха на 27 уровнях тропосферы, стратосферы и нижней мезосферы умеренной зоны СП (слева), 1 сектора умеренной зоны (справа) и территории ПФО



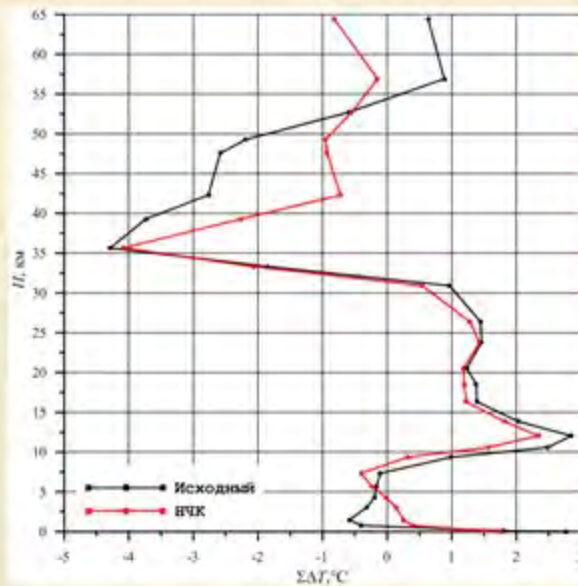
Вертикальные профили значений коэффициента корреляции индекса АО со средней годовой (черная линия), средней летней (красная линия) и средней зимней (синяя линия) температурой воздуха осредненной по территории ПФО.



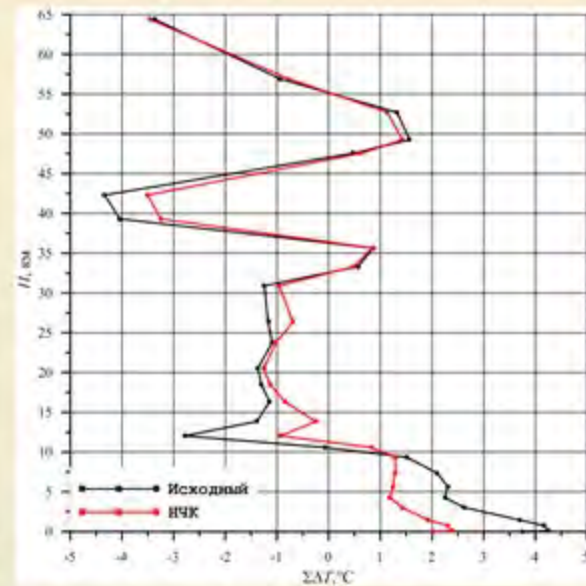
Вертикальные профили сумм первых разностей исходных рядов и НЧК с периодом более 10 лет температуры воздуха в тропосфере и стратосфере на территории ПФО (°C).



Год



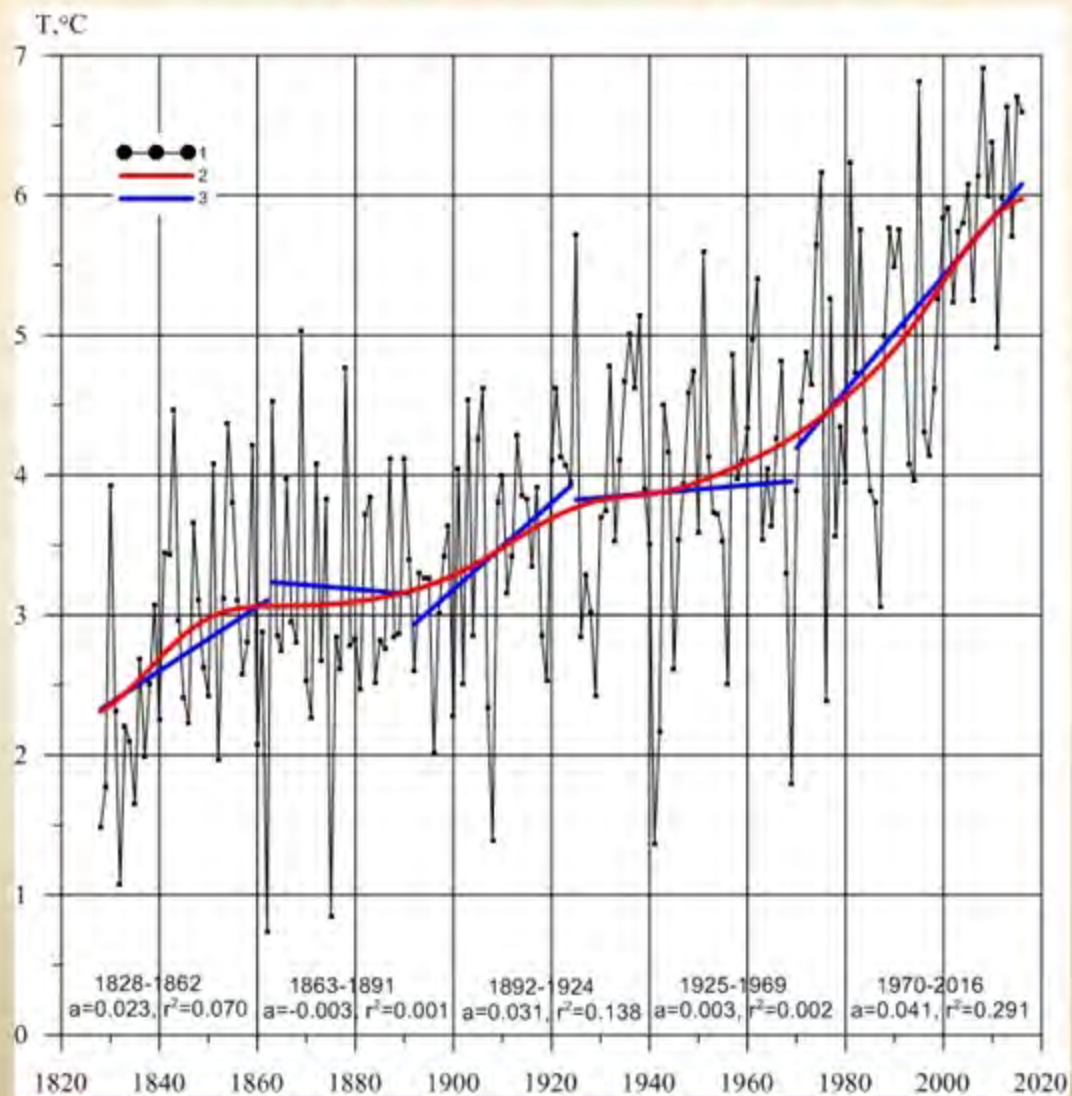
Зима



Лето

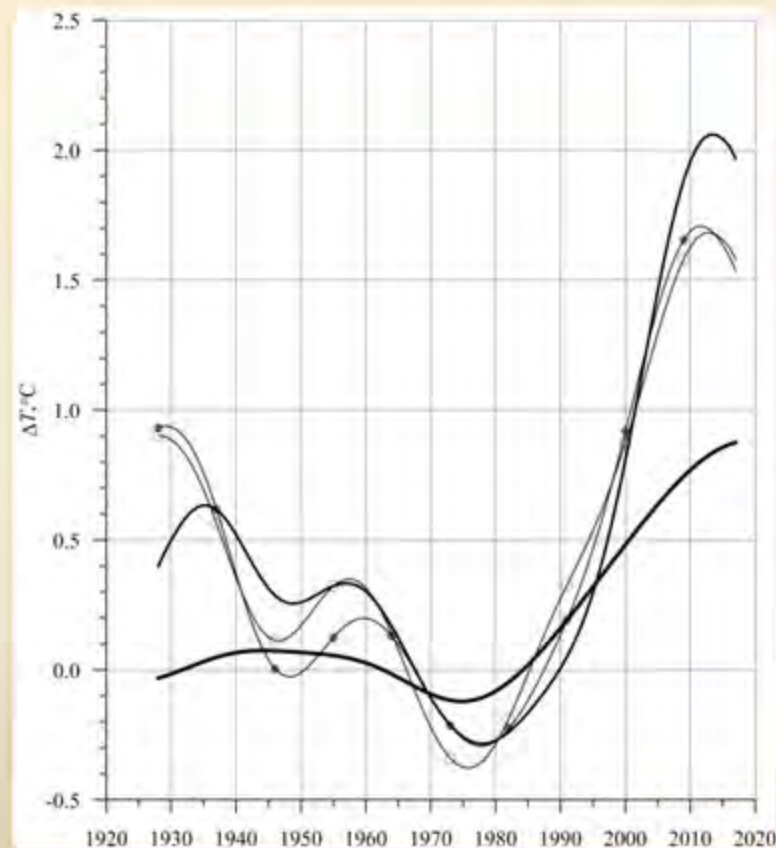
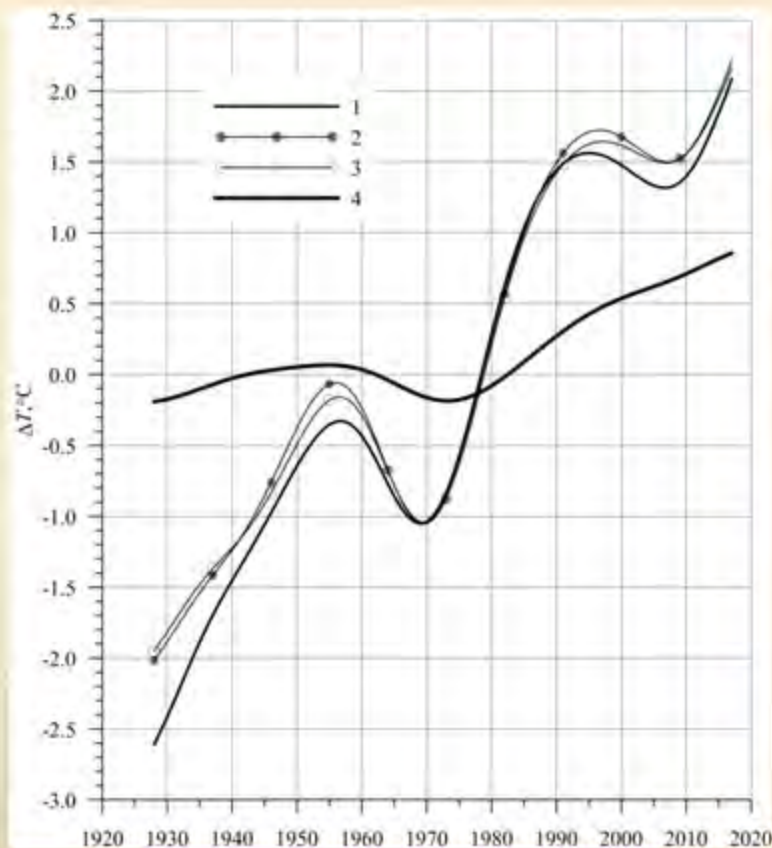
Особенности изменения средней годовой температуры в Казани с 1828 по 2016 гг.

1- исходный ряд, 2- НЧК с периодом более 30 лет, 3- линейный тренд

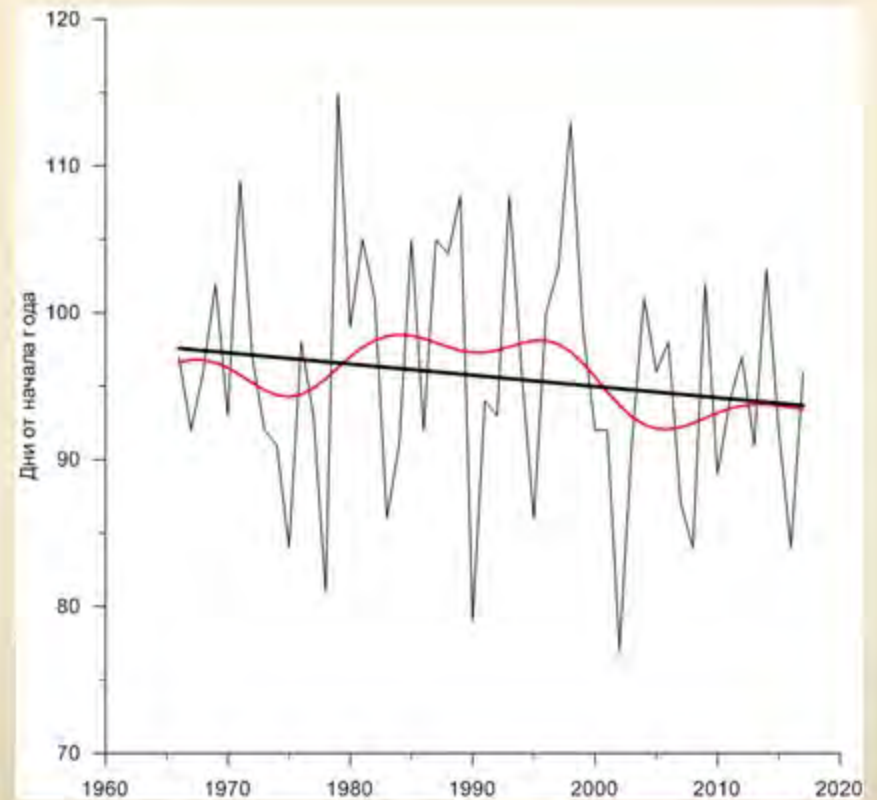
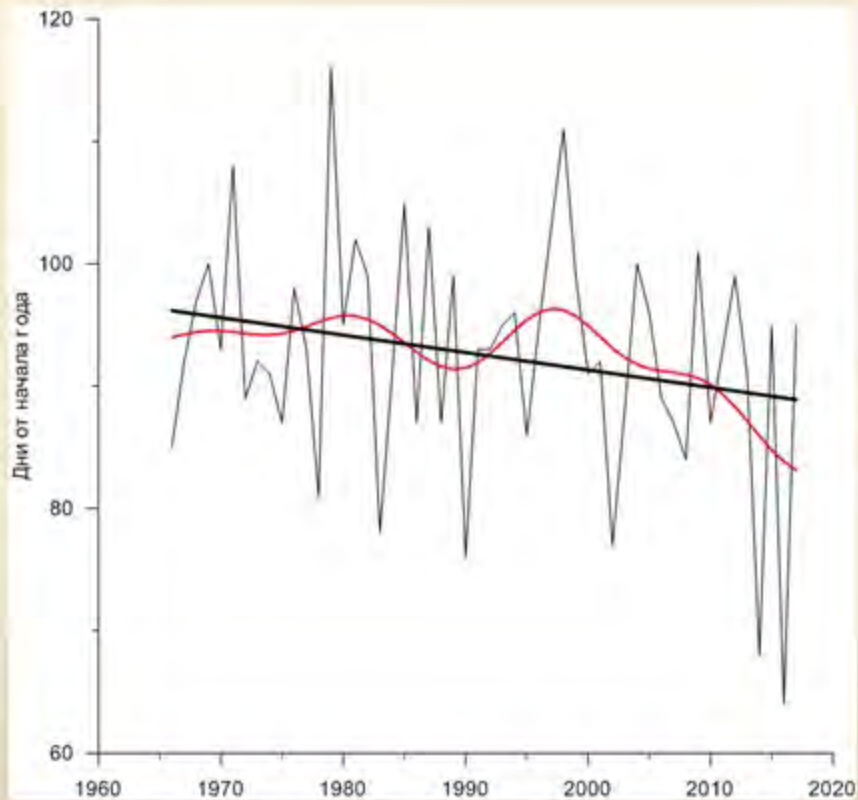


Низкочастотная компонента с периодом более 20 лет аномалий приземной температуры воздуха ($^{\circ}\text{C}$) в Приказанском регионе и Северном полушарии: слева зима (декабрь-февраль), справа - лето (июнь-август).

1- Казань, университет, 2- Вязовые, 3- Арск, 4- Северное полушарие (по данным CRU).

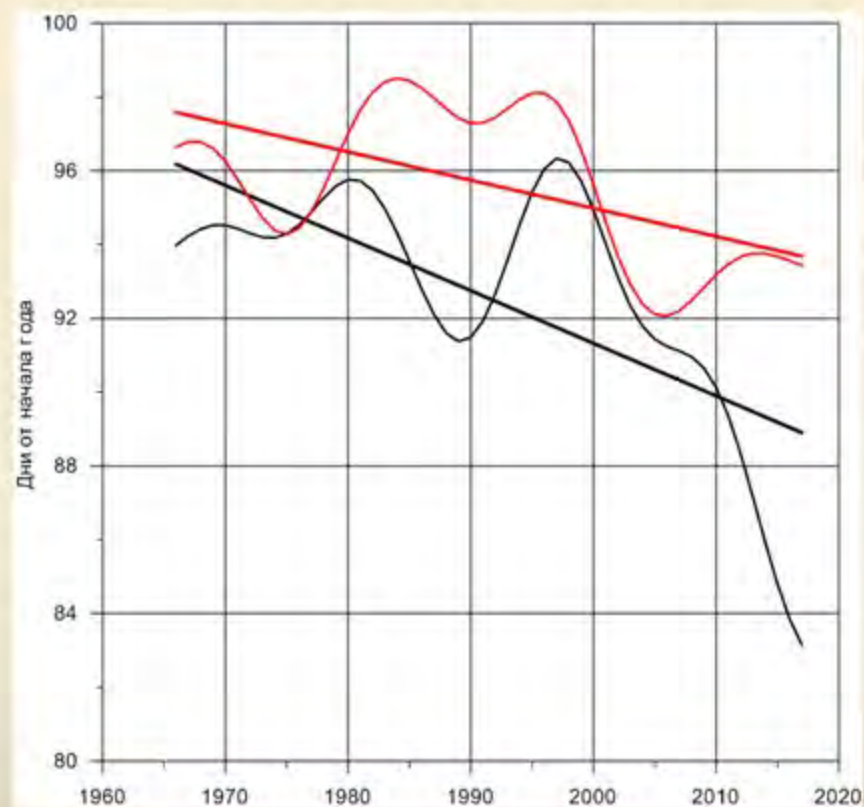


Временной ход даты устойчивого перехода температуры через 0°C весной в Казани (слева) и Мензелинске.

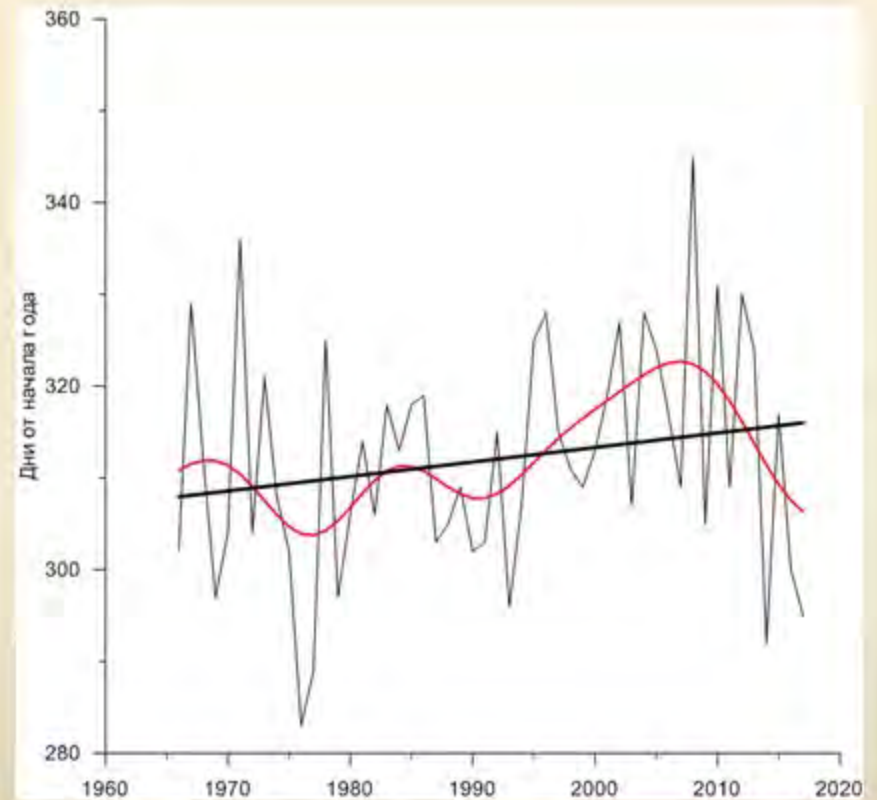
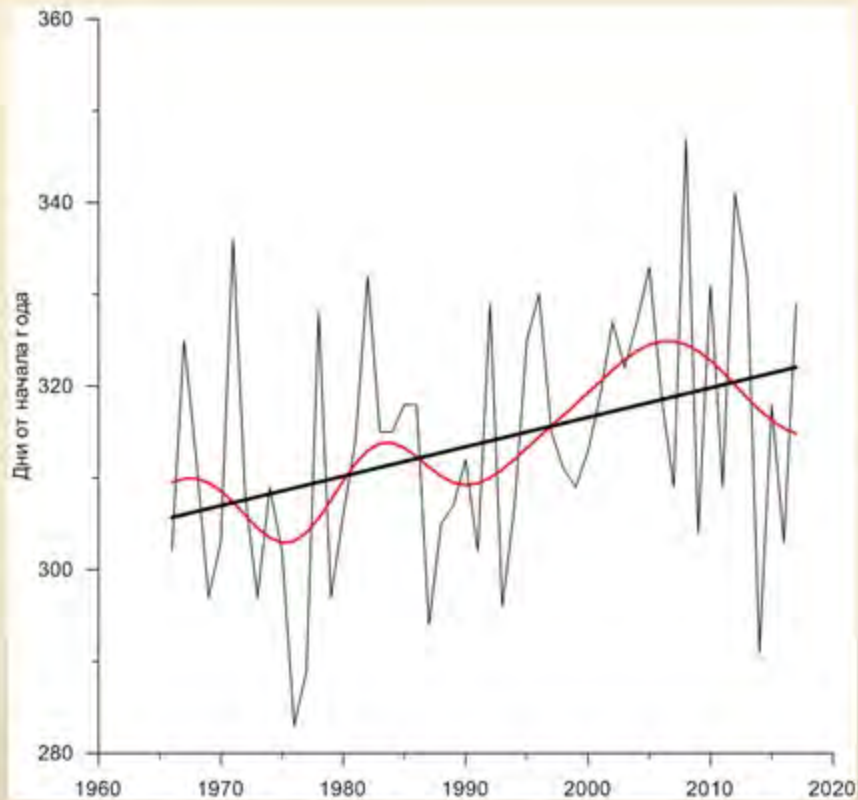


Временной ход НЧК даты устойчивого перехода температуры через 0°C весной в Казани (черные линии) и Мензелинске.

Станция	A, дни/10 лет	R ² , %
Казань	-1,4	1,3
Мензелинск	-0,8	0,0

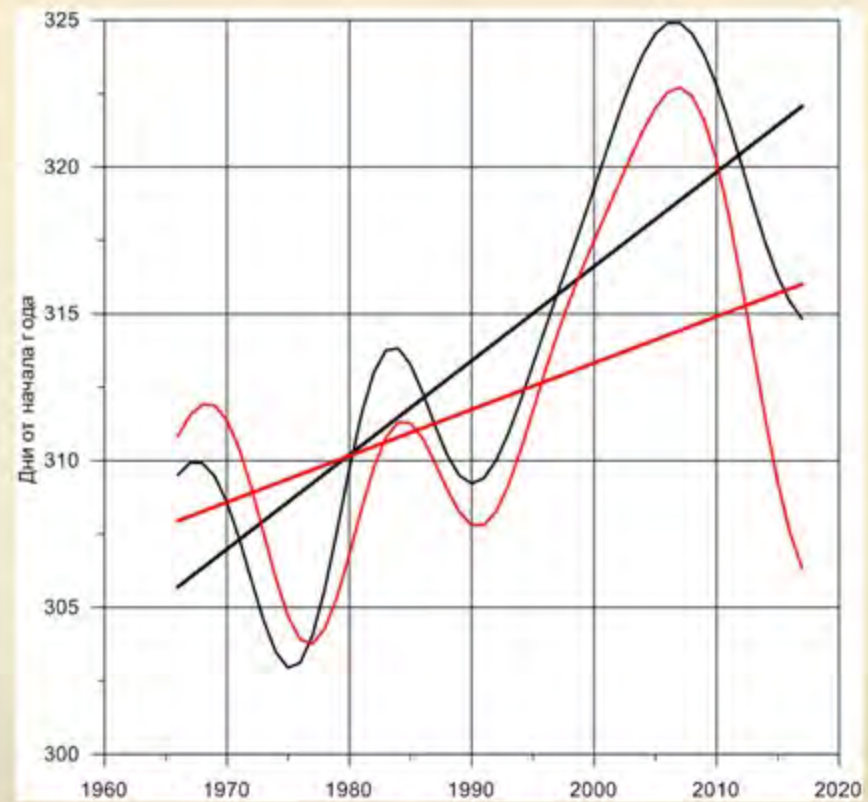


Временной ход даты устойчивого перехода температуры через 0°C осенью в Казани (слева) и Мензелинске.

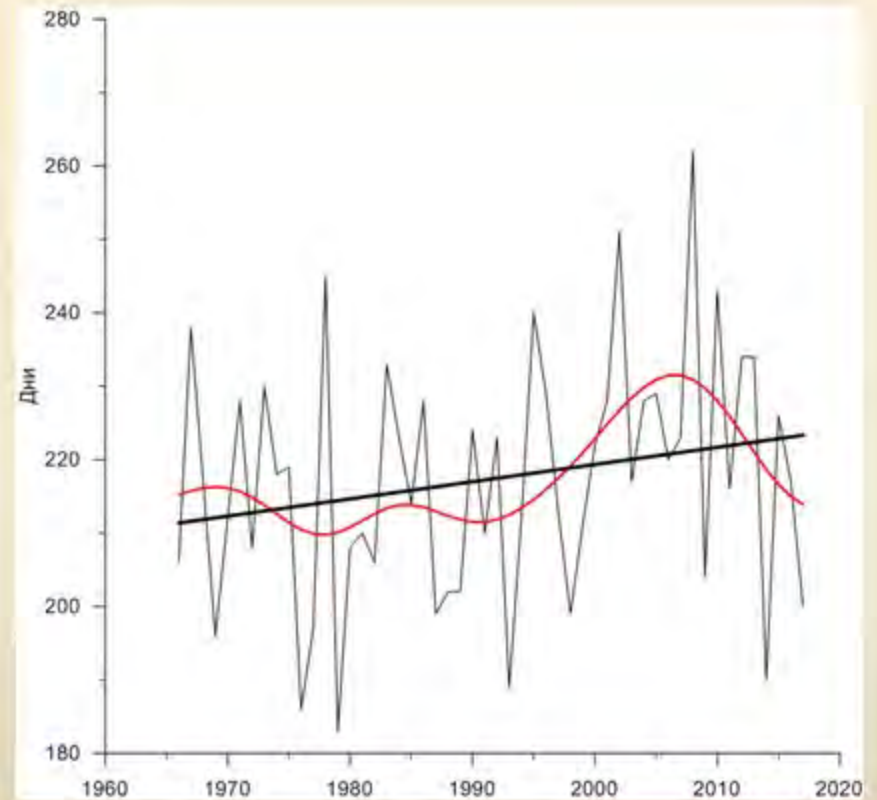
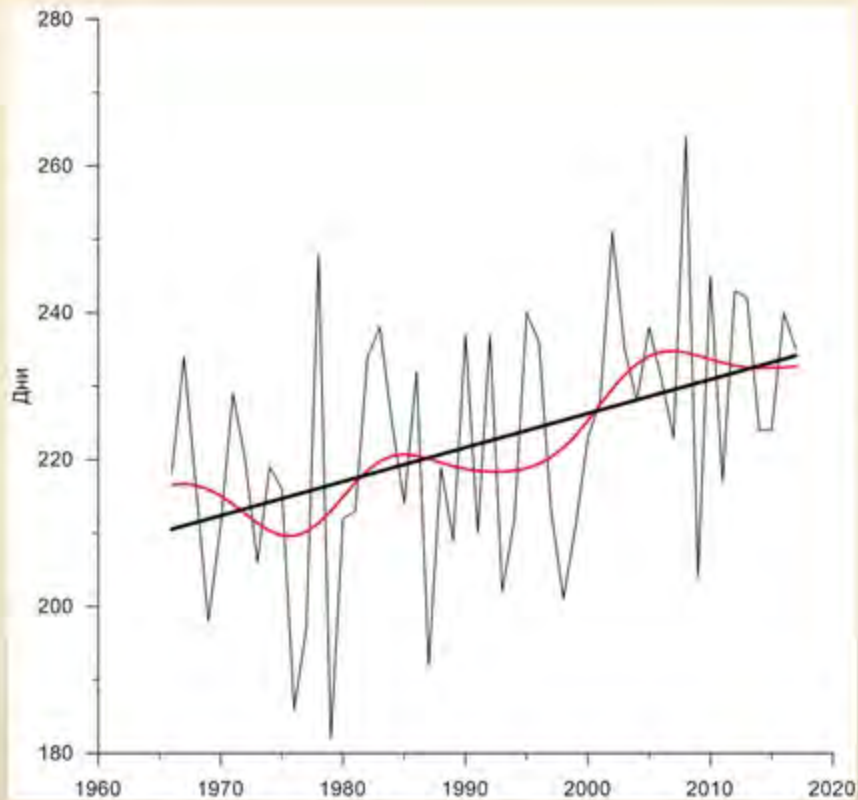


Временной ход НЧК даты устойчивого перехода температуры через 0°C осенью в Казани (черные линии) и Мензелинске.

Станция	A, дни/10 лет	R ² , %
Казань	3,2	8,4
Мензелинск	1,6	0,0

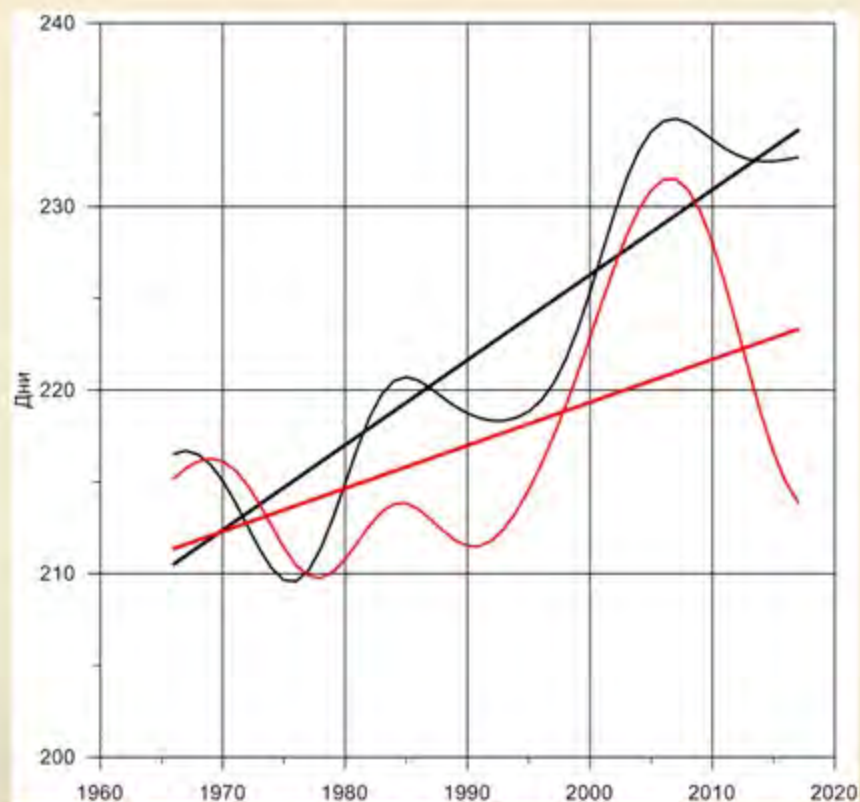


Временной ход продолжительности периода с температурой более 0°C в Казани (слева) и Мензелинске.



Временной ход НЧК продолжительности периода с температурой более 0°C в Казани (черные линии) и Мензелинске.

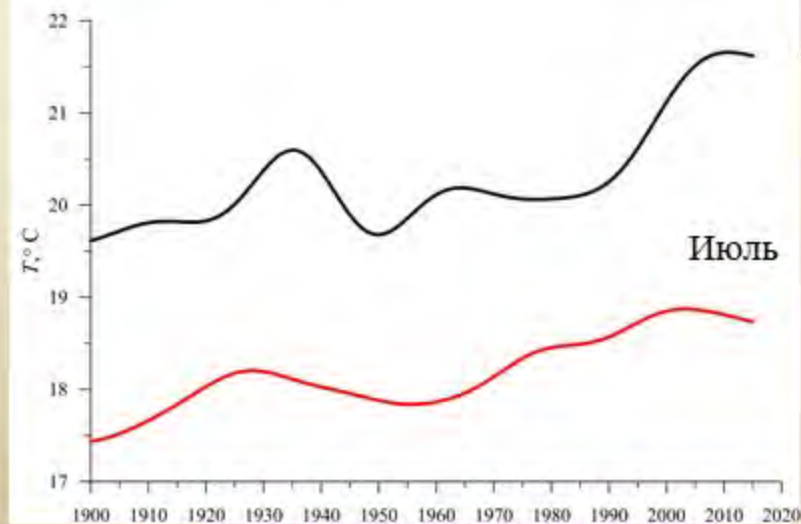
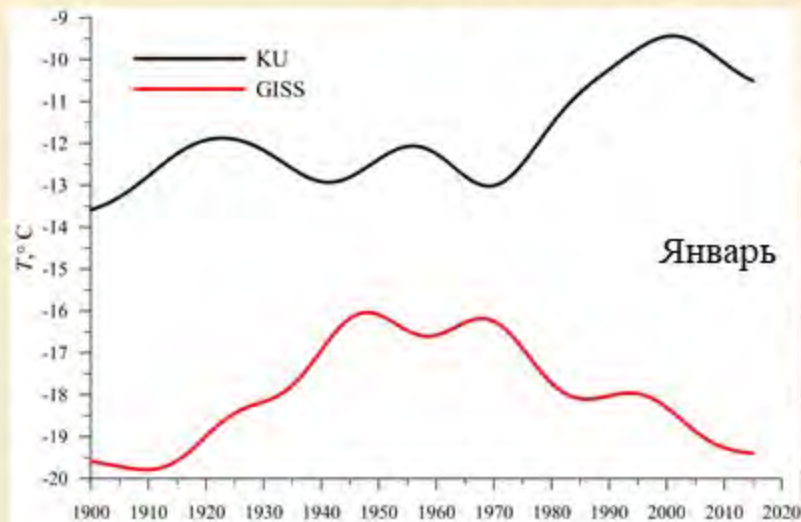
Станция	A, дни/10 лет	R ² , %
Казань	4,6	13,5
Мензелинск	2,3	0,7



Характеристики низкочастотной изменчивости
 средних январских и июльских температур воздуха
 по данным наблюдений в Казани (КУ) и модели GISS-E2-H в период
 1900 – 2015 гг.

	Январь		Июль	
	КУ	GISS	КУ	GISS
$T_{\text{cp}}, ^\circ\text{C}$	-11,77	-17,87	20,27	18,19
$\sigma_T, ^\circ\text{C}$	3,73	4,62	1,96	1,37
$A, ^\circ\text{C}/10 \text{ лет}$	0,29	0,10	0,13	0,12
$R^2, \%$	5	0	3	7

Временной ход НЧК более 20 лет средней январской и июльской температур воздуха в Казани по данным наблюдений (КУ) и модели GISS-E2-H в период 1900 – 2015 гг.

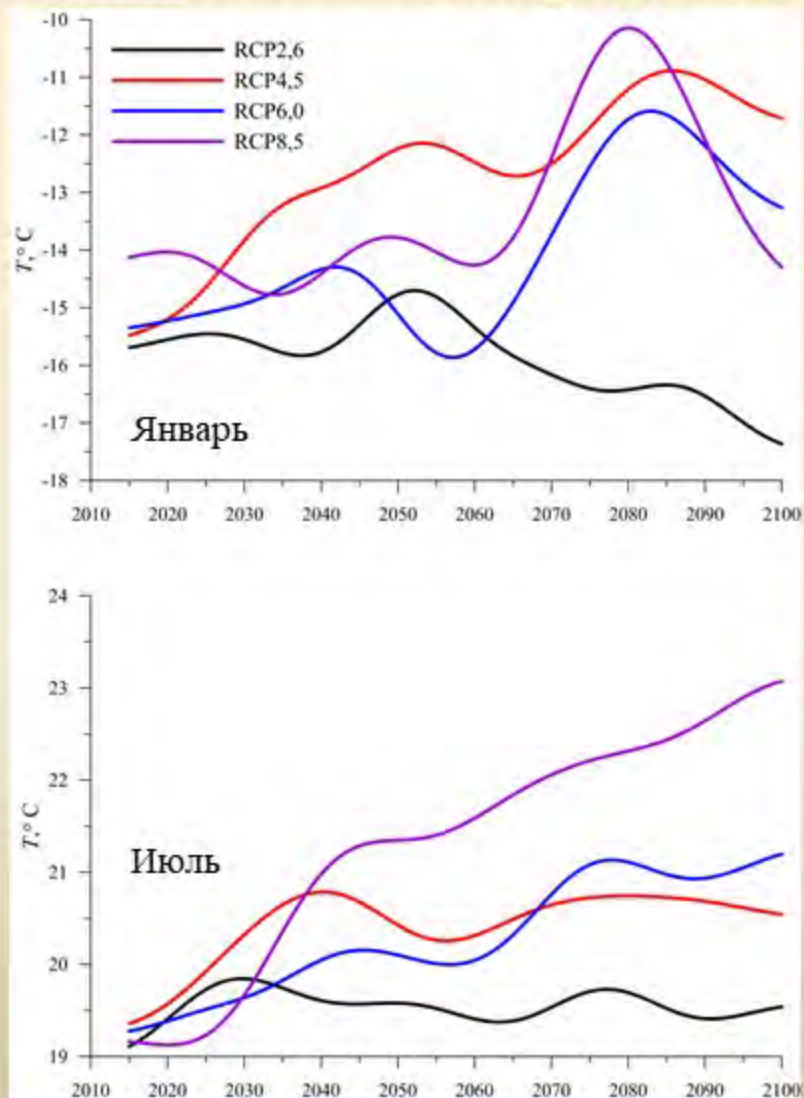


	Январь		Июль	
	KU	GISS	KU	GISS
$T_{\text{ср}}, ^\circ\text{C}$	-11,77	-17,87	20,27	18,19
$\sigma_T, ^\circ\text{C}$	3,73	4,62	1,96	1,37
$A, ^\circ\text{C}/10 \text{ лет}$	0,29	0,10	0,13	0,12
$R^2, \%$	5	0	3	7

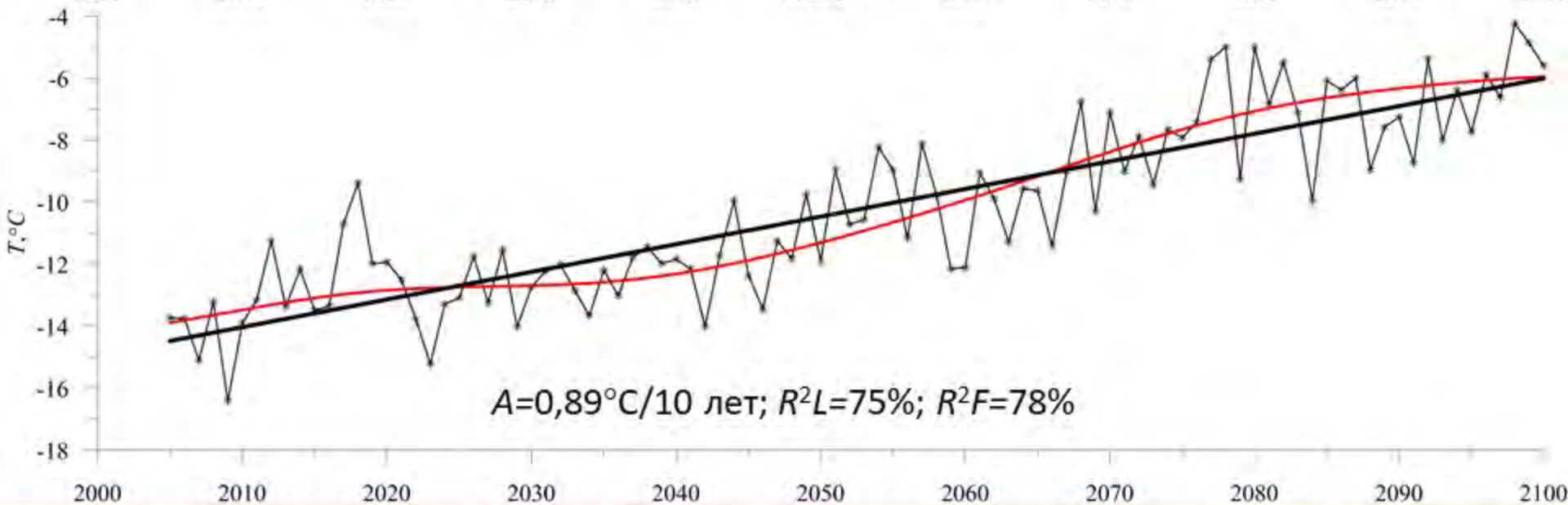
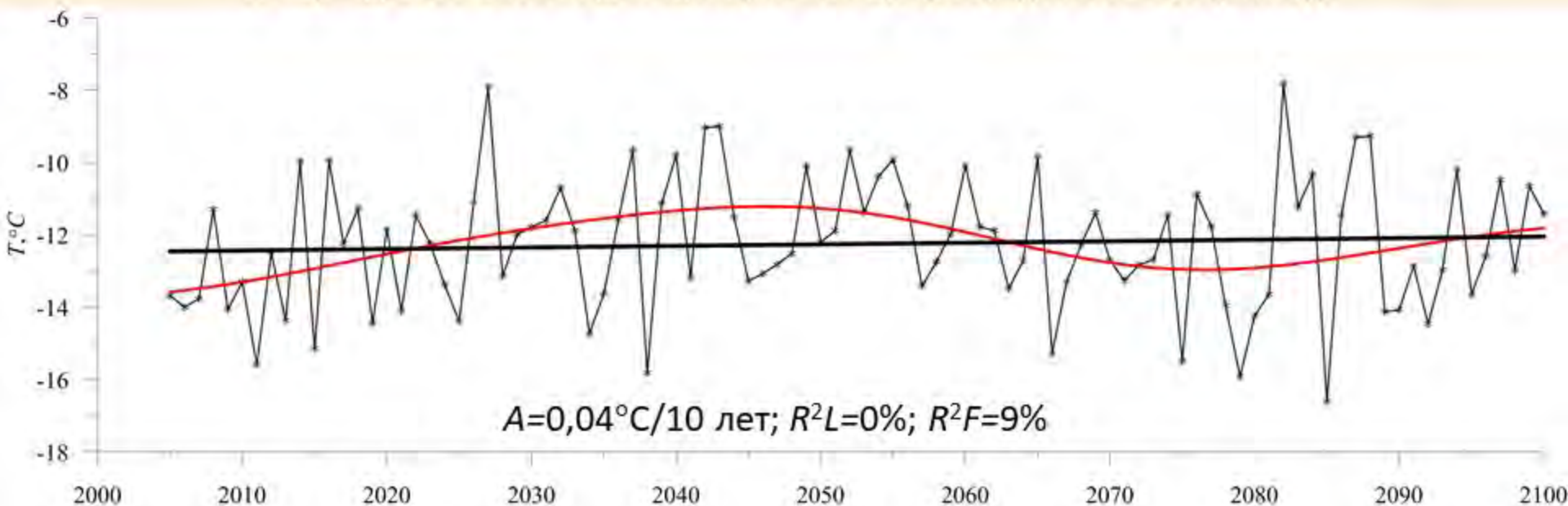
Характеристики низкочастотной изменчивости
 средних январских и июльских температур воздуха в Казани
 для различных сценариев по данным модели GISS-E2-H
 в период 2015 – 2100 гг.

	Январь				Июль			
	RCP2,6	RCP4,5	RCP6,0	RCP8,5	RCP2,6	RCP4,5	RCP6,0	RCP8,5
$T_{\text{cp}}, ^\circ\text{C}$	-15,81	-12,58	-14,04	-13,28	19,55	20,43	20,28	21,32
$\sigma_T, ^\circ\text{C}$	4,46	4,25	4,33	4,87	1,18	1,28	1,36	1,77
$A, ^\circ\text{C}/10 \text{ лет}$	-0,21	0,40	0,42	0,38	0,00	0,10	0,25	0,49
$R^2, \%$	0	3	3	1	0	2	19	47

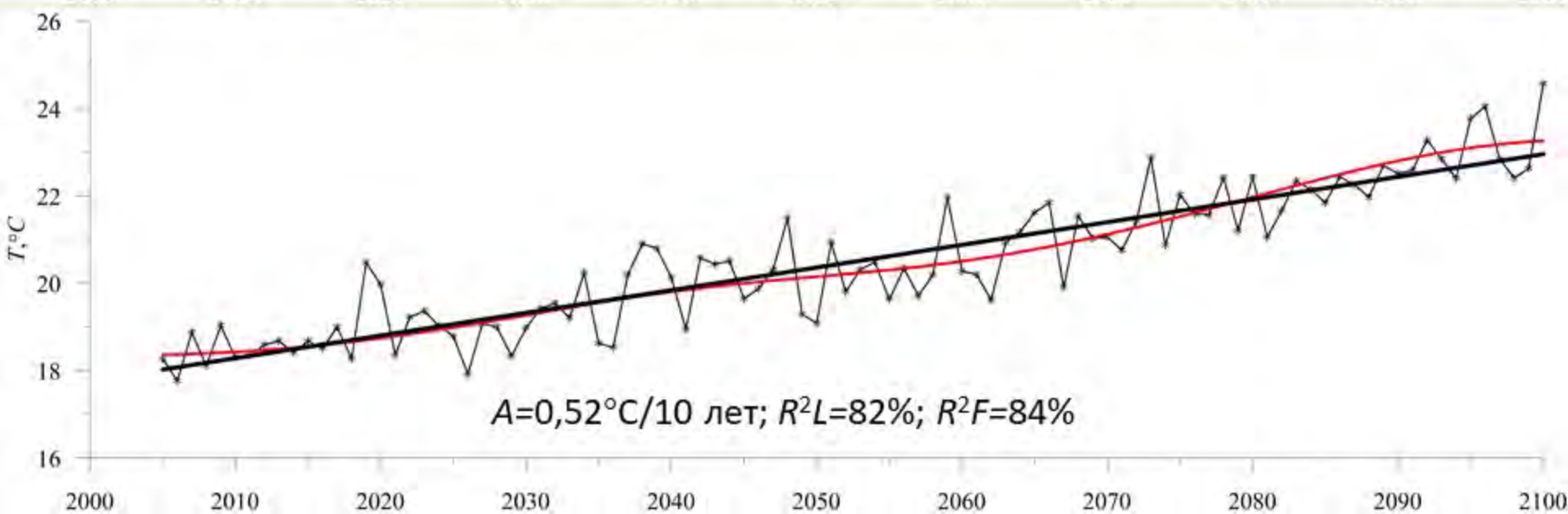
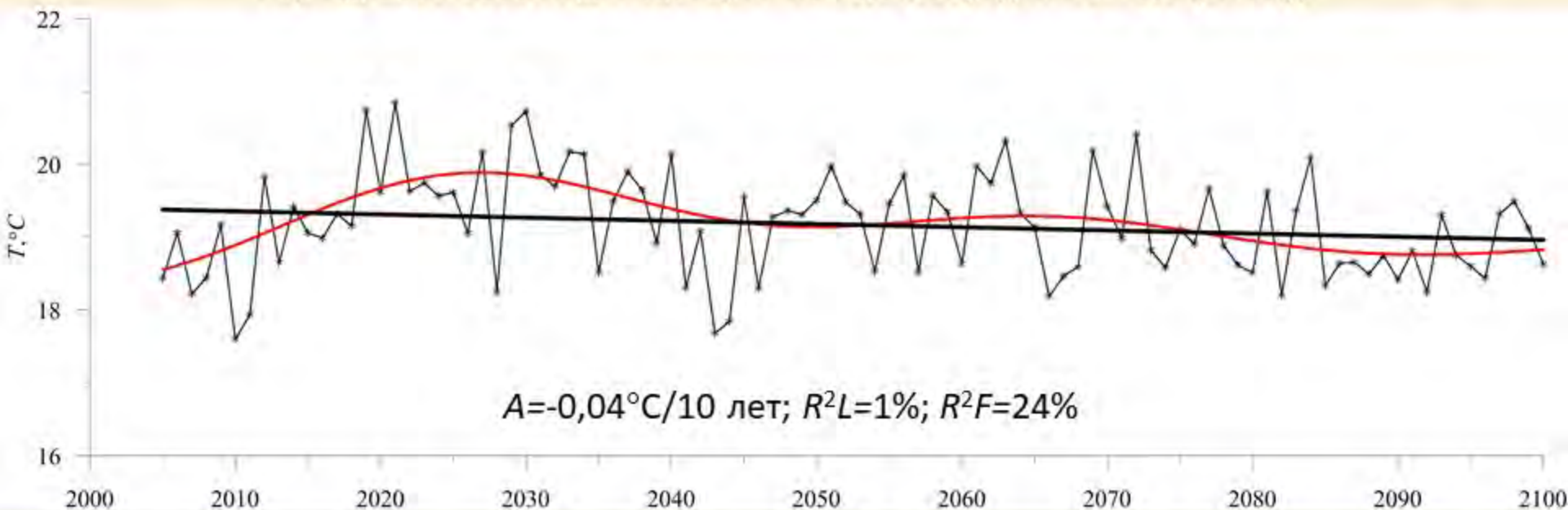
Временной ход НЧК более 20 лет средней январской и июльской температур воздуха в Казани для различных сценариев по данным модели GISS-E2-H в период 2015 – 2100 гг.



Проекции среднемесячных значений температуры воздуха в январе по ансамблю моделей за период 2005-2100 гг. для сценария RCP-2,6 (вверху) и RCP-8,5 (внизу)



Проекции среднемесячных значений температуры воздуха в июле по ансамблю моделей за период 2005-2100 гг. для сценария RCP-2,6 (вверху) и RCP-8,5 (внизу)



Выводы

- Выявлено существенное различие между зимой и летом в вертикальном распределении температуры воздуха: так на уровне 12-13 км зимой отмечается наибольшее потепление, а летом, наоборот, заметное похолодание.
- В верхней стратосфере и нижней мезосфере по результатам анализа первых разностей НЧК с периодом более 10 лет зимой отмечаются очаги роста или понижения температуры с цикличностью 8-10 лет.
- Согласно корреляционного анализа, наибольшее влияние арктическая осцилляция зимой оказывает на приземный слой тропосферы (рост температуры) и слой 7-3 гПа, где температура понижается.
- Выявлен характер вертикальных корреляционных связей в поле температуры: связи между слоями резко ослабевают в районе тропопаузы как зимой, так и летом.
- В летний период между тропосферой и нижней стратосферой устанавливаются отрицательные связи, свидетельствующие о противофазном характере изменения температуры.