

**Эмпирико-статистическая модель  
климатических изменений в Приволжском  
федеральном округе**

Ю.П. Переведенцев,  
К.М. Шанталинский, А.А. Николаев, Т.Р. Аухадеев

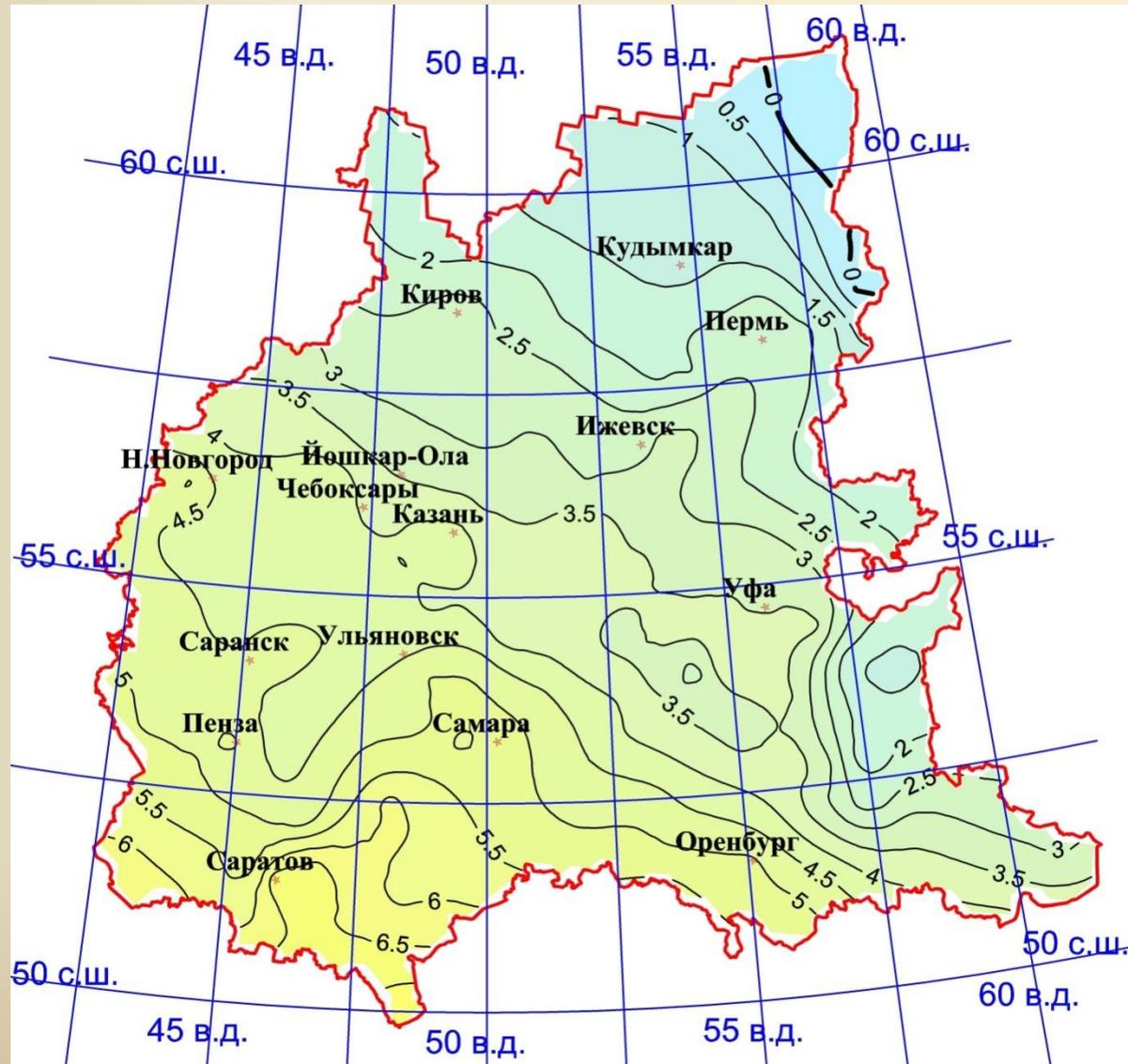
*Казанский (Приволжский) федеральный университет*

## Исходные данные

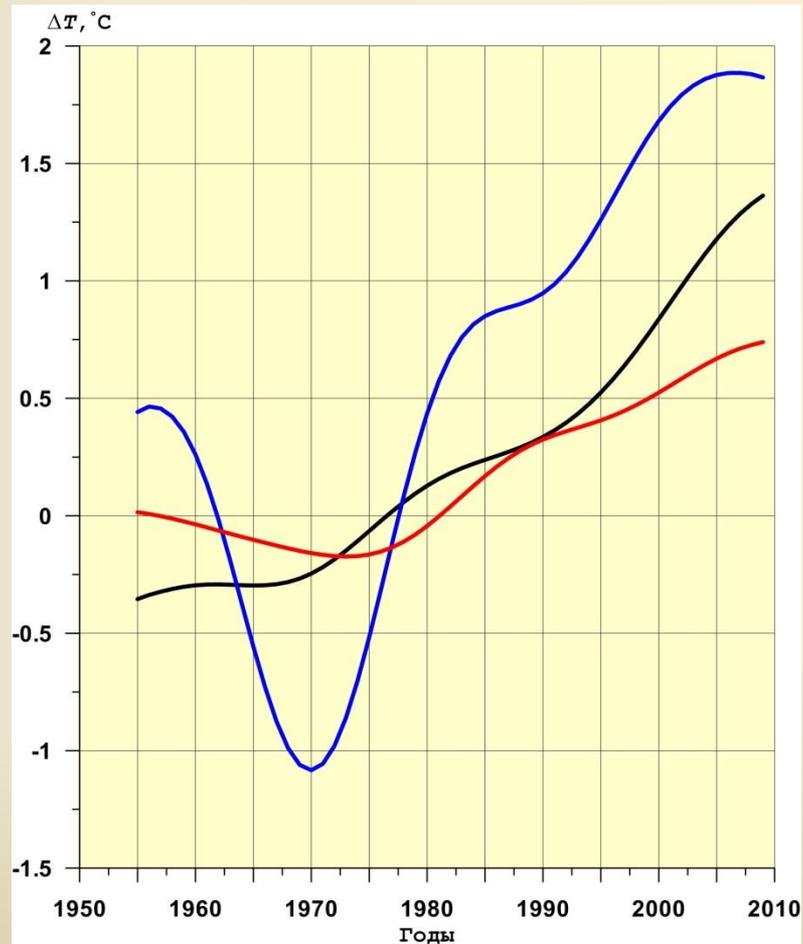
Данные реанализа ERA-Interim о температуре воздуха по Северному полушарию за период 1979-2016 гг.

На территории ПФО использовались средние месячные температуры воздуха на уровне Земли и 26 уровнях в слое 925 – 0,1 гПа в 24 узлах географической сетки с шагом 2,5°.

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

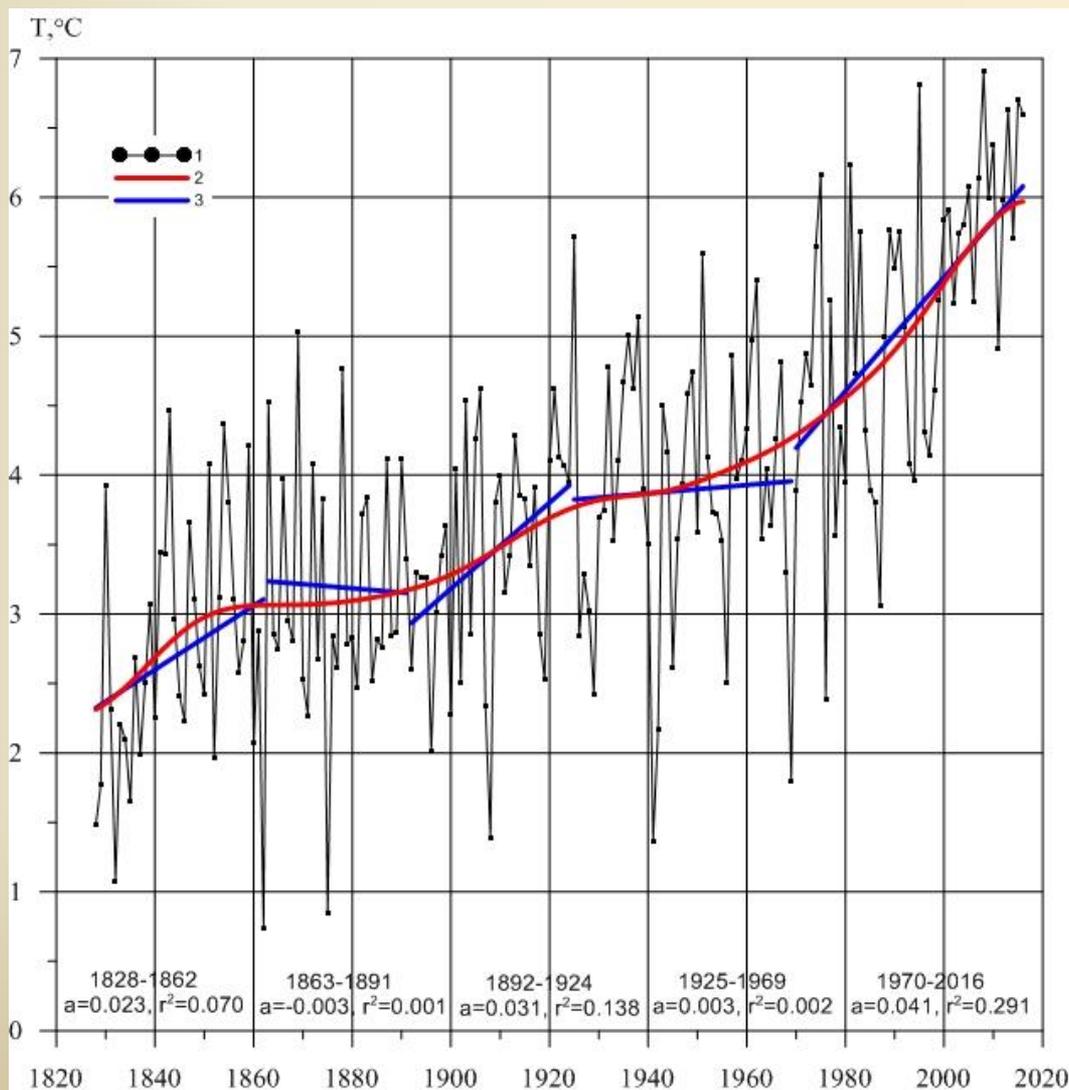


# Динамика низкочастотной компоненты аномалий температуры воздуха ПФО 1955 – 2010 гг.



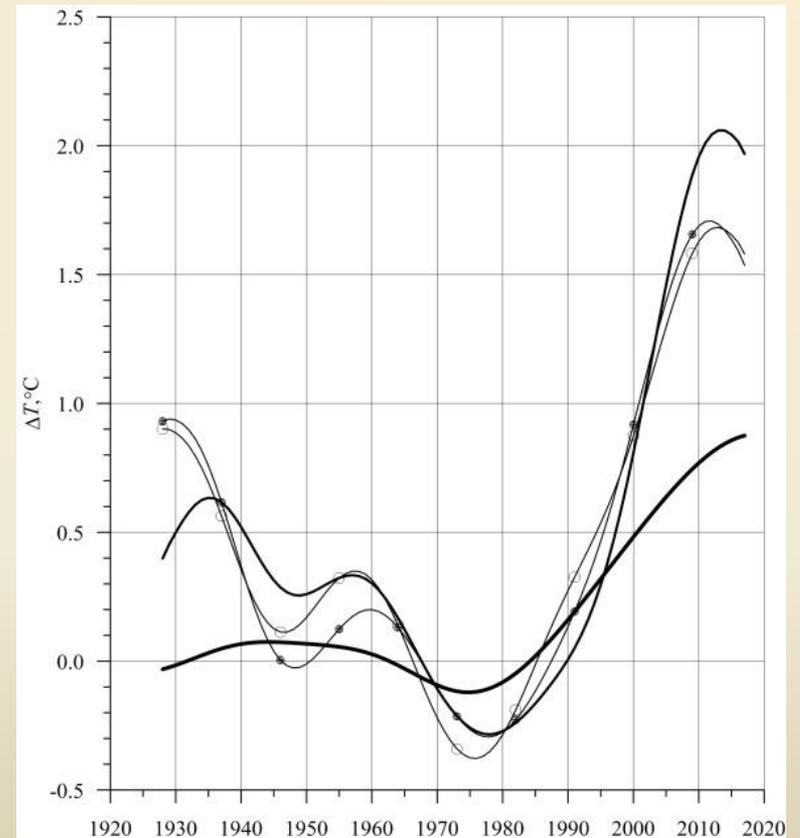
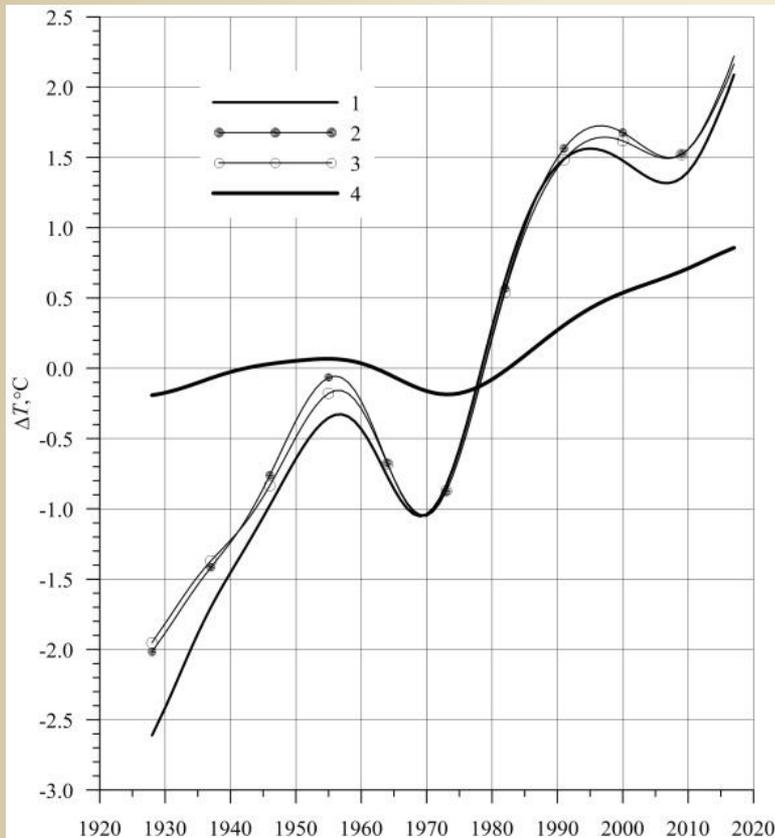
# Особенности изменения средней годовой температуры в Казани с 1828 по 2016 гг.

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

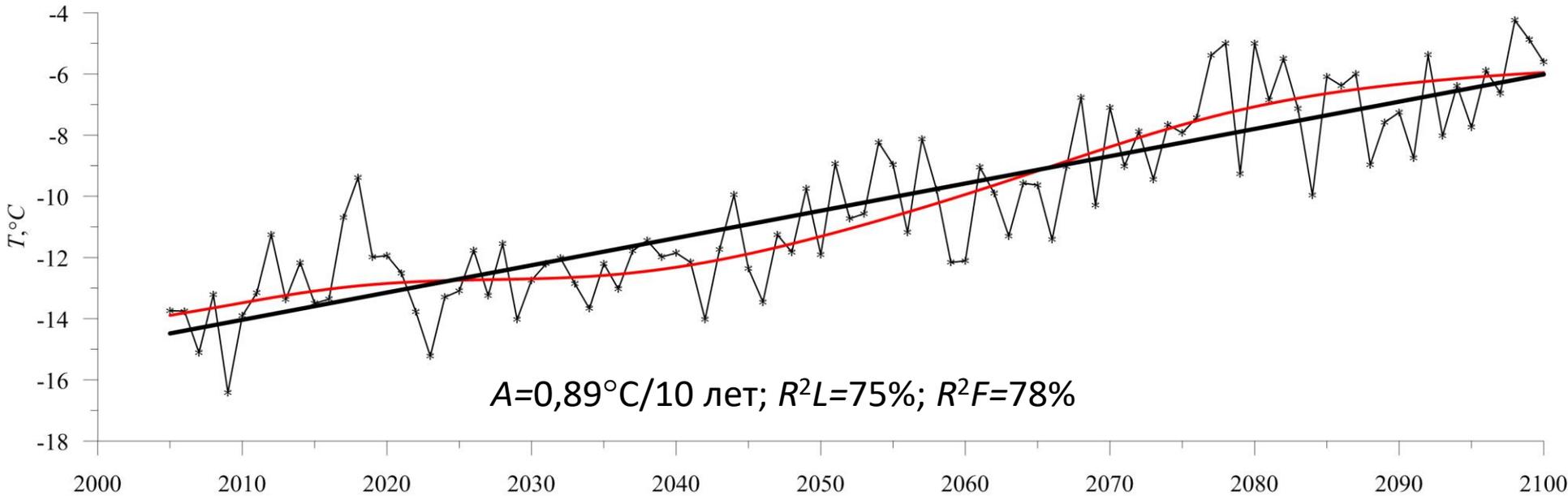
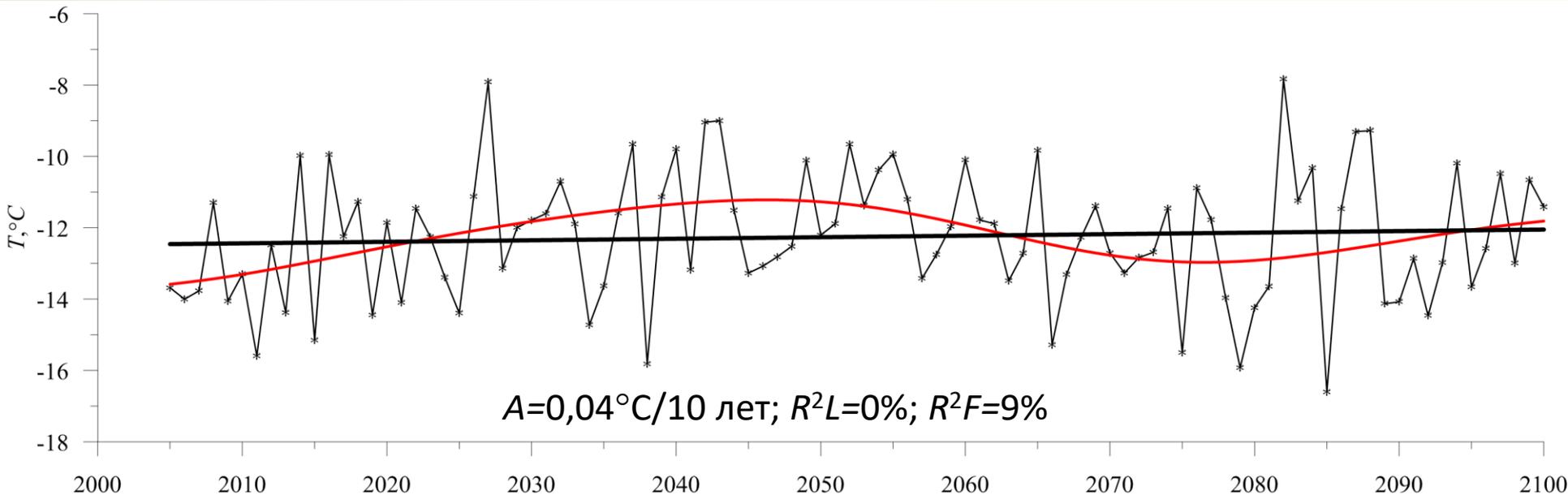


Низкочастотная компонента с периодом более 20 лет аномалий приземной температуры воздуха ( $^{\circ}\text{C}$ ) в Приказанском регионе и Северном полушарии: слева зима (декабрь-февраль), справа - лето (июнь-август).

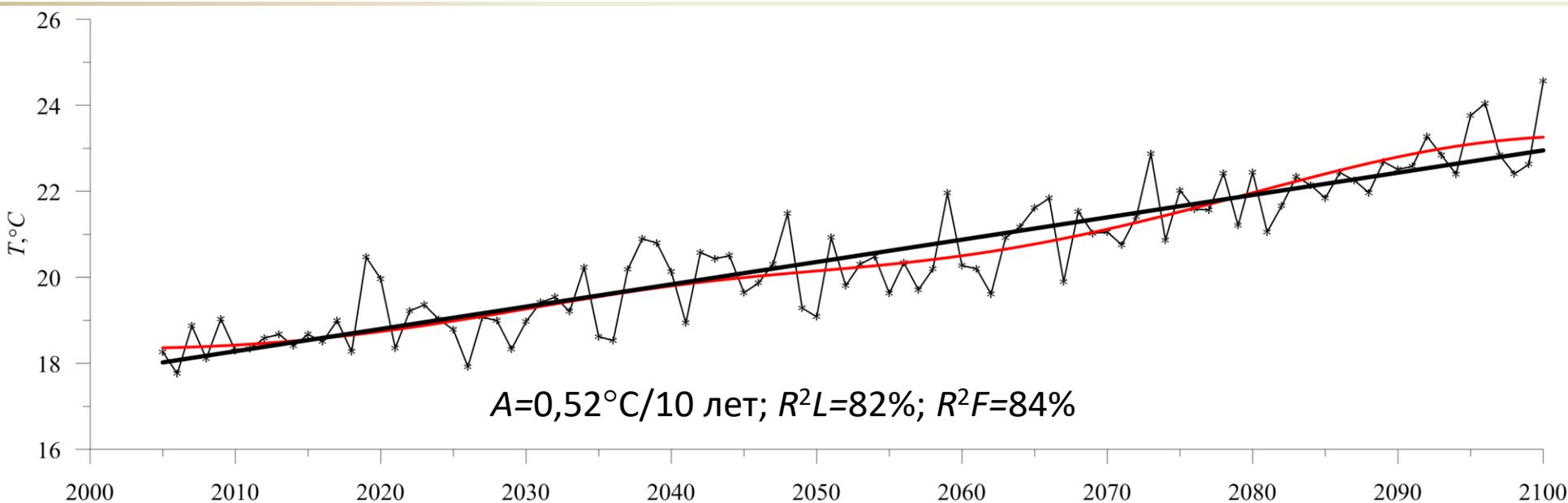
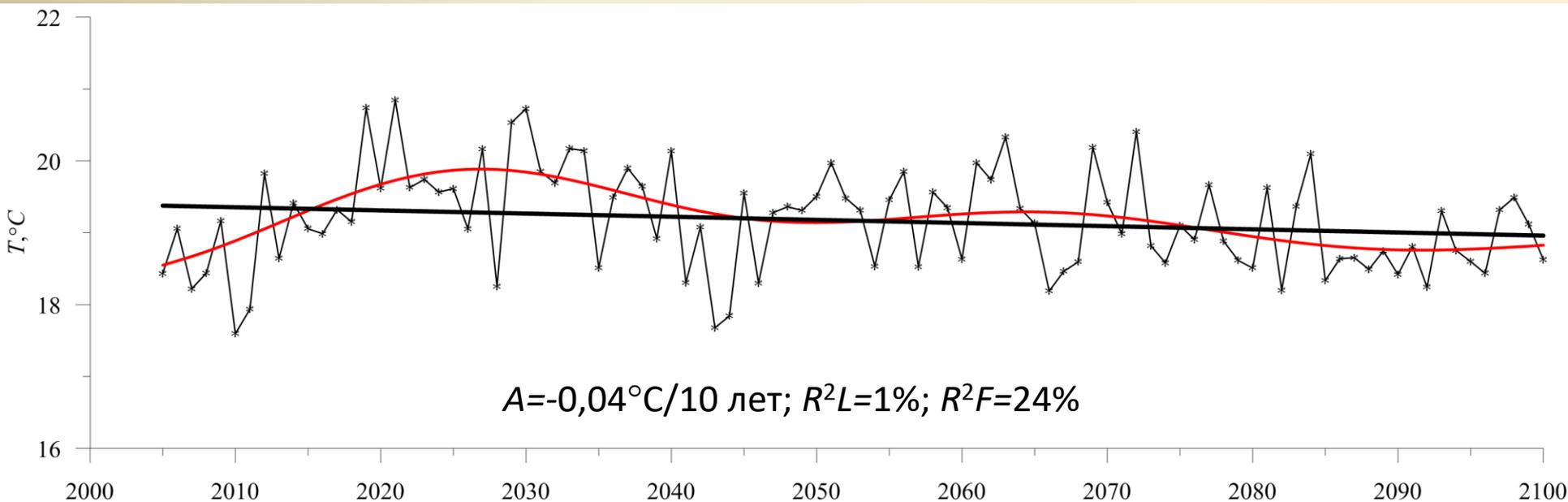
1- Казань, университет, 2- Вязовые, 3- Арск, 4- Северное полушарие (по данным CRU).



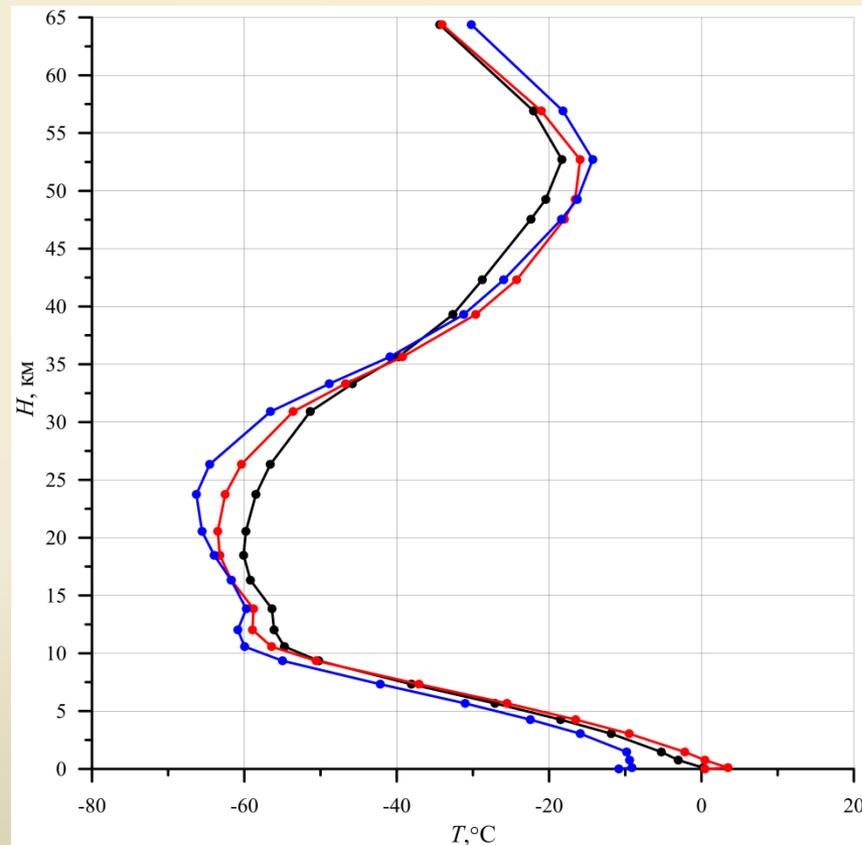
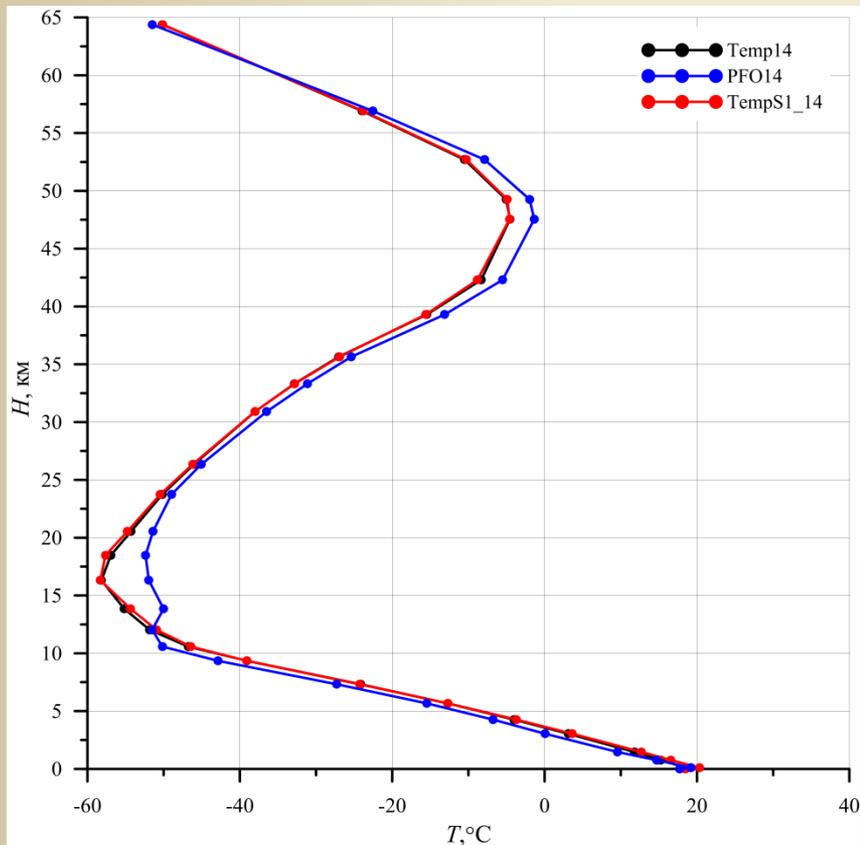
Проекции среднемесячных значений температуры воздуха в январе по ансамблю моделей за период 2005-2100 гг. для сценария RCP-2,6 (вверху) и RCP-8,5 (внизу)



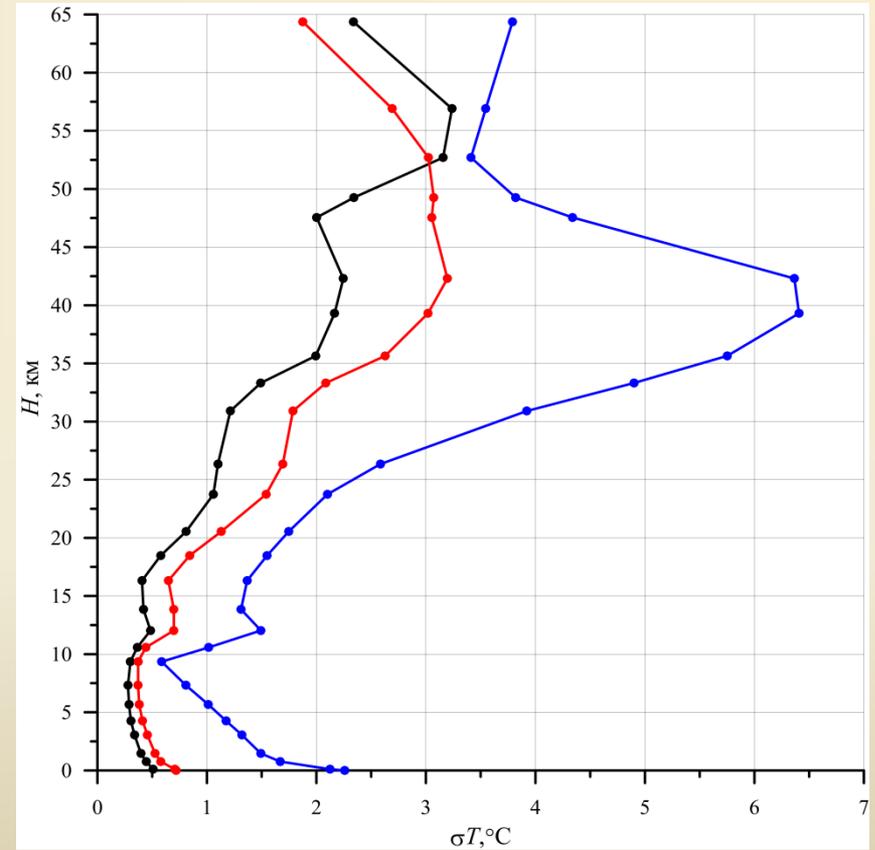
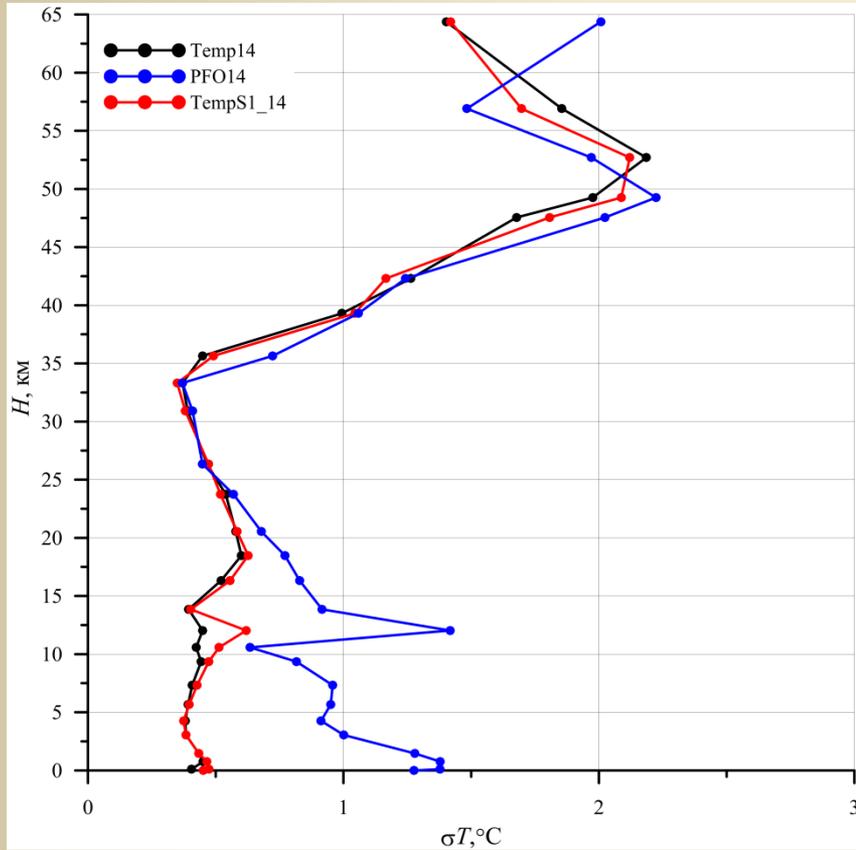
Проекции среднемесячных значений температуры воздуха в июле по ансамблю моделей за период 2005-2100 гг. для сценария RCP-2,6 (вверху) и RCP-8,5 (внизу)



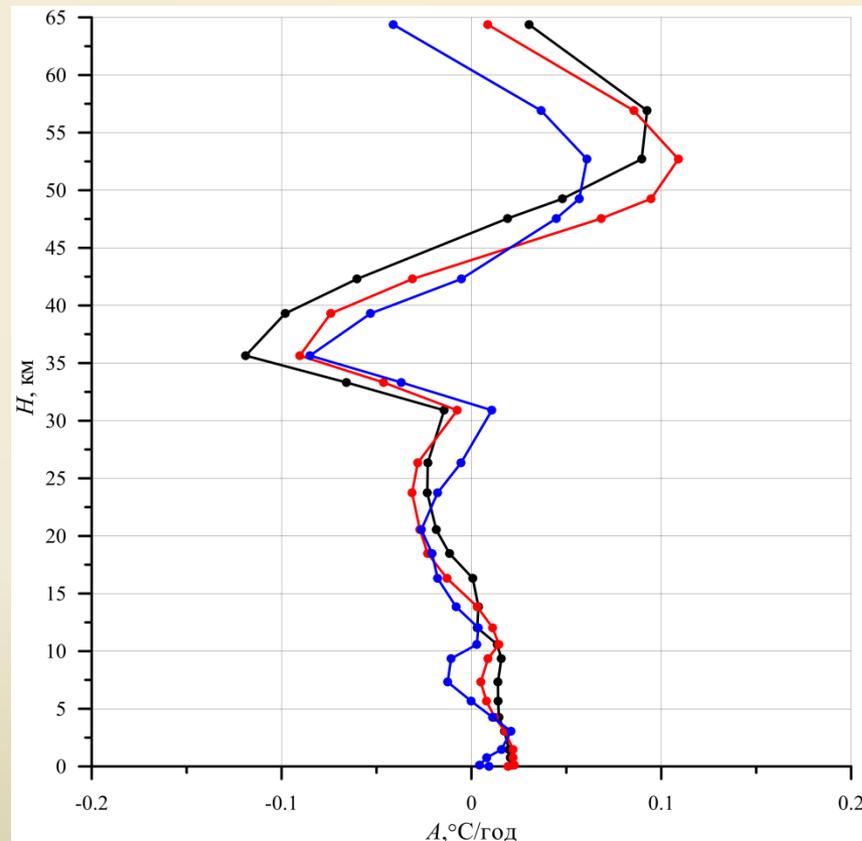
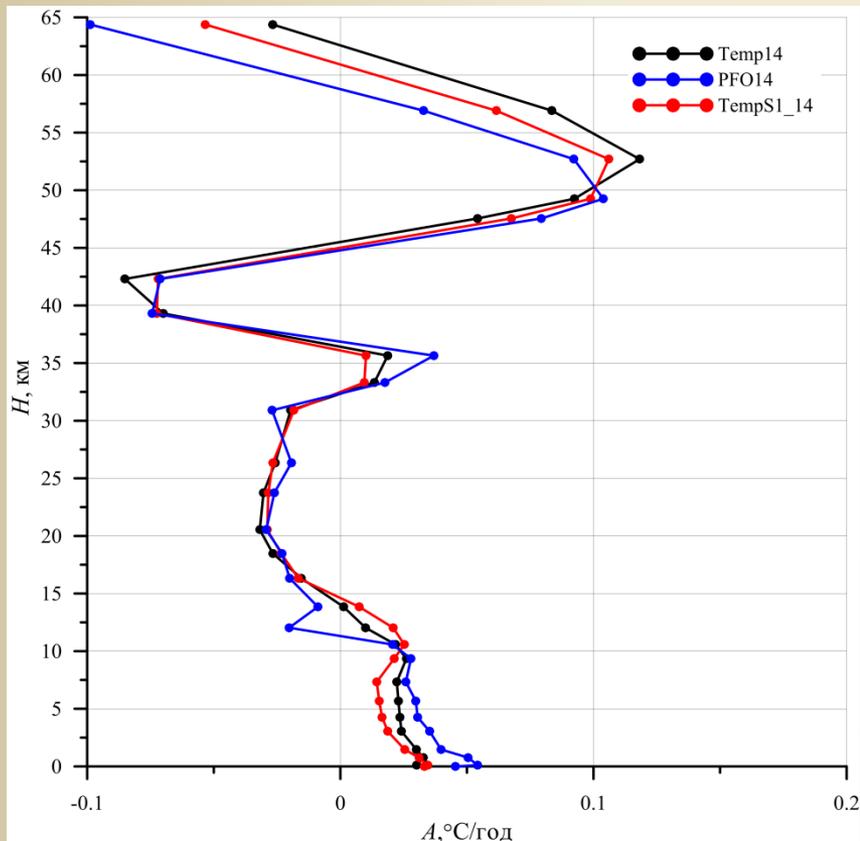
Вертикальные профили средних летних (слева) и зимних (справа) температур воздуха осредненных по территориям умеренной зоны Северного полушария, Атлантико-Европейского сектора умеренной зоны и ПФО.



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.



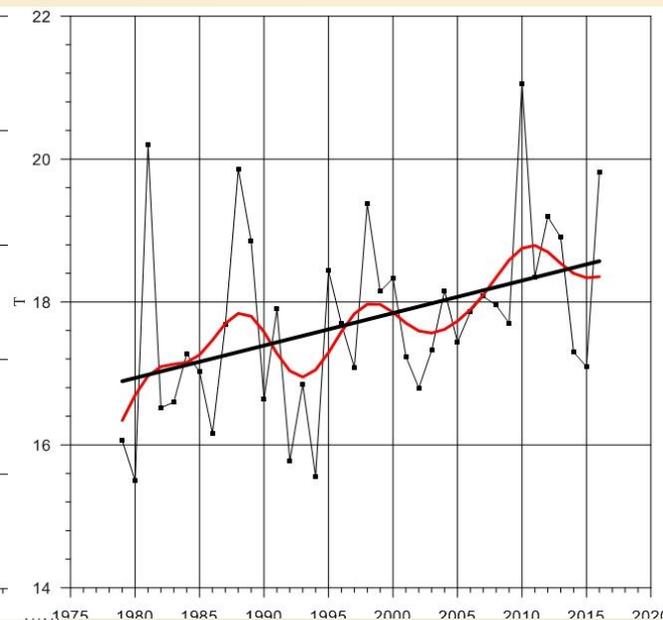
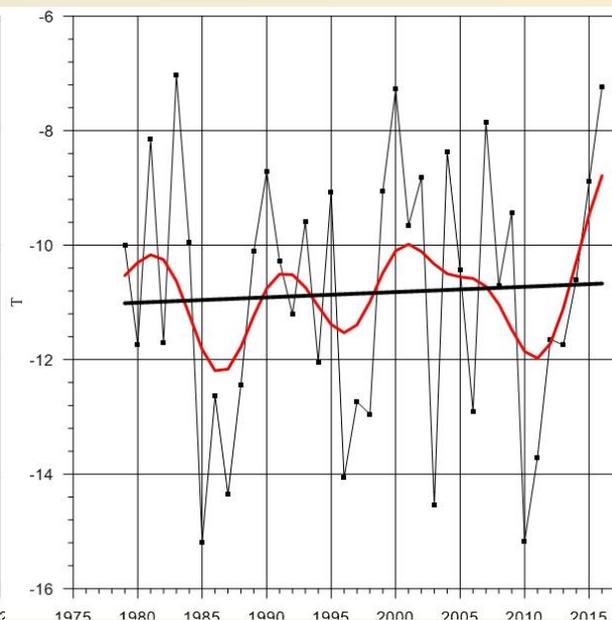
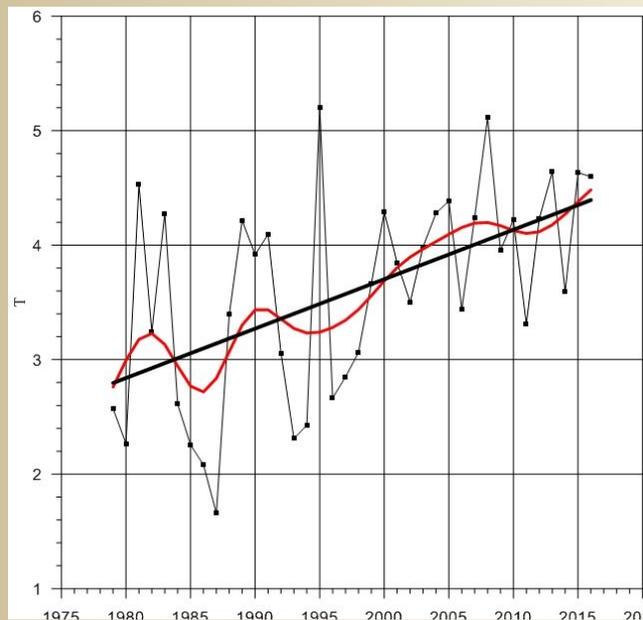
Многолетний ход средних температур воздуха на территории ПФО.  
 Годовой (январь-декабрь), зимней (декабрь-февраль и летней (июнь-август).

Уровень Земли

Год

Зима

Лето



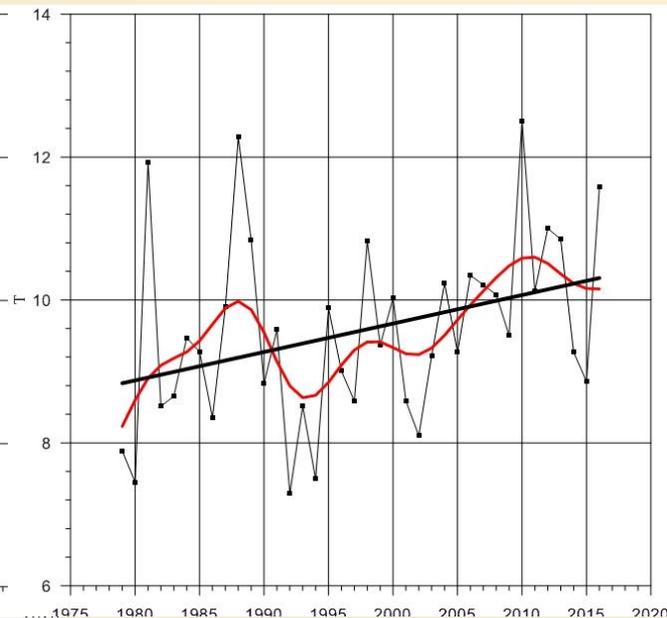
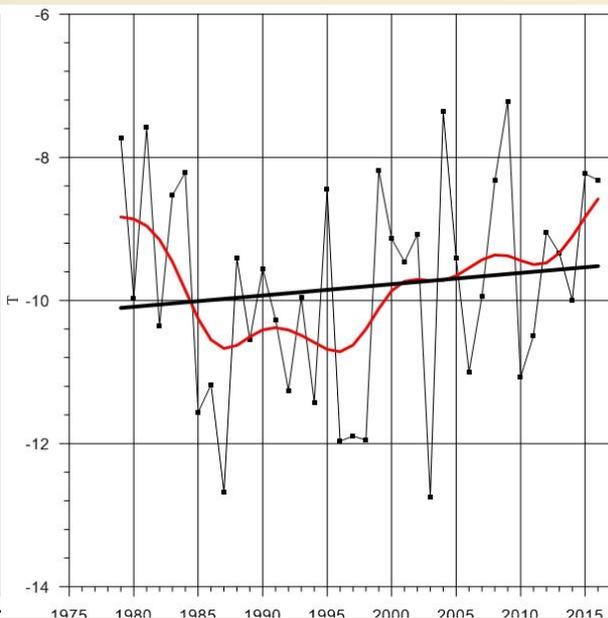
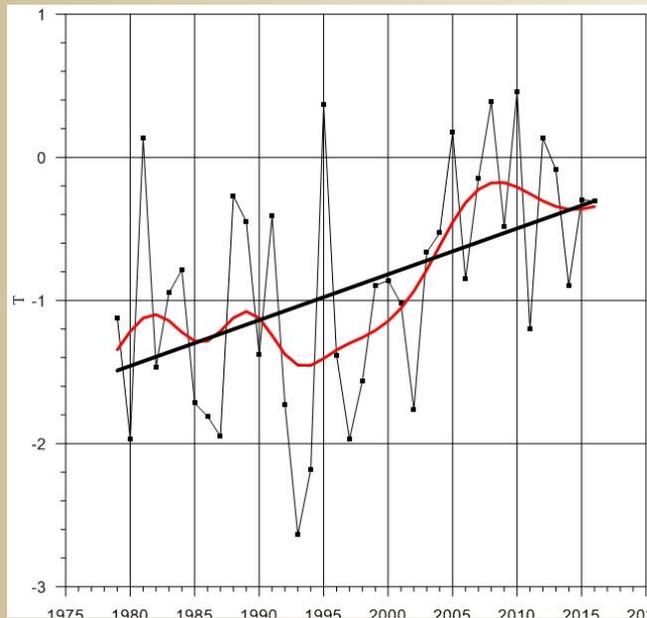
	Год	Зима	Лето
Av, °C	3,6	-10,84	17,73
Rms, °C	0,89	2,26	1,28
A, °C/10 лет	0,43	0,09	0,45
R <sup>2</sup> L, %	24	0	11
R <sup>2</sup> F, %	44	40	34

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

Год

Зима

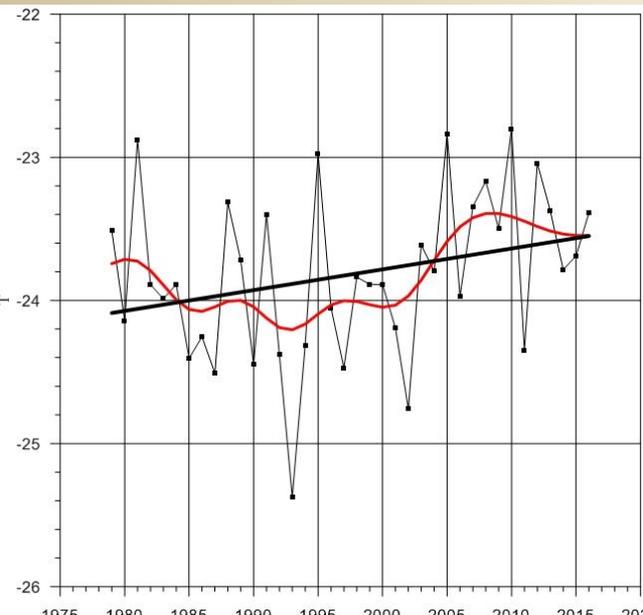
Лето



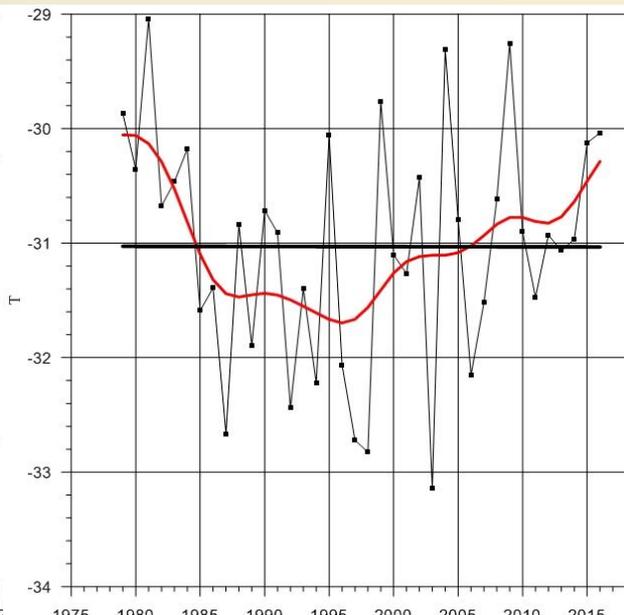
	Год	Зима	Лето
$A_v, ^\circ\text{C}$	-0,9	-9,81	9,57
$R_{ms}, ^\circ\text{C}$	0,79	1,49	1,28
$A, ^\circ\text{C}/10 \text{ лет}$	0,32	0,16	0,40
$R^2L, \%$	15	0	7
$R^2F, \%$	37	27	37

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

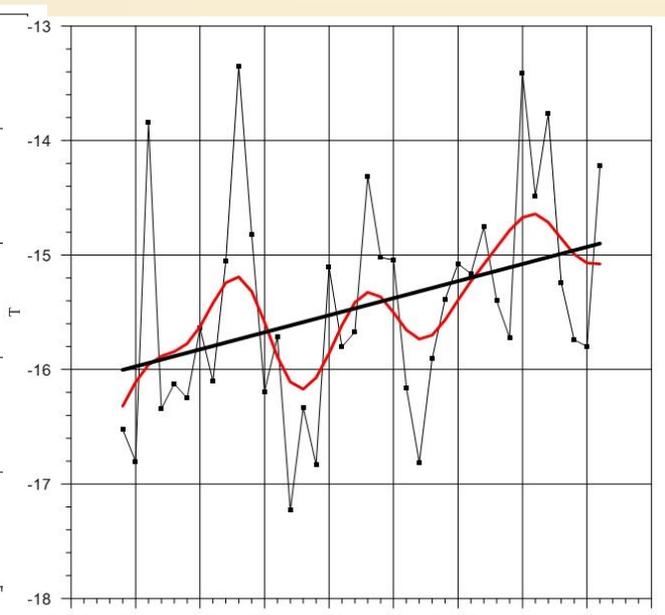
Год



Зима



Лето



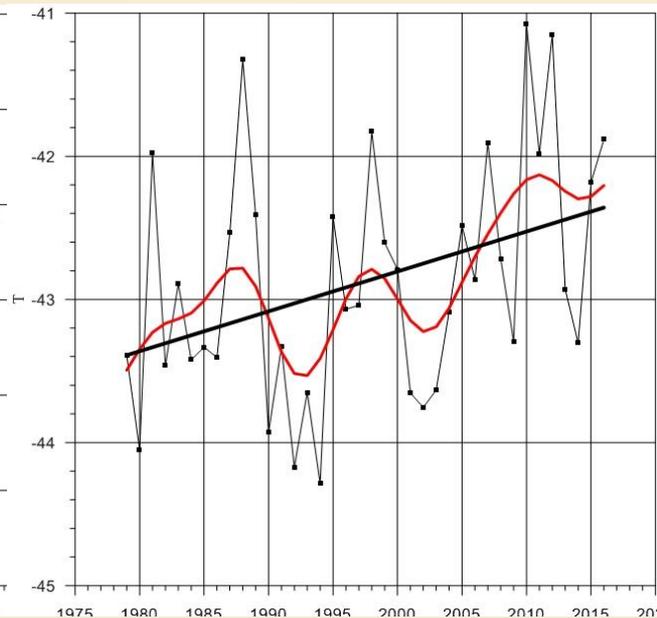
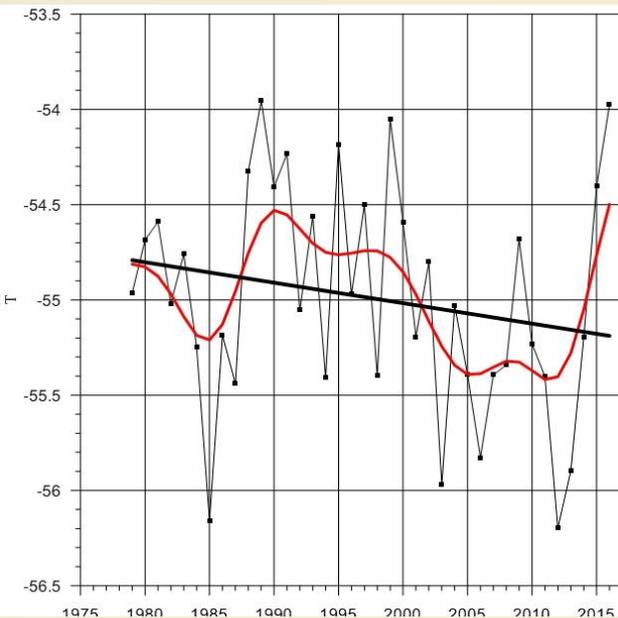
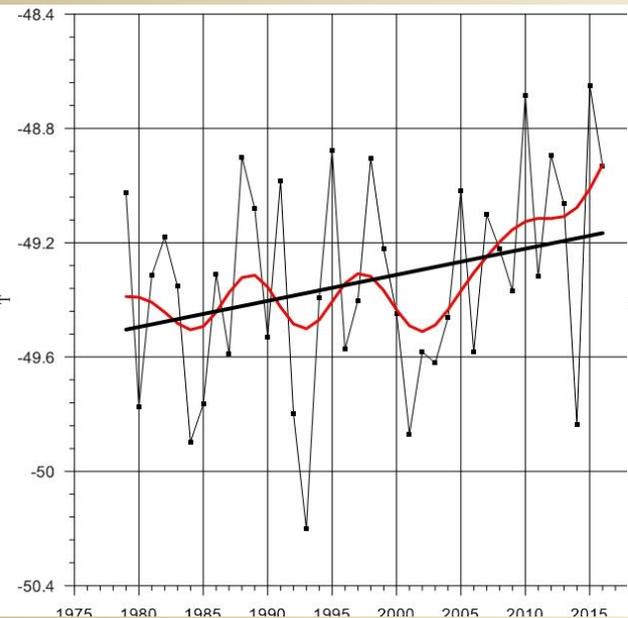
	Год	Зима	Лето
Av, °C	-23,82	-31,03	-15,45
Rms, °C	0,57	1,01	0,95
A, °C/10 лет	0,15	0	0,30
R <sup>2</sup> L, %	3	0	7
R <sup>2</sup> F, %	30	31	41

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

Год

Зима

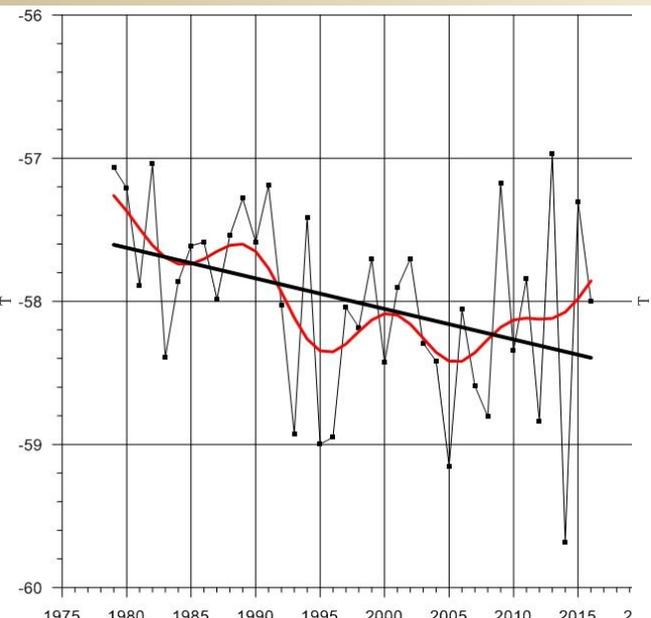
Лето



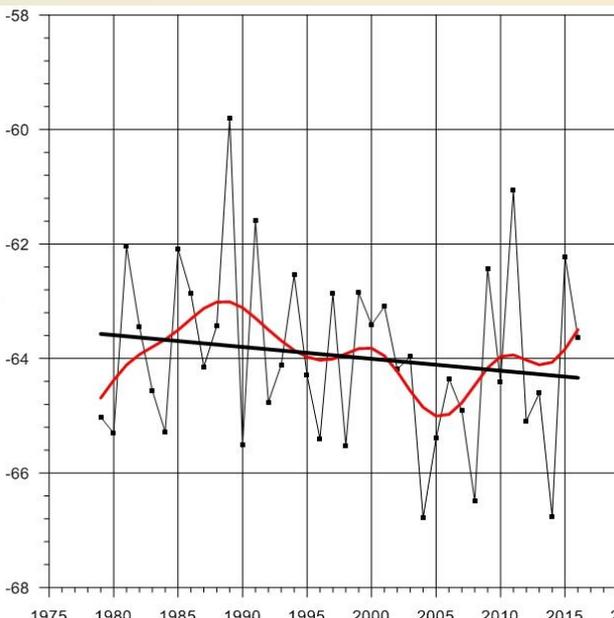
	Год	Зима	Лето
Av, °C	-49,33	-54,99	-42,87
Rms, °C	0,36	0,59	0,82
A, °C/10 лет	0,09	-0,11	0,28
R <sup>2</sup> L, %	2	0	9
R <sup>2</sup> F, %	27	52	43

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

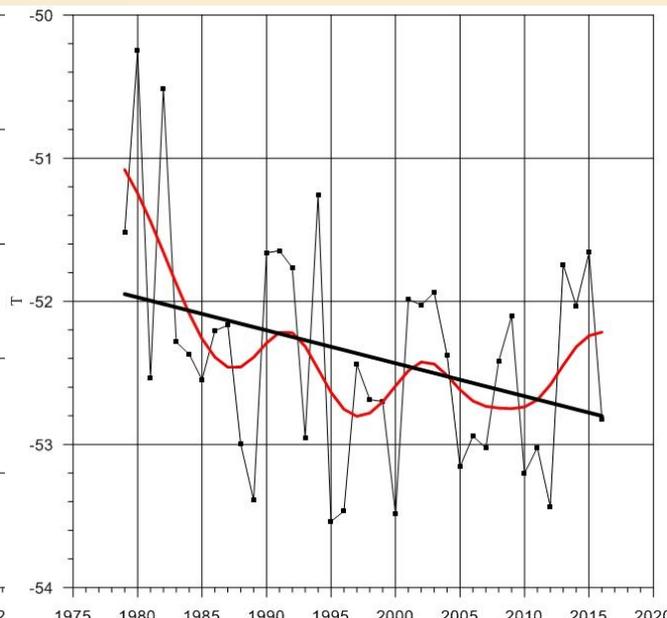
Год



Зима



Лето



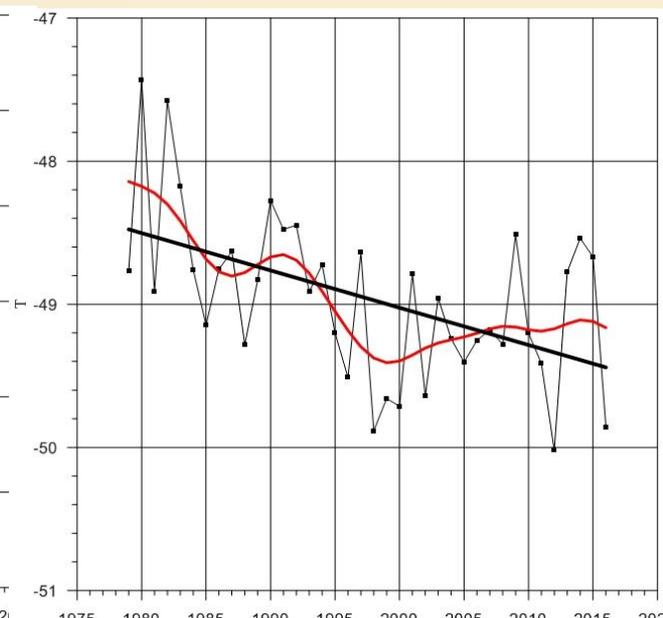
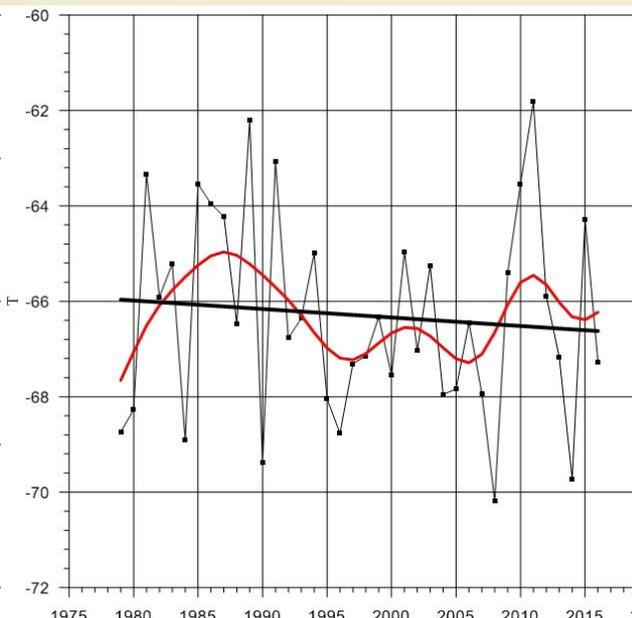
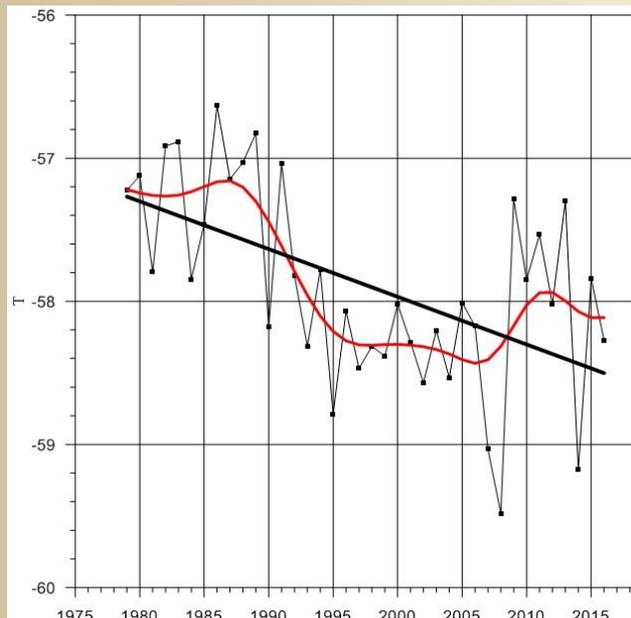
	Год	Зима	Лето
$A_v, ^\circ\text{C}$	-58,0	-63,95	-52,38
$R_{ms}, ^\circ\text{C}$	0,66	1,55	0,77
$A, ^\circ\text{C}/10 \text{ лет}$	-0,21	-0,21	-0,23
$R^2L, \%$	8	0	6
$R^2F, \%$	31	21	36

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

Год

Зима

Лето



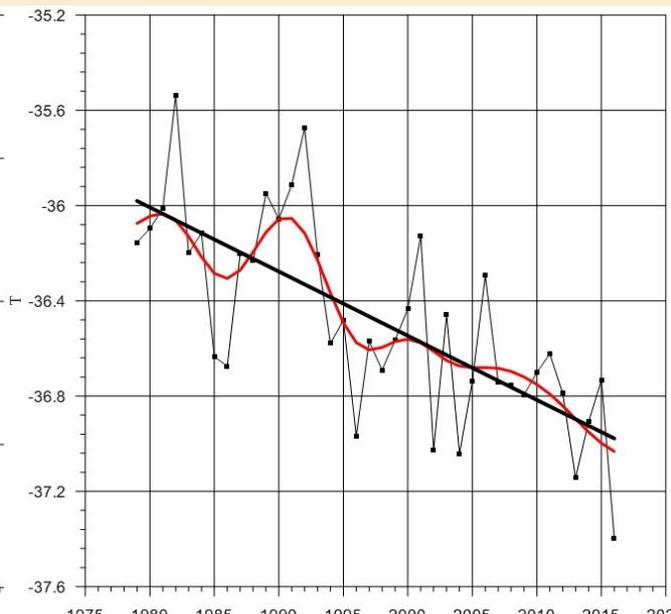
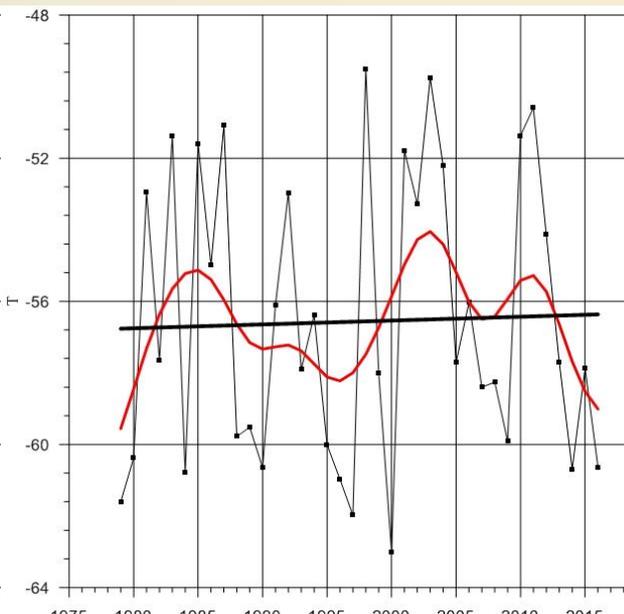
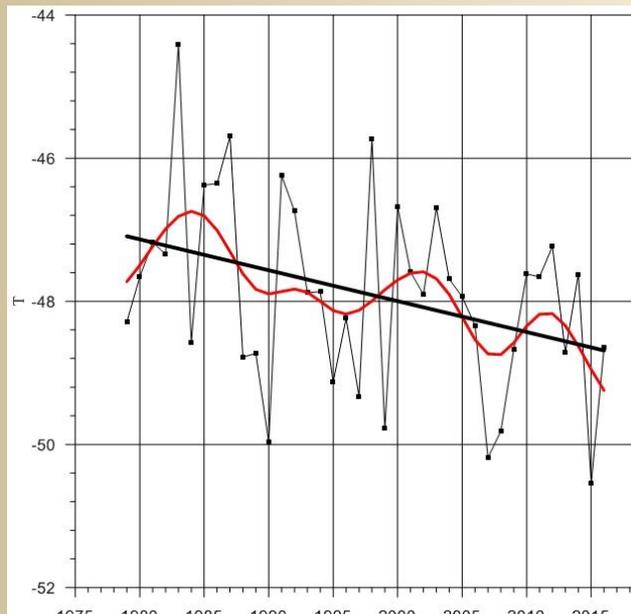
	Год	Зима	Лето
Av, °C	-57,89	-66,29	-48,96
Rms, °C	0,68	2,1	0,57
A, °C/10 лет	-0,33	-0,18	-0,26
R <sup>2</sup> L, %	25	0	21
R <sup>2</sup> F, %	55	27	46

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

Год

Зима

Лето



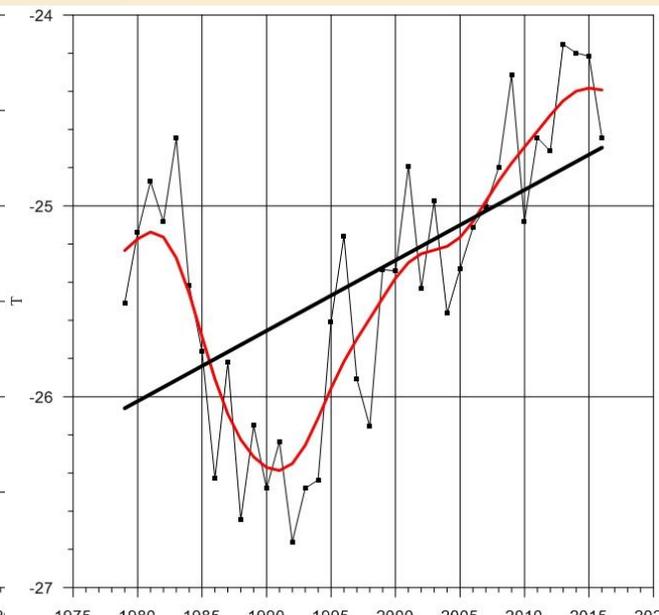
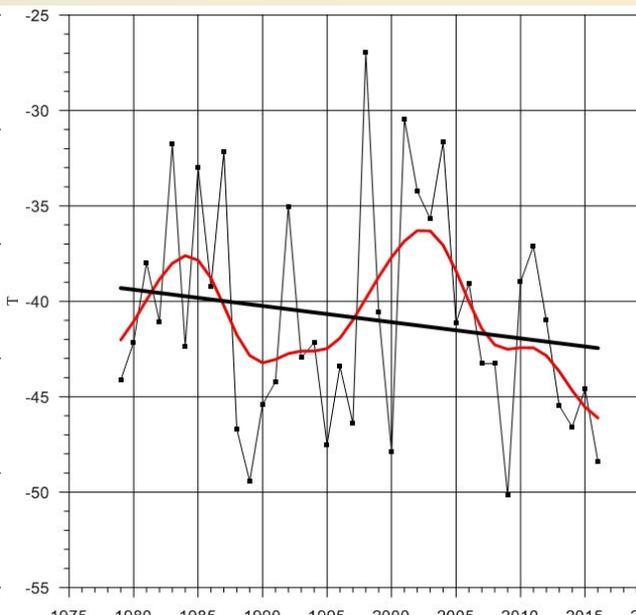
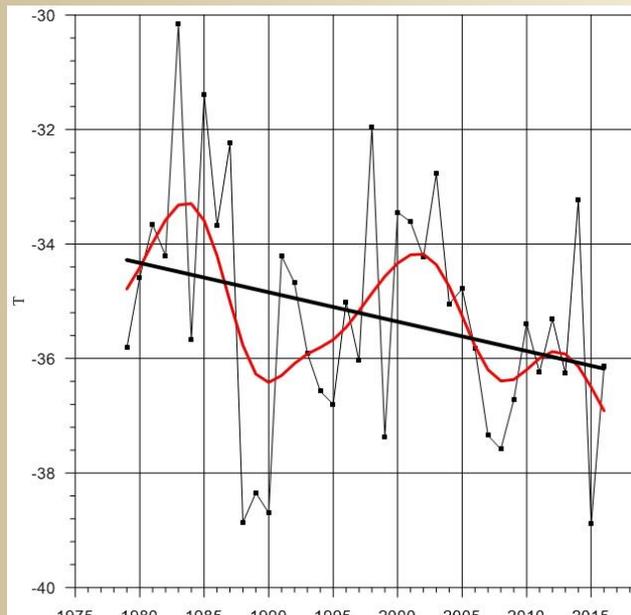
	Год	Зима	Лето
$A_v, ^\circ\text{C}$	-47,89	-56,57	-36,48
$R_{ms}, ^\circ\text{C}$	1,32	3,92	0,41
$A, ^\circ\text{C}/10 \text{ лет}$	-0,43	0,11	-0,27
$R^2L, \%$	8	0	49
$R^2F, \%$	33	33	69

Многолетний ход средних температур воздуха на территории ПФО.  
 Годовой (январь-декабрь), зимней (декабрь-февраль) и летней (июнь-август).  
 Уровень 5 гПа.

Год

Зима

Лето



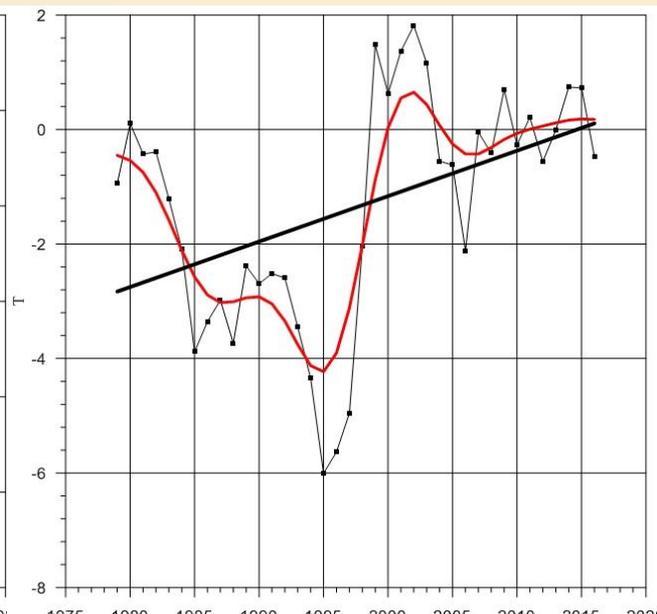
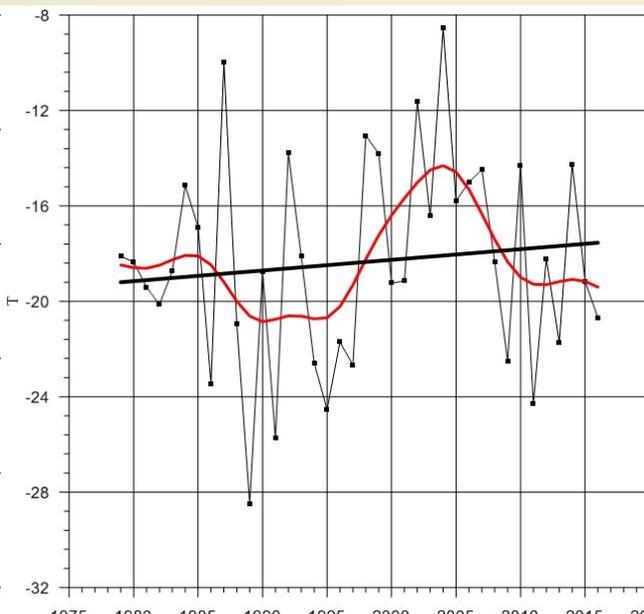
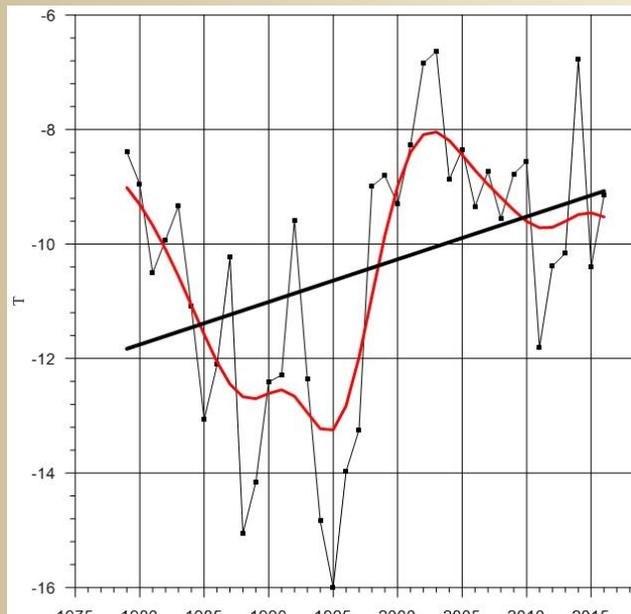
	Год	Зима	Лето
$A_v, ^\circ\text{C}$	-35,23	-40,88	-25,38
$R_{ms}, ^\circ\text{C}$	2,05	5,75	0,72
$A, ^\circ\text{C}/10 \text{ лет}$	-0,51	-0,85	0,37
$R^2L, \%$	2	0	28
$R^2F, \%$	41	36	83

Многолетний ход средних температур воздуха на территории ПФО.  
 Годовой (январь-декабрь), зимней (декабрь-февраль) и летней (июнь-август).  
 Уровень 1 гПа.

Год

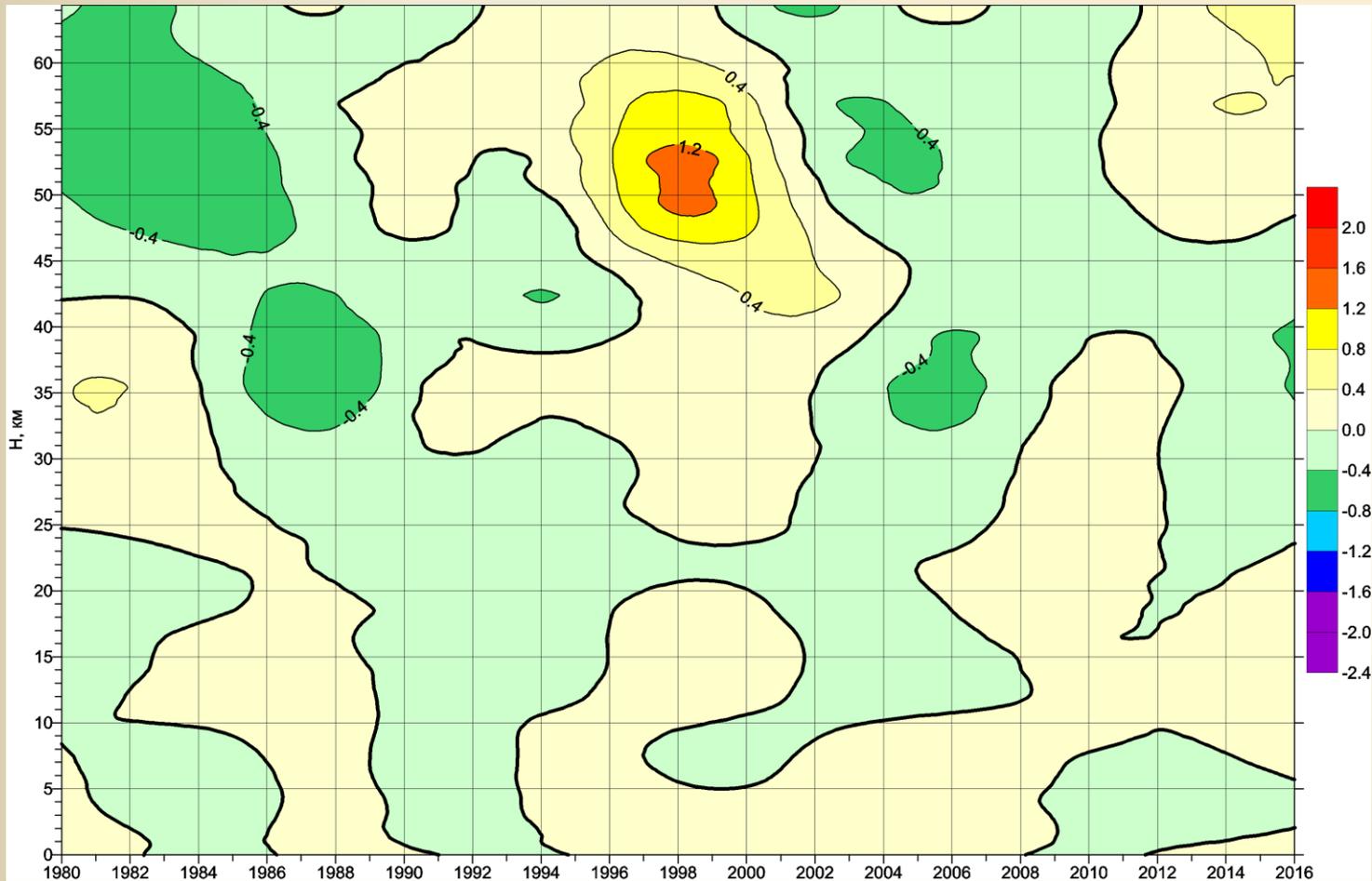
Зима

Лето



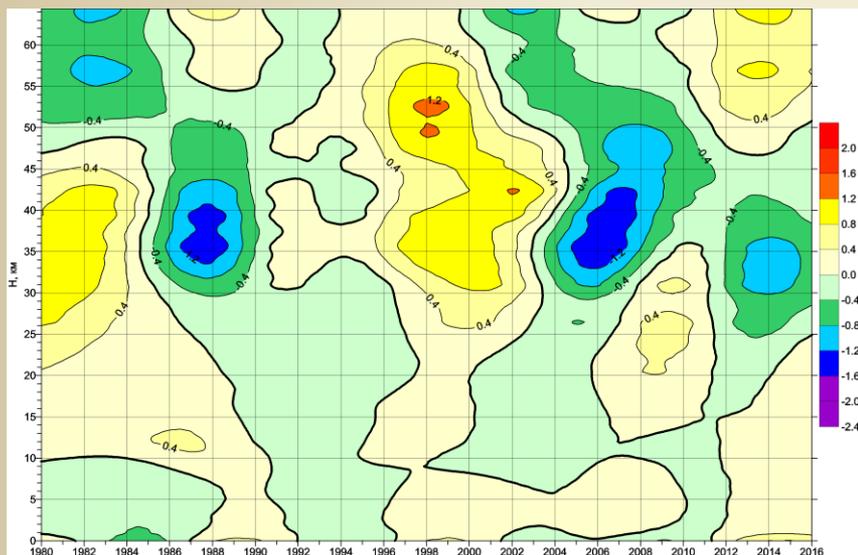
	Год	Зима	Лето
$A_v, ^\circ\text{C}$	-10,45	-18,37	-1,36
$R_{ms}, ^\circ\text{C}$	2,34	4,34	2,02
$A, ^\circ\text{C}/10 \text{ лет}$	0,74	0,45	0,79
$R^2L, \%$	7	0	14
$R^2F, \%$	70	30	84

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

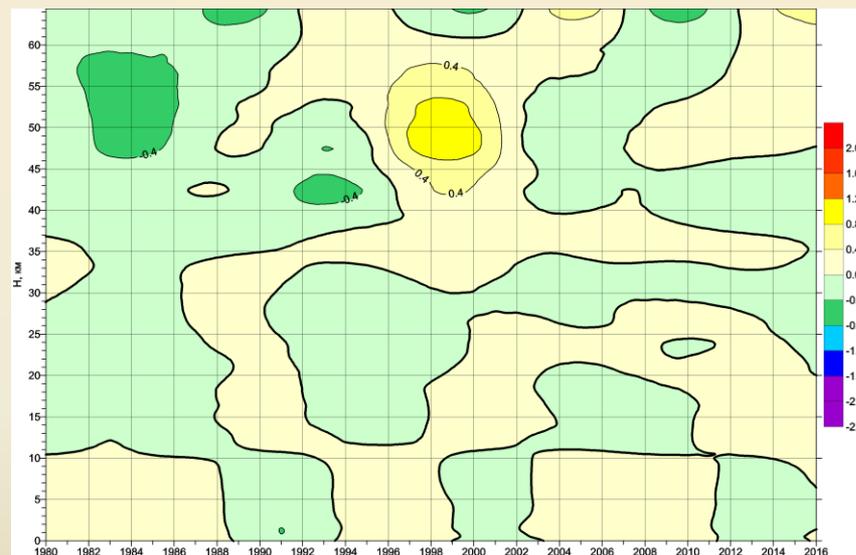


Временной ход вертикального профиля первых разностей НЧК средних зимних (слева) и летних (справа) температур воздуха с периодом более 10 лет на территории ПФО, °С/год.

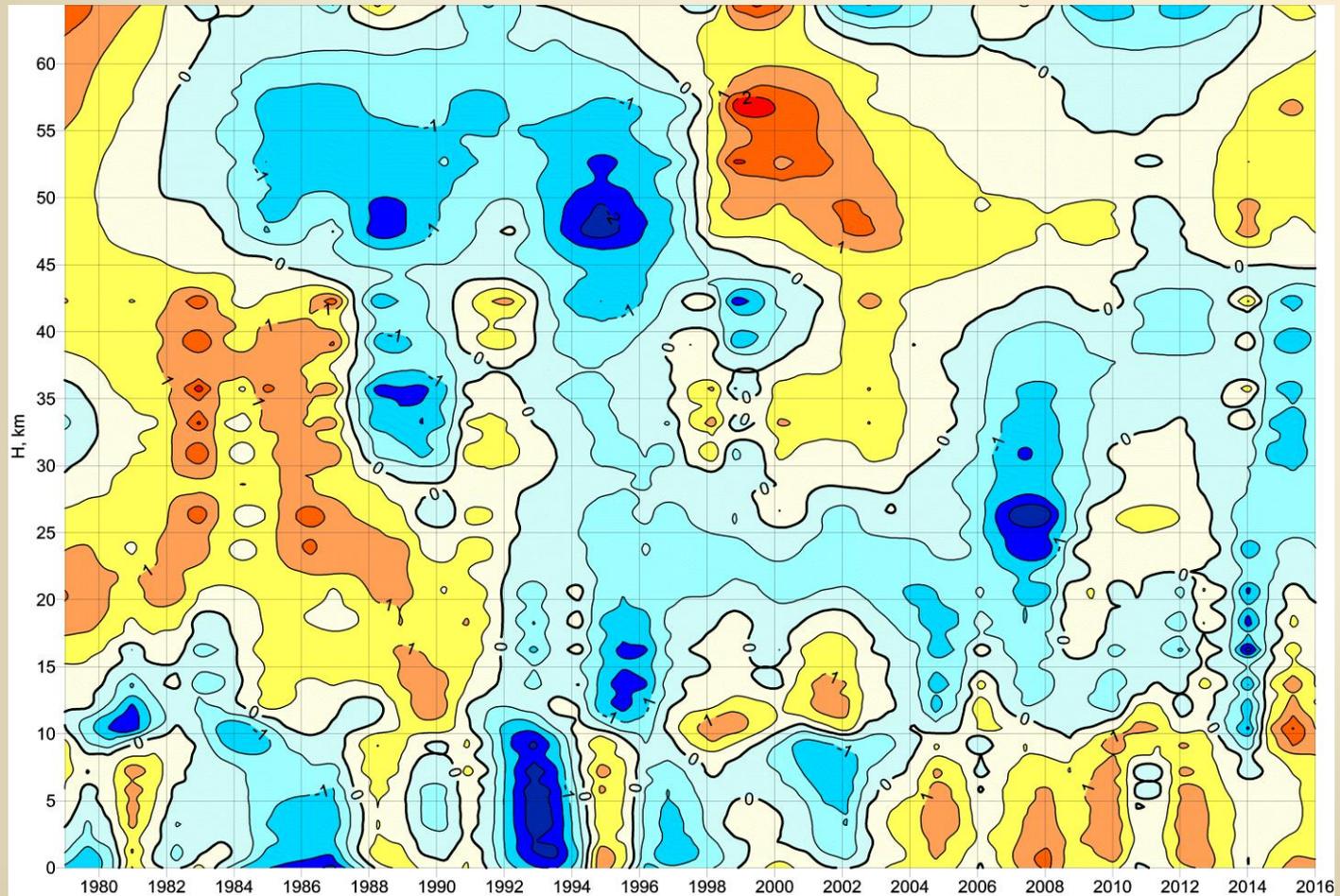
Зима



Лето

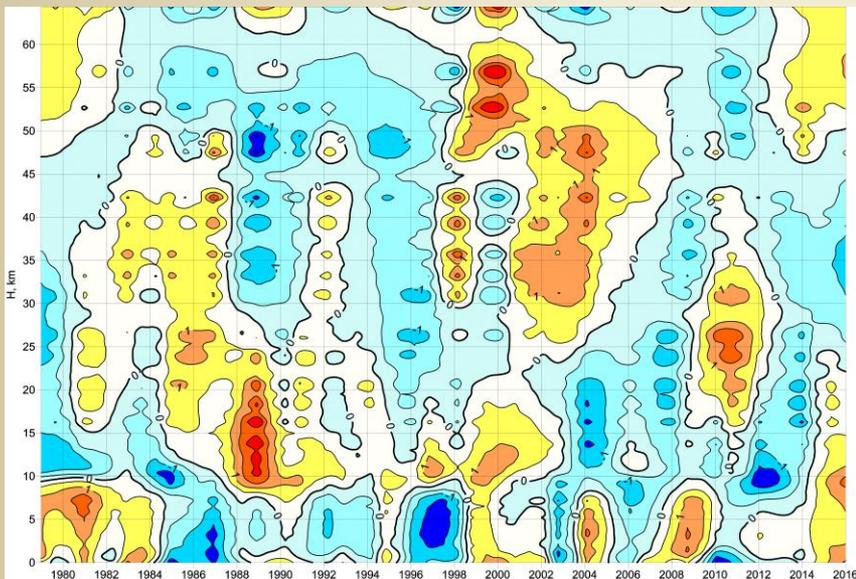


# Вертикальный разрез временного хода нормированных аномалий средней годовой температуры воздуха на территории ПФО.

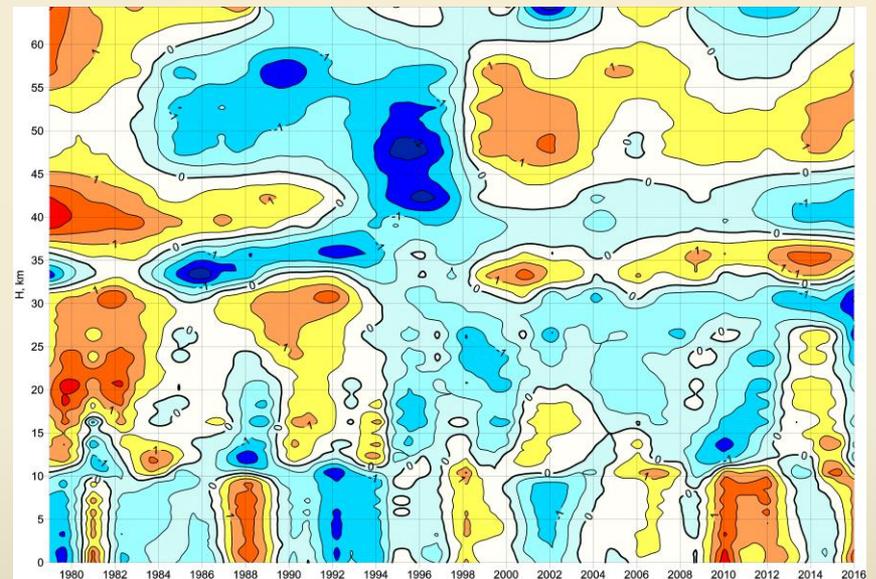


# Вертикальный разрез временного хода нормированных аномалий средней зимней и летней температур воздуха на территории ПФО.

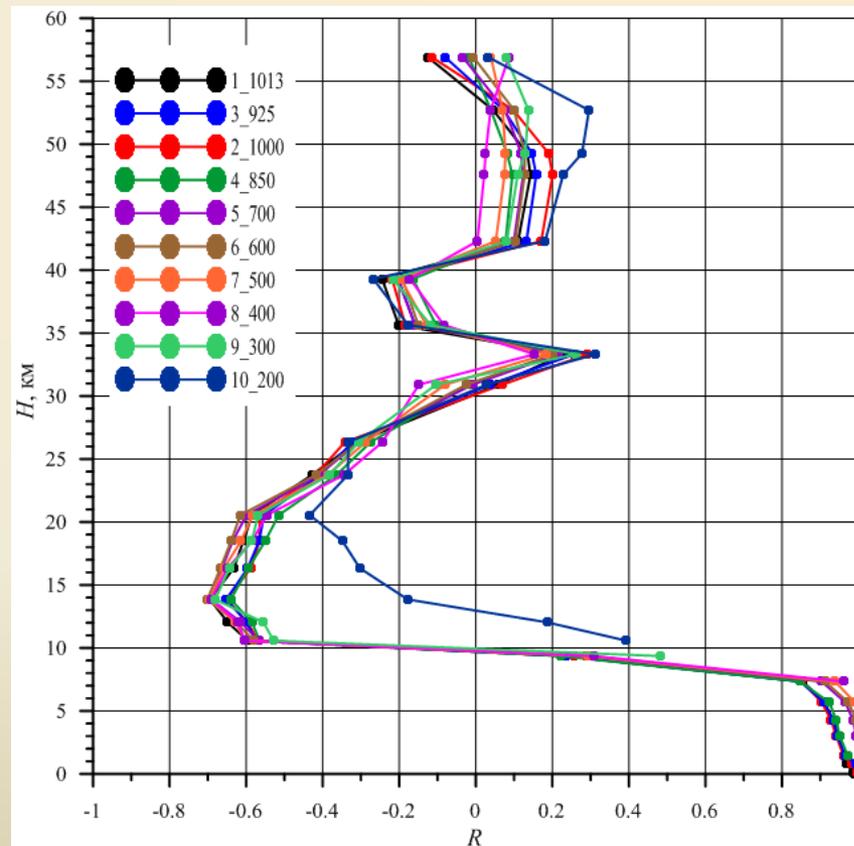
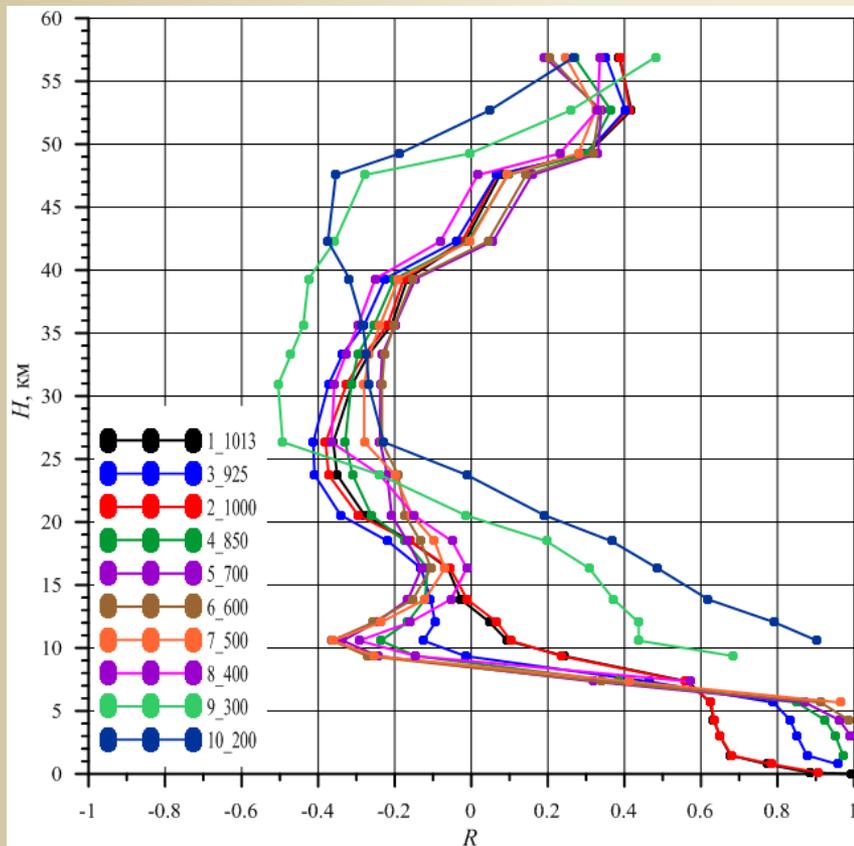
Зима



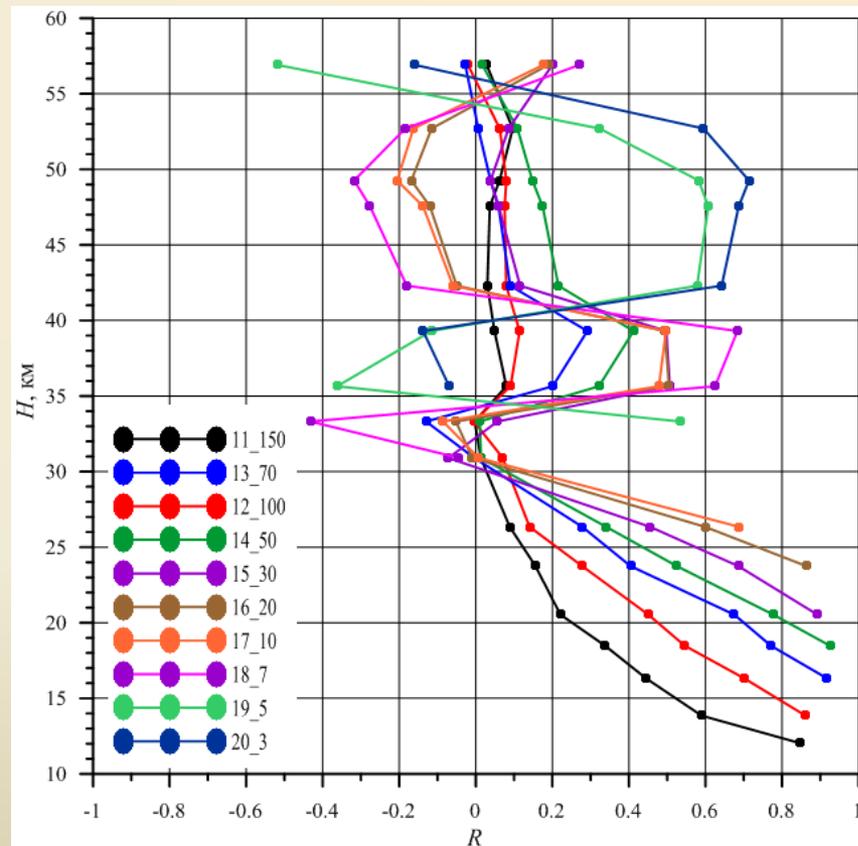
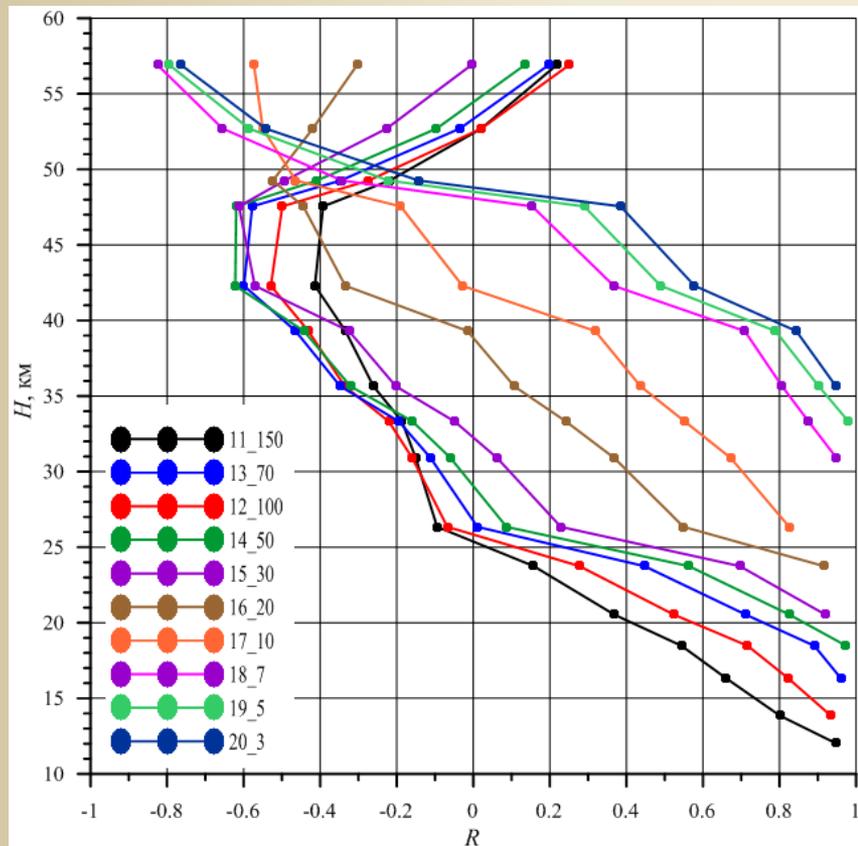
Лето



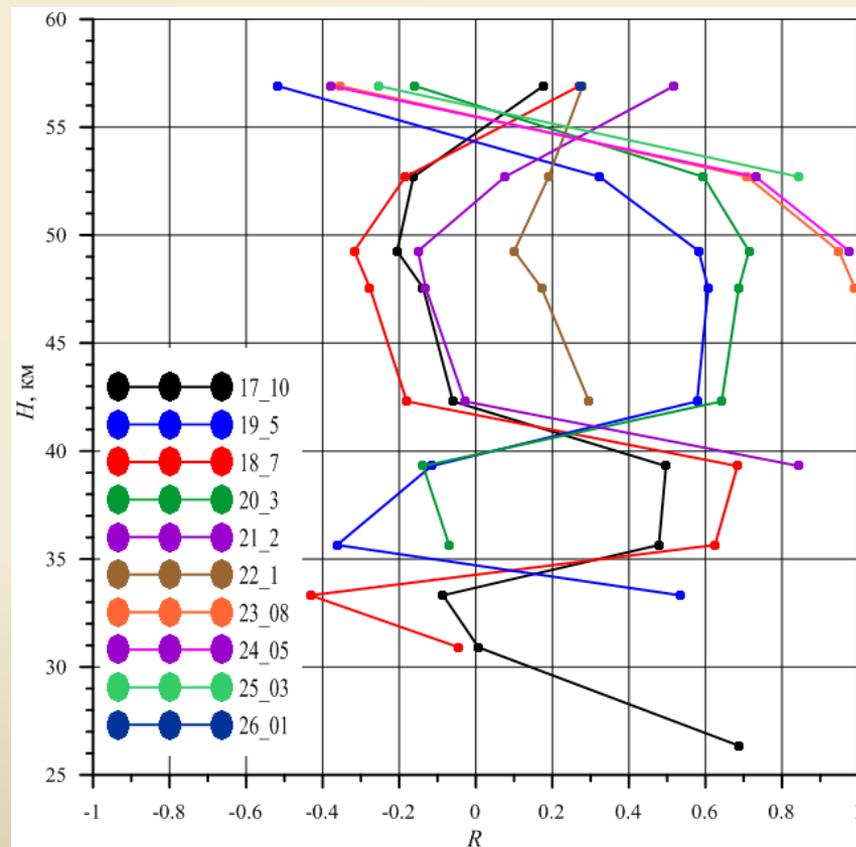
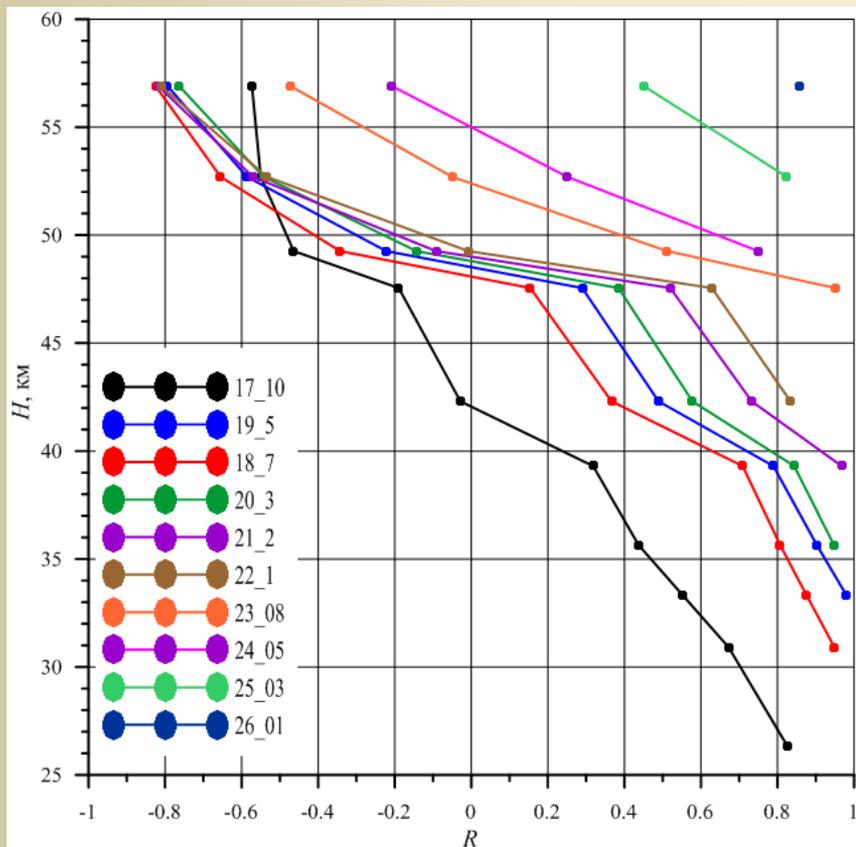
Коэффициенты корреляции температуры воздуха осредненной по территории ПФО на нижней и вышележащих поверхностях тропосферы зимой (слева) и летом (справа) за период (1979-2016 гг.).



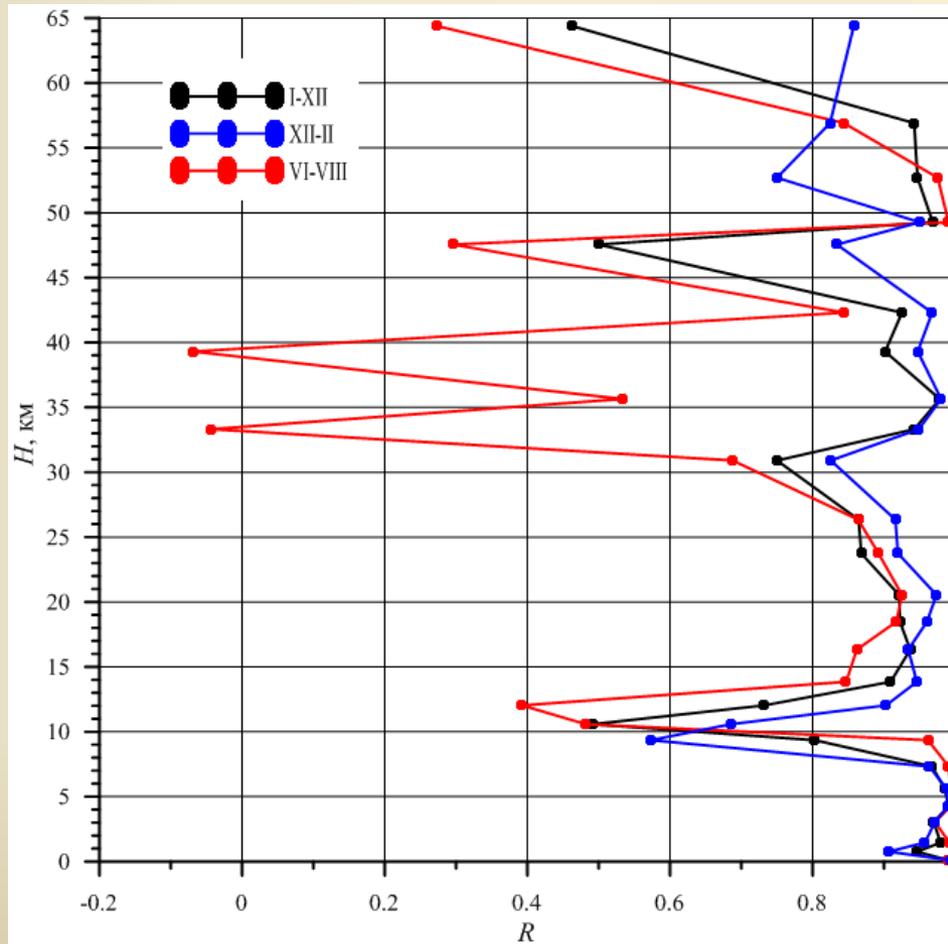
Коэффициенты корреляции температуры воздуха осредненной по территории ПФО на нижней и вышележащих поверхностях нижней стратосферы зимой (слева) и летом (справа) за период (1979-2016 гг.).



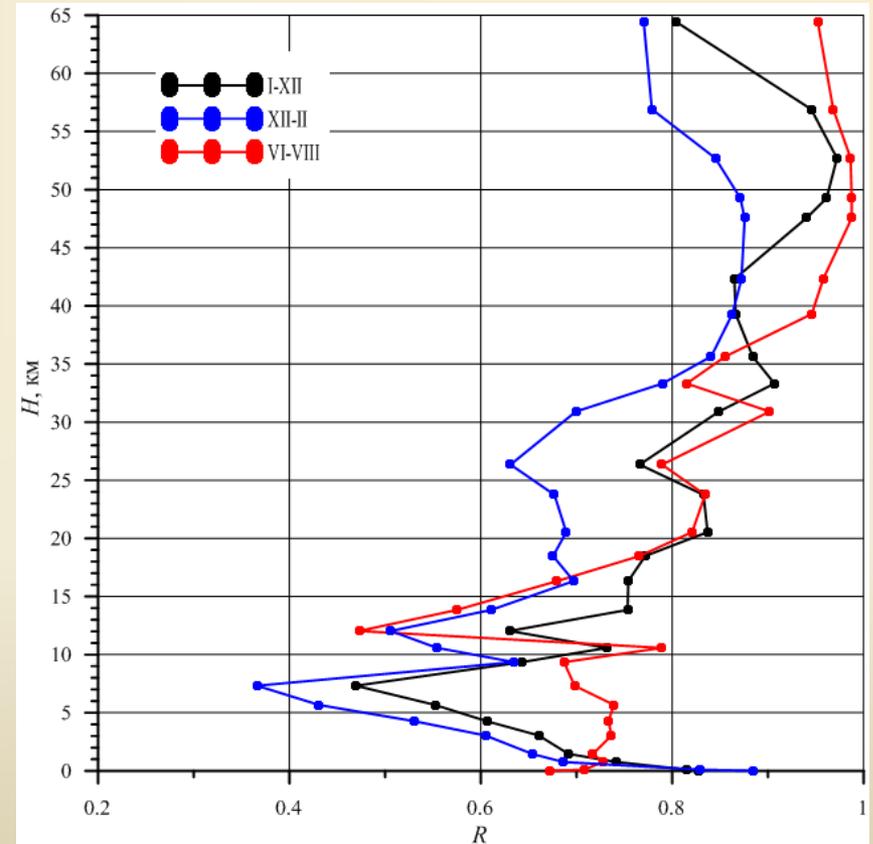
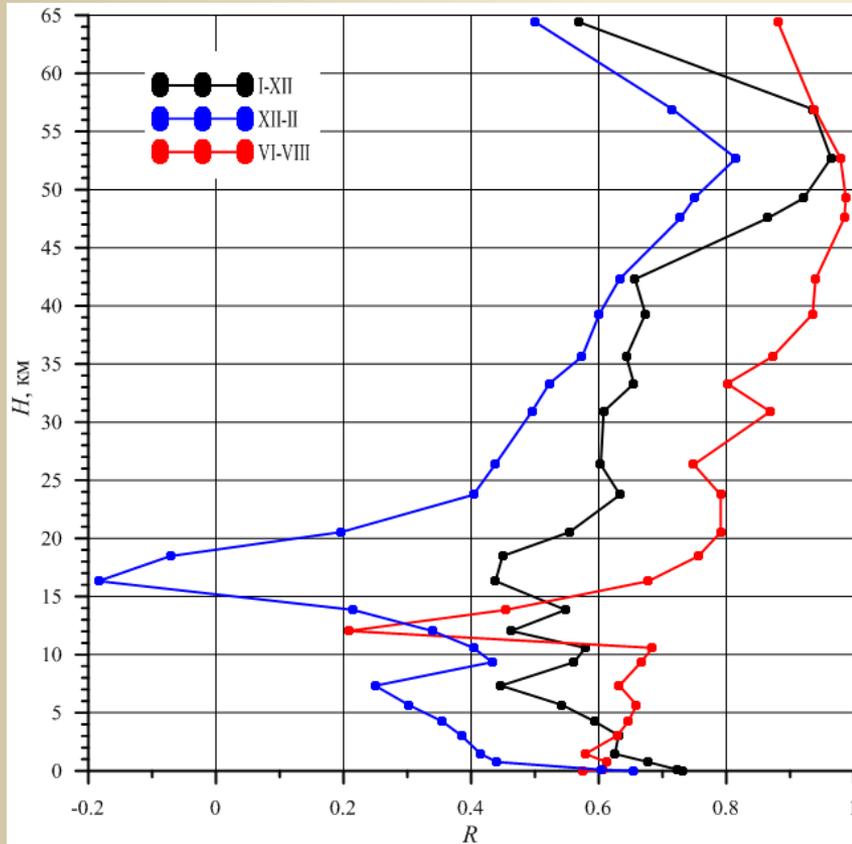
Коэффициенты корреляции температуры воздуха осредненной по территории ПФО на нижней и вышележащих поверхностях верхней стратосферы зимой (слева) и летом (справа) за период (1979-2016 гг.).



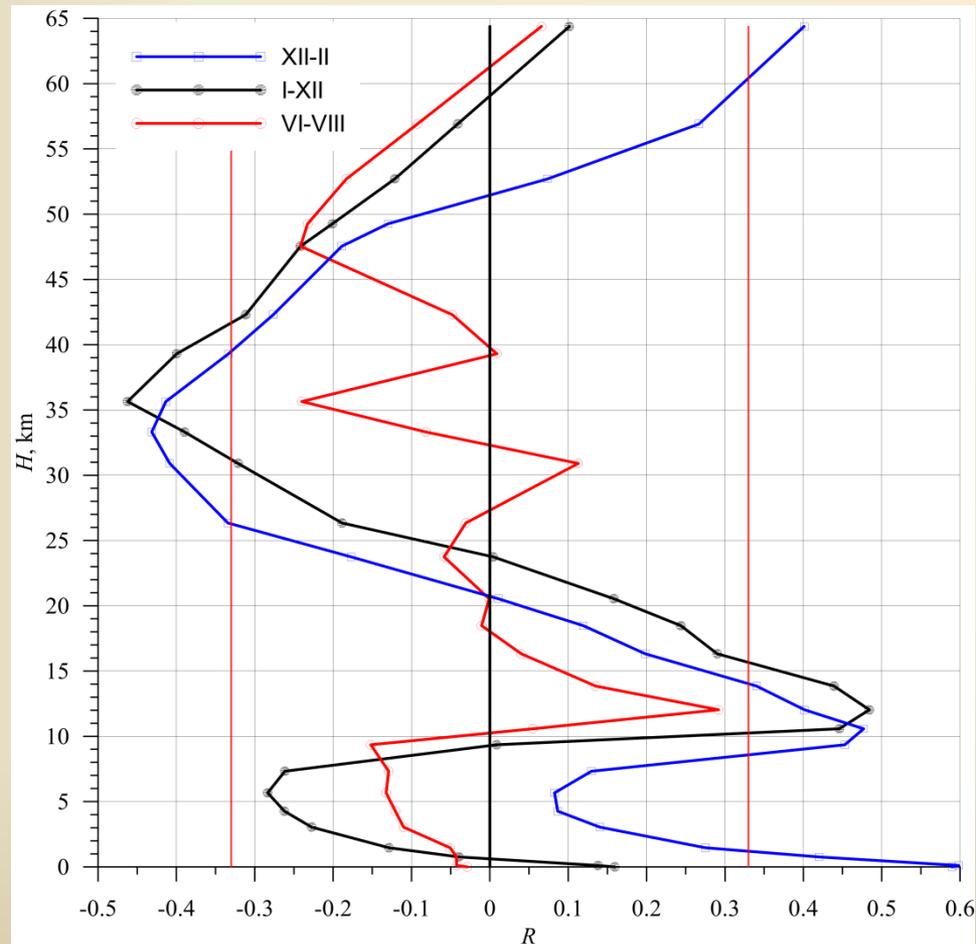
Значения коэффициентов линейной корреляции средней годовой, летней (июнь-август) и зимней (декабрь-февраль) температур воздуха на соседних изобарических поверхностях тропосферы, стратосферы и нижней мезосферы на территории ПФО



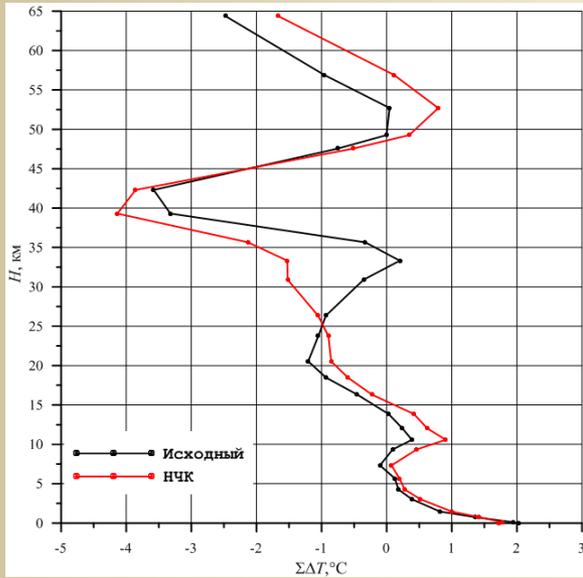
Значения коэффициентов линейной корреляции средней годовой, летней (июнь-август) и зимней (декабрь-февраль) температур воздуха на 27 уровнях тропосферы, стратосферы и нижней мезосферы умеренной зоны СП (слева), 1 сектора умеренной зоны (справа) и территории ПФО



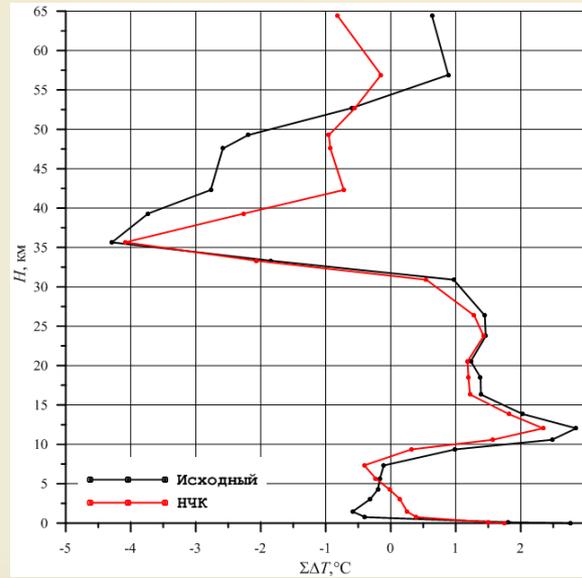
Вертикальные профили значений коэффициента корреляции индекса АО со средней годовой (черная линия), средней летней (красная линия) и средней зимней (синяя линия) температурой воздуха осредненной по территории ПФО.



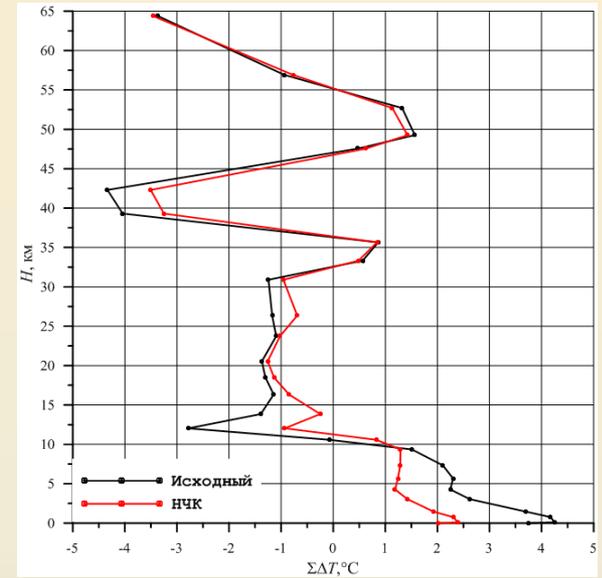
Вертикальные профили сумм первых разностей исходных рядов и НЧК с периодом более 10 лет температуры воздуха в тропосфере и стратосфере на территории ПФО (°C).



Год



Зима



Лето

# 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.