

Изменения термодинамических характеристик в тропо - стратосфере в период 1979 – 2016 гг.

Переведенцев Ю.П.

*Казанский (Приволжский) федеральный
университет*

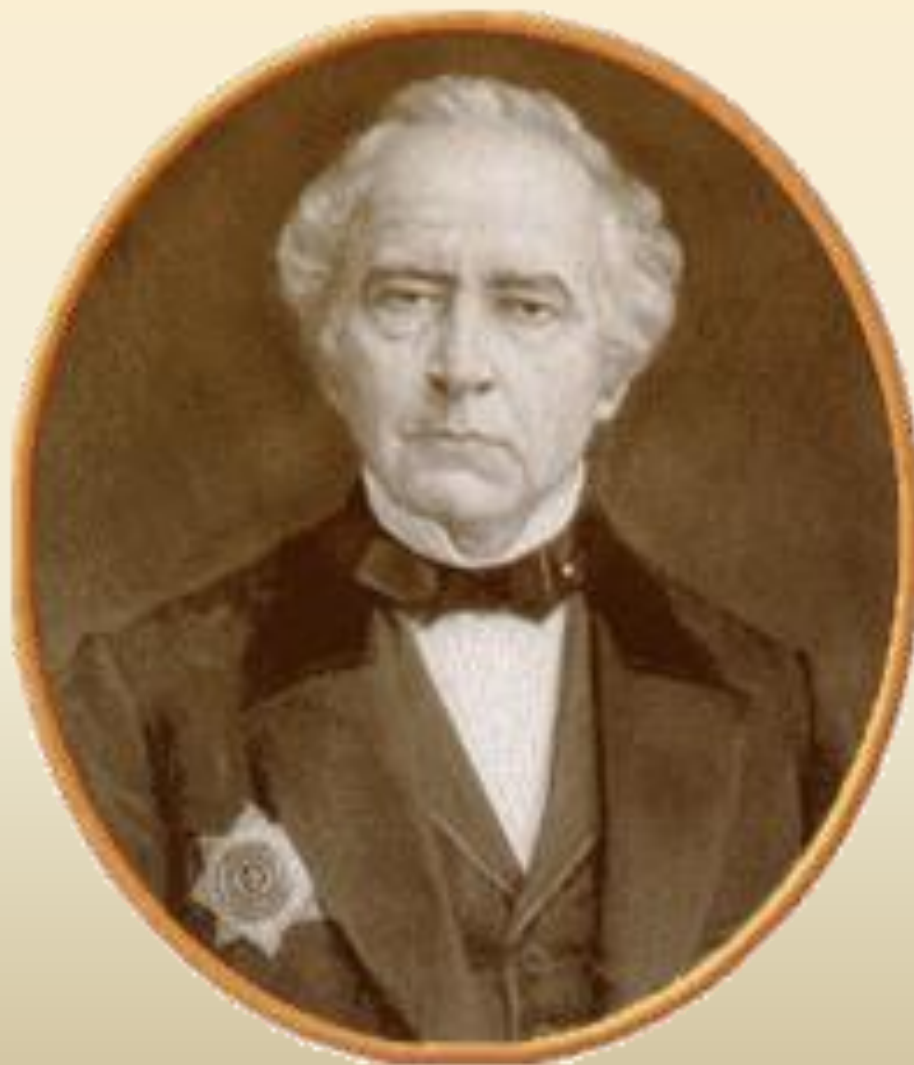
Метеорология, как наука, в Казанском университете возникла на основе первых метеорологических наблюдений, и длительное время развивалась как одно из направлений экспериментальной физики.

С 1810 г. руководство метеорологическими наблюдениями было возложено на профессора теоретической и опытной физики Ф.К. Броннера, приглашенного в университет из Швейцарии.

Ф.К. БРОННЕР



С приездом в 1824 г. в Казань из Петербурга профессора физики и химии А.Я. Купфера, метеорологические наблюдения были дополнены магнитными.



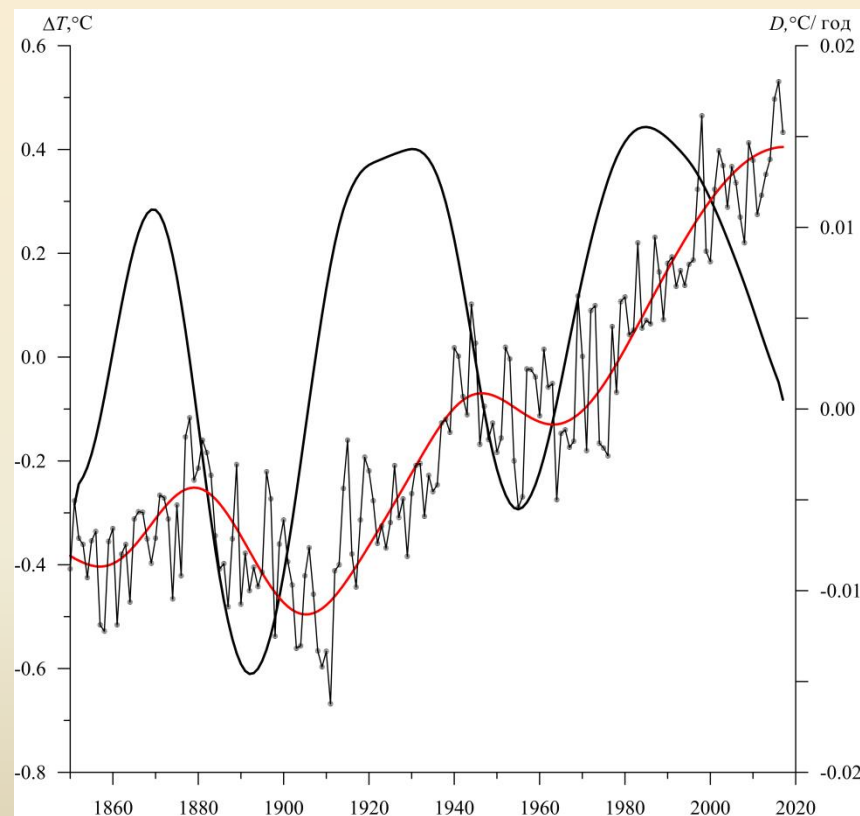
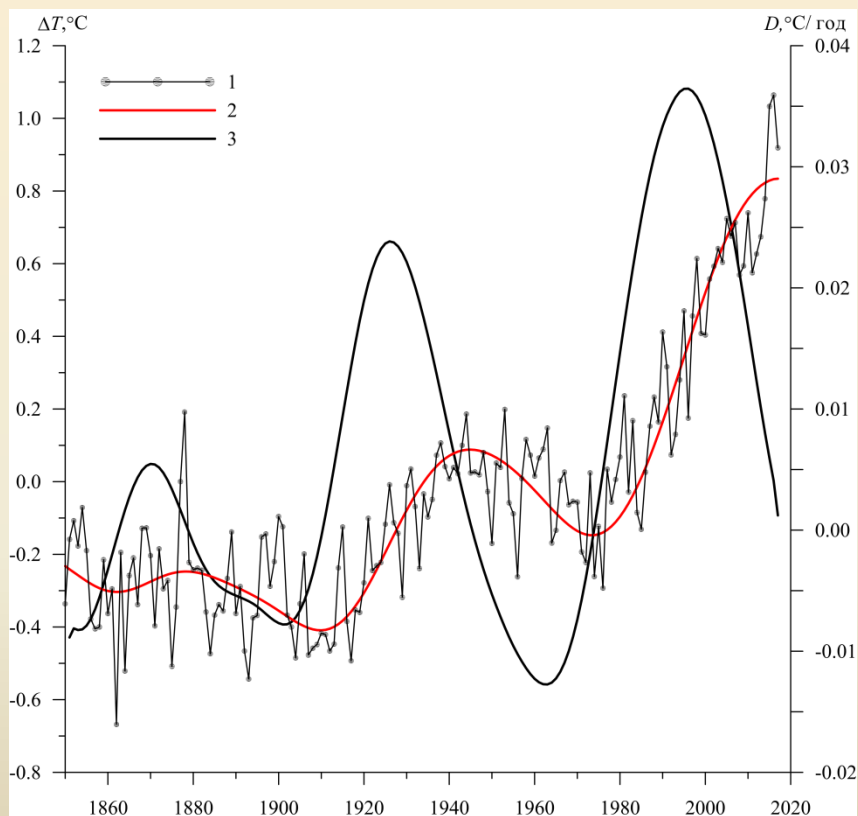
Во второй половине XIX столетия метеорологическими и магнитными наблюдениями активно занимались

И.А. Больцани (1855-1876), Р.А. Колли (1876-1886), Н.П. Слугинов (1886-1894), Д.А. Гольдгаммер (1894-1897).

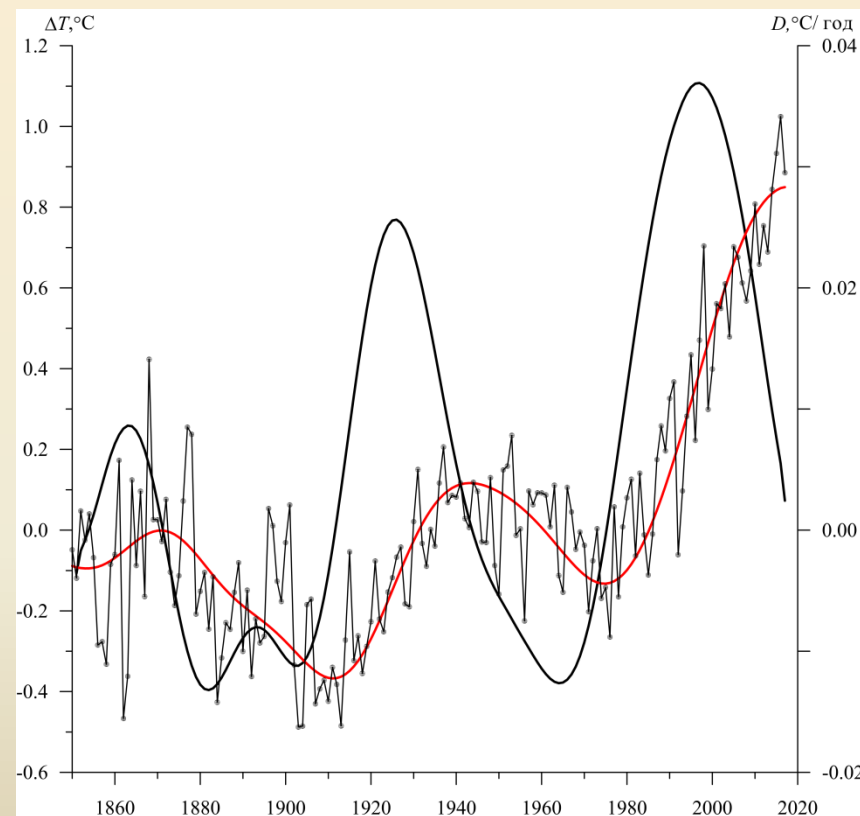
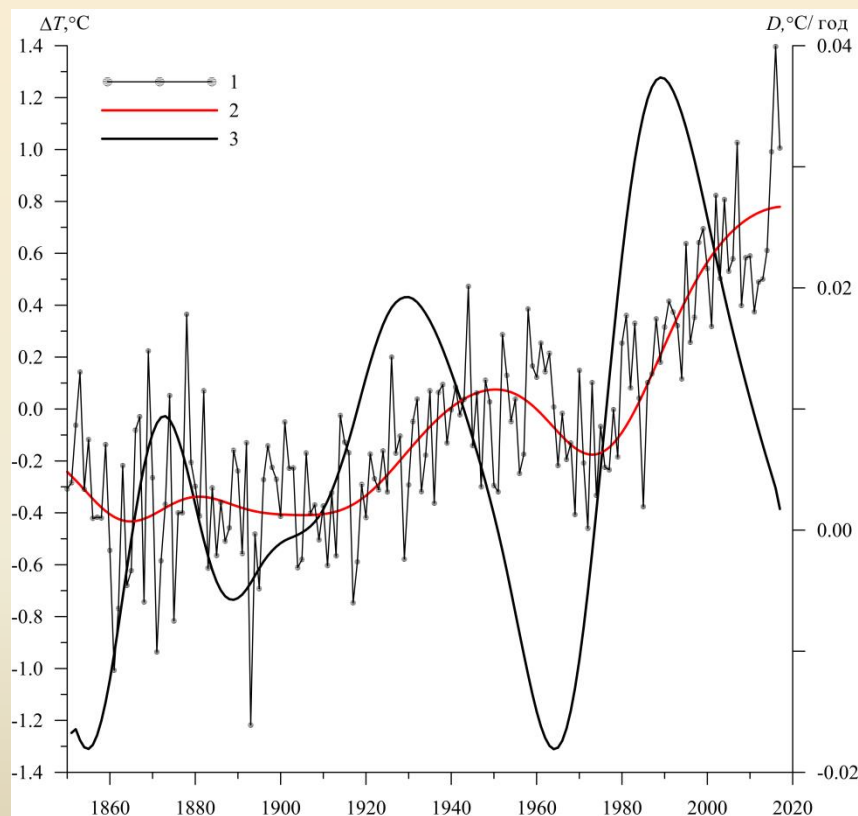
В 1923 г. на физико-математическом факультете университета по инициативе проф. В.А. Ульянина открывается кафедра геофизики для подготовки метеорологов, гидрологов и геомагнитологов.



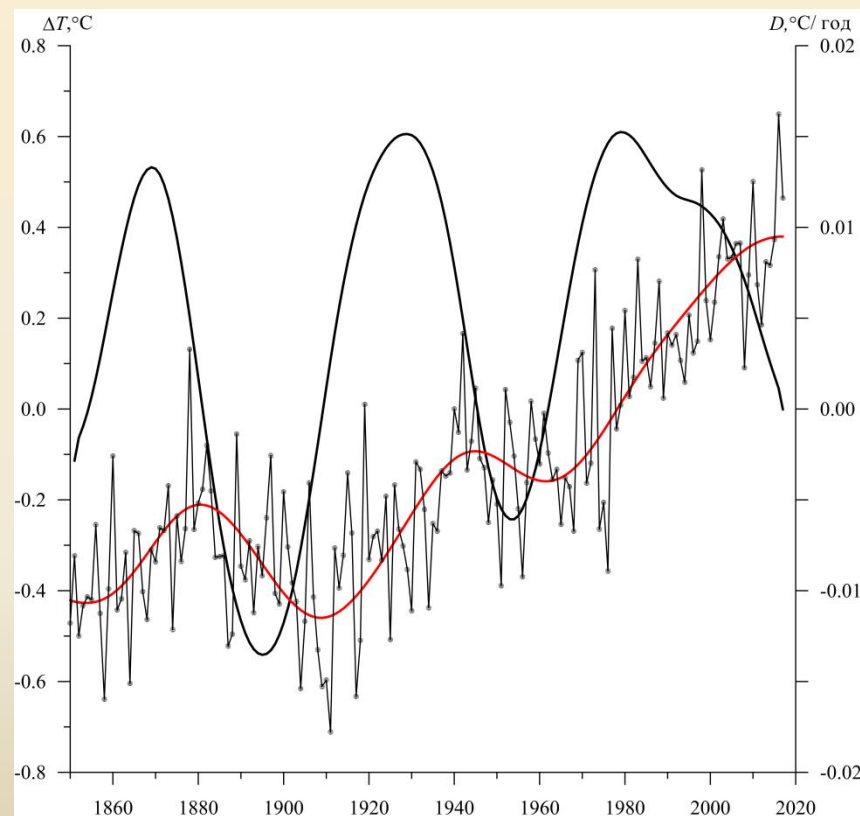
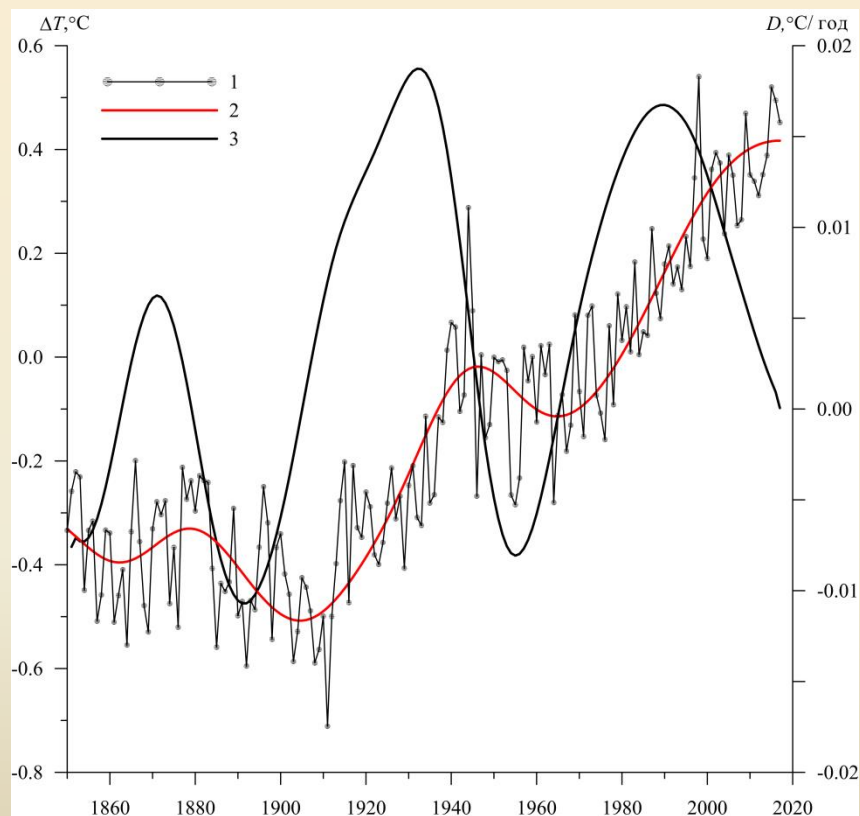
Многолетний ход (1850–2017 гг.) аномалий (1961–1990 гг.) средней годовой температуры воздуха Северного (слева) и Южного (справа) полушария
1 – исходный ряд, 2 – НЧК с периодом более 30 лет, 3 – первые разности НЧК.



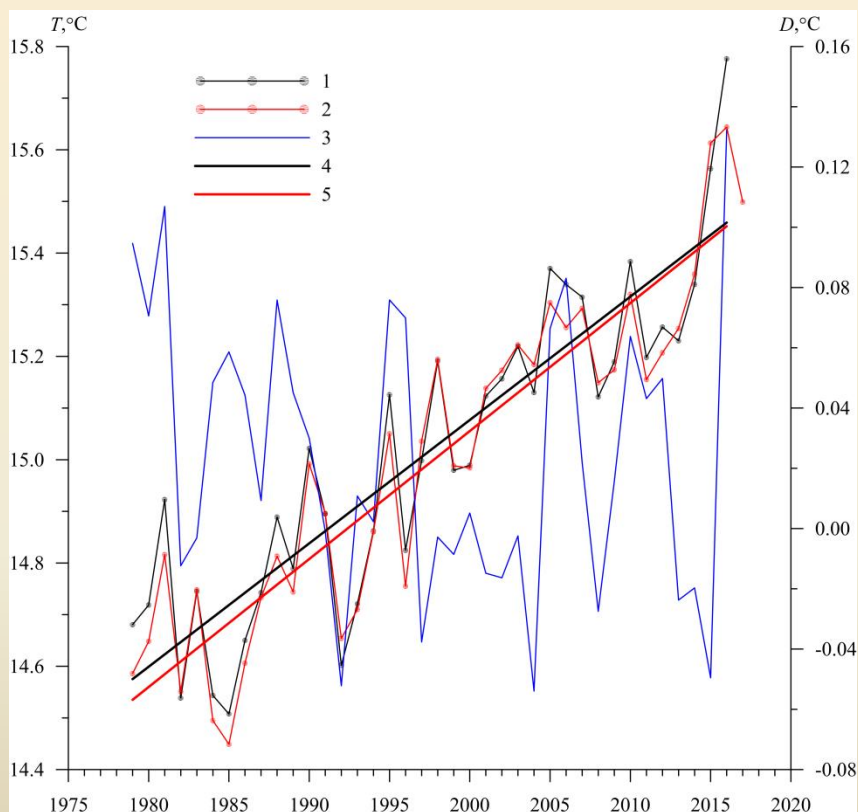
Многолетний ход (1850–2017 гг.) аномалий (1961–1990 гг.) средней зимней (слева) и летней (справа) температуры воздуха Северного полушария
1 – исходный ряд, 2 – НЧК с периодом более 30 лет, 3 – первые разности НЧК.



Многолетний ход (1850–2017 гг.) аномалий (1961–1990 гг.) средней зимней (слева) и летней (справа) температуры воздуха Южного полушария
1 – исходный ряд, 2 – НЧК с периодом более 30 лет, 3 – первые разности НЧК.

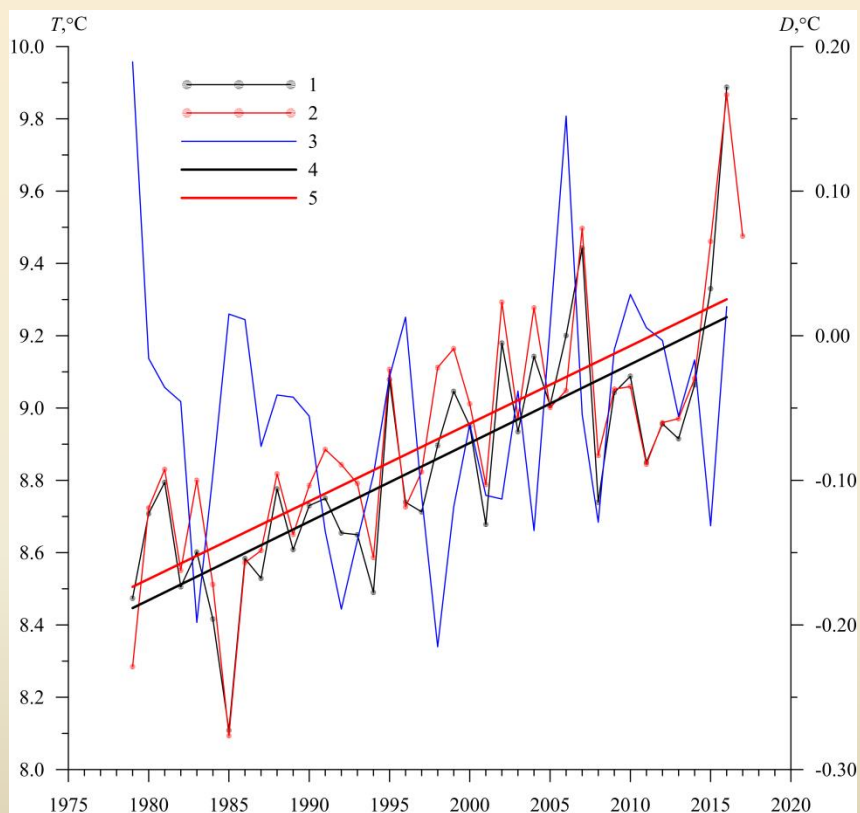


Многолетний ход (1979–2017 гг.) средней годовой приповерхностной температуры воздуха Северного полушария по данным ERA-Interim и CRU
 1 – ряд ERA, 2 – ряд CRU, 3 – разности ERA-CRU, 4 – тренд ERA, 5 – тренд CRU.



	ERA-Interim	CRU
$T_{av}, ^\circ\text{C}$	15,02	14,99
$A, ^\circ\text{C}/10 \text{ лет}$	0,24	0,25
$R^2, \%$	78	84

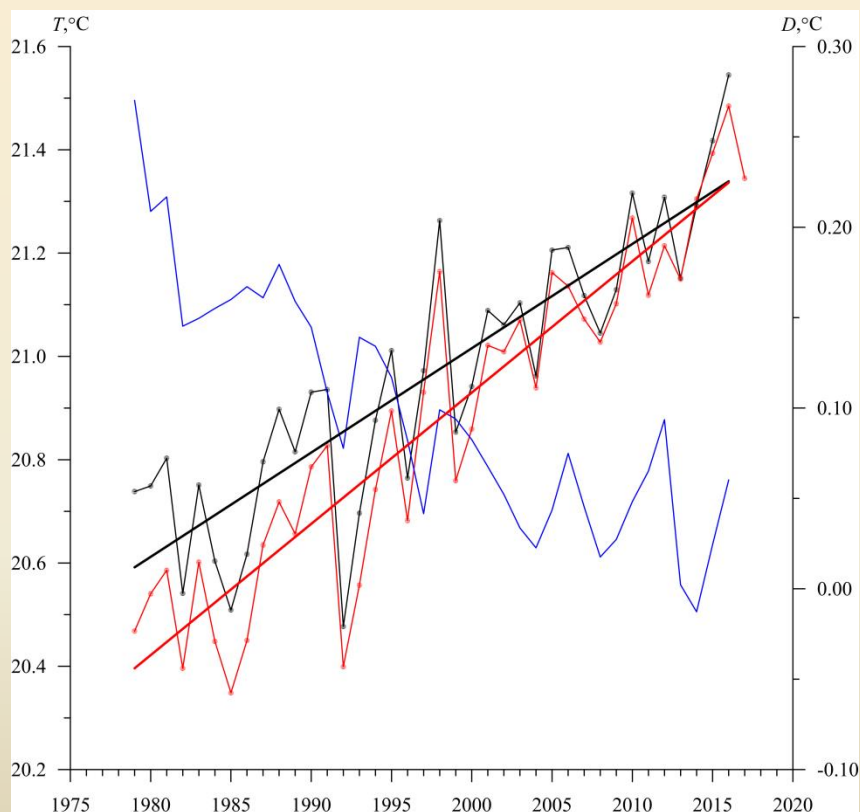
Многолетний ход (1979–2017 гг.) средней зимней приповерхностной температуры воздуха Северного полушария по данным ERA-Interim и CRU
 1 – ряд ERA, 2 – ряд CRU, 3 – разности ERA-CRU, 4 – тренд ERA, 5 – тренд CRU.



	ERA-Interim	CRU
$T_{\text{av}}, ^{\circ}\text{C}$	8,85	8,90
$A, ^{\circ}\text{C}/10 \text{ лет}$	0,22	0,22
$R^2, \%$	56	56

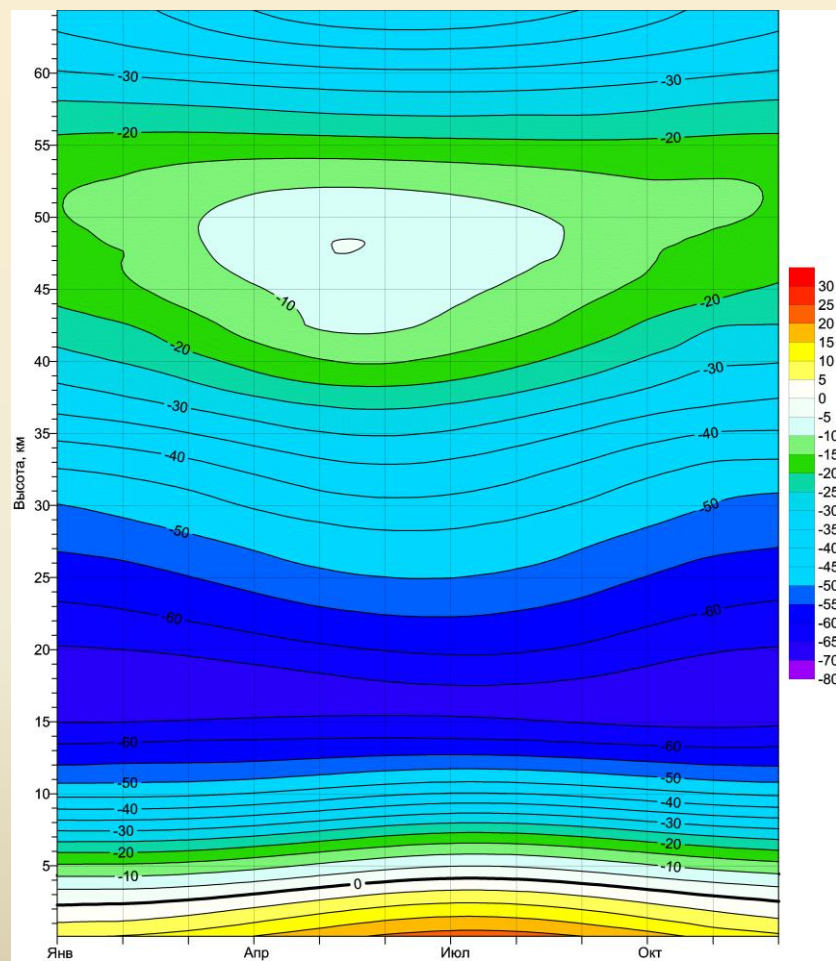
Многолетний ход (1979–2017 гг.) средней летней приповерхностной температуры воздуха Северного полушария по данным ERA-Interim и CRU

1 – ряд ERA, 2 – ряд CRU, 3 – разности ERA-CRU, 4 – тренд ERA, 5 – тренд CRU.

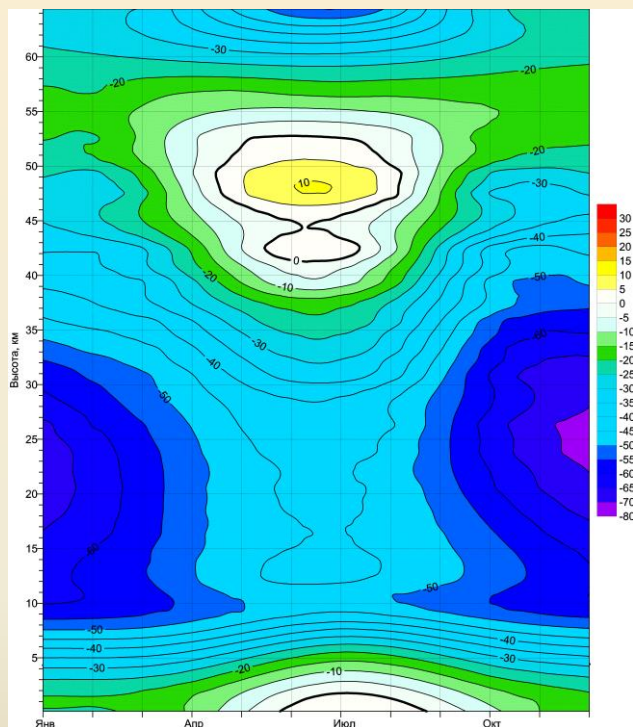


	ERA-Interim	CRU
$T_{av}, ^\circ\text{C}$	20,97	20,87
$A, ^\circ\text{C}/10 \text{ лет}$	0,20	0,25
$R^2, \%$	74	85

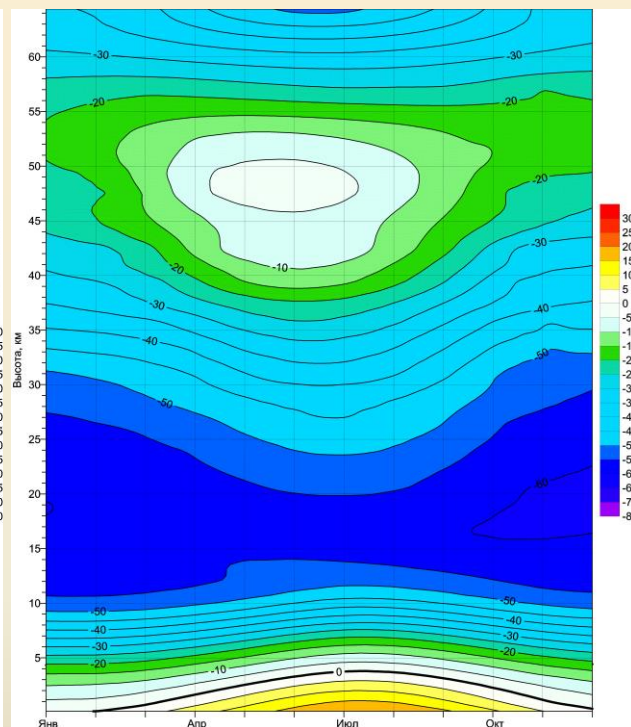
Вертикальный разрез среднего за 1979 – 2016 гг. годового хода температуры ($^{\circ}\text{C}$)
Северного полушария в слое 0,1 – 65 км.



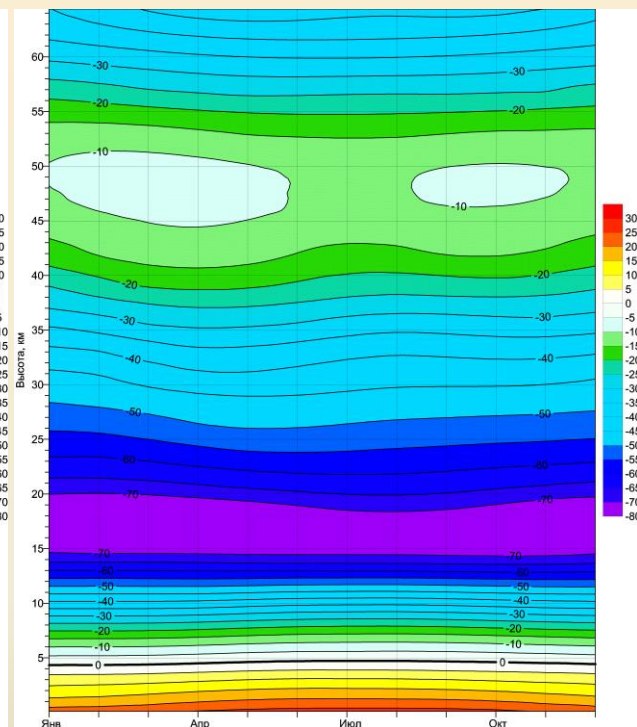
Вертикальный разрез среднего за 1979 – 2016 гг. годового хода температуры ($^{\circ}\text{C}$) широтных зон Северного полушария в слое 0,1 – 65 км.



Полярная

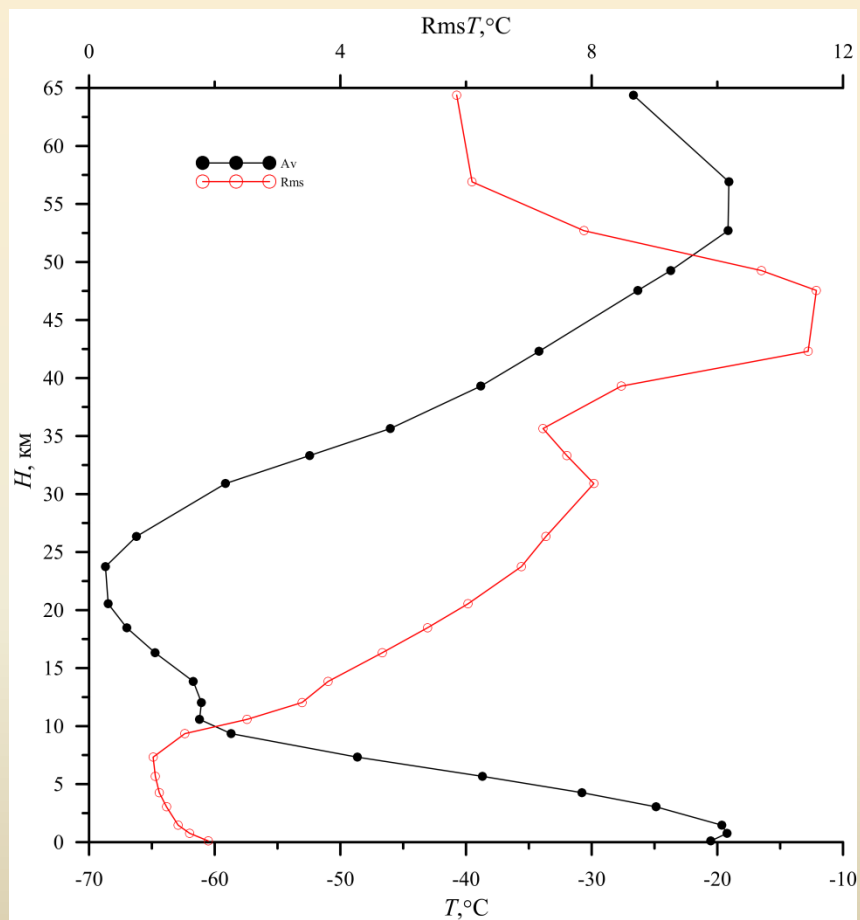


Умеренная

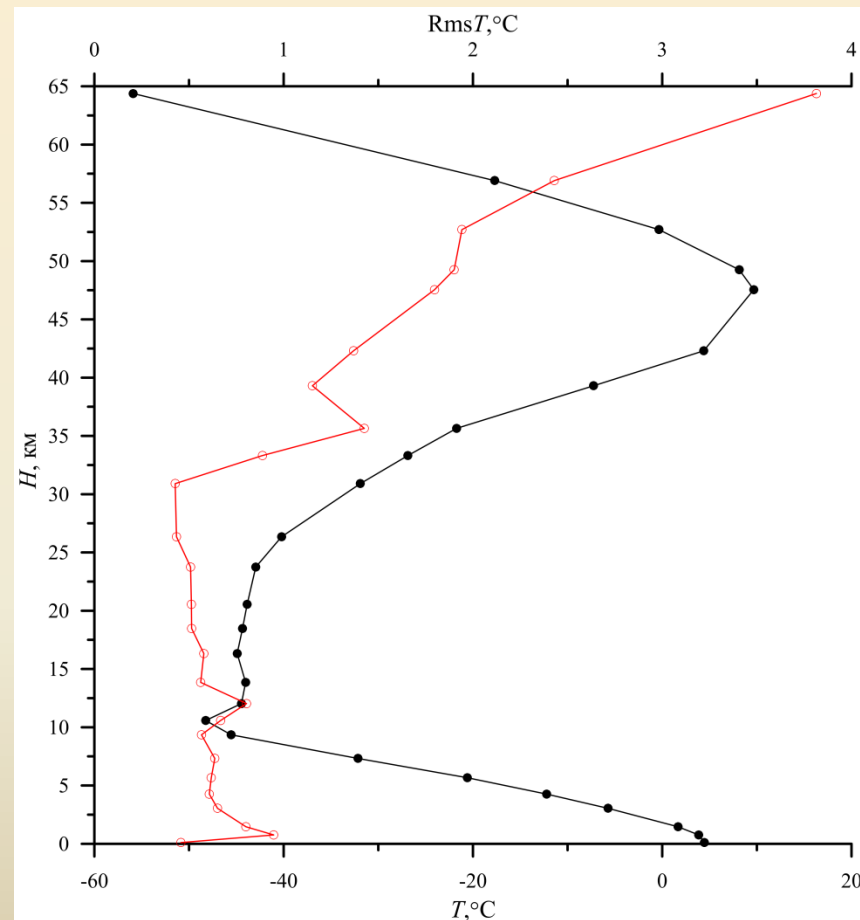


Тропическая

Вертикальные профили средних величин и средних квадратических отклонений за период (1979-2016 гг.) температур воздуха осредненных по полярной зоне Северного полушария в январе и июле.

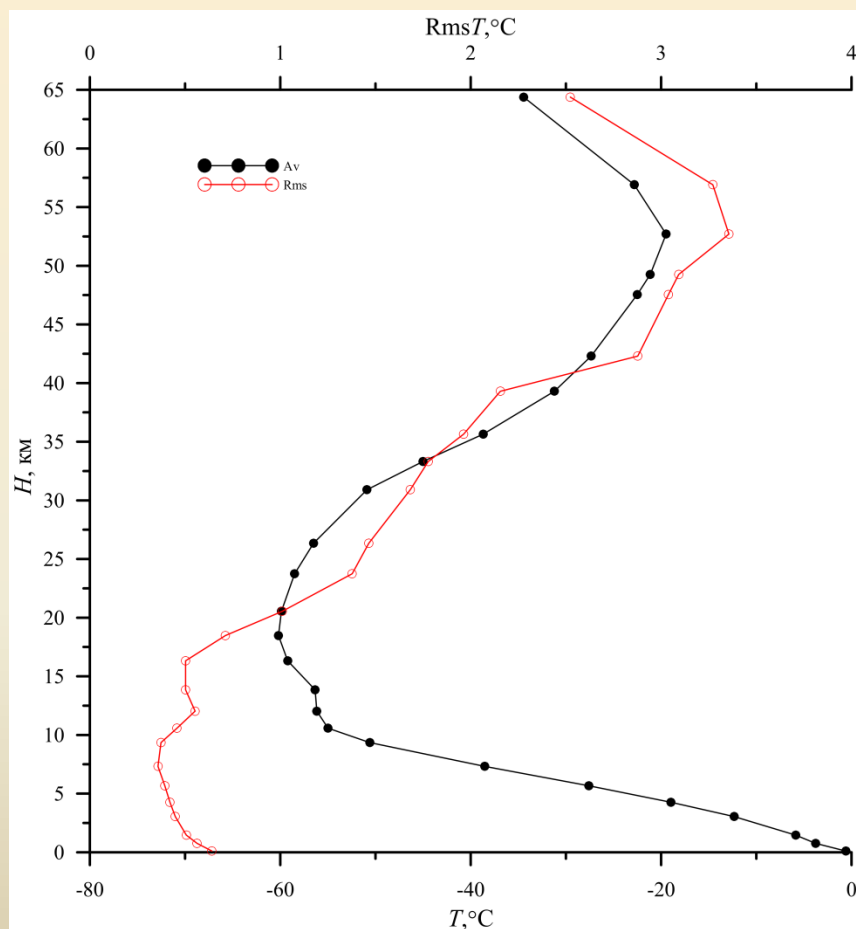


Январь

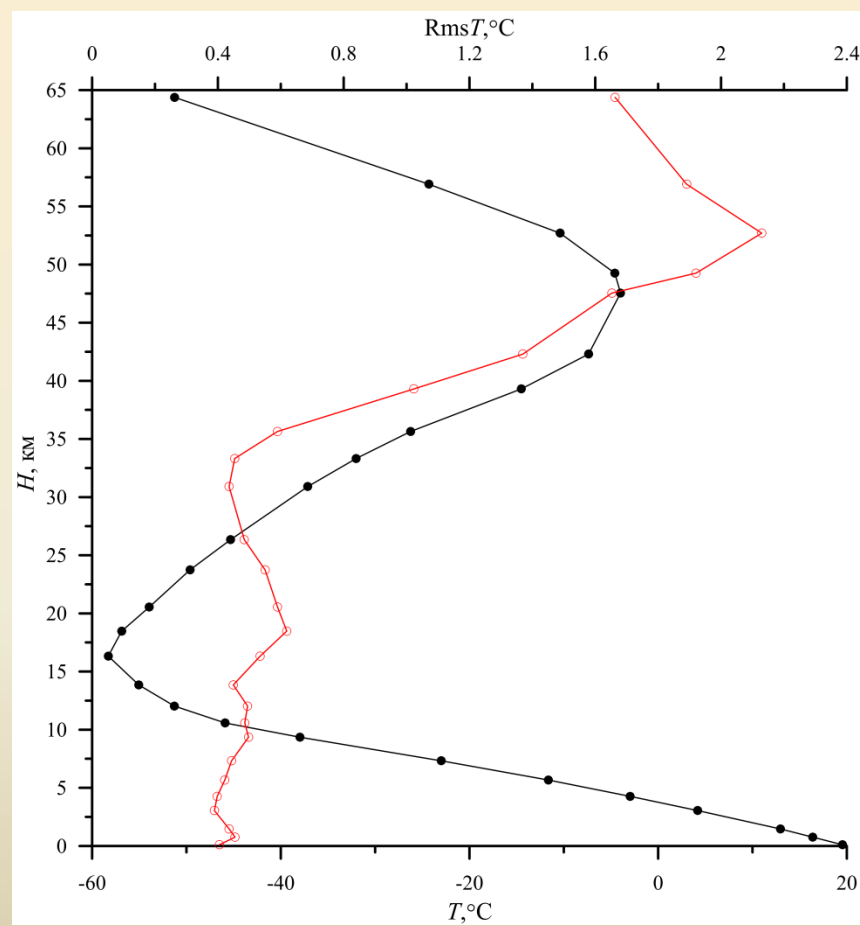


Июль

Вертикальные профили средних величин и средних квадратических отклонений за период (1979-2016 гг.) температур воздуха осредненных по умеренной зоне Северного полушария в январе и июле.

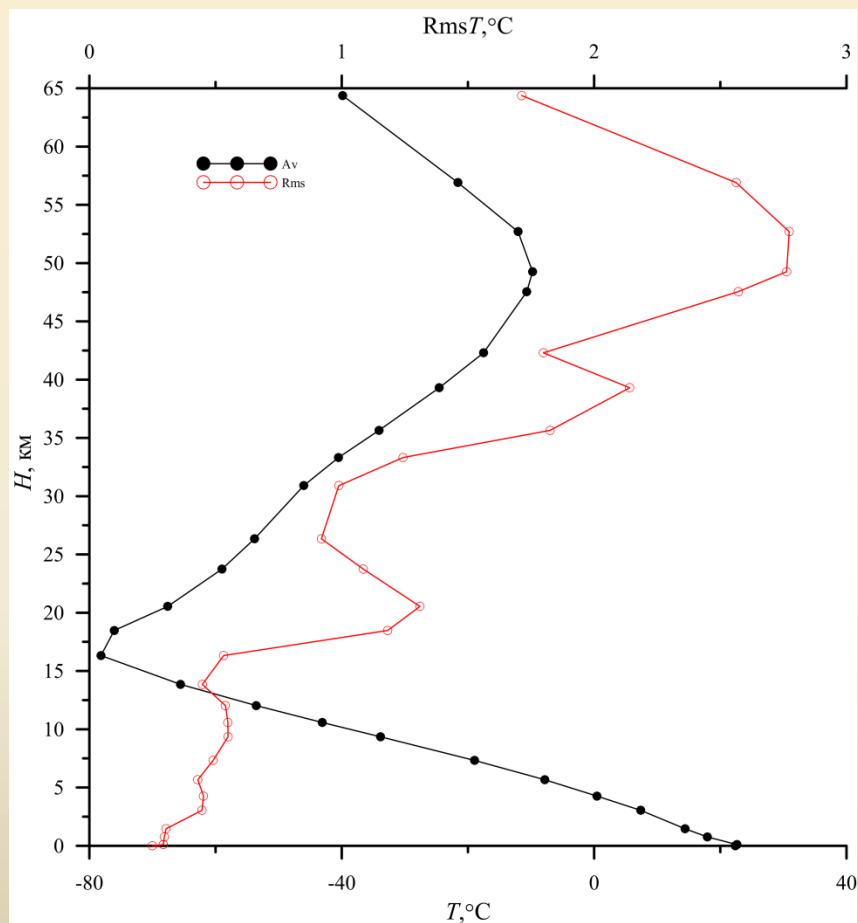


Январь

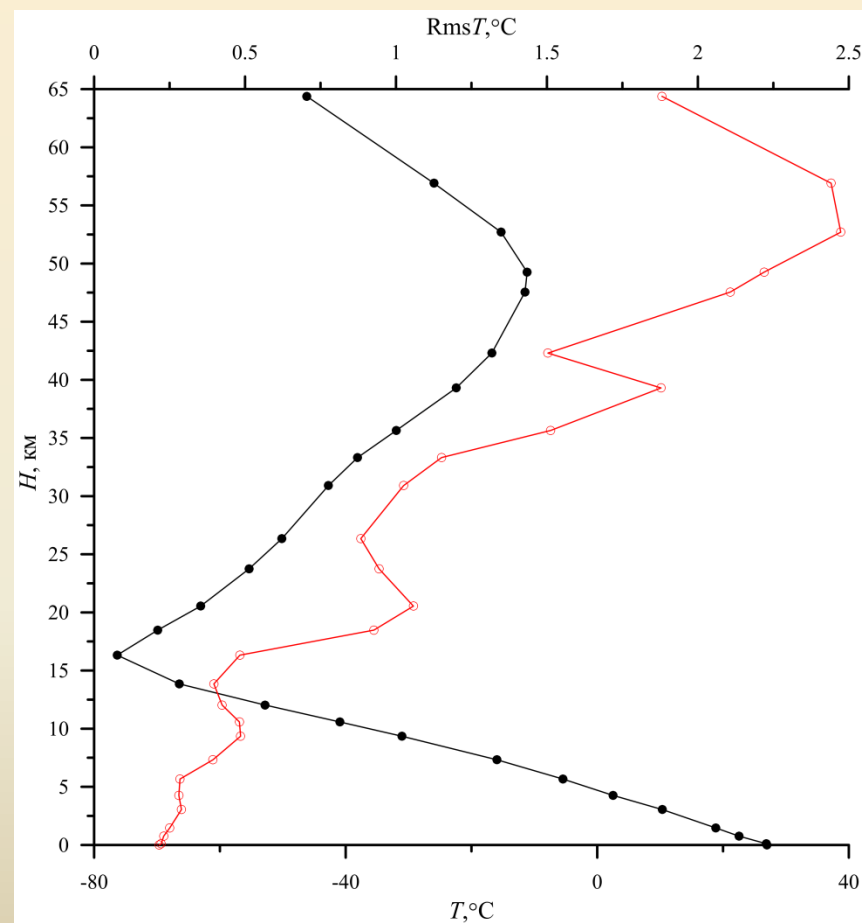


Июль

Вертикальные профили средних величин и средних квадратических отклонений за период (1979-2016 гг.) температур воздуха осредненных по тропической зоне Северного полушария в январе и июле.

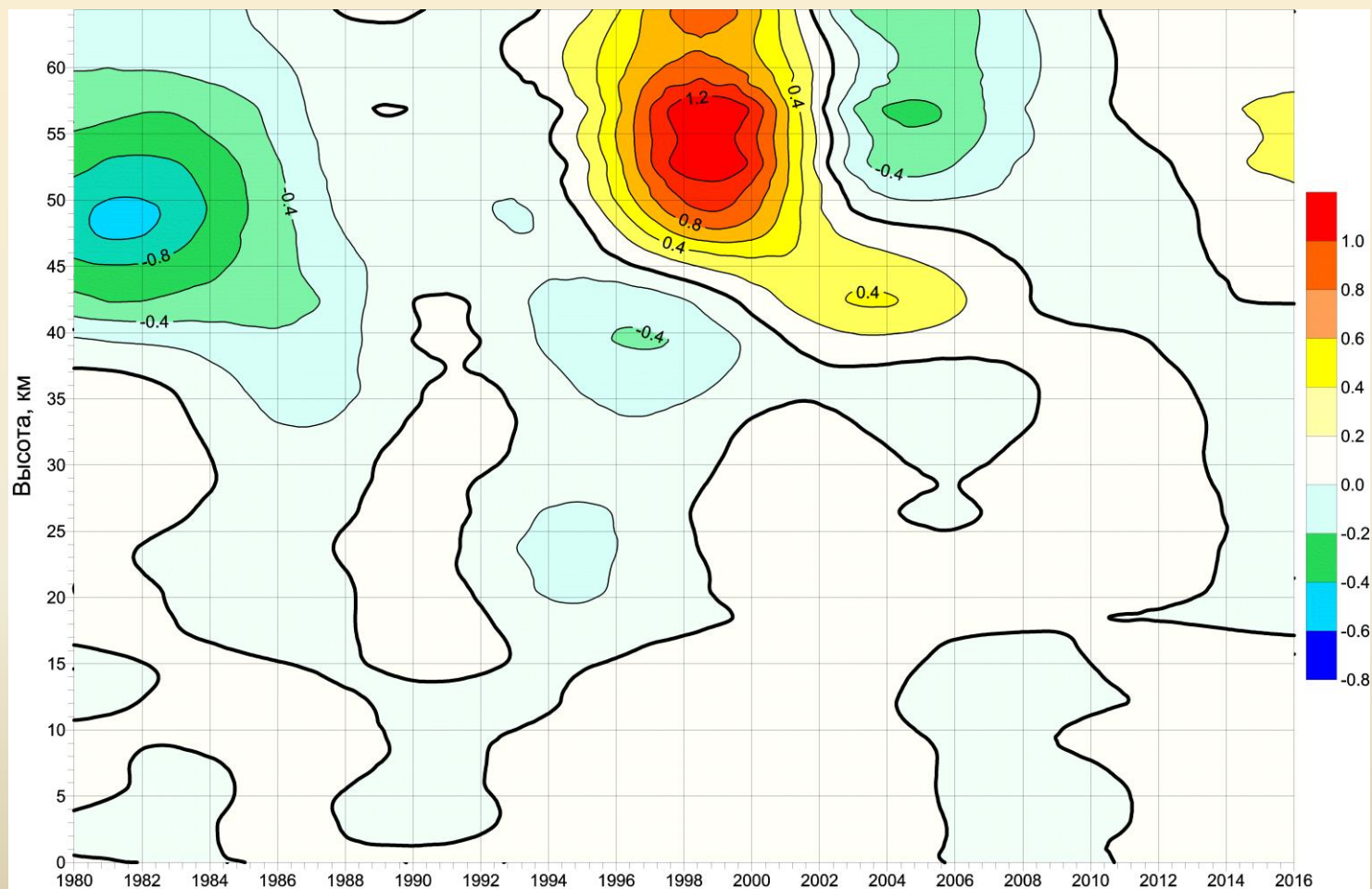


Январь

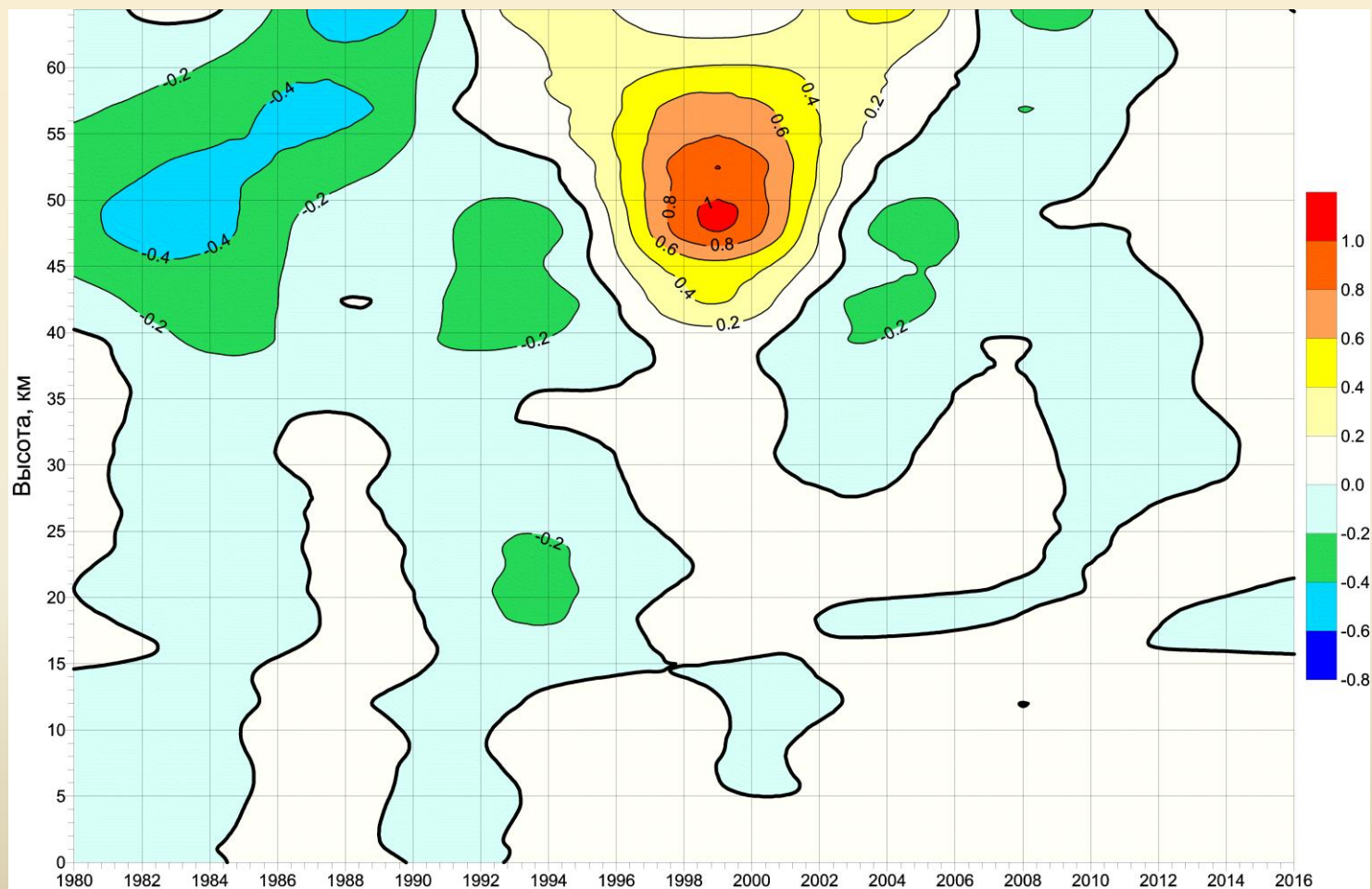


Июль

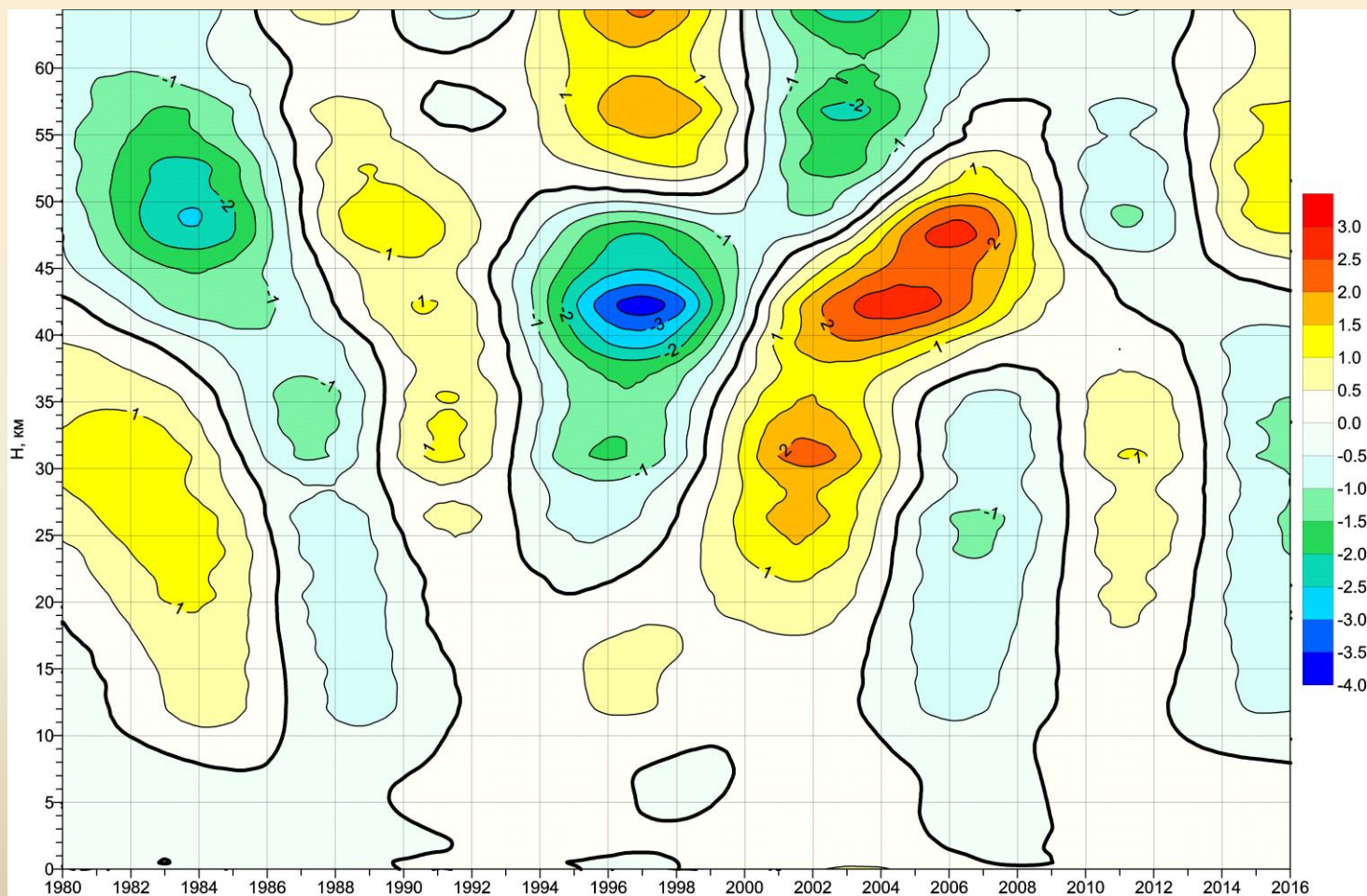
Вертикальный разрез многолетнего хода первых разностей НЧК с периодом более 10 лет температуры воздуха ($^{\circ}\text{C}/\text{год}$) Северного полушария. Январь



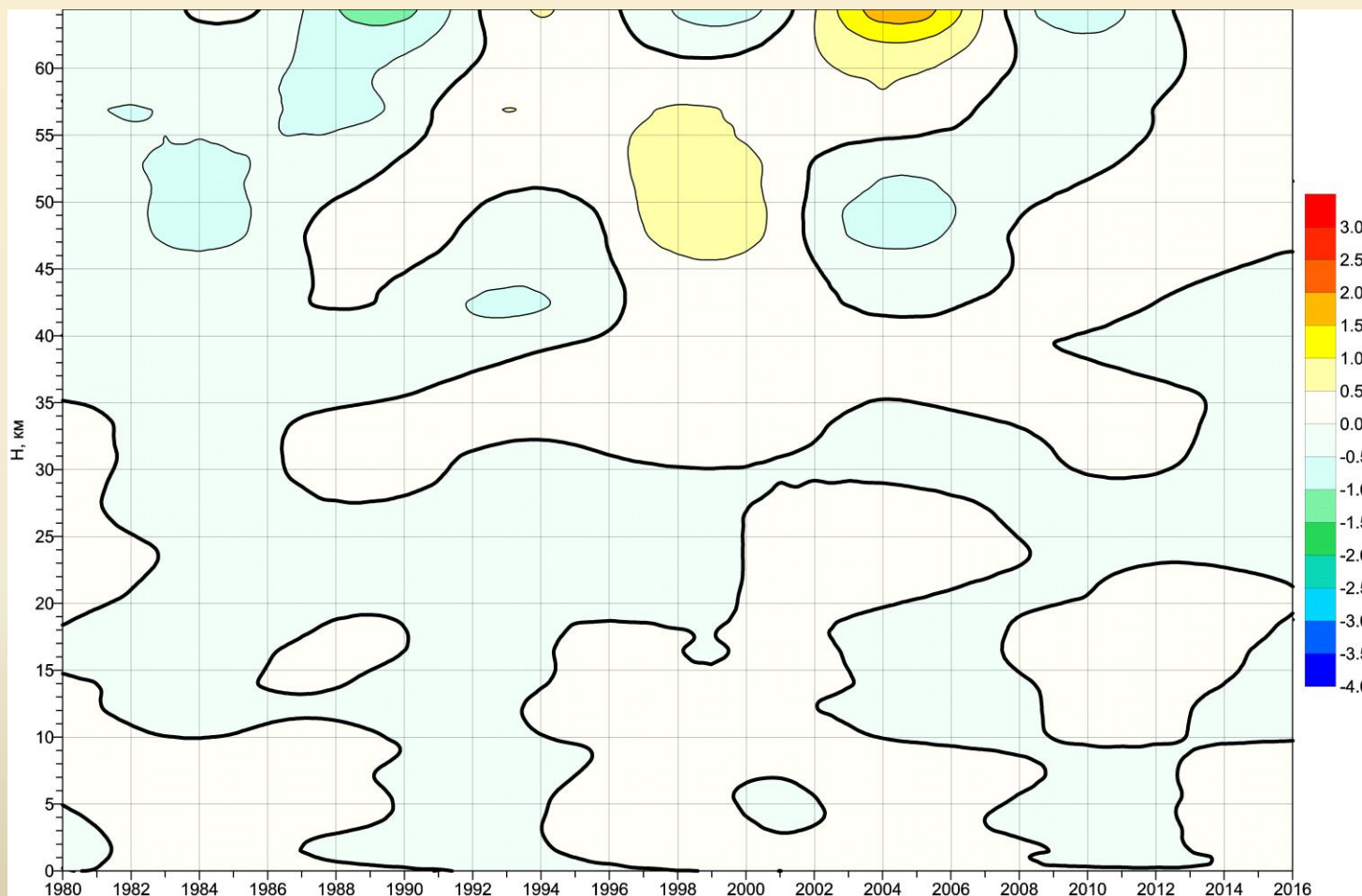
Вертикальный разрез многолетнего хода первых разностей НЧК с периодом более 10 лет температуры воздуха ($^{\circ}\text{C}/\text{год}$) Северного полушария. Июль



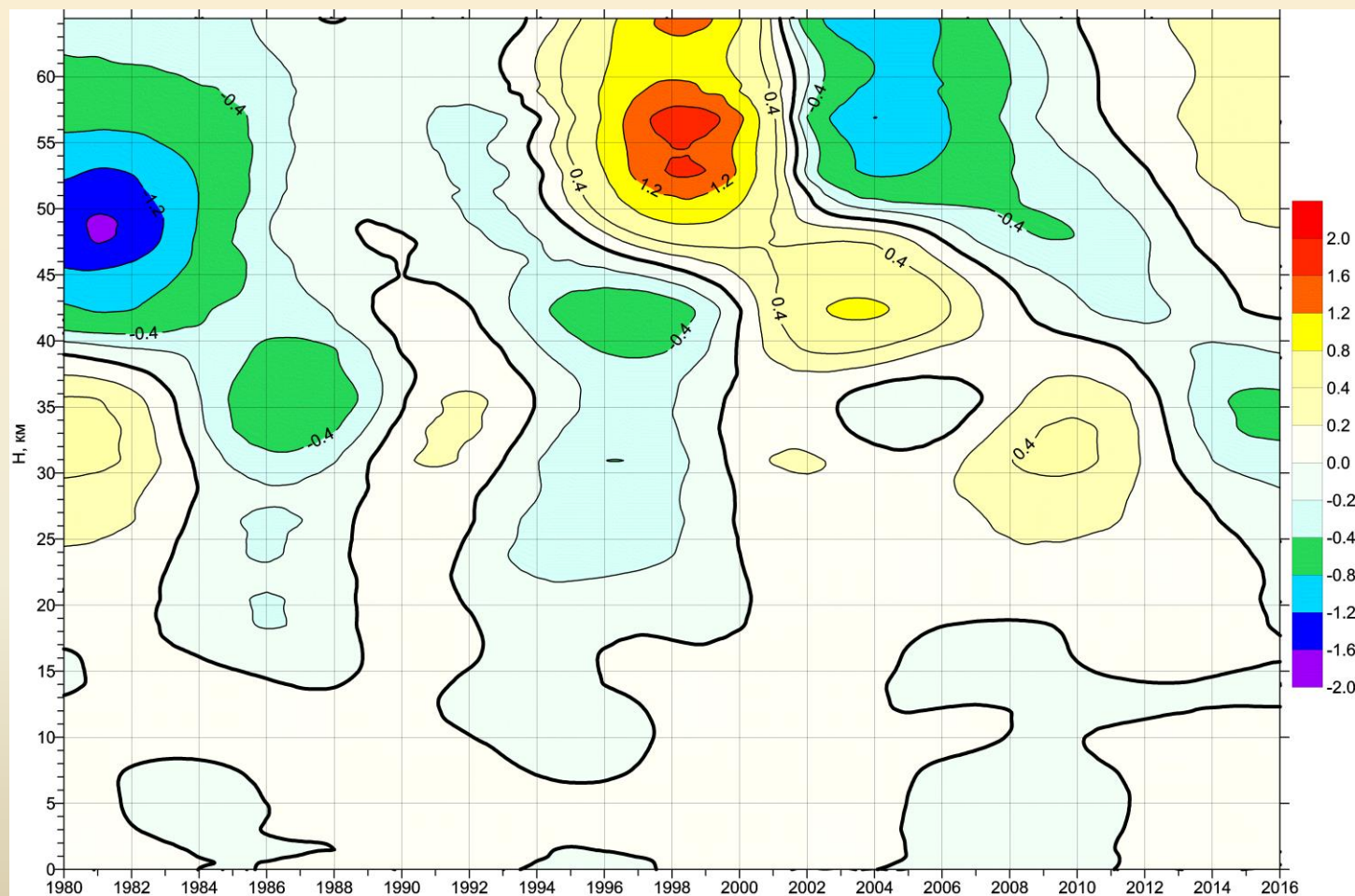
Вертикальный разрез многолетнего хода первых разностей НЧК с периодом более 10 лет температуры воздуха ($^{\circ}\text{C}/\text{год}$) полярной зоны Северного полушария.
Январь



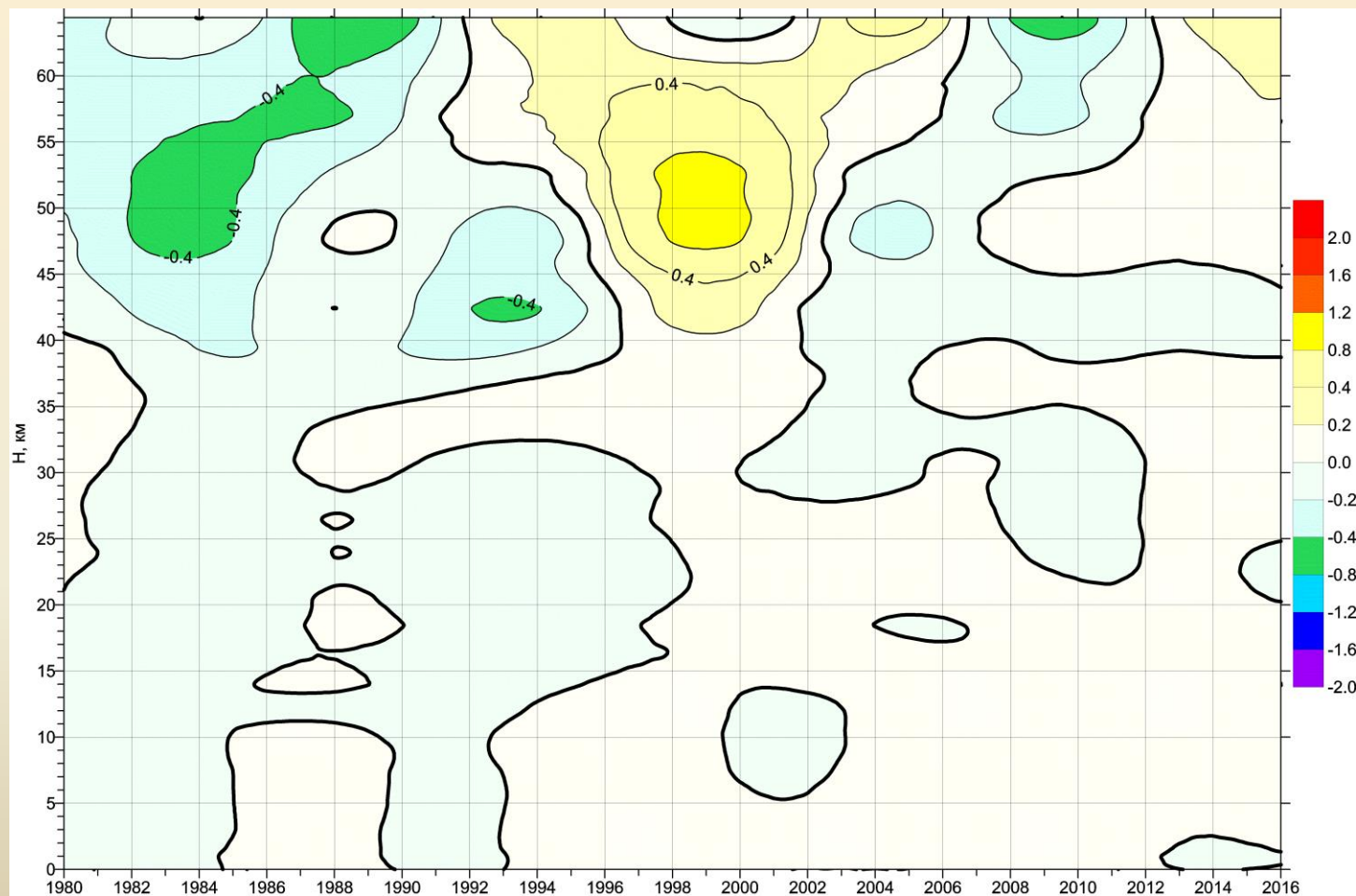
Вертикальный разрез многолетнего хода первых разностей НЧК с периодом более 10 лет температуры воздуха ($^{\circ}\text{C}/\text{год}$) полярной зоны Северного полушария.
Июль



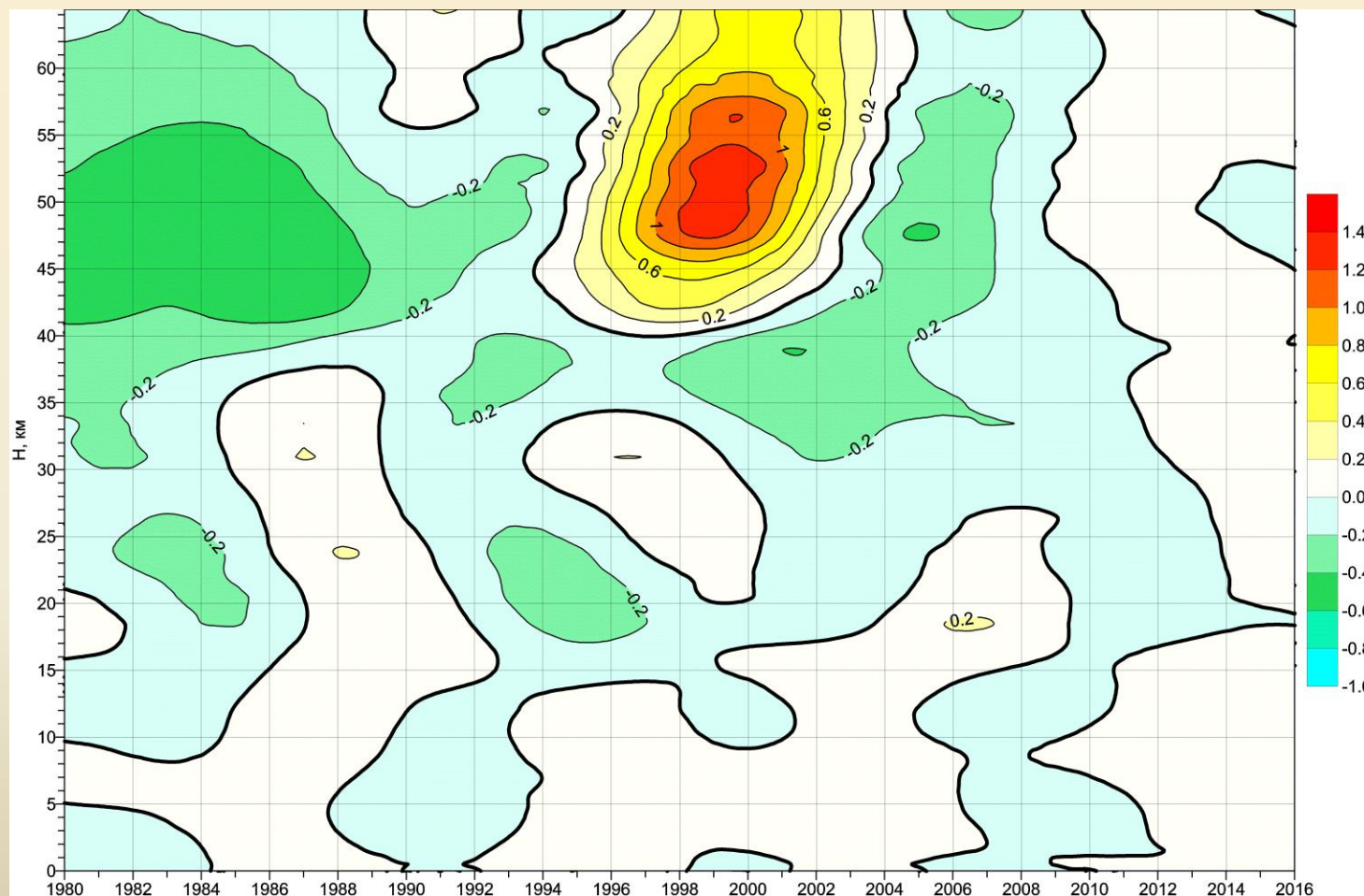
Вертикальный разрез многолетнего хода первых разностей НЧК с периодом более 10 лет температуры воздуха ($^{\circ}\text{C}/\text{год}$) умеренной зоны Северного полушария. Январь



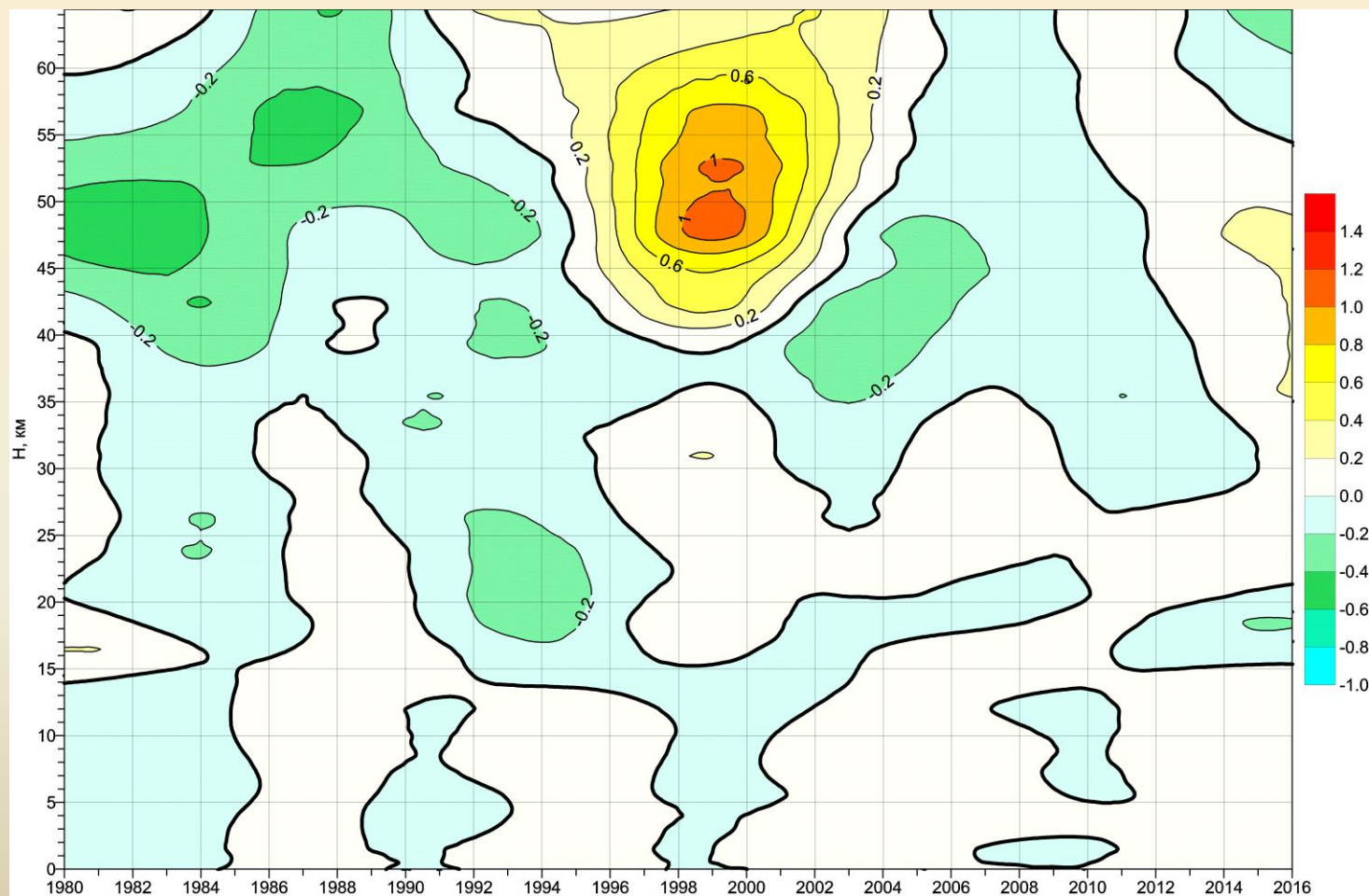
Вертикальный разрез многолетнего хода первых разностей НЧК с периодом более 10 лет температуры воздуха ($^{\circ}\text{C}/\text{год}$) умеренной зоны Северного полушария. Июль



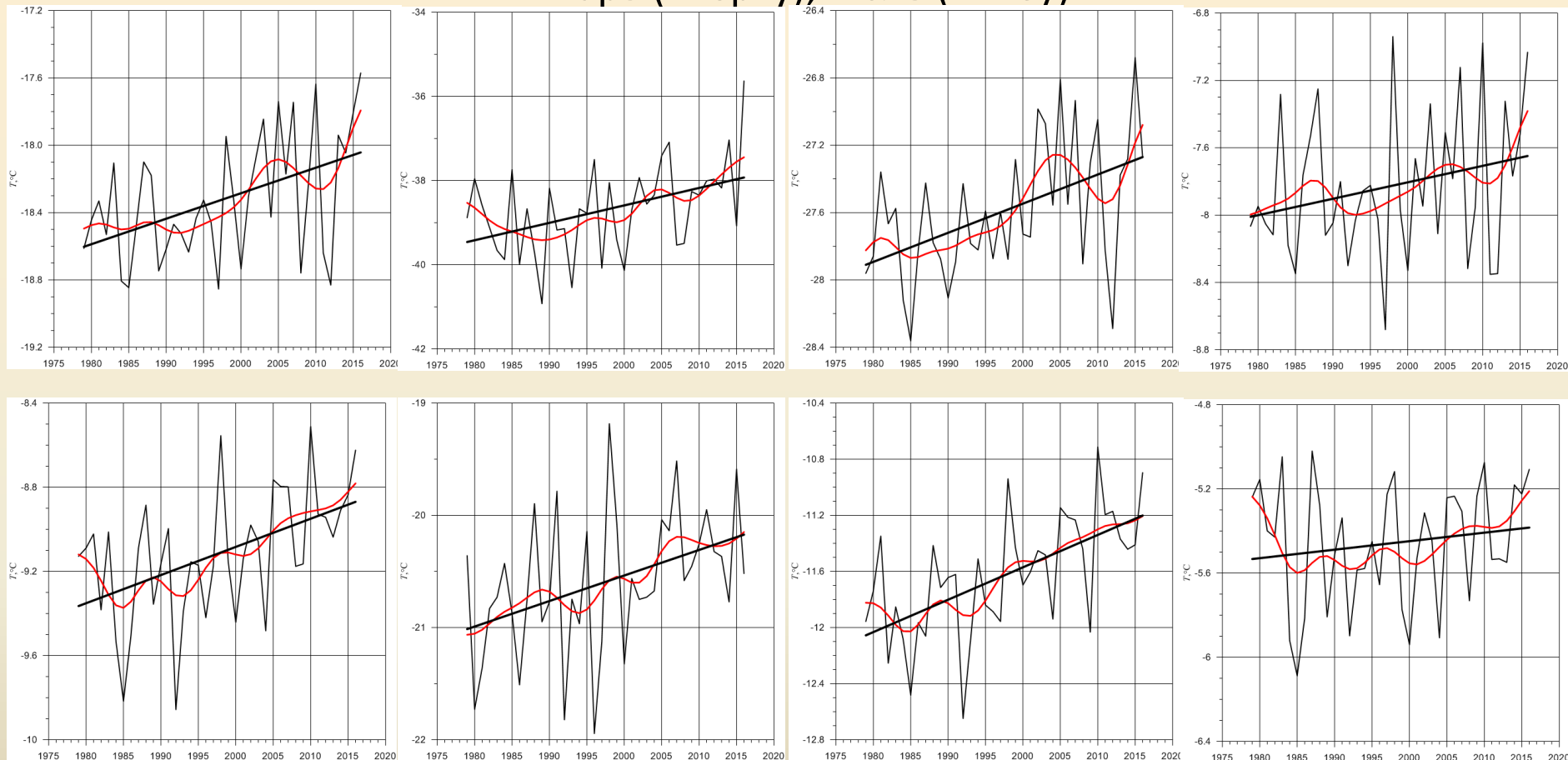
Вертикальный разрез многолетнего хода первых разностей НЧК с периодом более 10 лет температуры воздуха ($^{\circ}\text{C}/\text{год}$) тропической зоны Северного полушария. Январь



Вертикальный разрез многолетнего хода первых разностей НЧК с периодом более 10 лет температуры воздуха ($^{\circ}\text{C}/\text{год}$) тропической зоны Северного полушария. Июль



Многолетний ход температуры воздуха ($^{\circ}\text{C}$) на уровне 500 гПа.
Исходный ряд, линейный тренд, НЧК с периодом более 10 лет
Январь (вверху), июль (внизу)



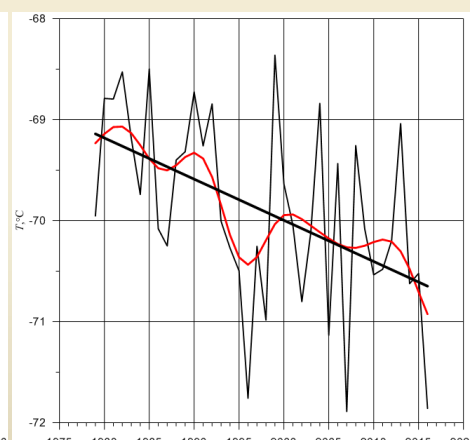
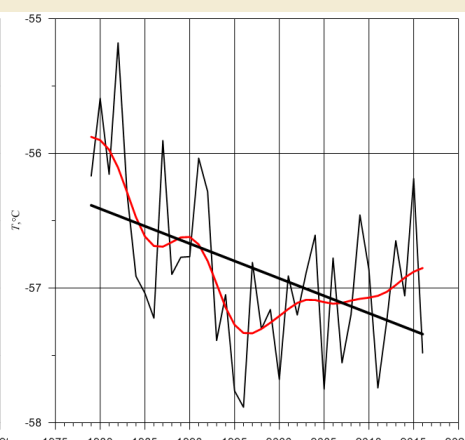
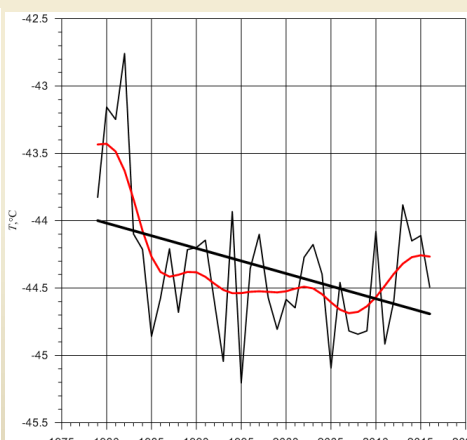
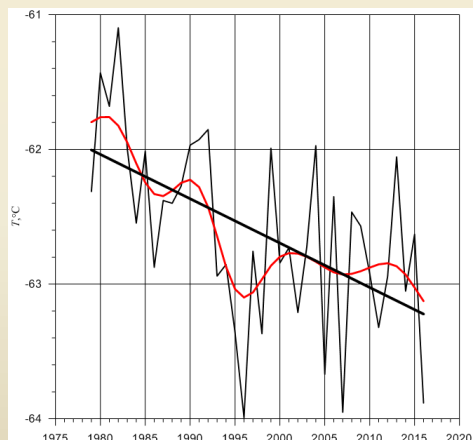
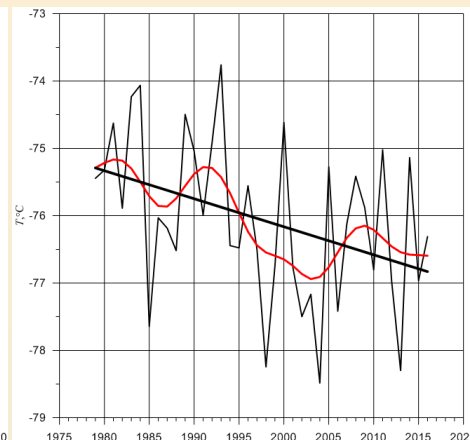
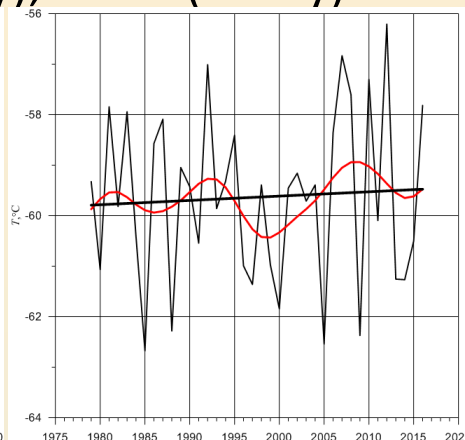
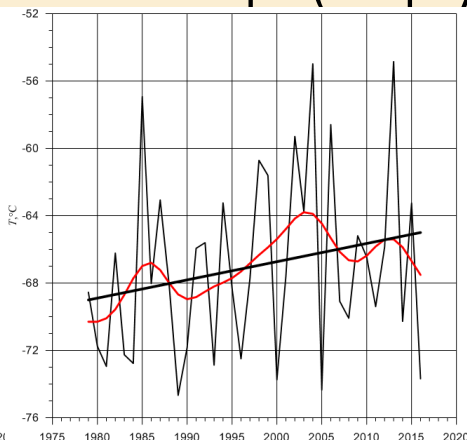
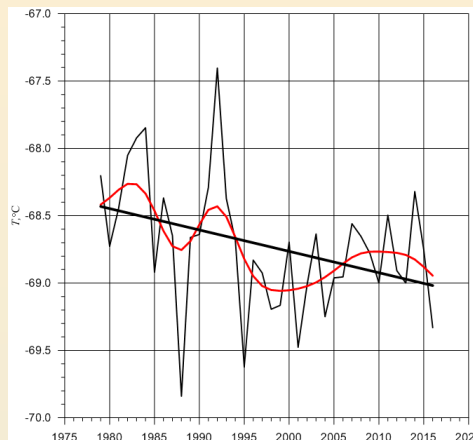
Северное полушарие

Полярная зона

Умеренная зона

Тропическая зона

Многолетний ход температуры воздуха ($^{\circ}\text{C}$) на уровне 70 гПа.
Исходный ряд, линейный тренд, НЧК с периодом более 10 лет
Январь (вверху), июль (внизу)



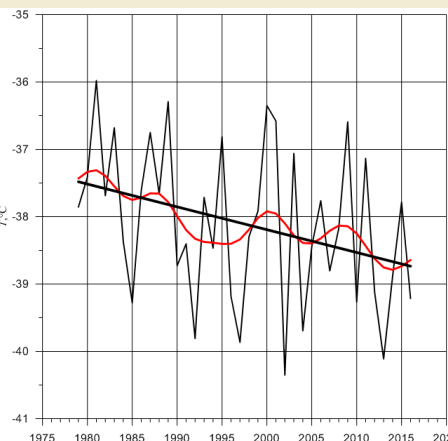
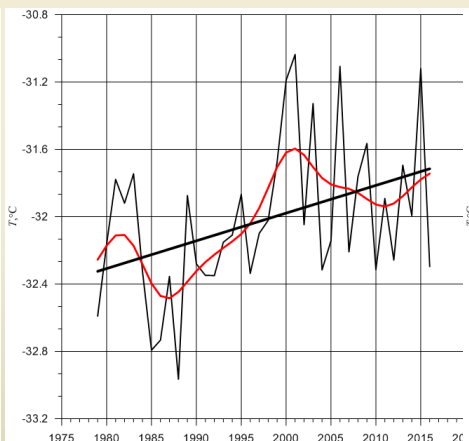
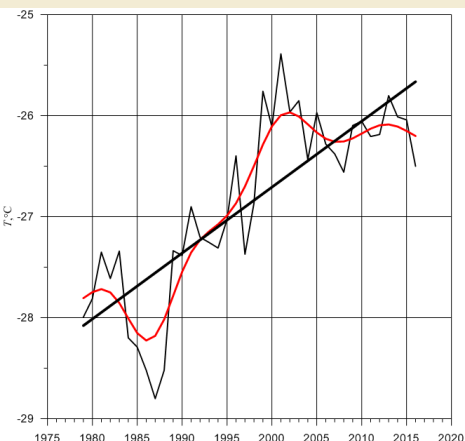
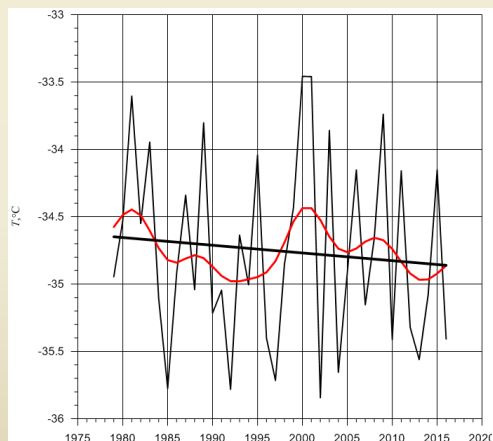
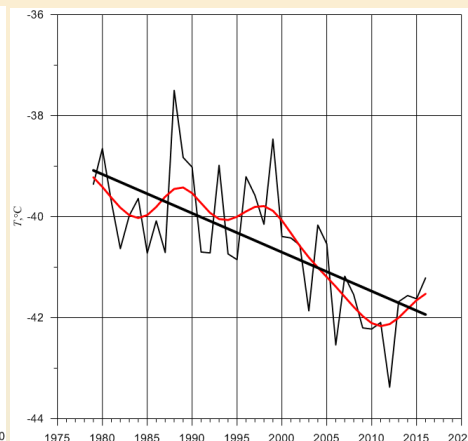
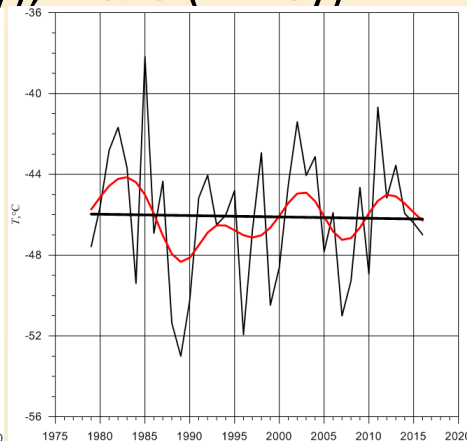
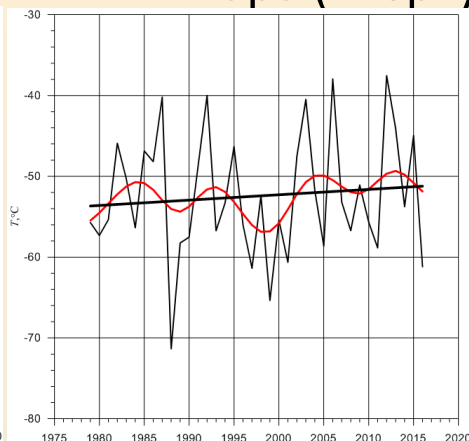
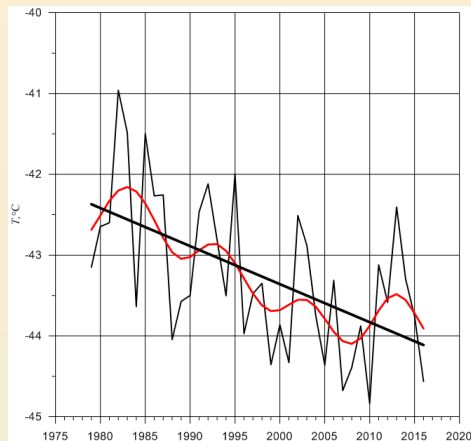
Северное полушарие

Полярная зона

Умеренная зона

Тропическая зона

Многолетний ход температуры воздуха ($^{\circ}\text{C}$) на уровне 7 гПа.
Исходный ряд, линейный тренд, НЧК с периодом более 10 лет
Январь (вверху), июль (внизу)



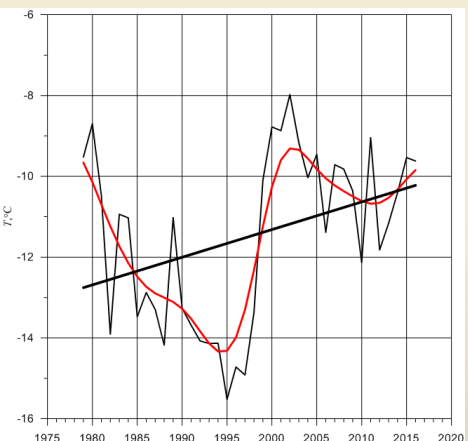
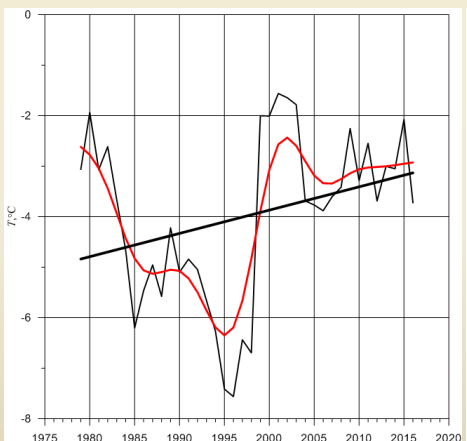
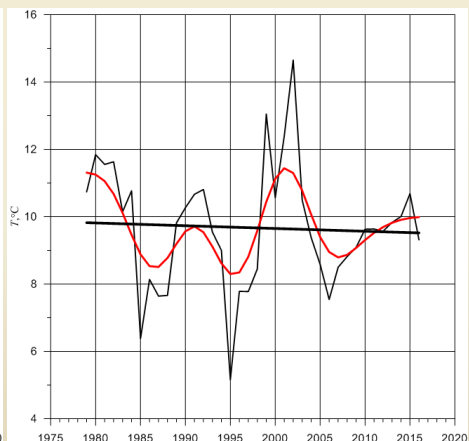
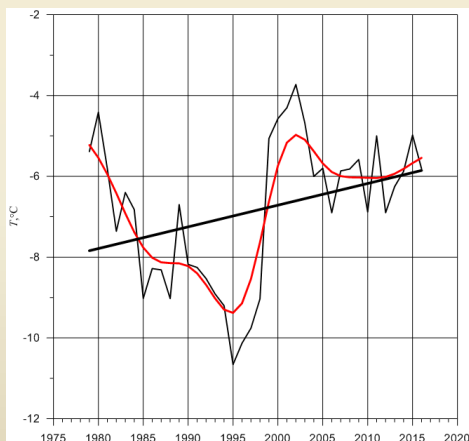
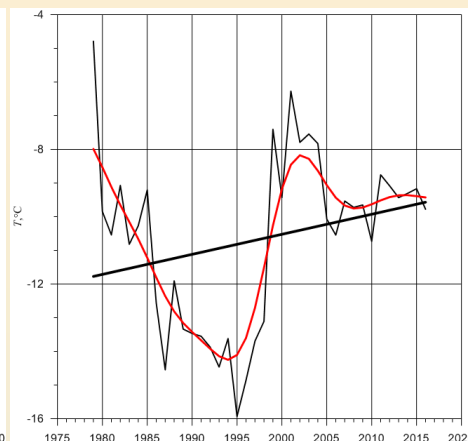
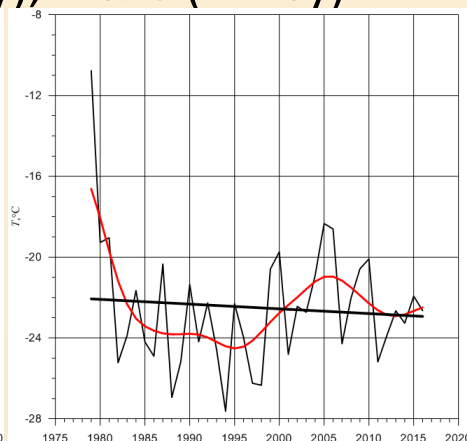
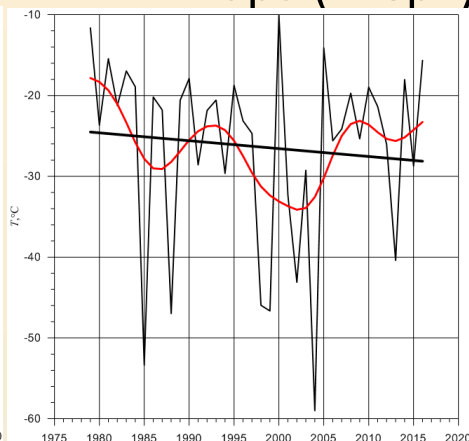
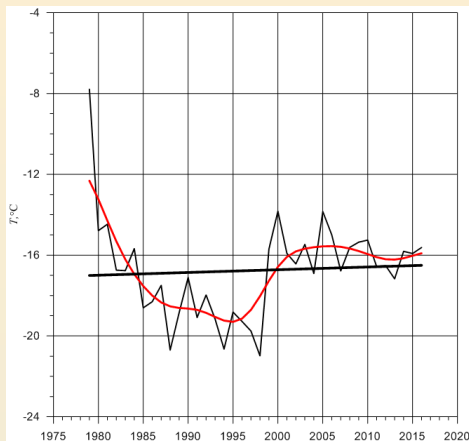
Северное полушарие

Полярная зона

Умеренная зона

Тропическая зона

Многолетний ход температуры воздуха (°C) на уровне 1 гПа.
Исходный ряд, линейный тренд, НЧК с периодом более 10 лет
Январь (вверху), июль (внизу)



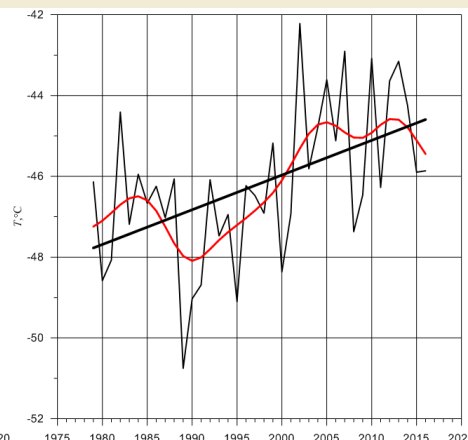
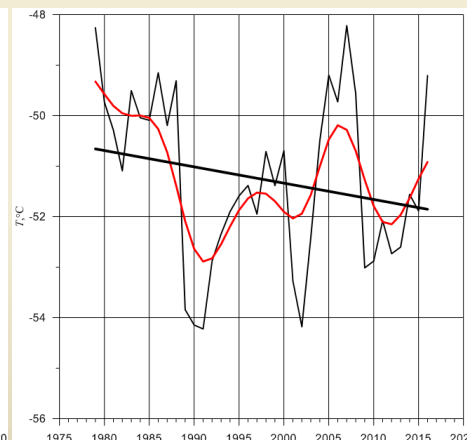
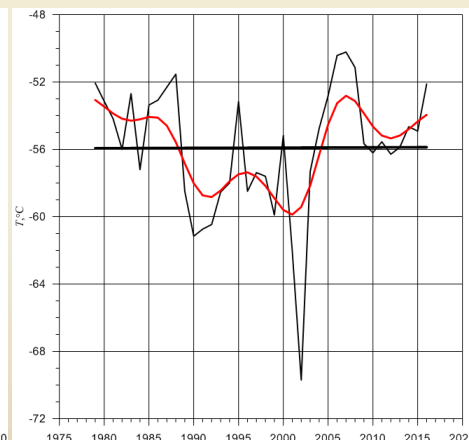
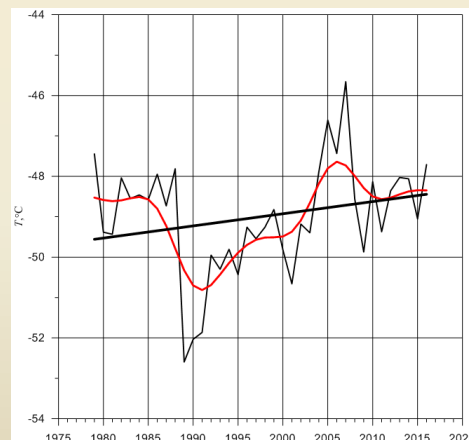
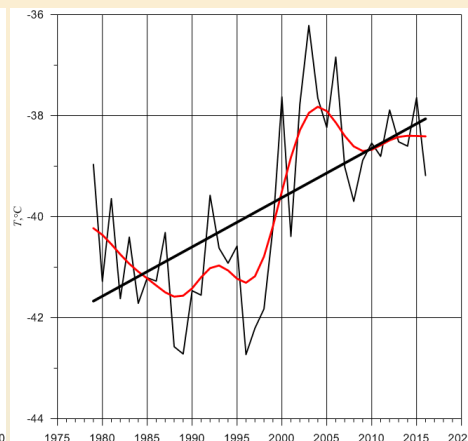
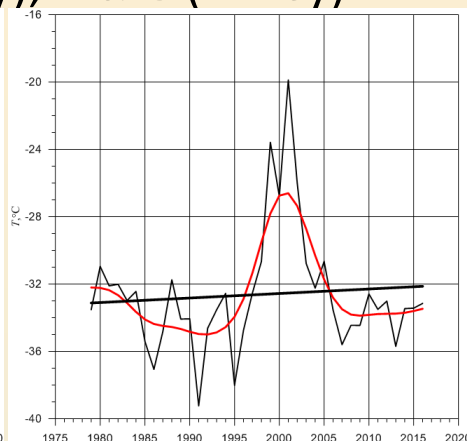
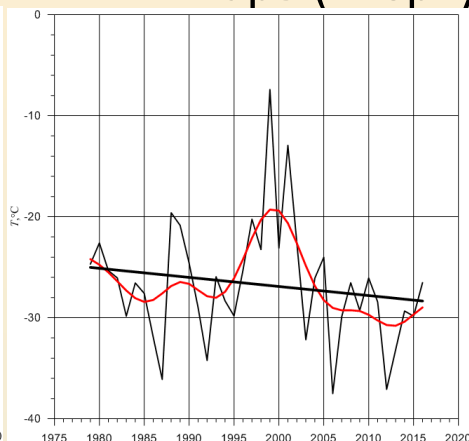
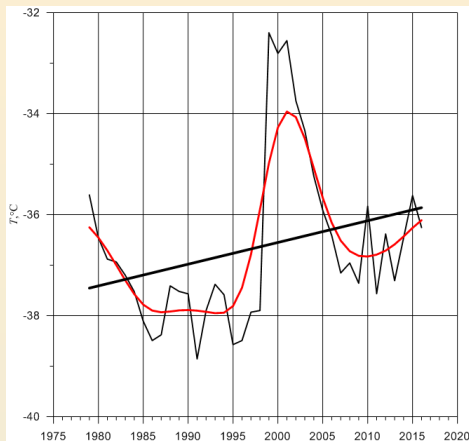
Северное полушарие

Полярная зона

Умеренная зона

Тропическая зона

Многолетний ход температуры воздуха ($^{\circ}\text{C}$) на уровне 0,1 гПа.
Исходный ряд, линейный тренд, НЧК с периодом более 10 лет
Январь (вверху), июль (внизу)



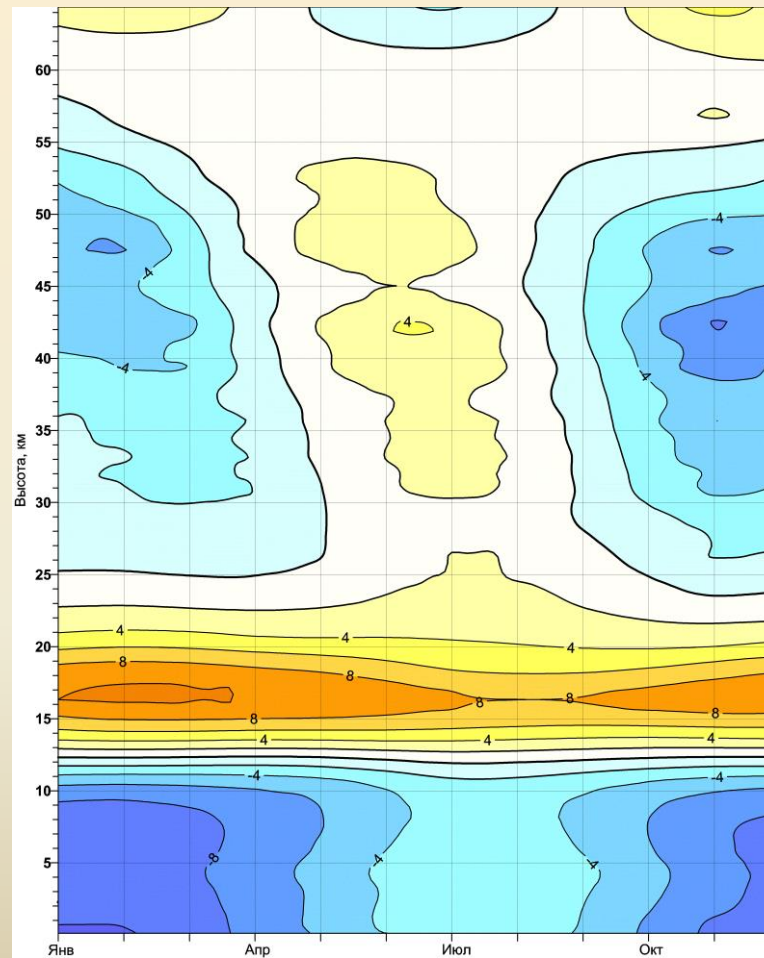
Северное полушарие

Полярная зона

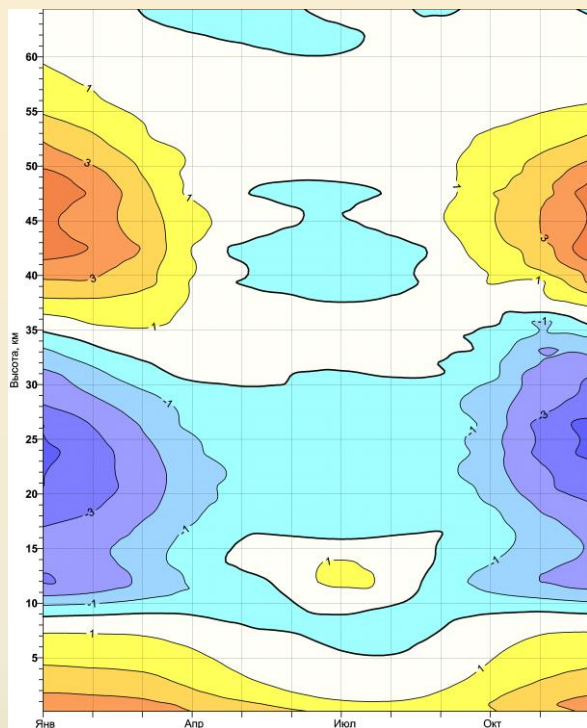
Умеренная зона

Тропическая зона

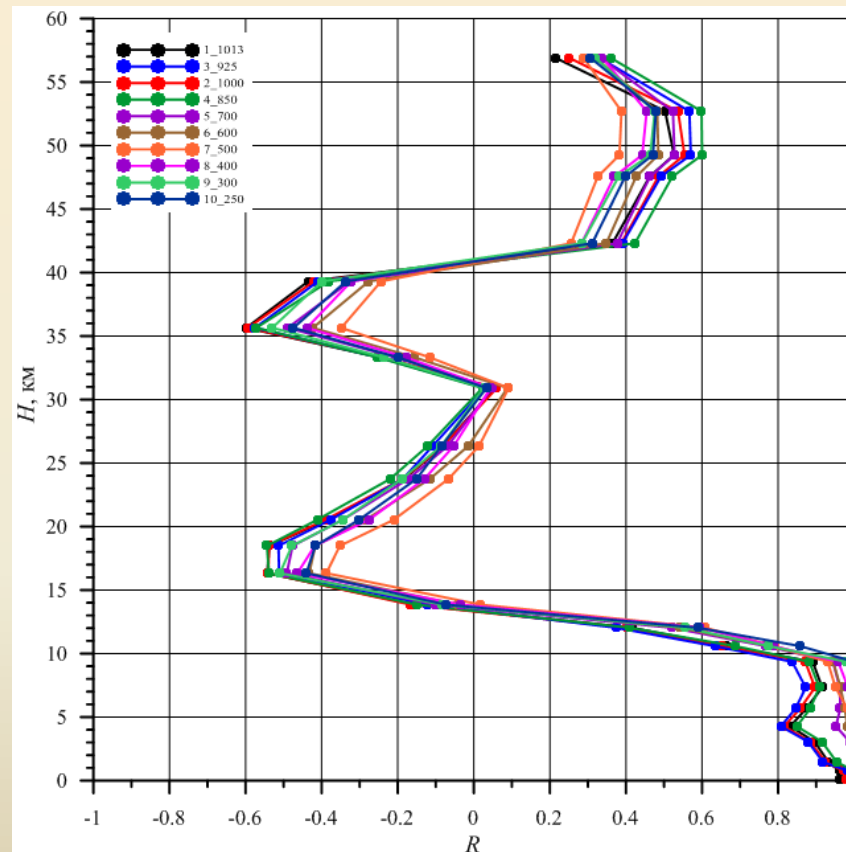
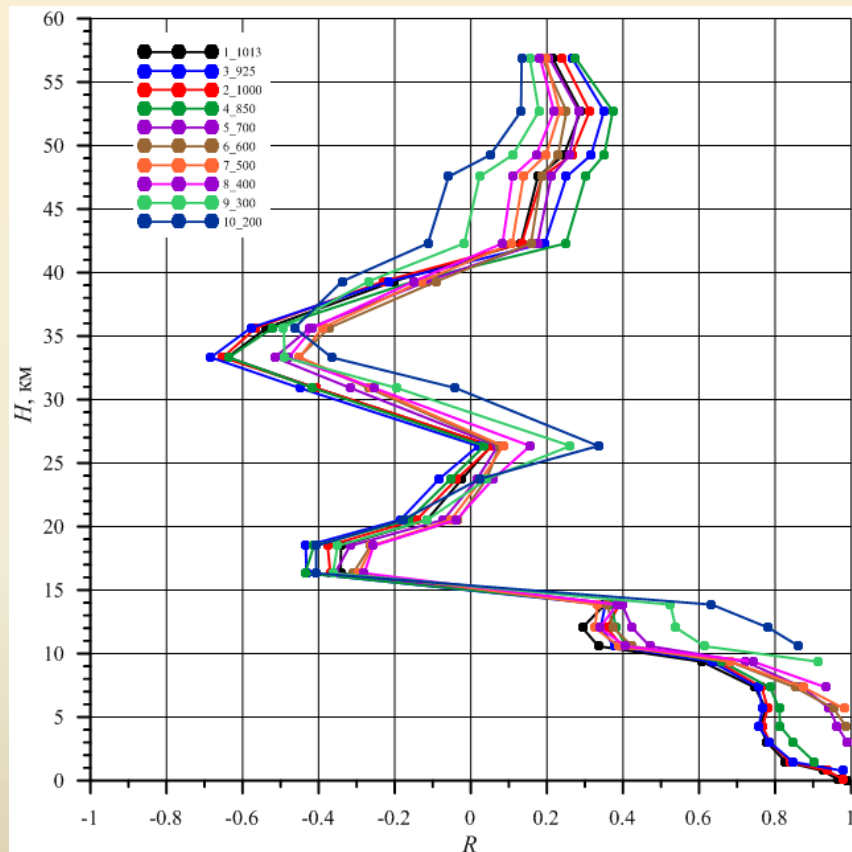
Разности температур воздуха осредненных по территориям Северного полушария и умеренной зоны СП (°C).



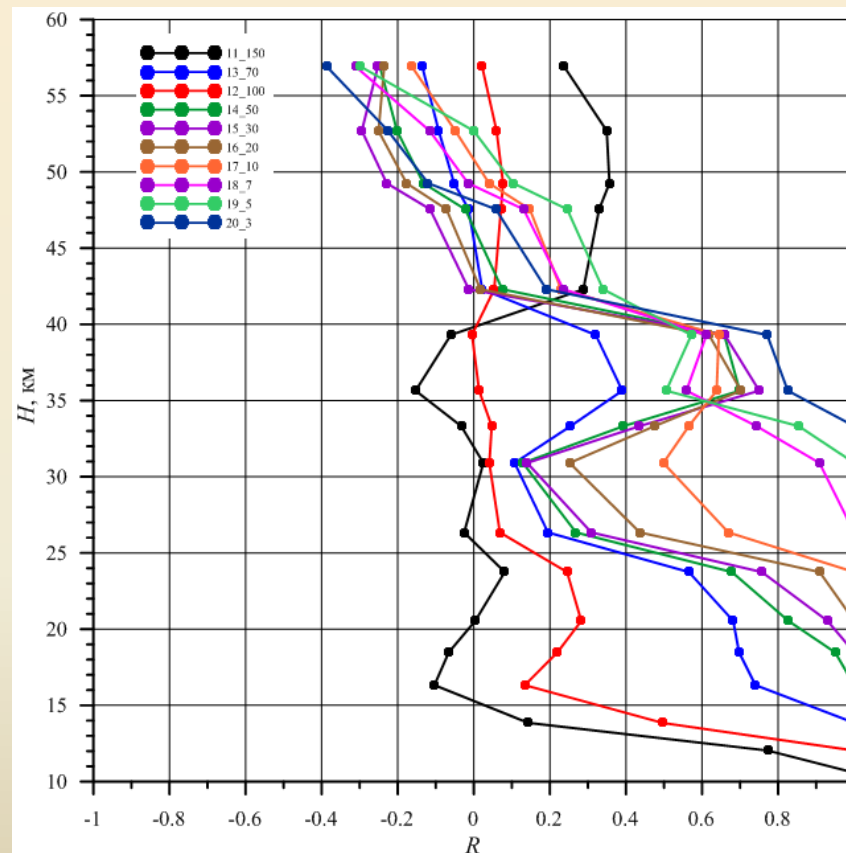
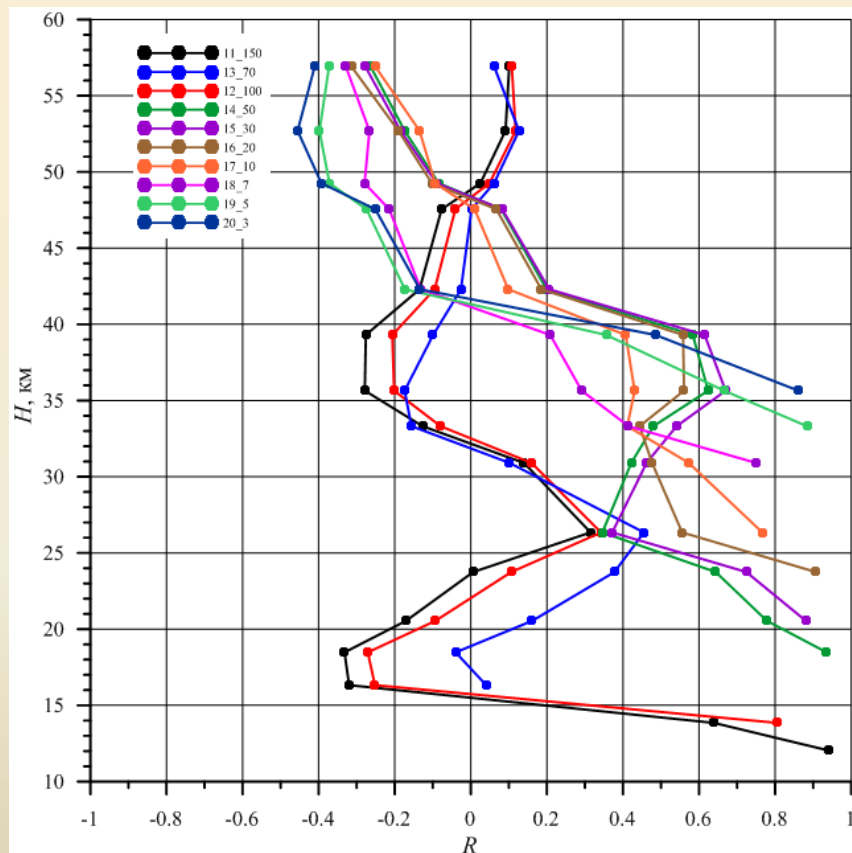
Разности температур воздуха осредненных по территориям Атлантико-Европейского, Азиатско-Тихоокеанского и Американского секторов умеренной зоны СП и всей умеренной зоны ($^{\circ}\text{C}$).



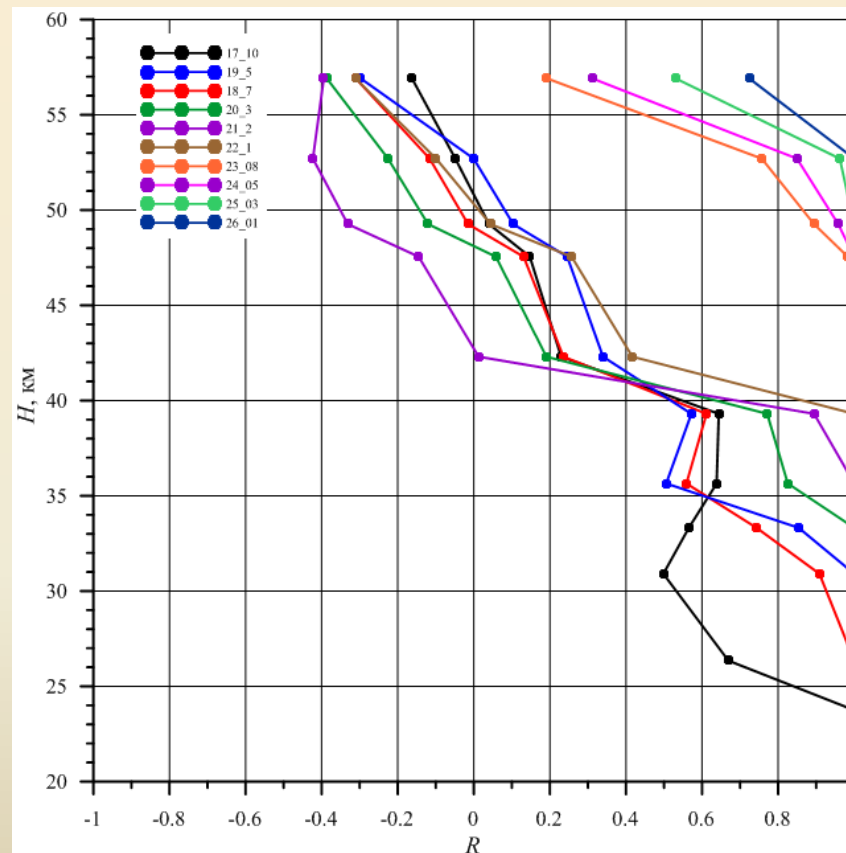
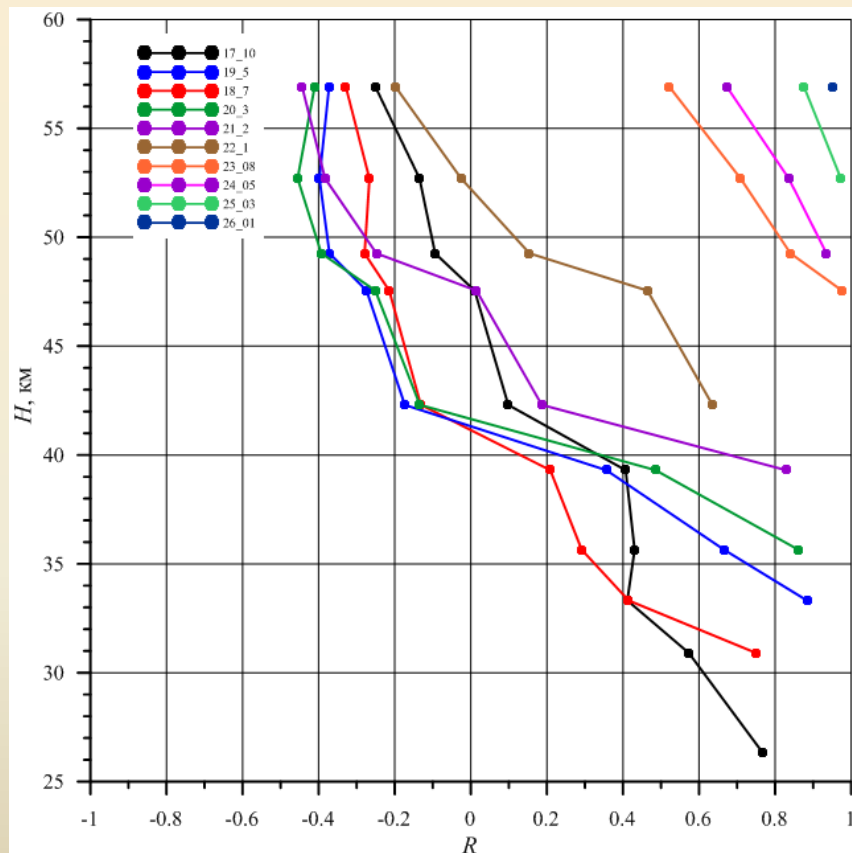
Коэффициенты корреляции температуры воздуха на некотором уровне с температурой воздуха на всех вышележащих уровнях за период (1979-2016 гг.). Северное полушарие. Тропосфера, январь (слева), июль (справа).



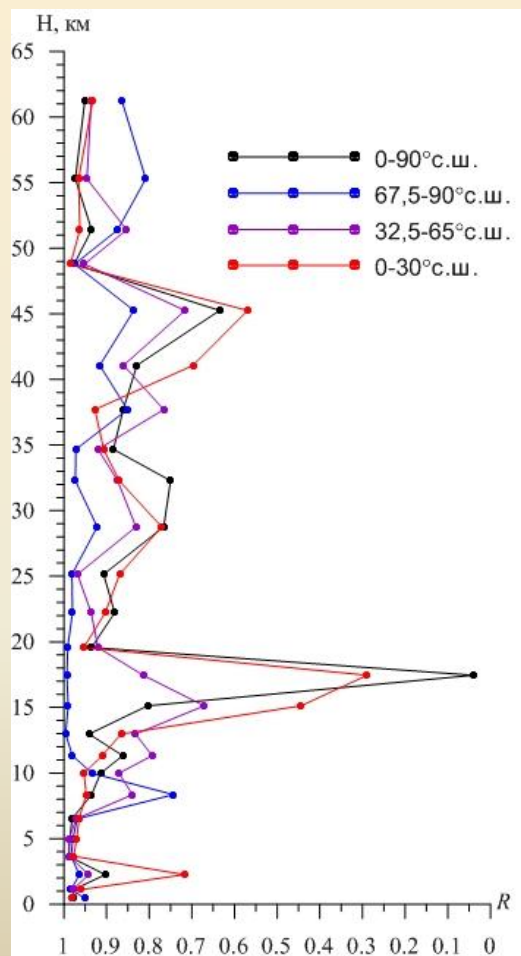
Коэффициенты корреляции температуры воздуха на некотором уровне с температурой воздуха на всех вышележащих уровнях за период (1979-2016 гг.). Северное полушарие.
Нижняя стратосфера, январь (слева), июль (справа).



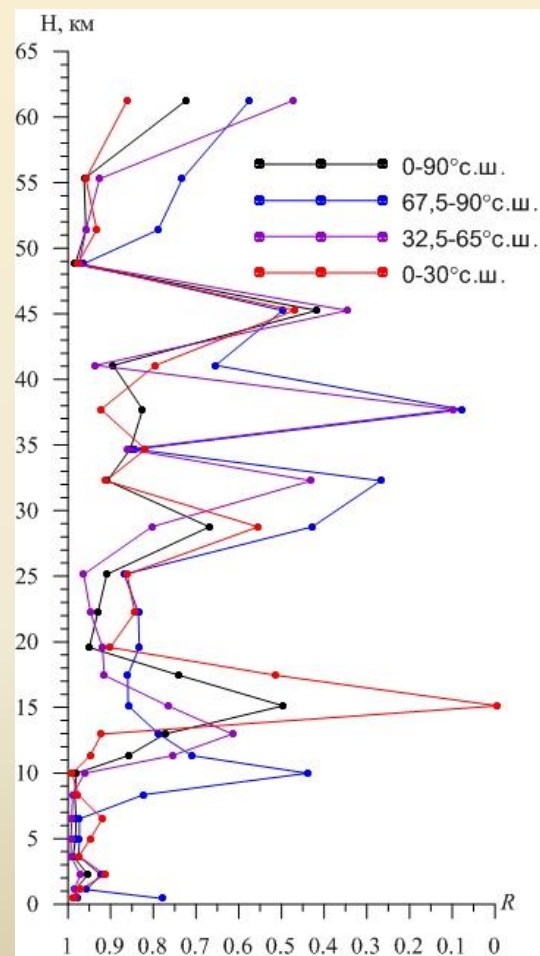
Коэффициенты корреляции температуры воздуха на некотором уровне с температурой воздуха на всех вышележащих уровнях за период (1979-2016 гг.). Северное полушарие. Верхняя стратосфера, январь (слева), июль (справа).



Коэффициенты корреляции временных рядов осредненной по СП (0-90°с.ш.), полярной (65-90°с.ш.) и умеренной (30-65°с.ш.) зонам январской (слева) и июльской (справа) температур воздуха (1979-2016 гг.) на соседних изобарических поверхностях.

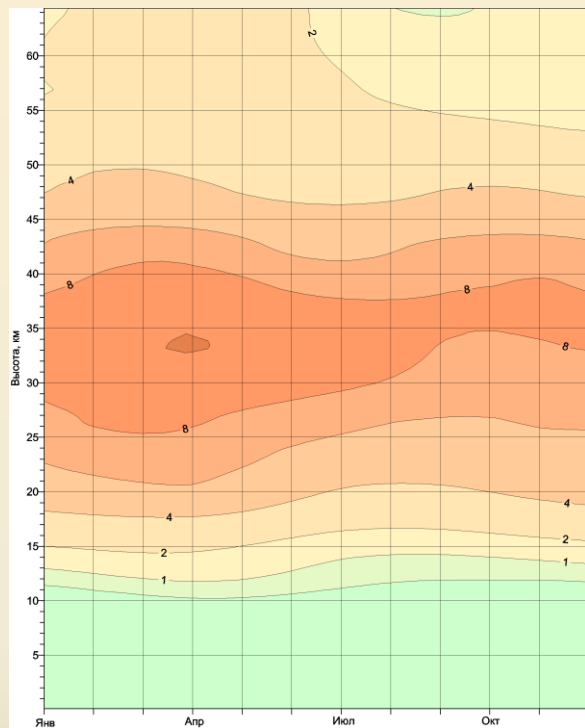


Январь

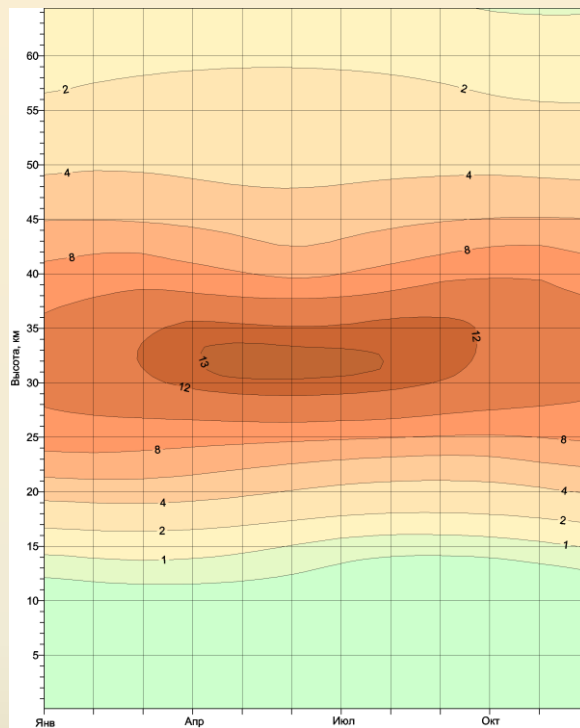


Июль

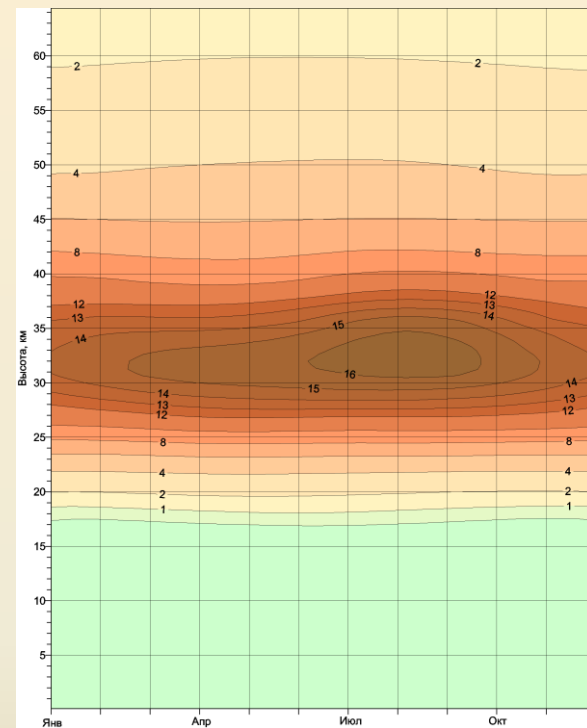
Вертикальный разрез среднего за 1979 – 2016 гг. годового хода отношения смеси (10^{-6}) в слое 0,1 – 65 км.



Полярная зона (67,5 – 90° с.ш.)

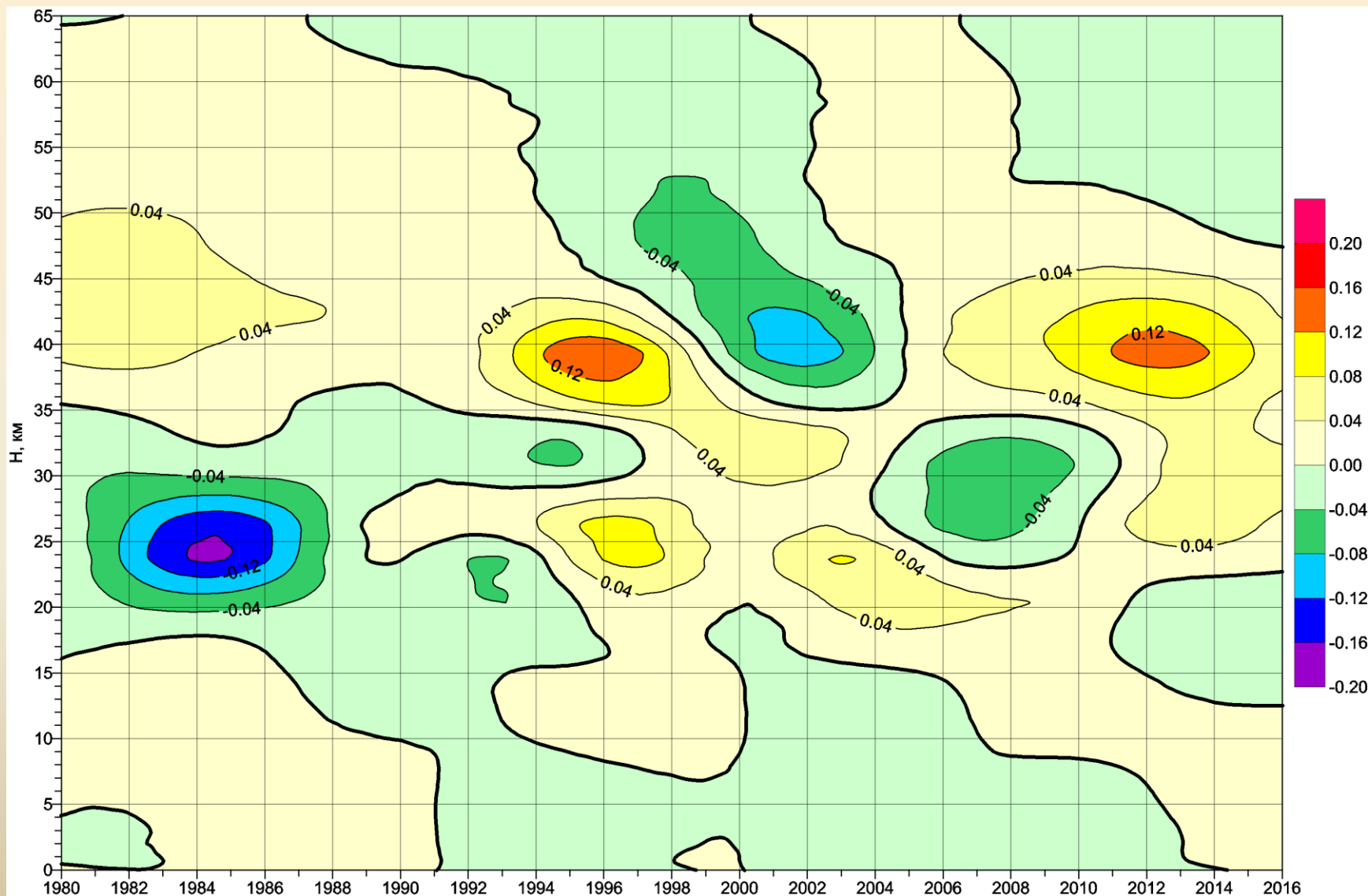


Умеренная зона (32,5 – 65° с.ш.)

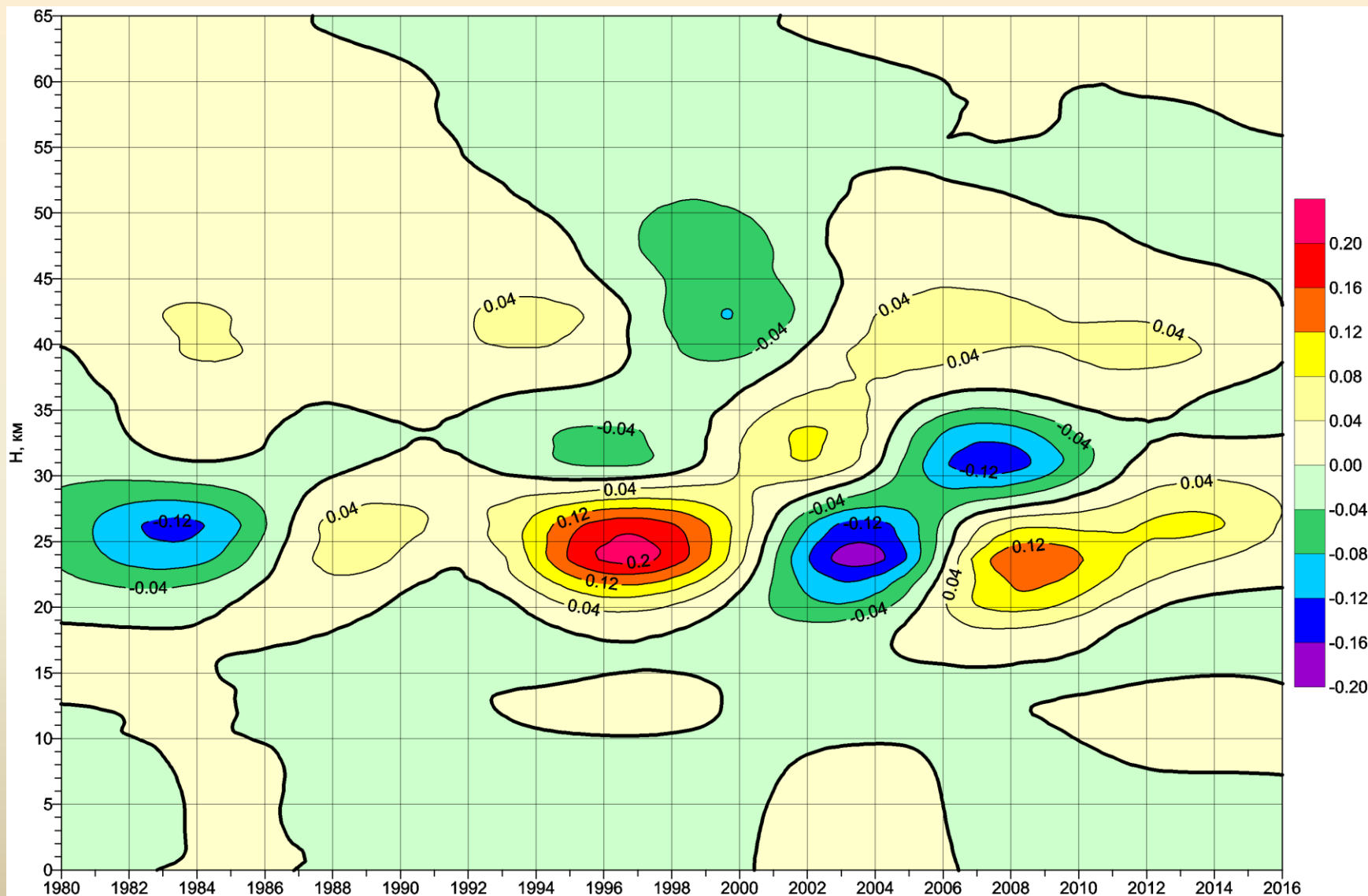


Тропическая зона (0 – 30° с.ш.)

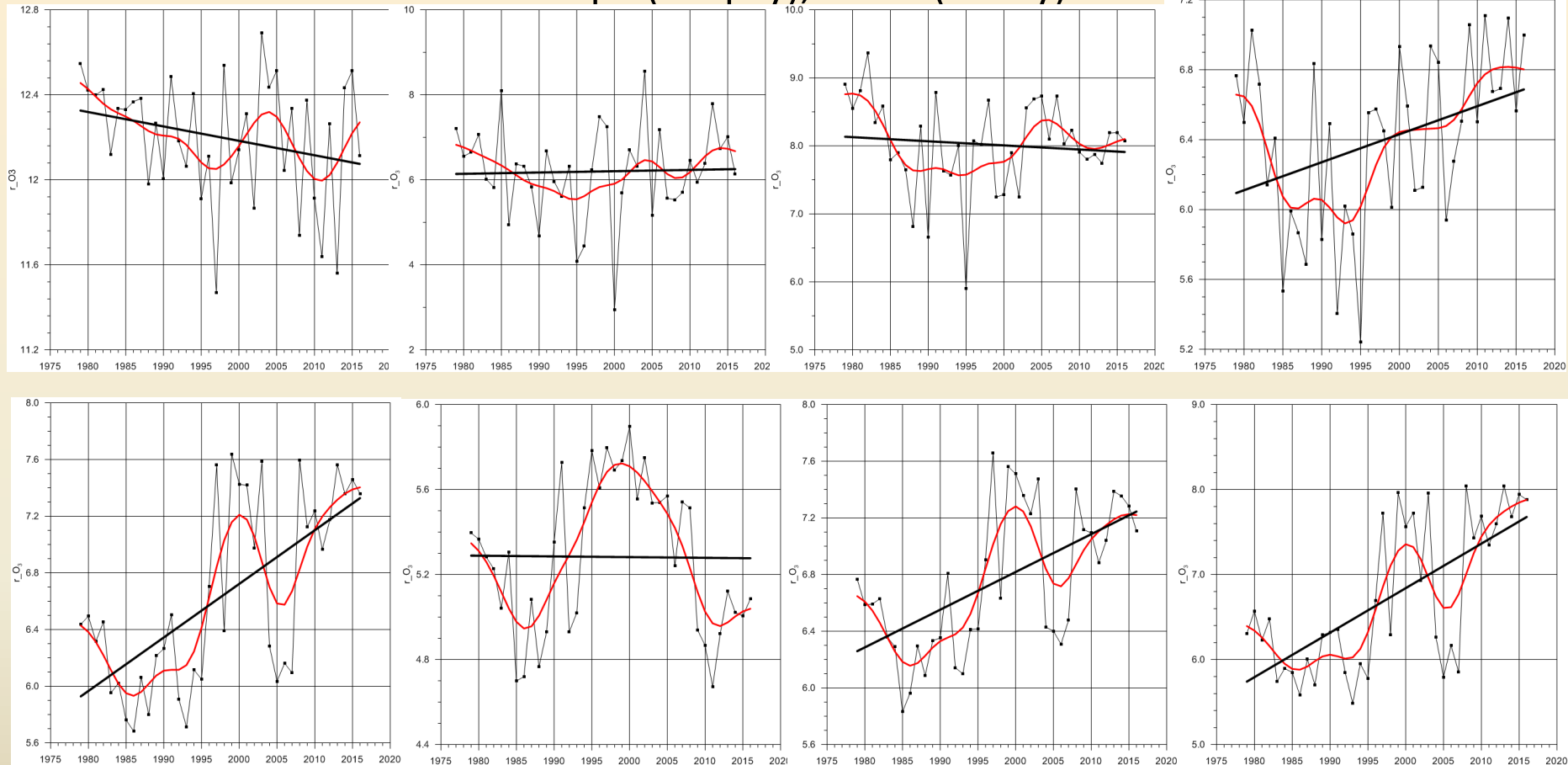
Вертикальный разрез многолетнего хода первых разностей НЧК с периодом более 10 лет отношения смеси озона ($10^{-6}/\text{год}$) Северного полушария. Январь



Вертикальный разрез многолетнего хода первых разностей НЧК с периодом более 10 лет отношения смеси озона (10^{-6} /год) Северного полушария. Июль



Многолетний ход отношения смеси озона ($10^{-6}/\text{год}$) на уровне 30 гПа.
Исходный ряд, линейный тренд, НЧК с периодом более 10 лет
Январь (вверху), июль (внизу)



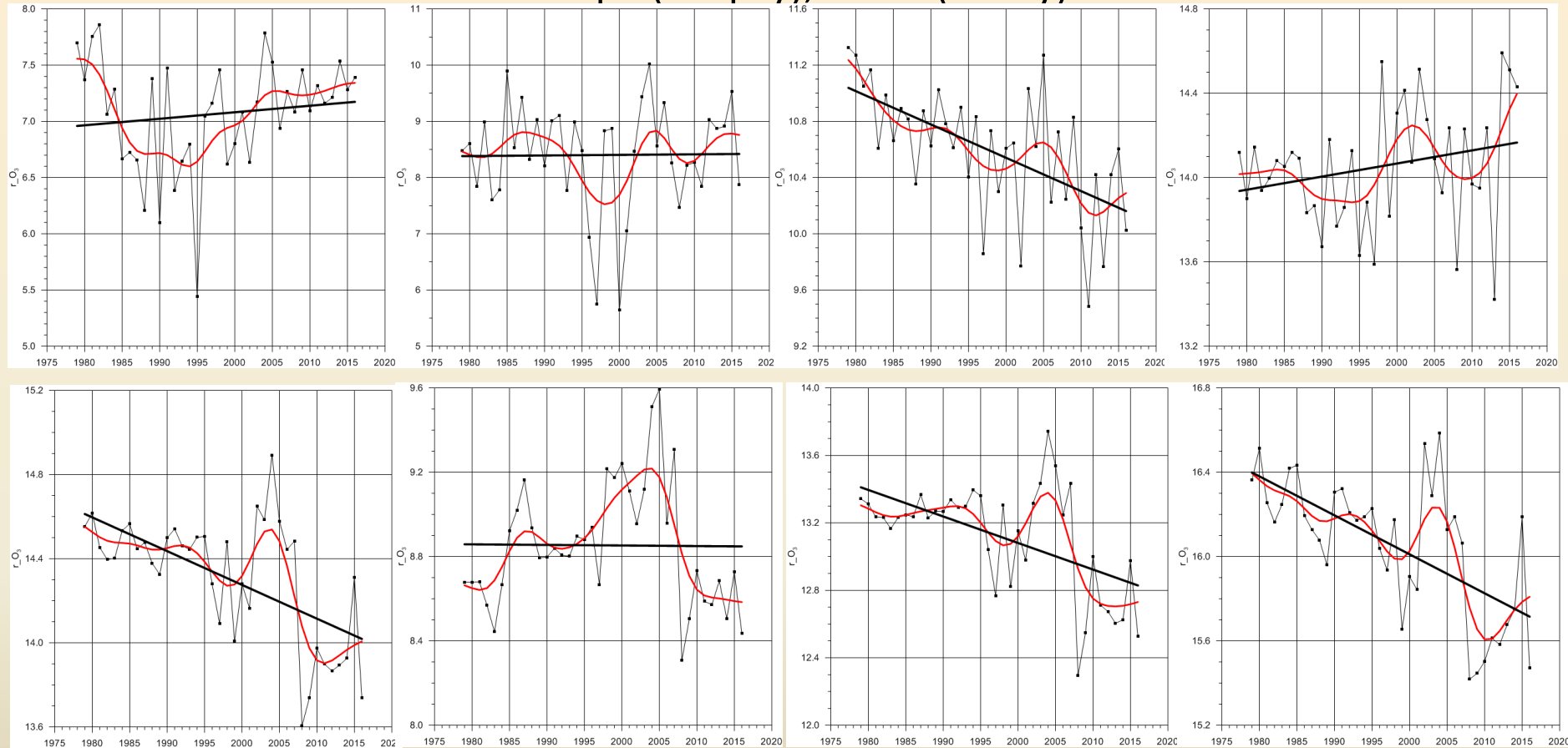
Северное полушарие

Полярная зона

Умеренная зона

Тропическая зона

Многолетний ход отношения смеси озона ($10^{-6}/\text{год}$) на уровне 10 гПа.
Исходный ряд, линейный тренд, НЧК с периодом более 10 лет
Январь (вверху), июль (внизу)



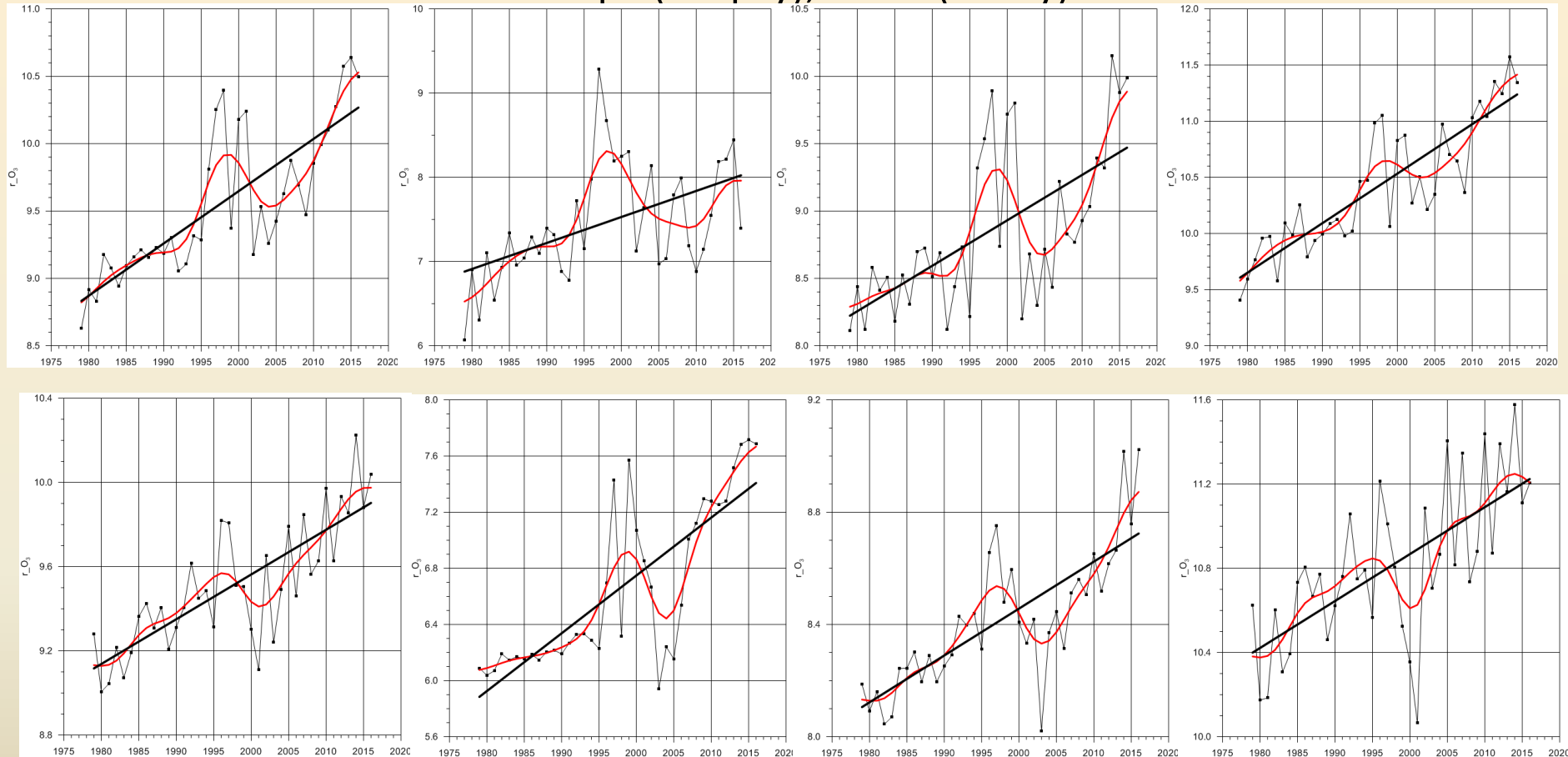
Северное полушарие

Полярная зона

Умеренная зона

Тропическая зона

Многолетний ход отношения смеси озона (10^{-6} /год) на уровне 3 гПа.
Исходный ряд, линейный тренд, НЧК с периодом более 10 лет
Январь (вверху), июль (внизу)



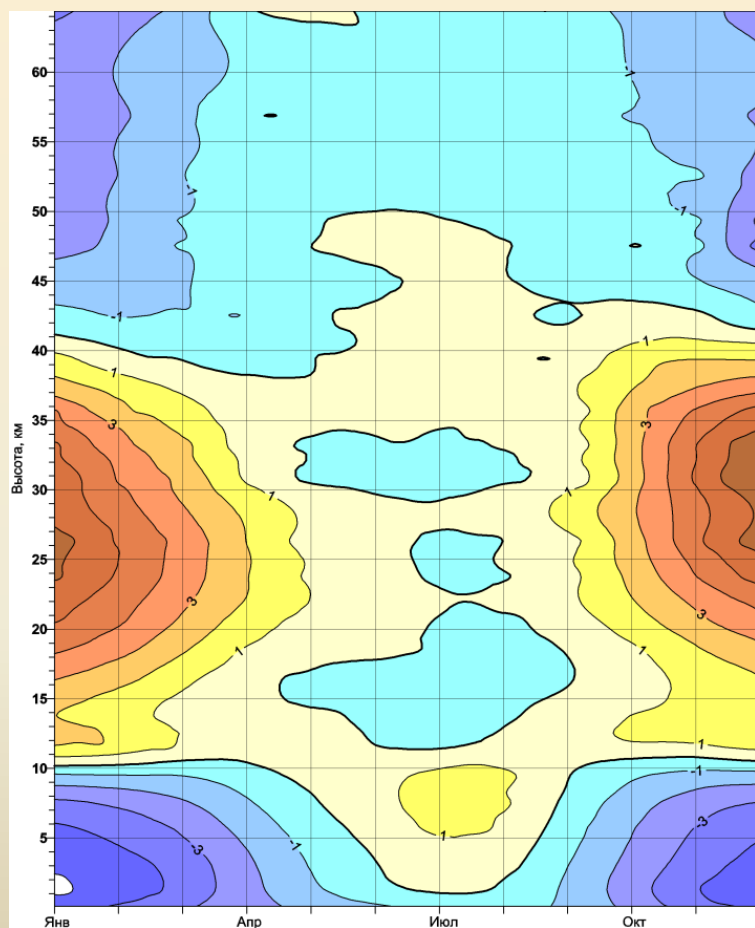
Северное полушарие

Полярная зона

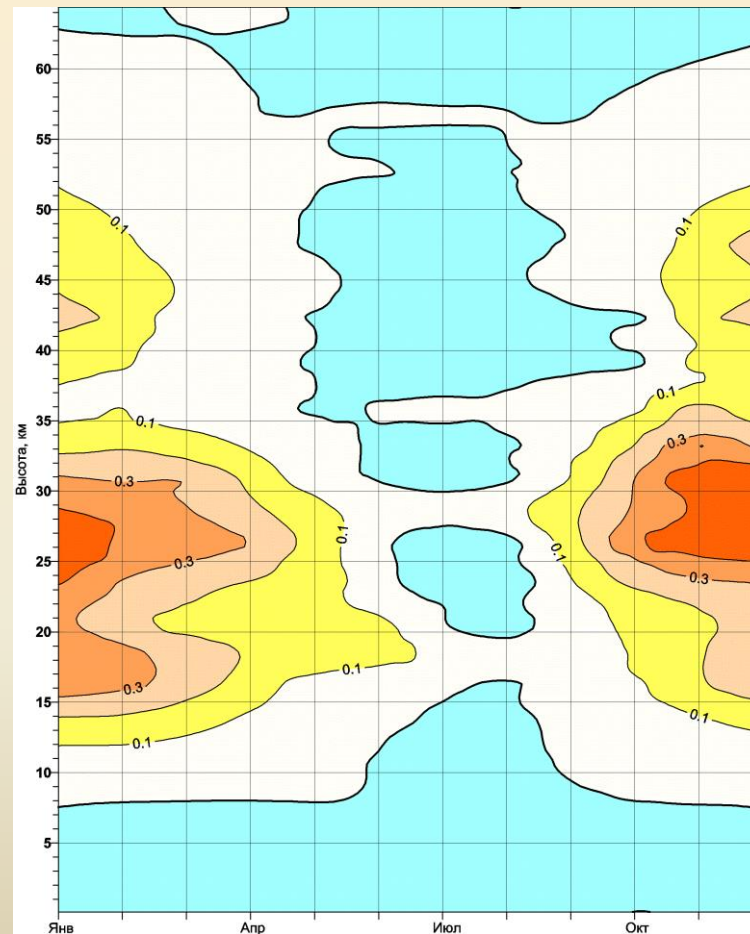
Умеренная зона

Тропическая зона

Разности температуры воздуха и массовой доли озона осредненных по территории Азиатско-Тихоокеанского сектора умеренной зоны СП и по всей умеренной зоне.

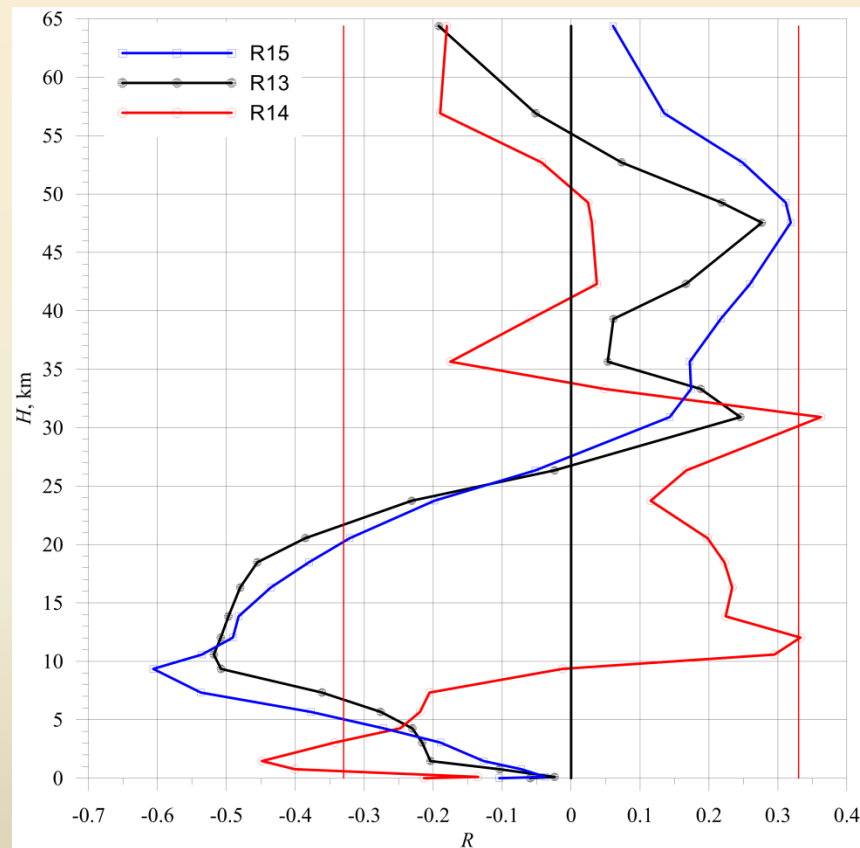
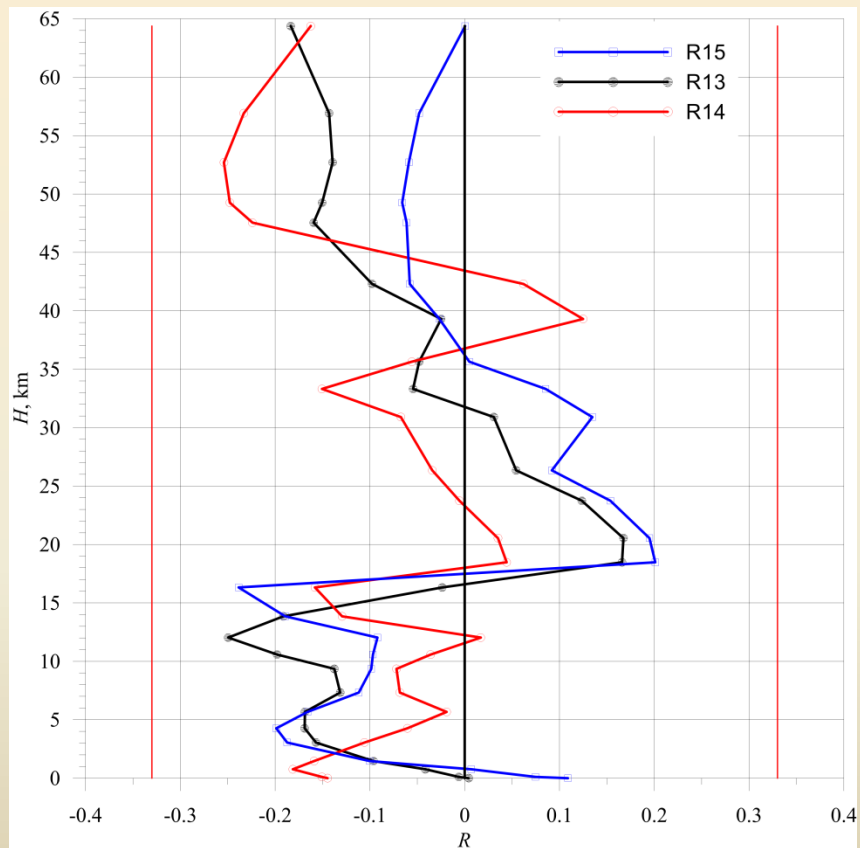


Температура воздуха, °C

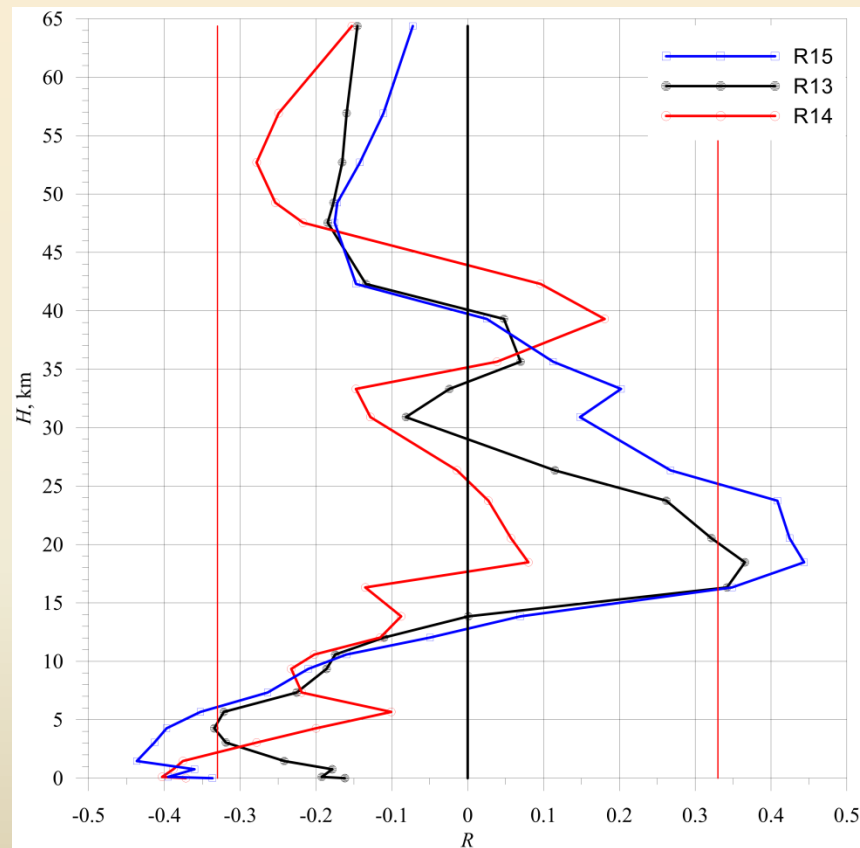
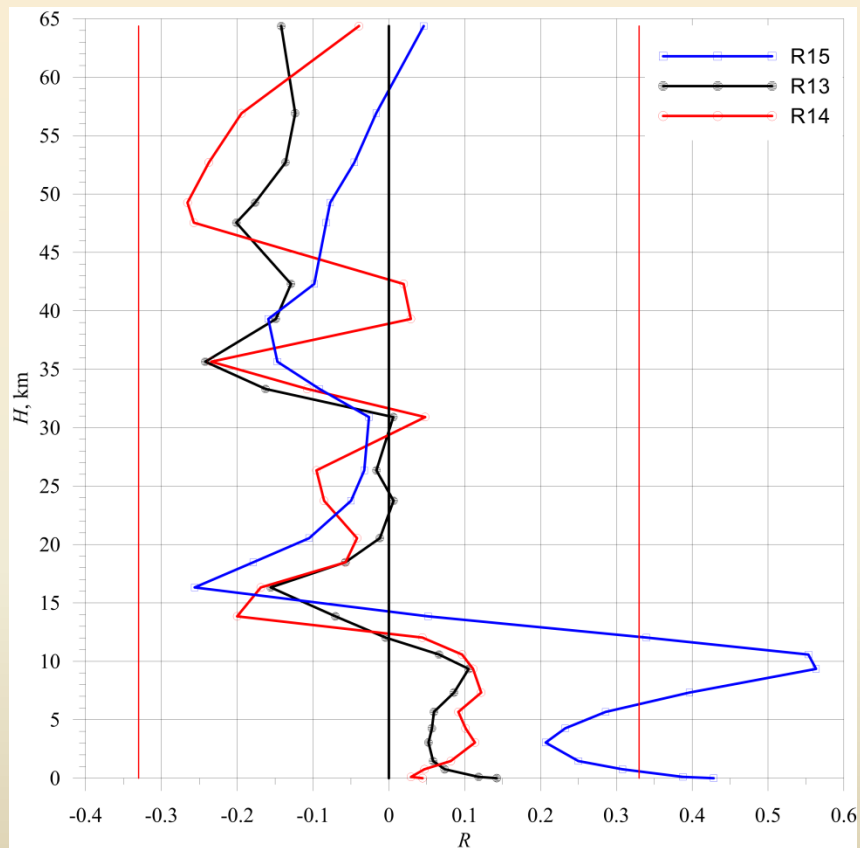


Массовая доля озона, 10^{-6}

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 территориям Северного полушария (слева) и полярной широтной зоне (справа).

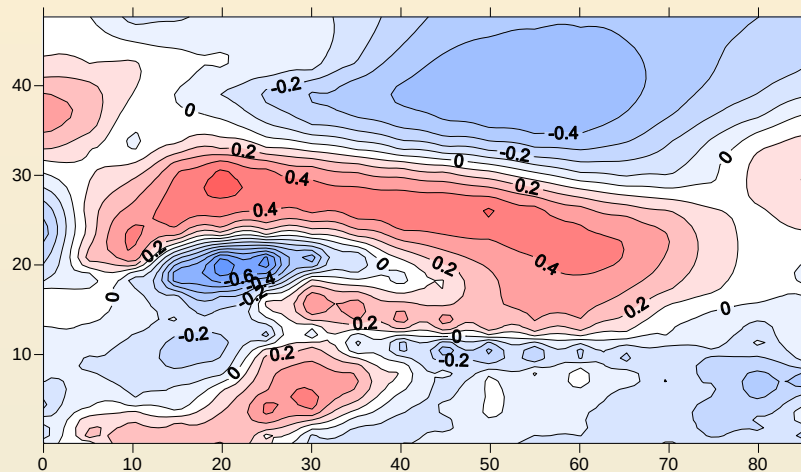


Вертикальные профили значений коэффициента корреляции индекса АО со средней годовой (черная линия), средней летней (красная линия) и средней зимней (синяя линия) температурой воздуха осредненной по территориям умеренной (слева) и тропической (справа) широтным зонам Северного полушария.

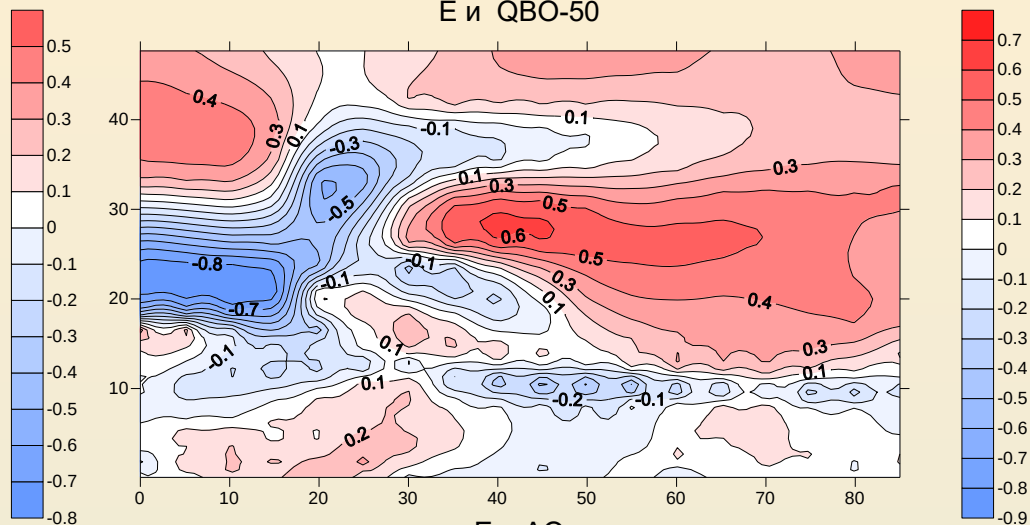


Высотно-широтное распределение корреляций интегральных спектров W и E с индексами QBO-50 и AO за 1979-2016 гг.

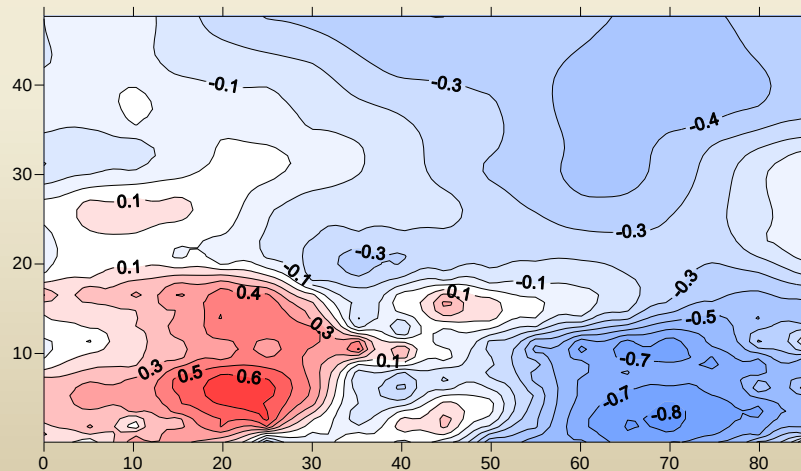
W и QBO-50



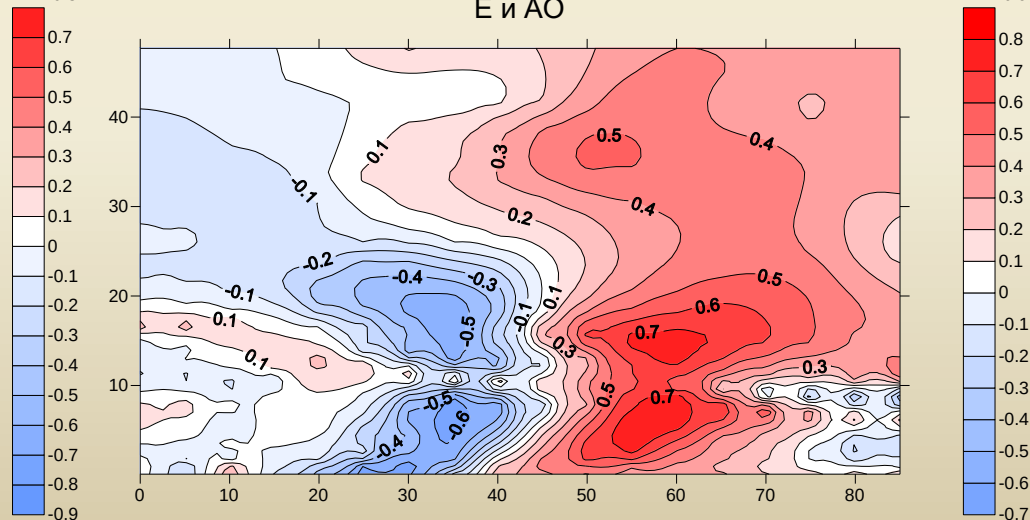
E и QBO-50



W и AO



E и AO



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 стратосфере в слое 35-40 км зимой и в слое 35-45 км летом происходит наибольшее охлаждение воздуха.
- 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.

Выводы

- Согласно корреляционного анализа, наибольшее влияние арктическая осцилляция зимой оказывает на приземный слой тропосферы (рост температуры) и слой 7-3 гПа в стратосфере, где температура понижается.
- 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.
- В период положительной фазы АО развитие получают волны E, усиливается зональная циркуляция и стратосфера становится более холодной.
- При отрицательной фазе АО зональная циркуляция ослабляется, развиваются волны W (и S), которые способствуют переносу волновой энергии в стратосферу и благоприятствуют развитию стратосферных потеплений.