



Современные тенденции изменения основных климатических показателей на территории России

Переведенцев Ю.П., Мирсаева Н.А., Гурьянов В.В., Николаев А.А.
Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань

Исходные данные

В качестве исходных данных использовались:

- данные приземной температуры воздуха по всему земному шару (1850–2020 гг.) Университета Восточной Англии (CRU) (<https://www.uea.ac.uk/groups-and-centres/climatic-research-unit/data>, дата доступа 28.12.2022 г.);
- данные реанализов и индексов циркуляции (1950-2023 гг.);
- данные метеонаблюдений 170 станций России из фонда ВНИИГМИ-МЦД за 1966-2021 гг.
- данные Метеорологической обсерватории КФУ (1828-2023 гг.)

Метеорология, как наука, в Казанском университете, открытого 17 ноября 1804 года, возникла на основе первых метеорологических наблюдений, и длительное время развивалась как одно из направлений экспериментальной физики.

Начало этим наблюдениям было положено в феврале 1805 г. при кабинете физики (проф. Запольский И.И.).

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.

Впоследствии академик А.Я. Купфер стал инициатором и организатором сети магнитных и метеорологических наблюдений, и основателем гидрометеорологической службы в России (1834), создателем и первым директором Главной физической (ныне – геофизической) обсерватории (1849).

А.Я. КУПФЕР



Н.И. ЛОБАЧЕВСКИЙ



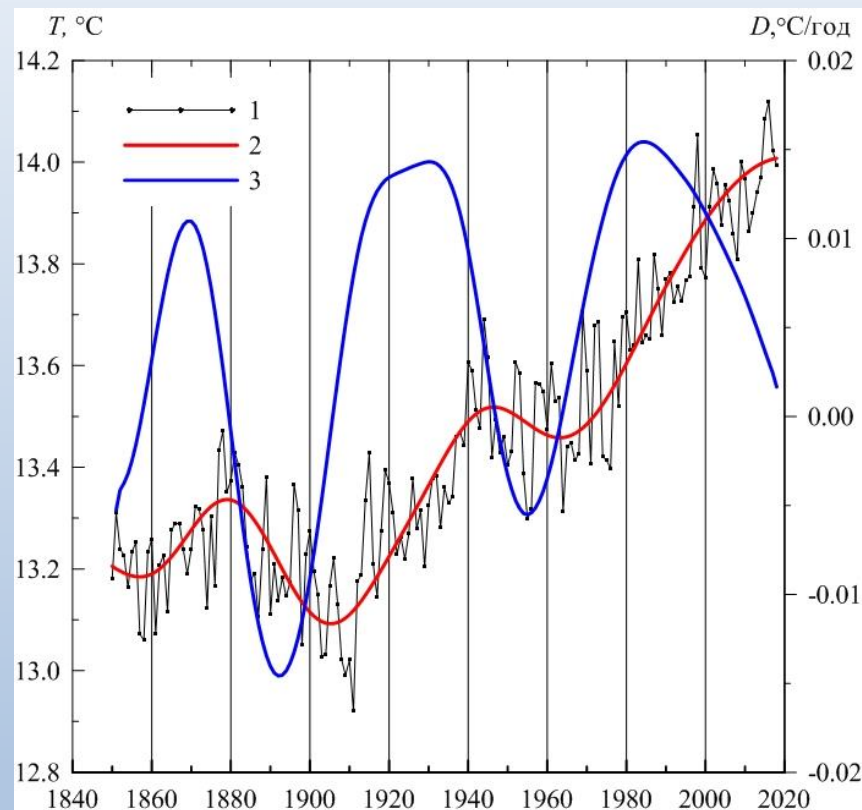
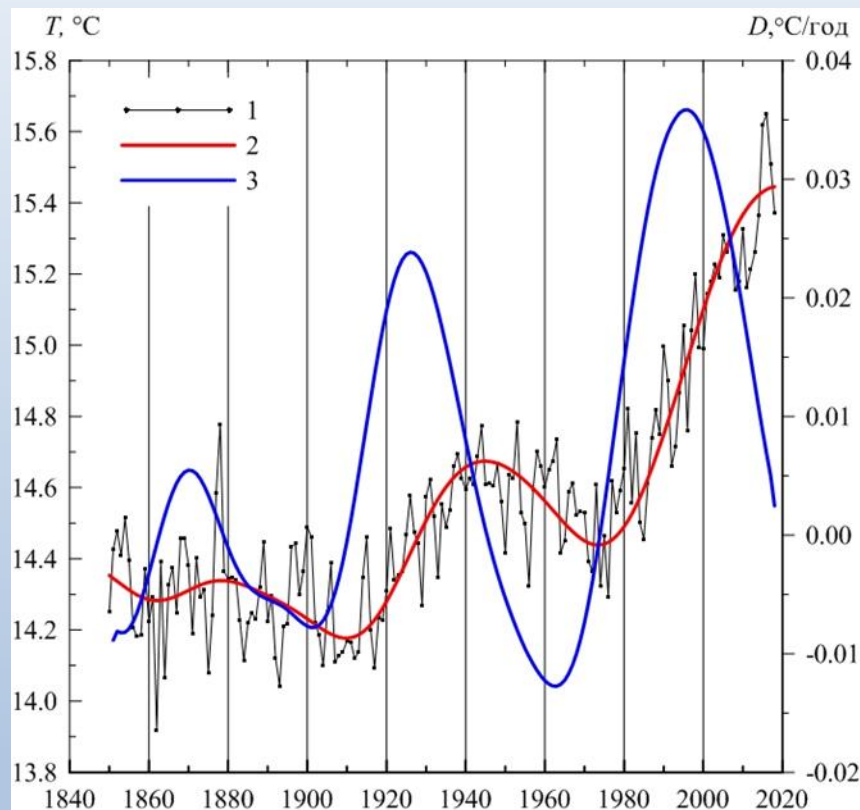
После отъезда А.Я. Купфера в Петербургскую академию наук в 1829 г. функции руководителя метеорологических наблюдений принял профессор чистой математики, ректор университета Н.И. Лобачевский.

И.М. СИМОНОВ

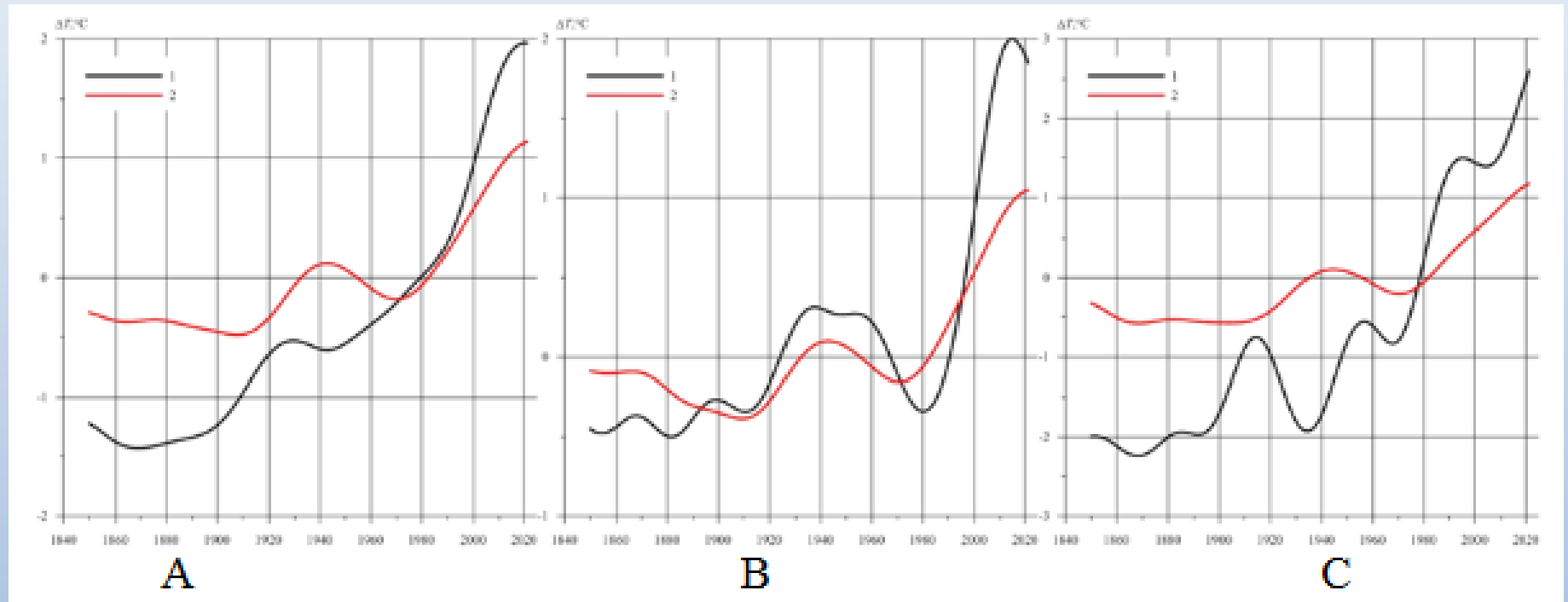


Магнитные наблюдения в то время курировал профессор И.М.Симонов. Будучи в 1819-1821 гг. участником 1-й Русской антарктической экспедиции, он выполнял весь комплекс путевых магнитно-метеорологических измерений и в 1825 г. опубликовал работу «О разности температуры в Южном и Северном полушариях».

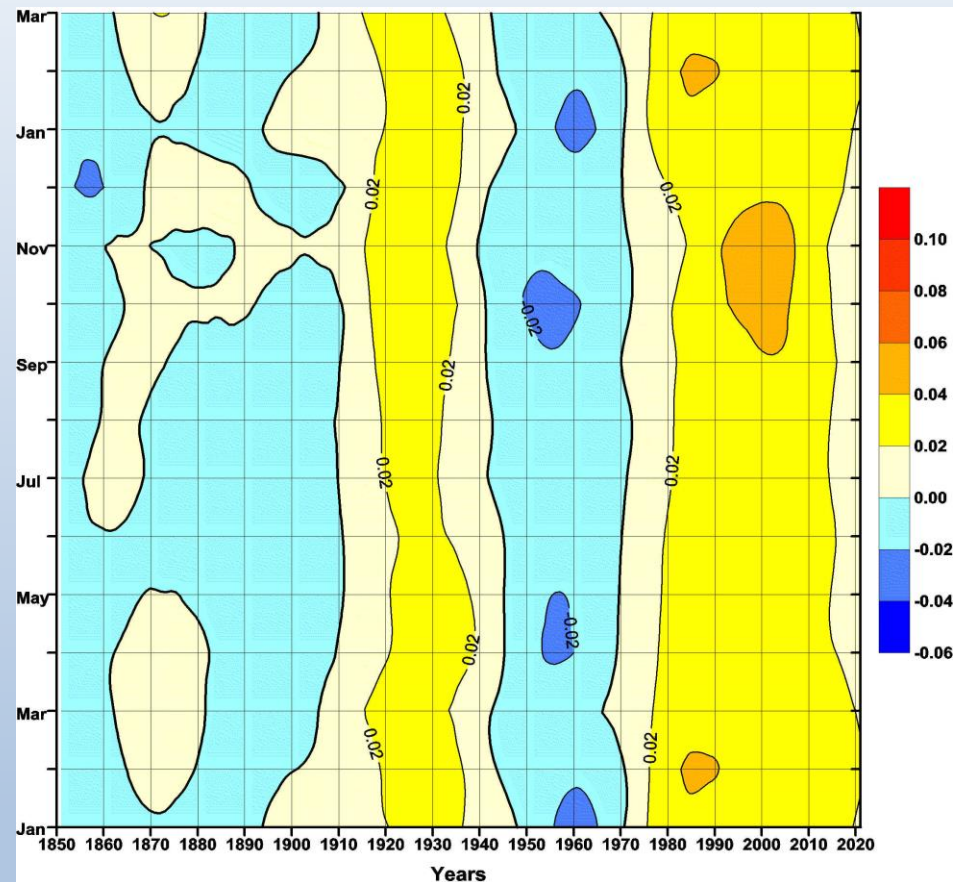
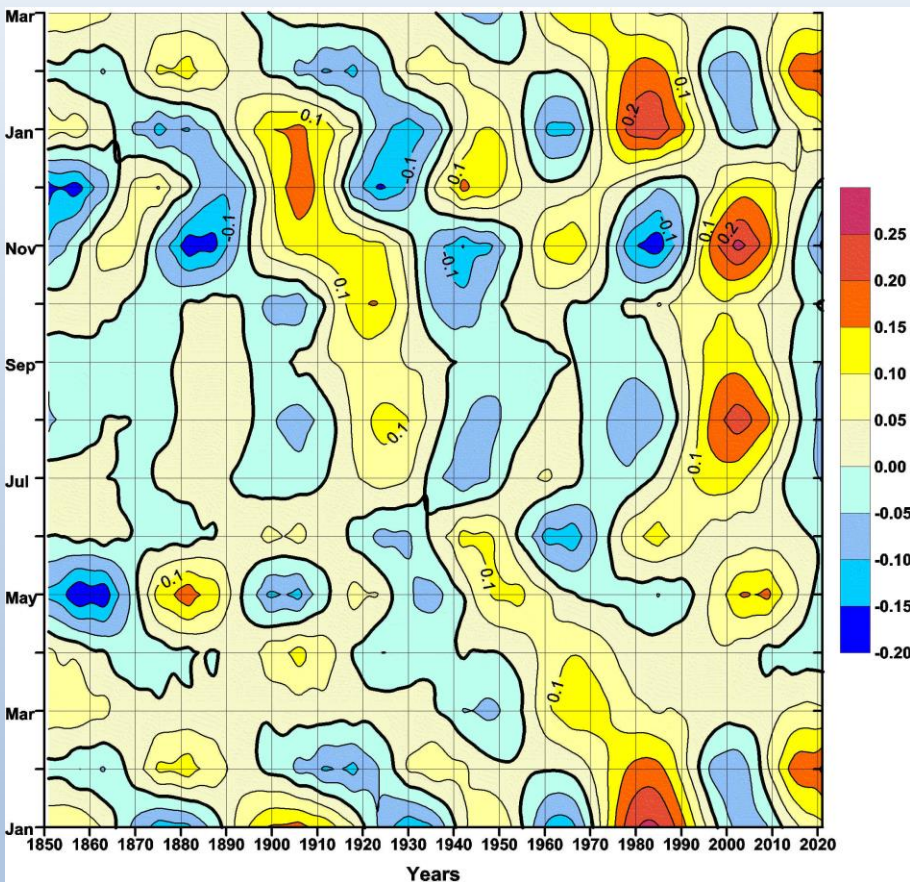
**Многолетний ход (1850–2020 гг.) средней годовой температуры воздуха
Северного (слева) и Южного (справа) полушария**
1 – исходный ряд, 2 – НЧК с периодом более 30 лет, 3 – первые разности НЧК



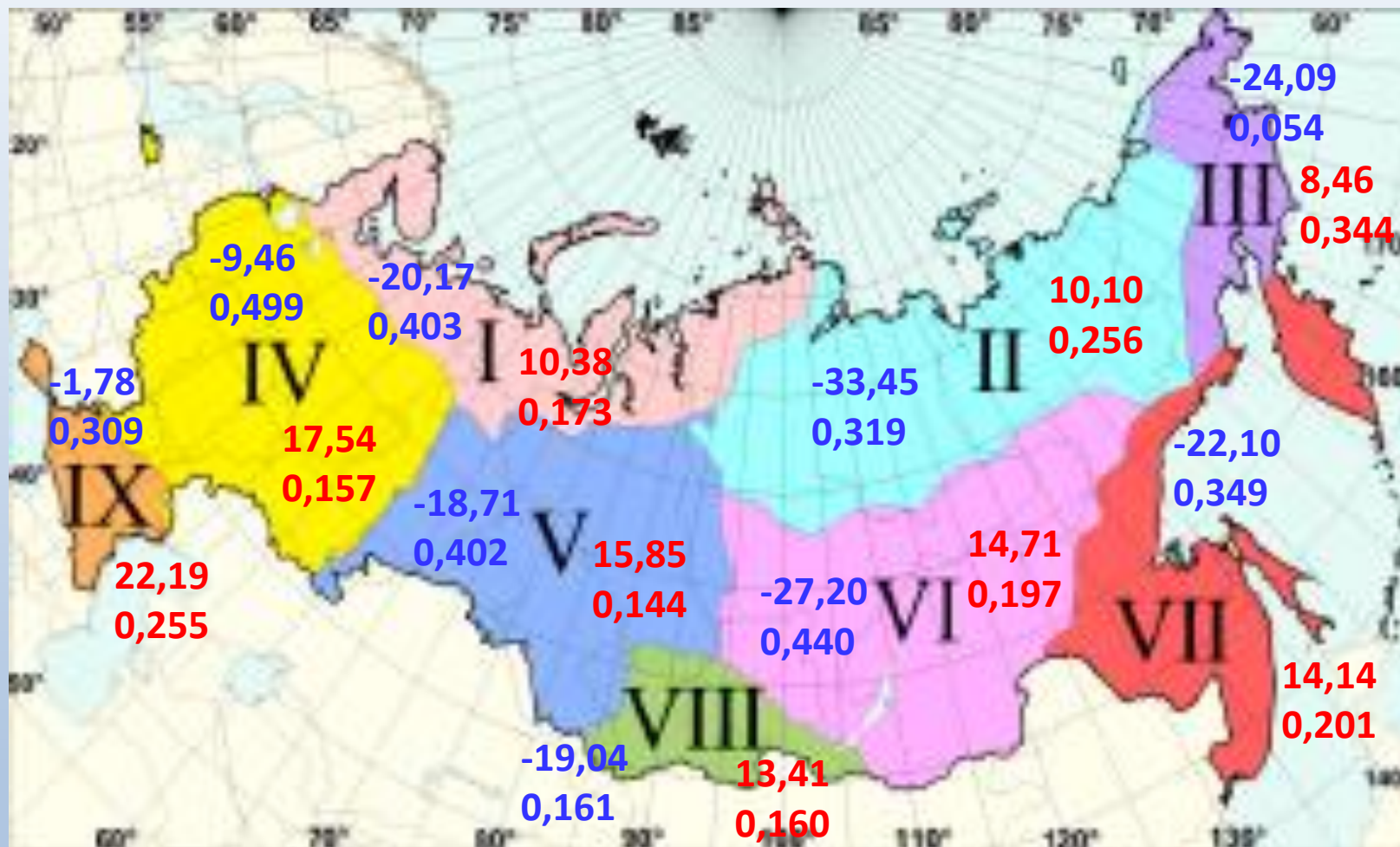
Низкочастотная компонента аномалий (1961–1990 гг.) температуры воздуха на ст. Казань, университет (1) и приповерхностной температуры Северного полушария (2) 1850–2021 гг. за год (А), лето (В), зиму (С)



Первые разности НЧК с периодом более 25 лет приземной температуры воздуха на ст. Казань, университет (слева) и приповерхностной температуры воздуха СП (справа) (°C/10 лет)

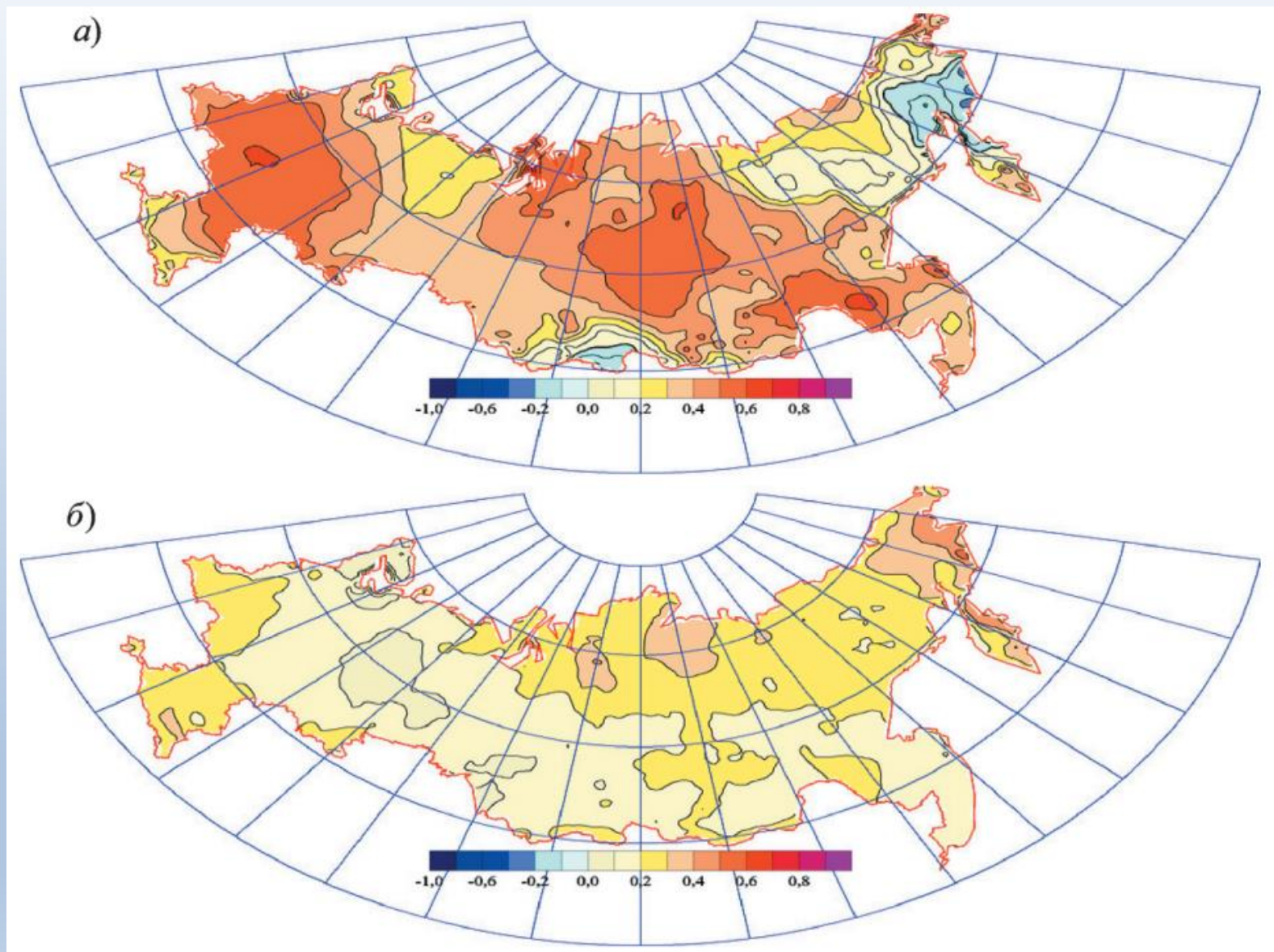


Средние летние и зимние значения приземной температуры воздуха (°С) и значения КНЛТ (°С/10 лет) в квази-однородных климатических регионах РФ

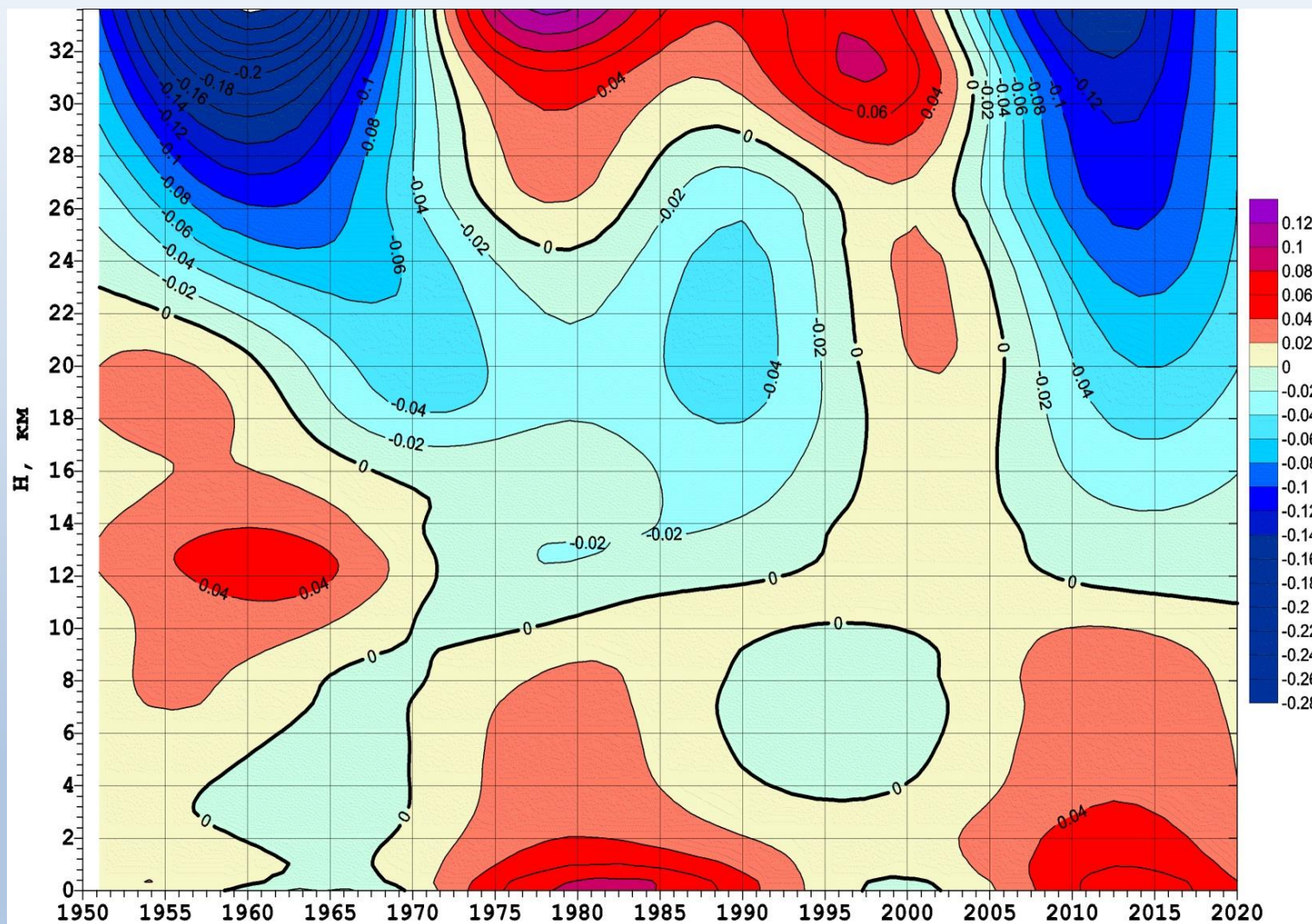


I - Север ЕЧР и Западной Сибири, II - Северная часть Восточной Сибири и Якутии,
 III - Чукотка и север Камчатки, IV - Центр ЕЧР, V - Центр и юг Западной Сибири,
 VI - Центр и юг Восточной Сибири, VII - Дальний Восток, VIII- Алтай и Саяны, IX- Юг ЕЧР

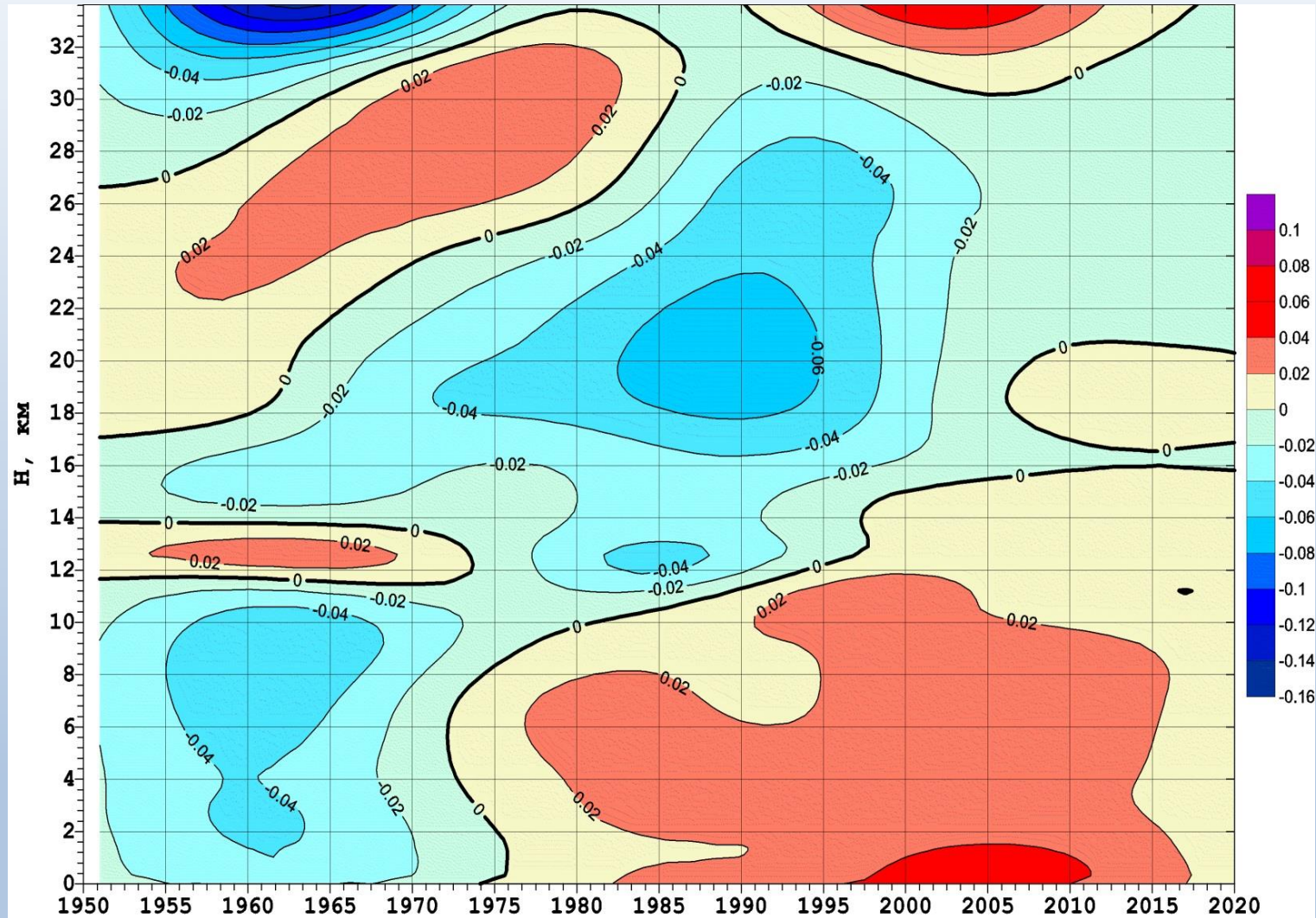
Значения КНЛТ приземной температуры воздуха (°C/10 лет) в январе (а) и в июле (б) по данным ERA5



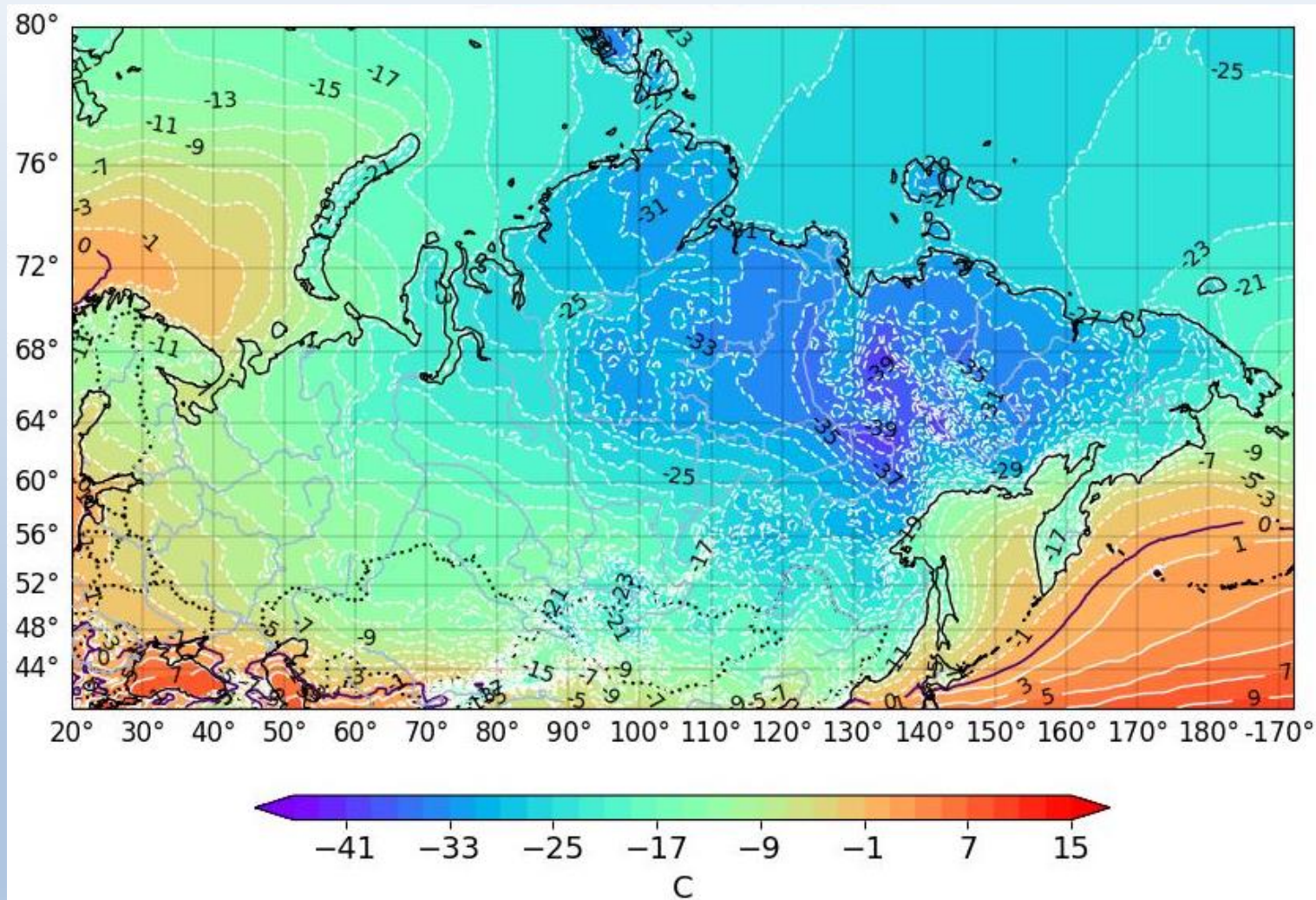
Первые разности ($^{\circ}\text{C}/\text{год}$) НЧК с периодом более 20 лет средней зимней температуры по территории России



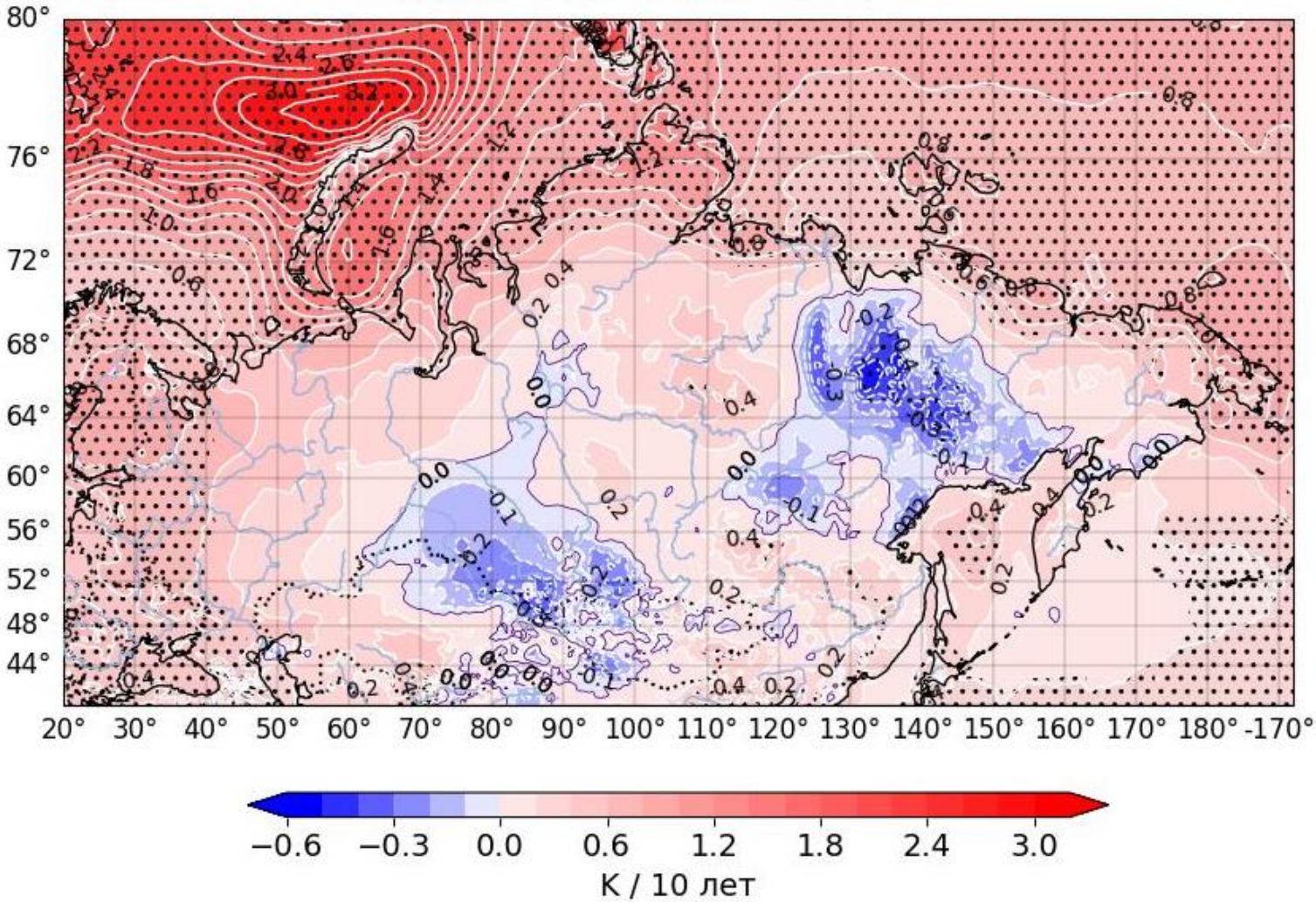
Первые разности ($^{\circ}\text{C}/\text{год}$) НЧК с периодом более 20 лет средней летней температуры по территории России



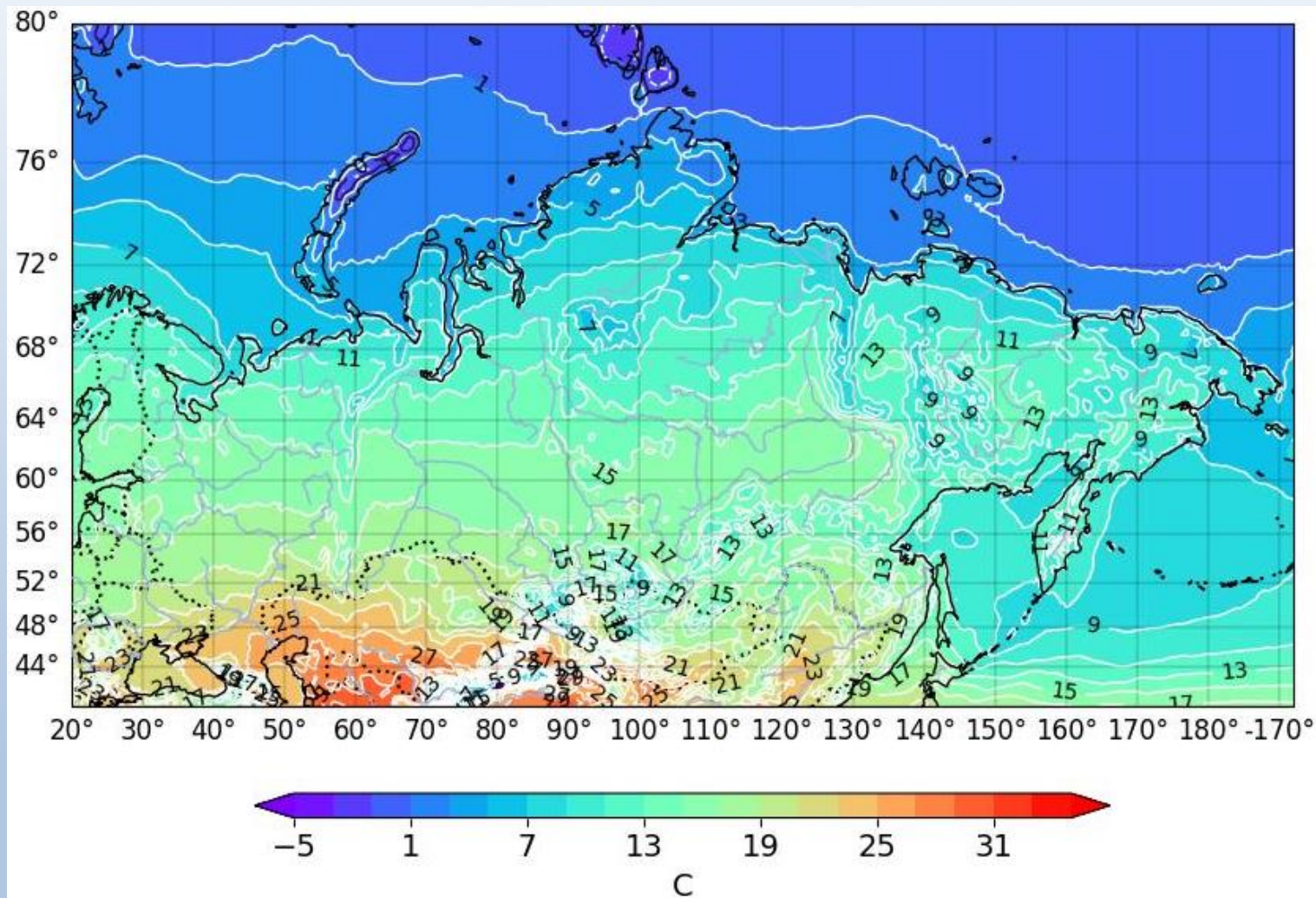
Средние зимние значения температуры воздуха (°C) на территории России (1979-2023 гг.)



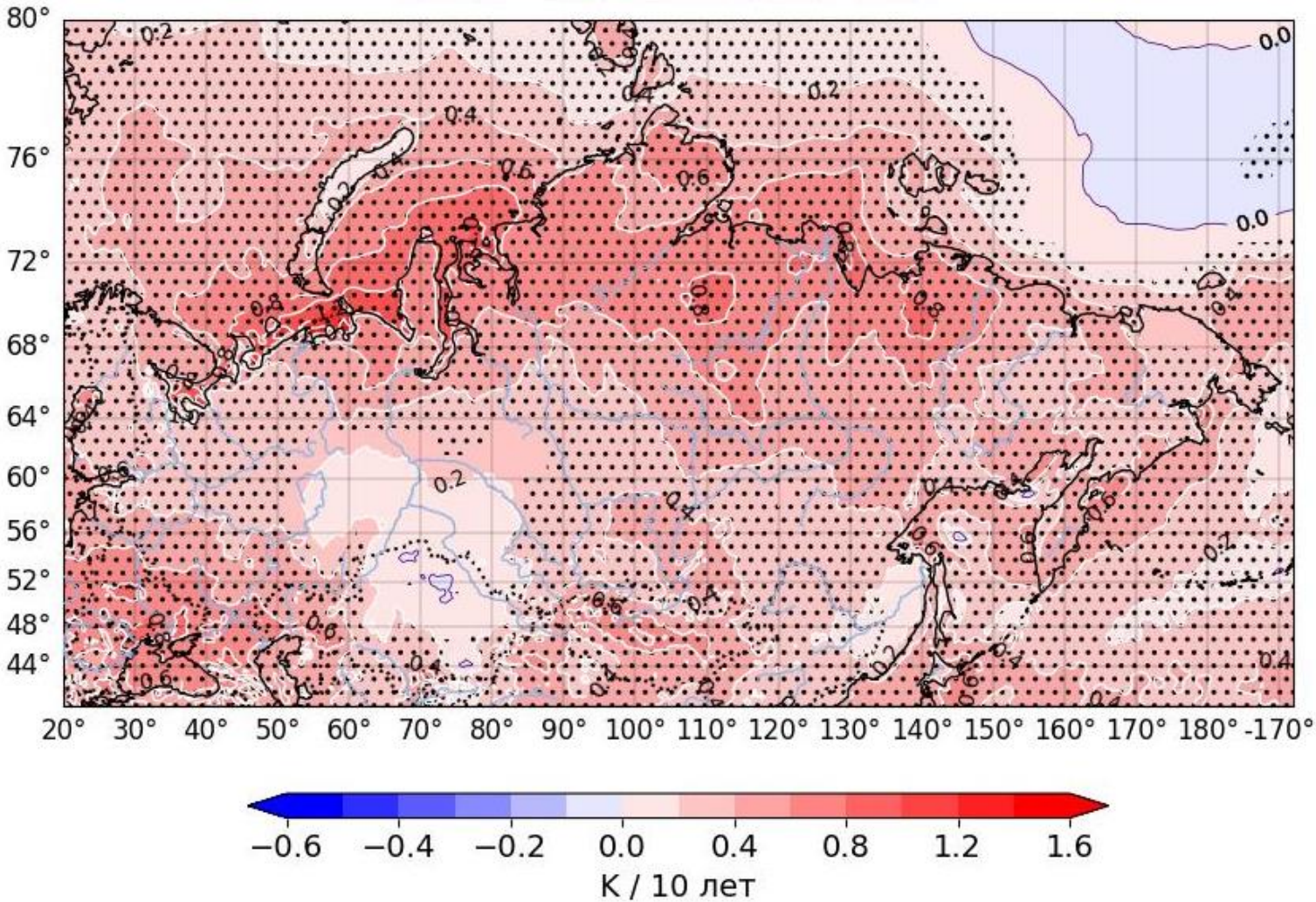
Значения КНЛТ (К/10 лет) температуры воздуха зимой на территории России (1979-2023 гг.)



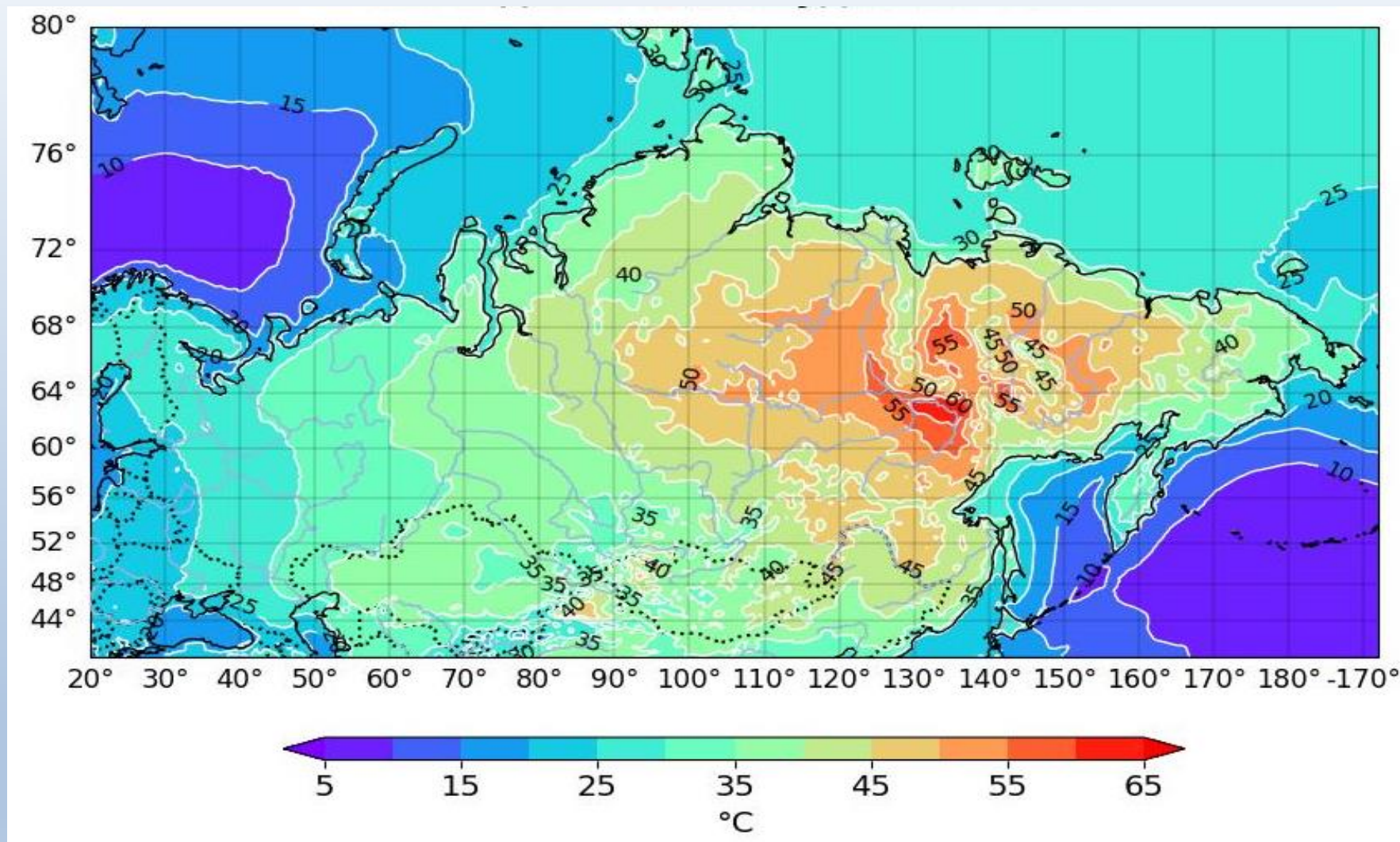
Средние летние значения температуры воздуха (°C) на территории России (1979-2023 гг.)



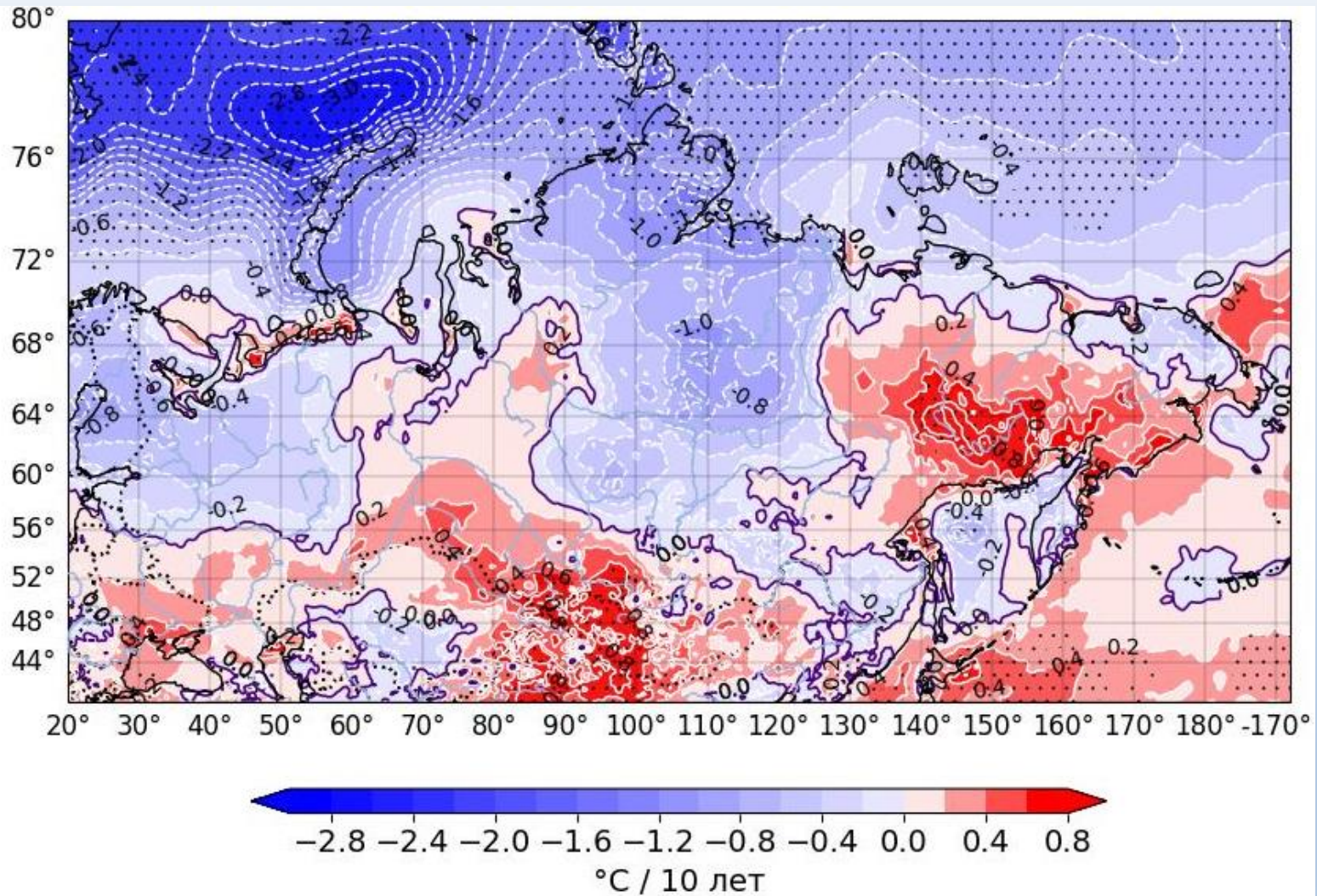
Значения КНЛТ (К/10 лет) температуры воздуха летом на территории России (1979-2023 гг.)



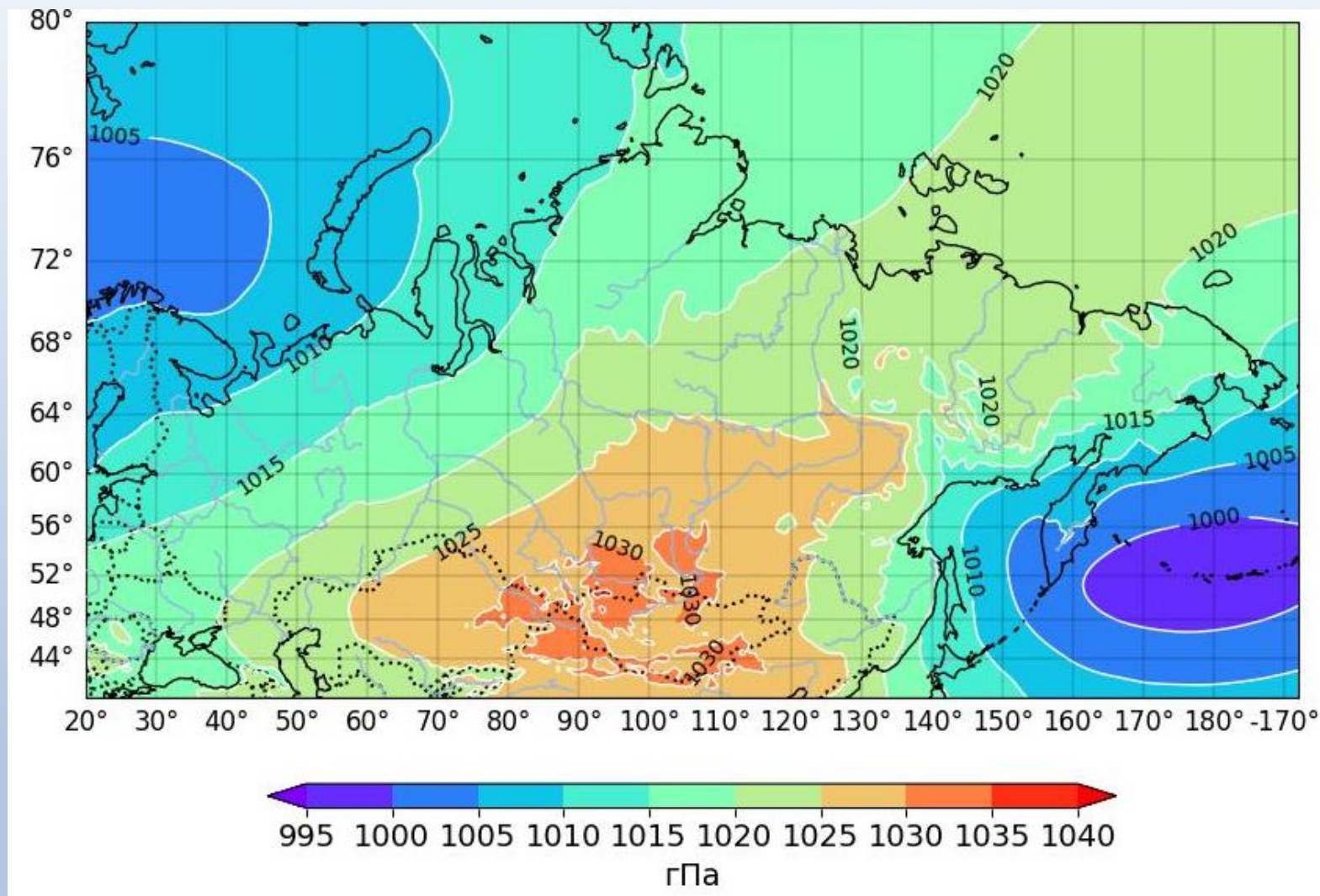
Годовая амплитуда температуры воздуха (°C) на территории России (1979-2023 гг.)



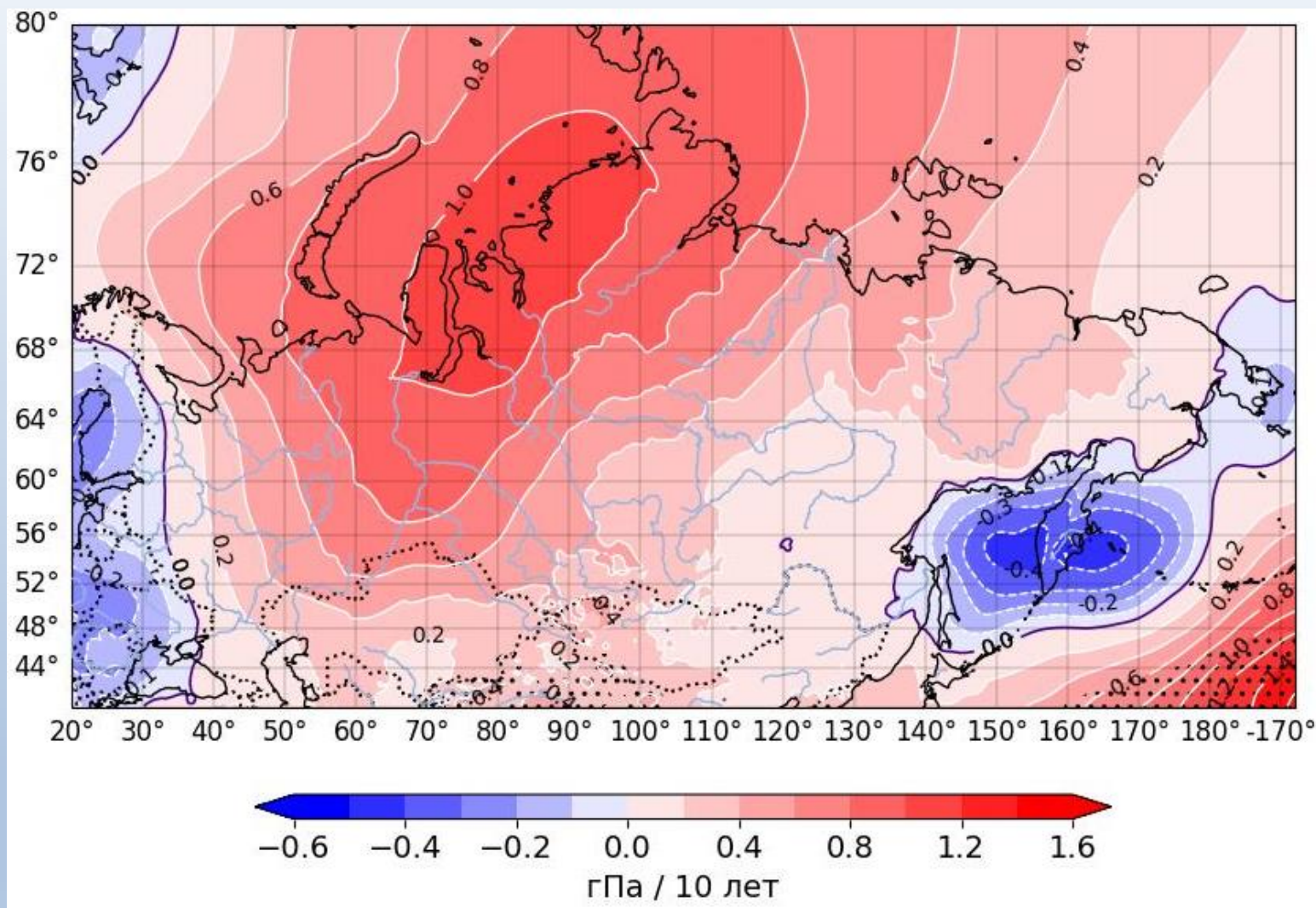
Значения КНЛТ (°C/10 лет) годовой амплитуды температуры воздуха на территории России (1979-2023 гг.)



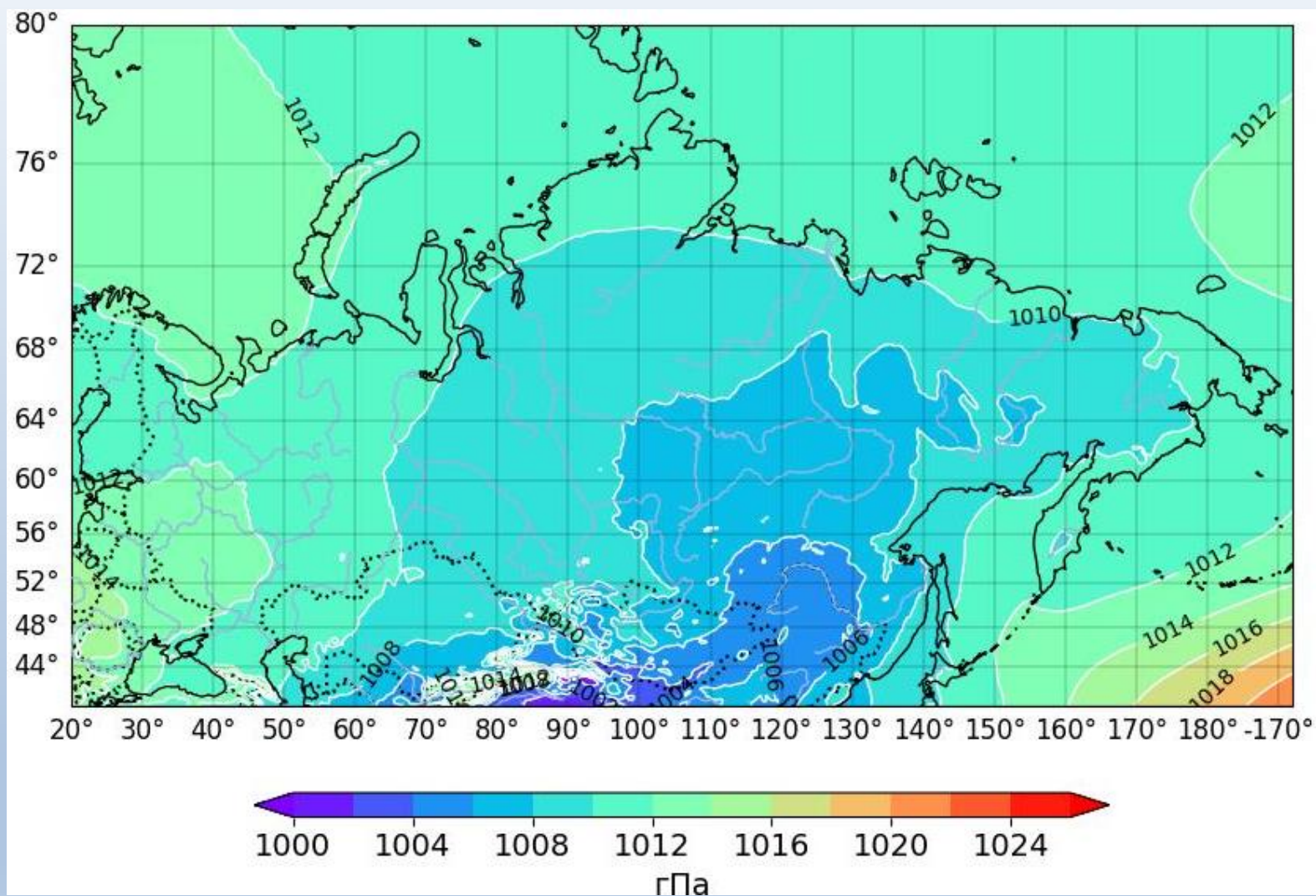
Средние значения давления на уровне моря (гПа) зимой на территории России (1979-2023 гг.)



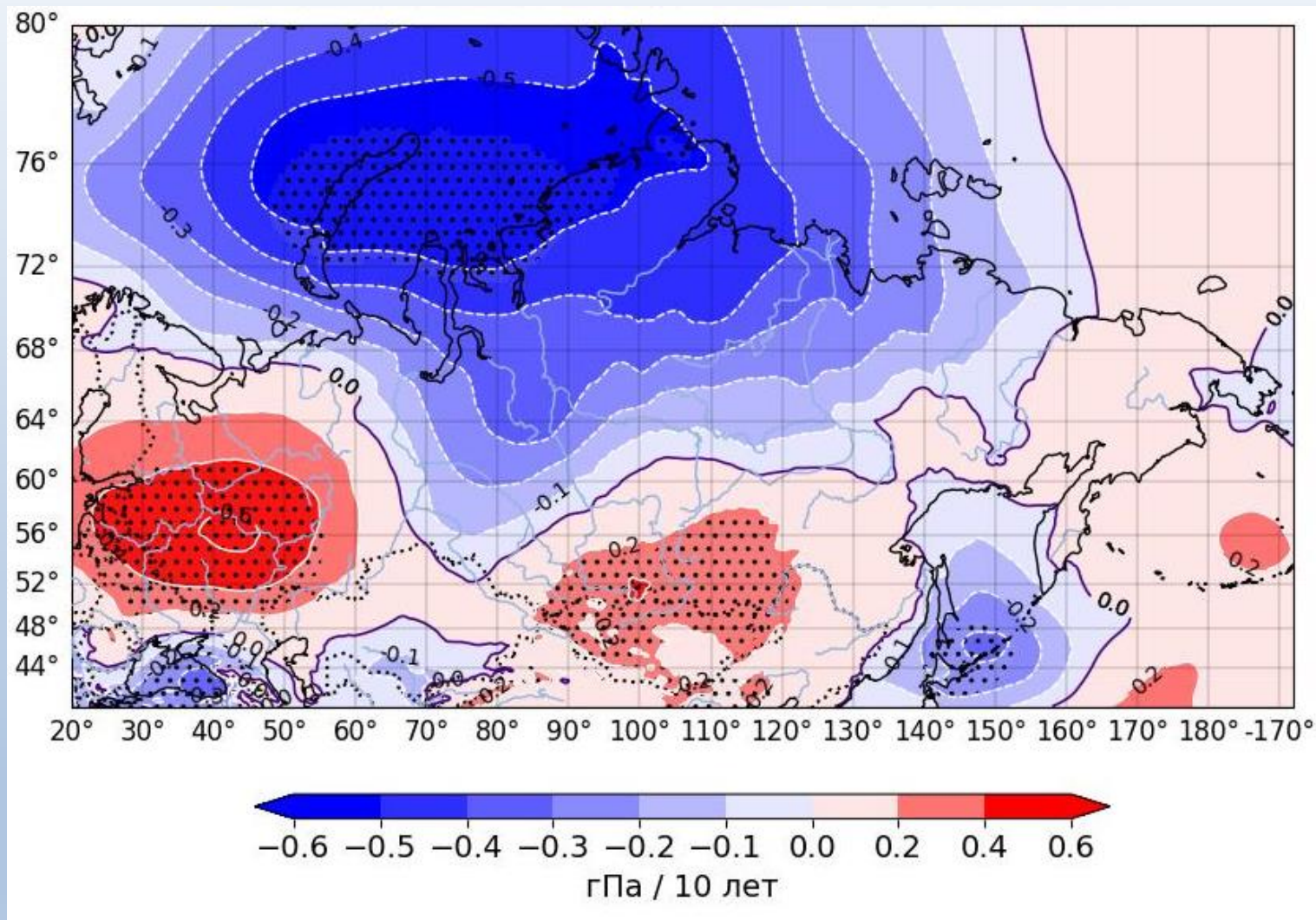
КНЛТ давления на уровне моря (гПа/10 лет) зимой на территории России (1979-2023 гг.)



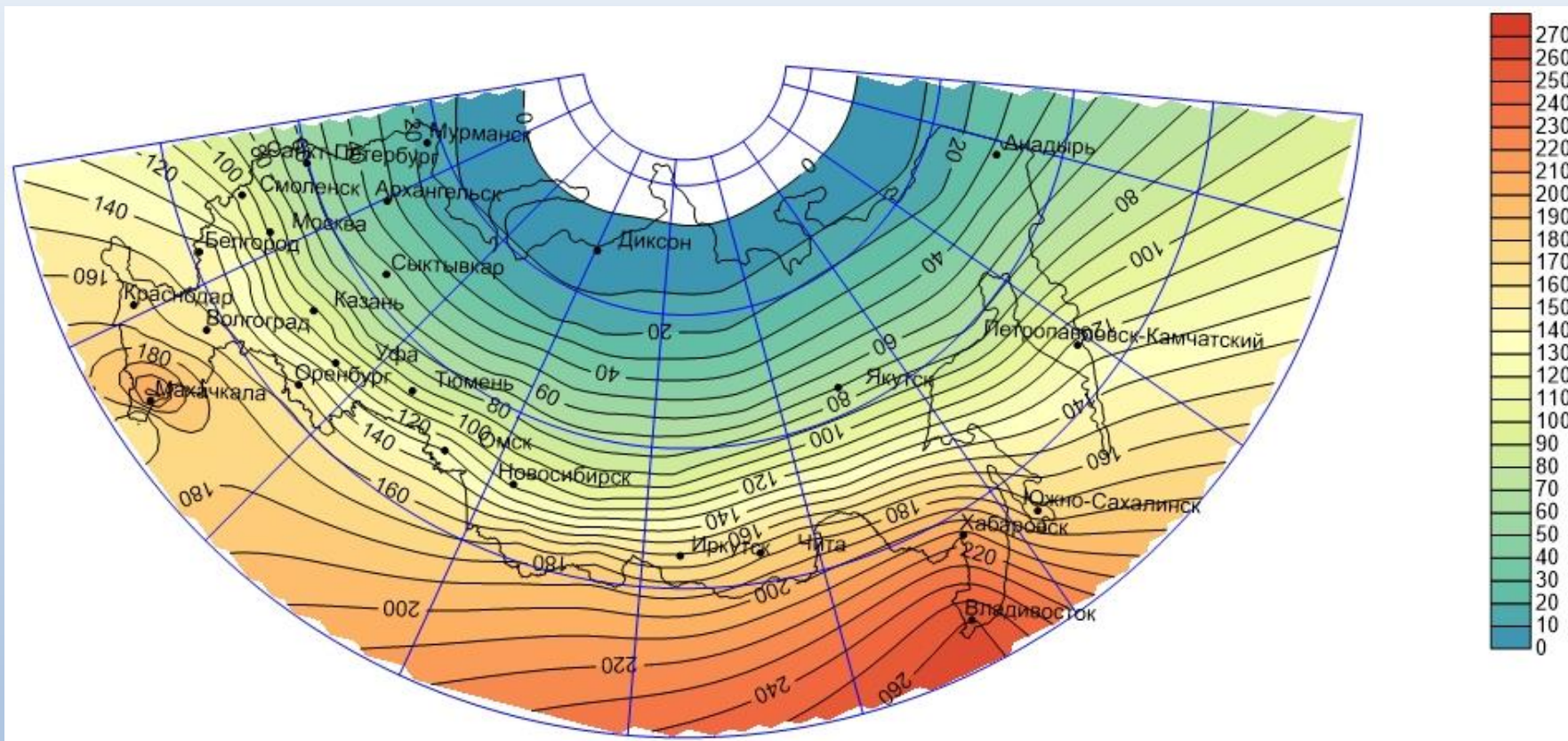
Средние значения давления на уровне моря (гПа) летом на территории России (1979-2023 гг.)



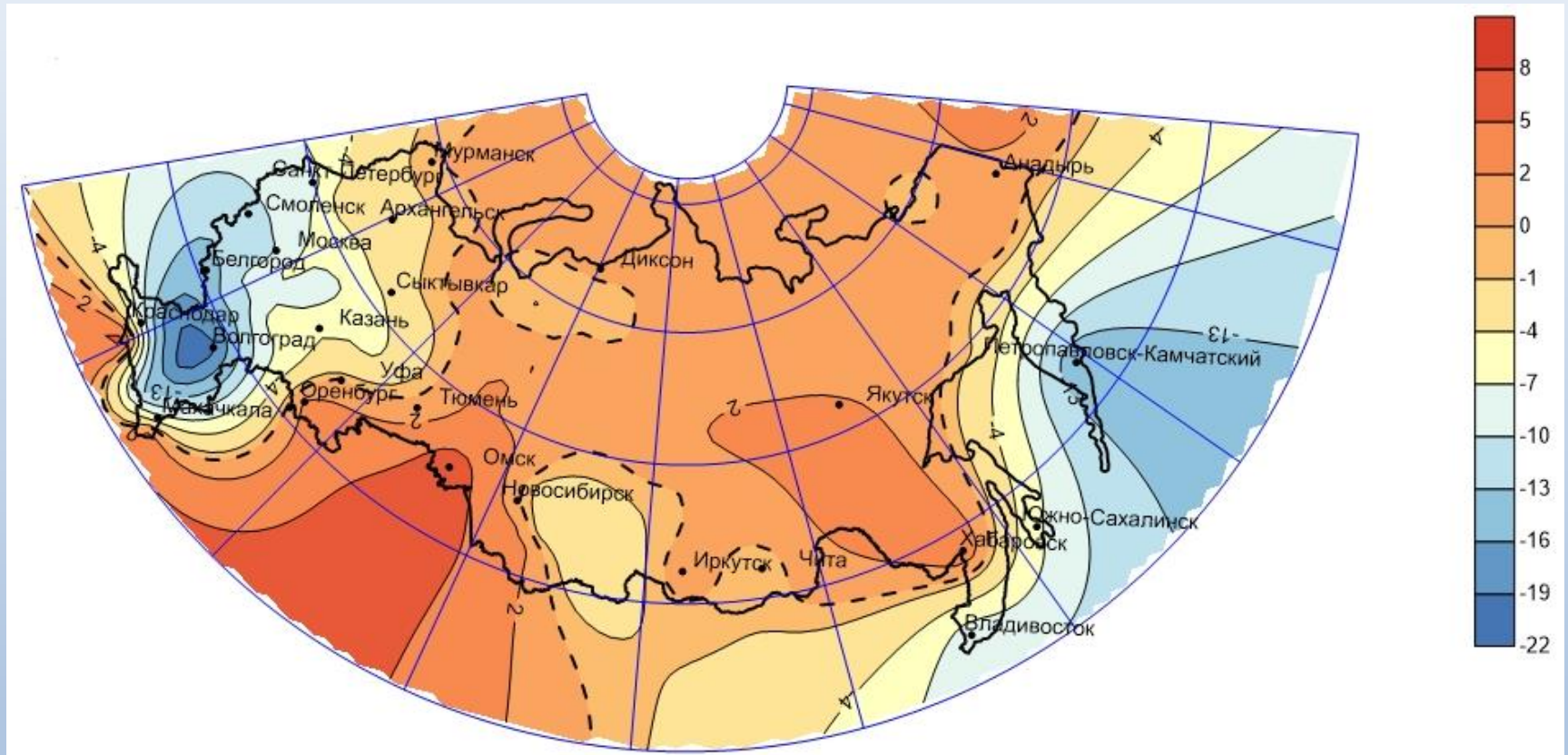
КНЛТ давления на уровне моря (гПа/10 лет) летом на территории России (1979-2023 гг.)



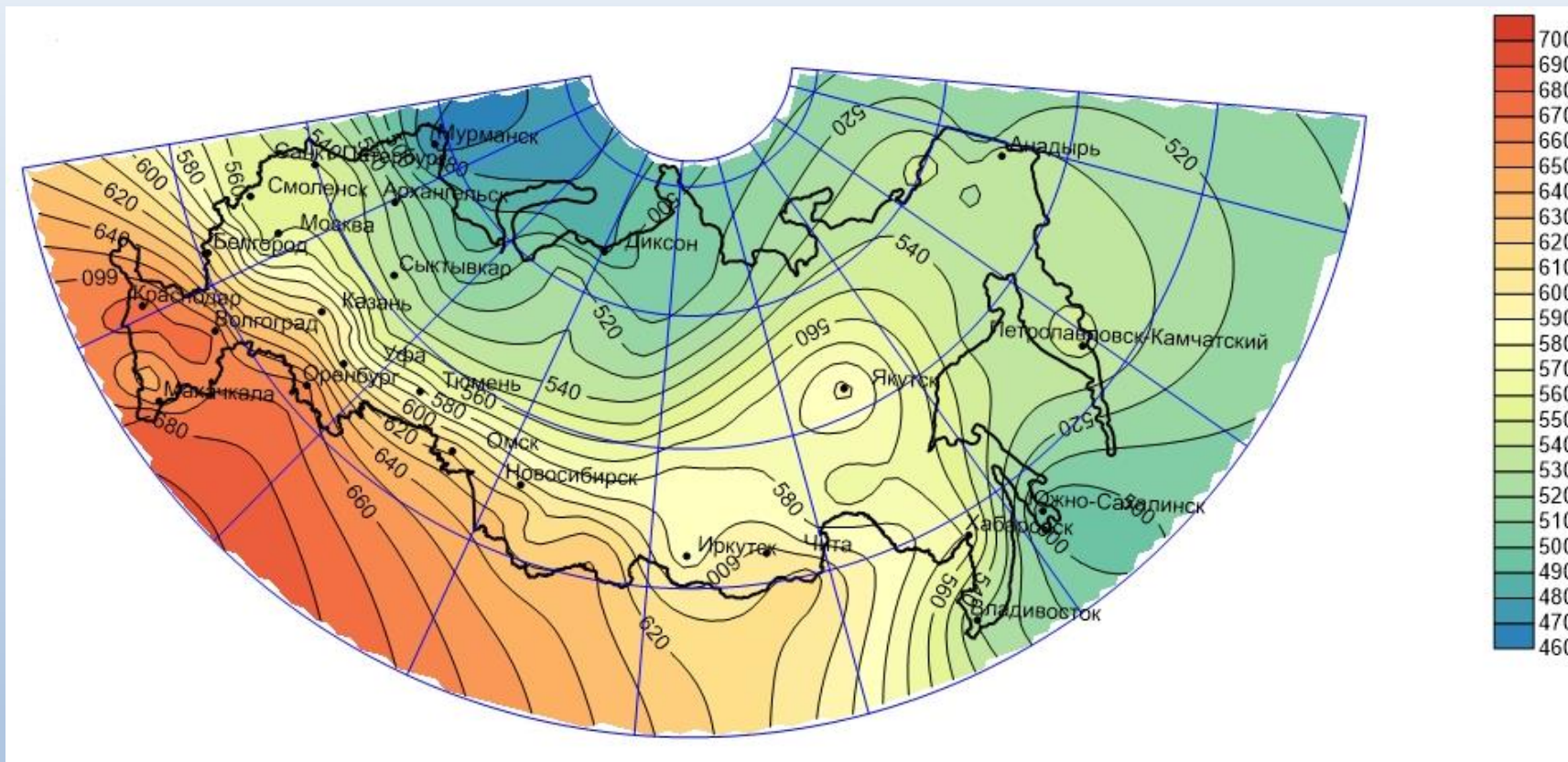
Средние значения суммарной радиации (МДж/м²) на территории России (1979-2023 гг.) в зимний период



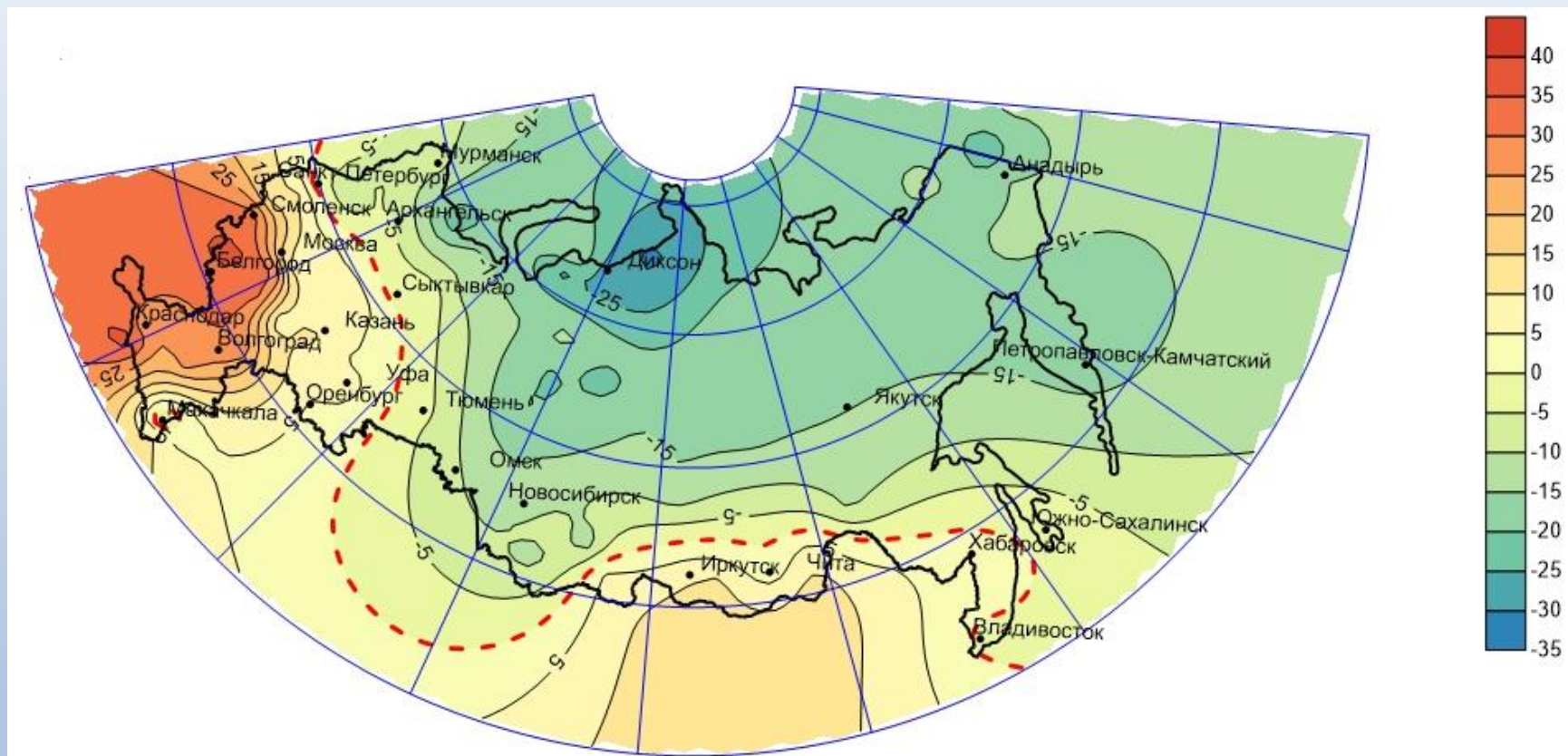
КНЛТ суммарной радиации (МДж/м² за год) на территории России (1979-2023 гг.) в зимний период



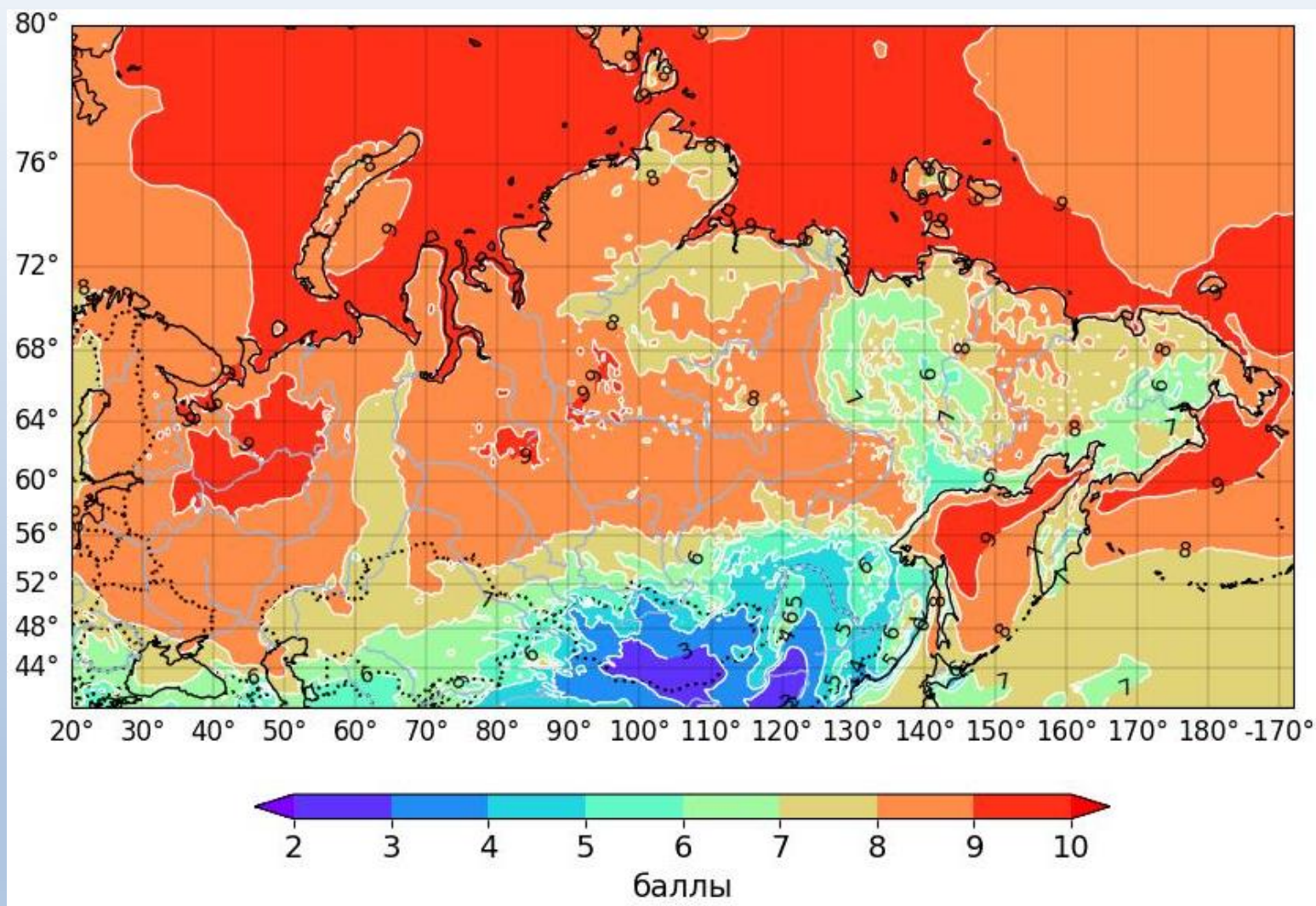
Средние значения суммарной радиации (МДж/м²) на территории России (1979-2023 гг.) в летний период



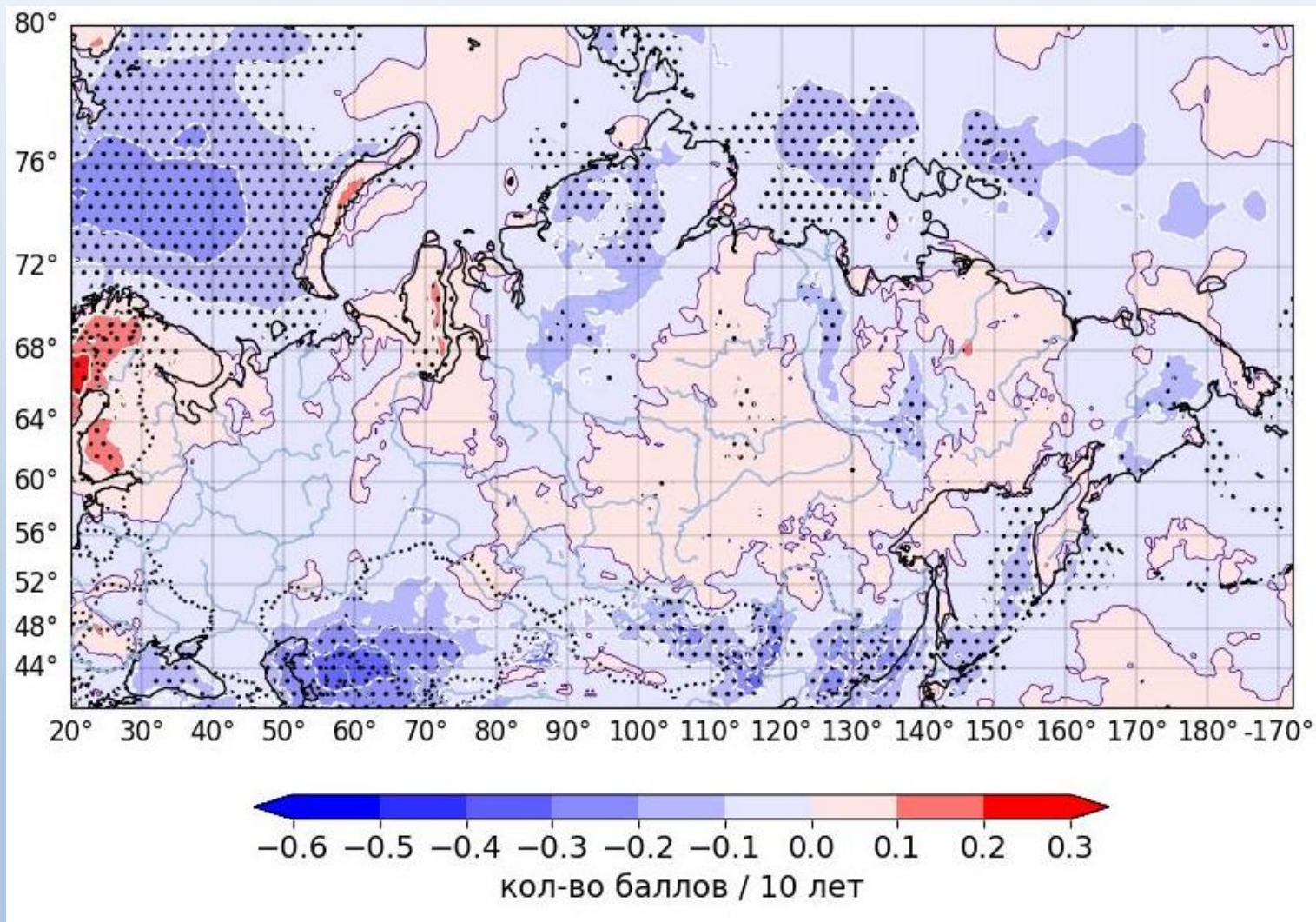
КНЛТ суммарной радиации (МДж/м² за год) на территории России (1979-2023 гг.) в летний период



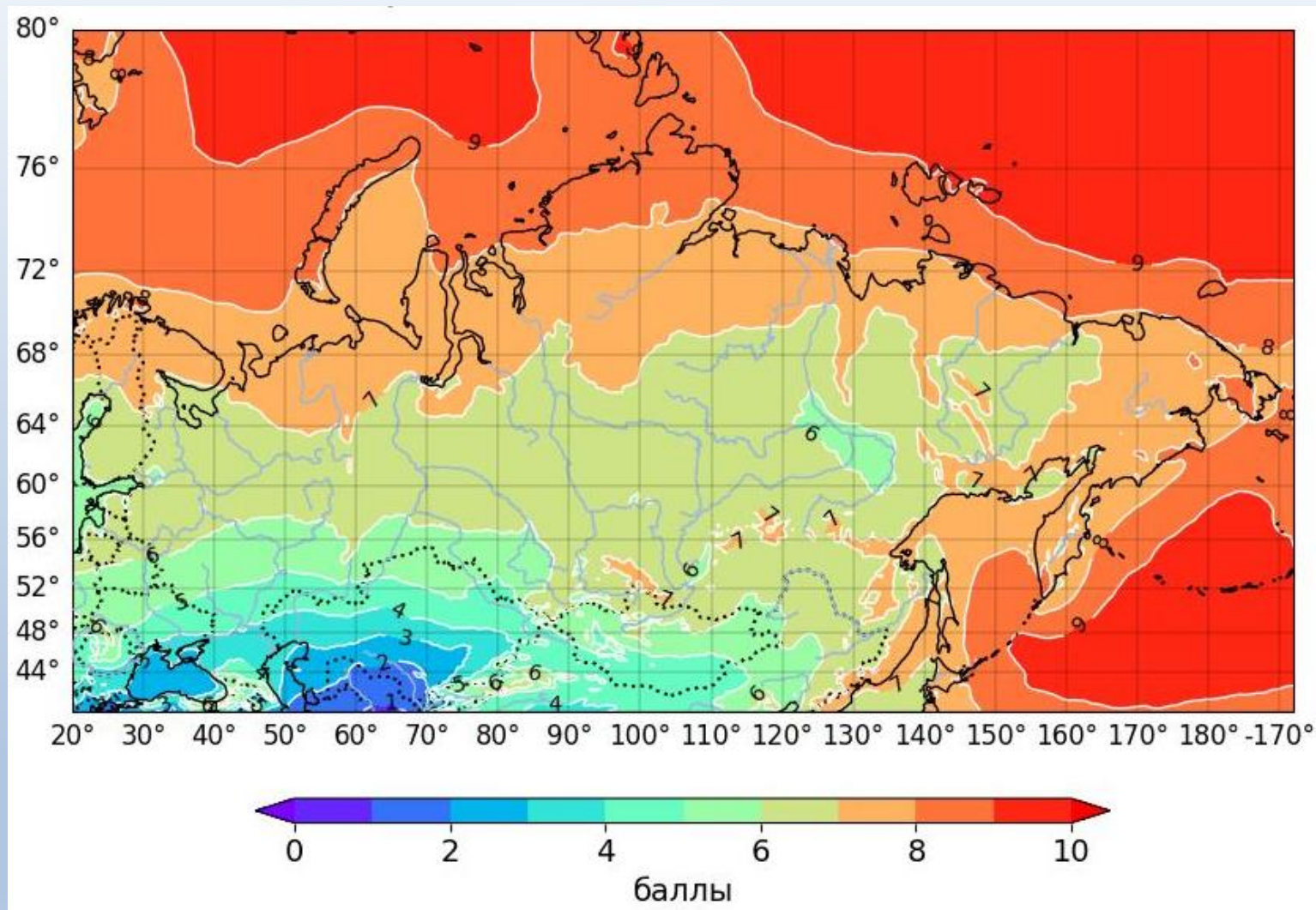
Общее количество облаков (баллы) на территории России (1979-2023 гг.) в зимний период



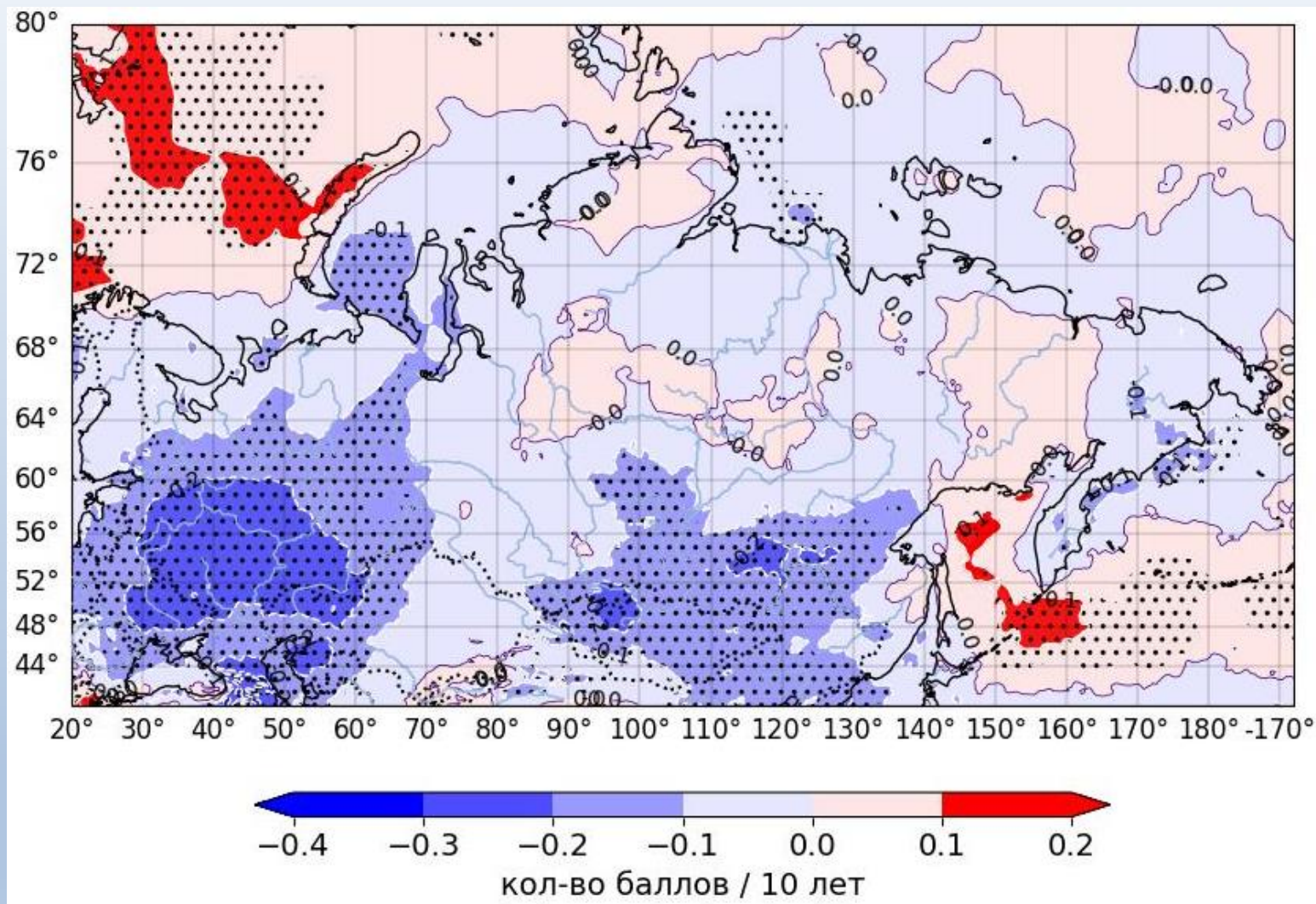
КНЛТ общего количества облаков (баллы/ 10 лет) на территории России (1979-2023 гг.) в зимний период



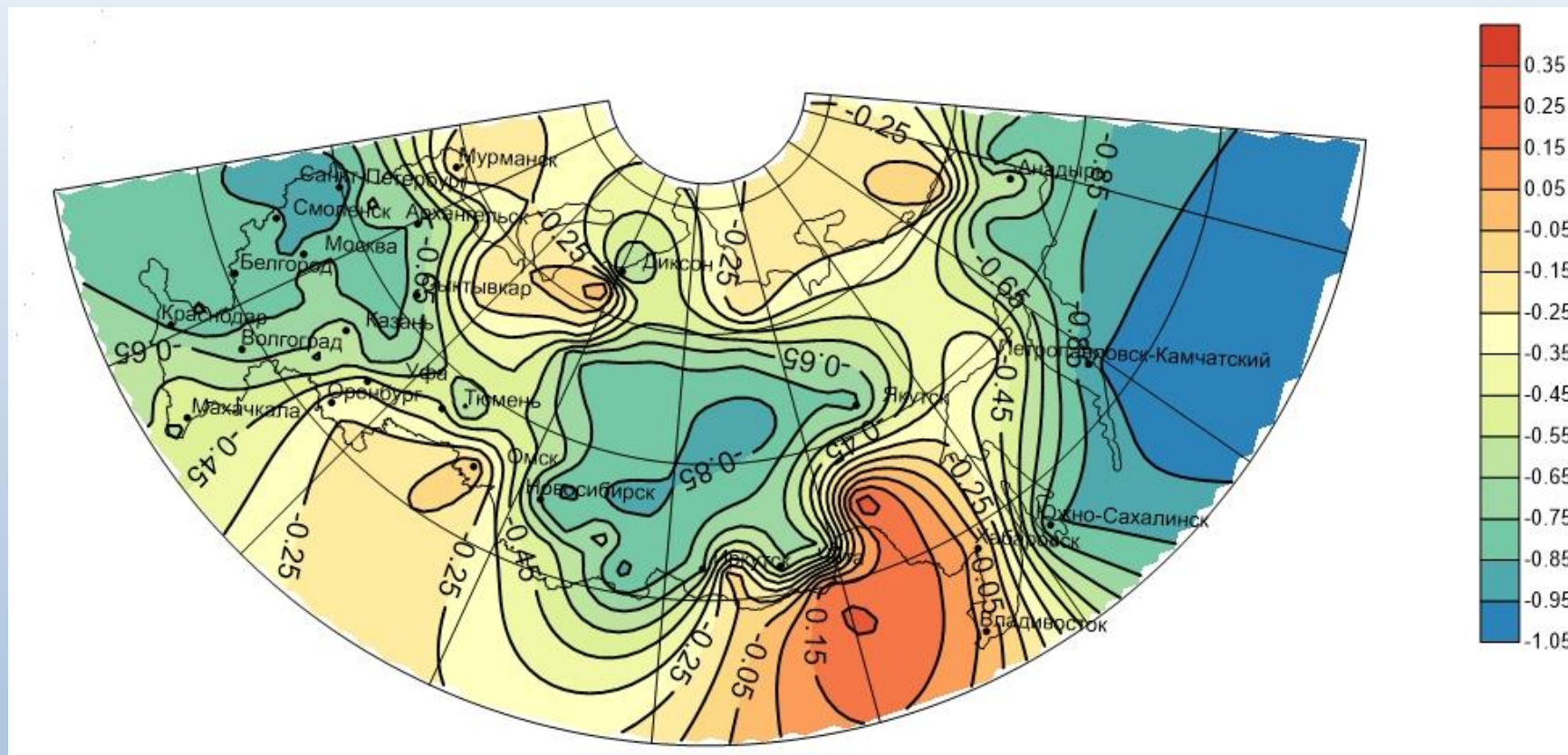
Общее количество облаков (баллы) на территории России (1979-2023 гг.) в летний период



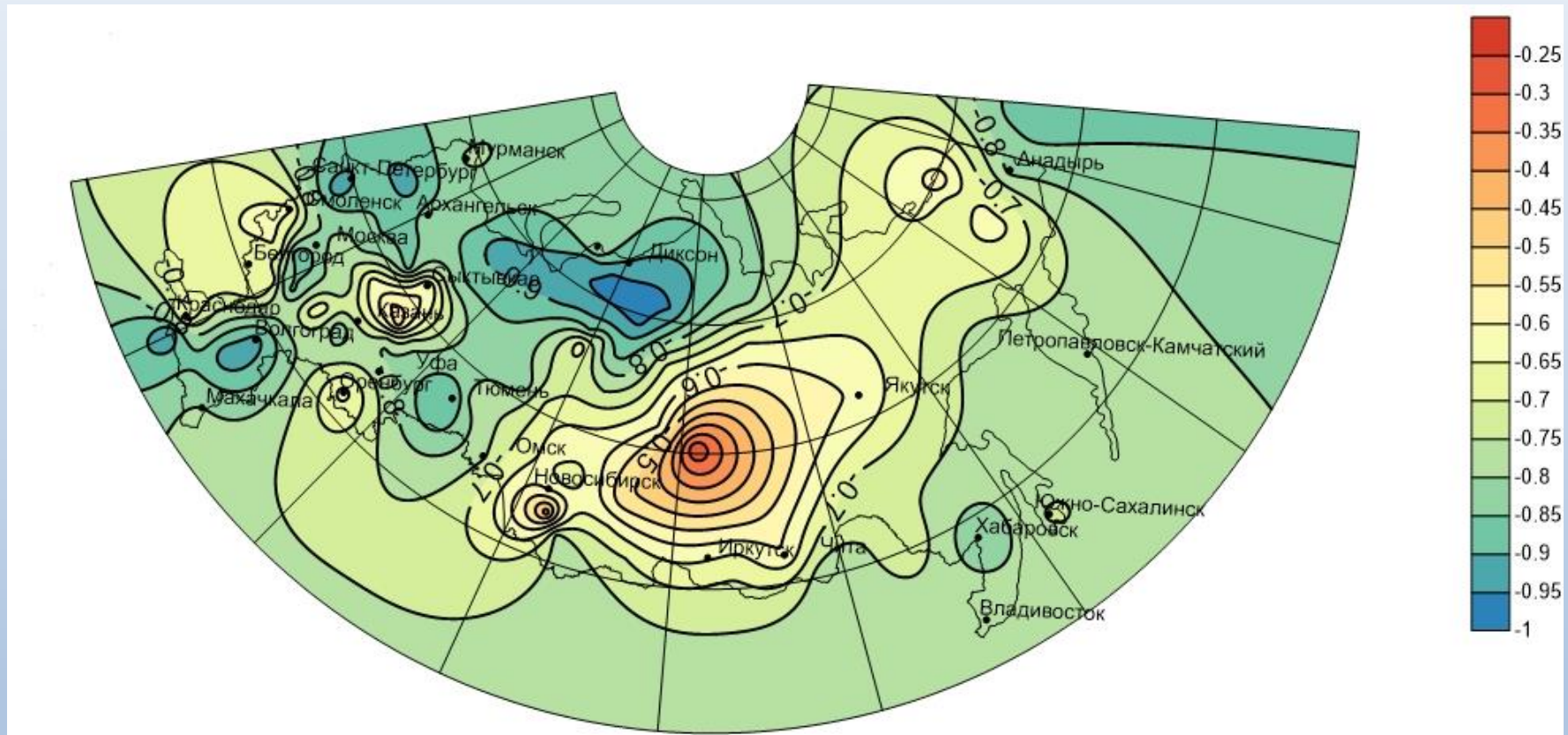
КНЛТ общего количества облаков (баллы/ 10 лет) на территории России (1979-2023 гг.) в летний период



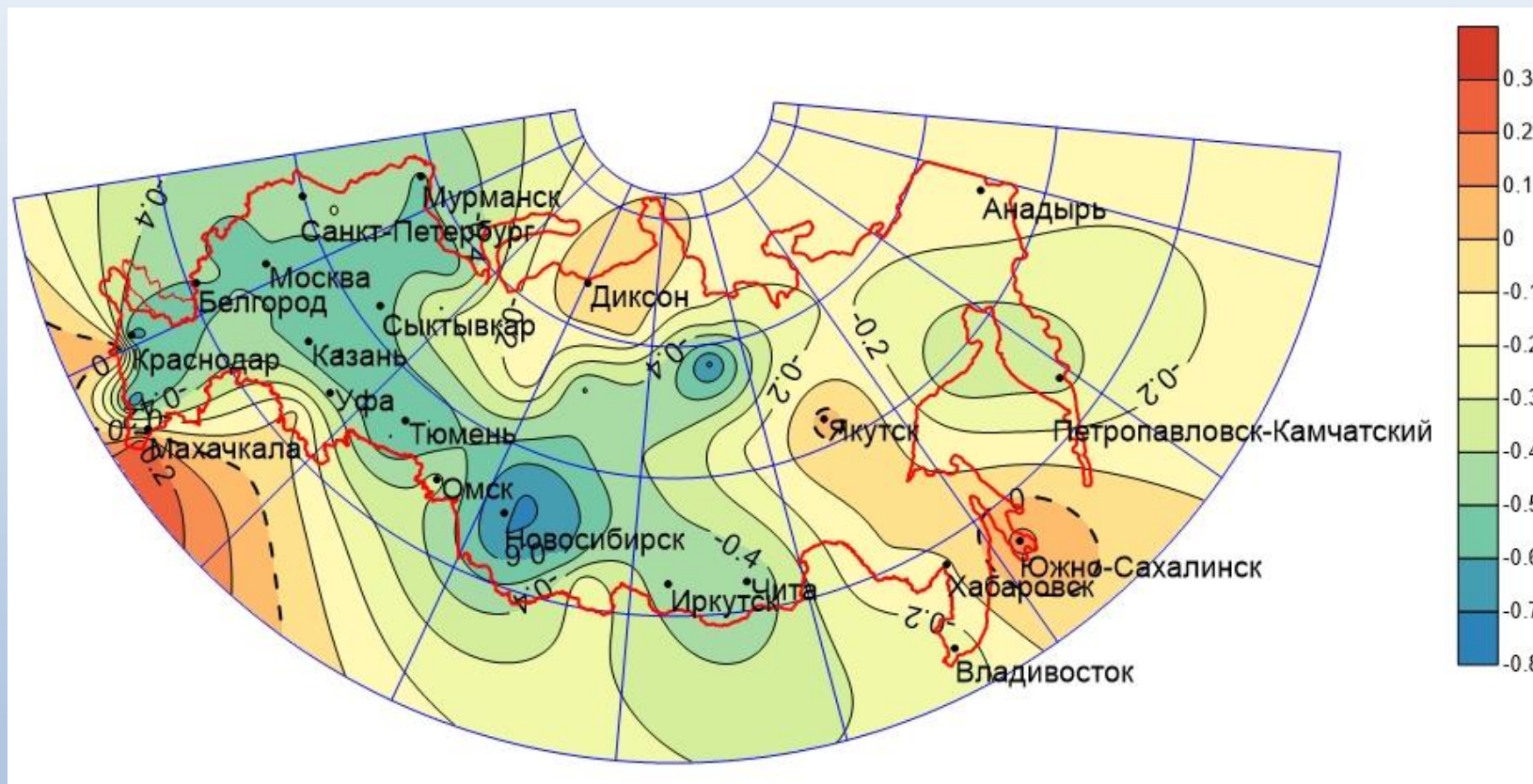
Коэффициент корреляции между количеством общей облачности и суммарной радиацией на территории России (1979-2023 гг.) в зимний период



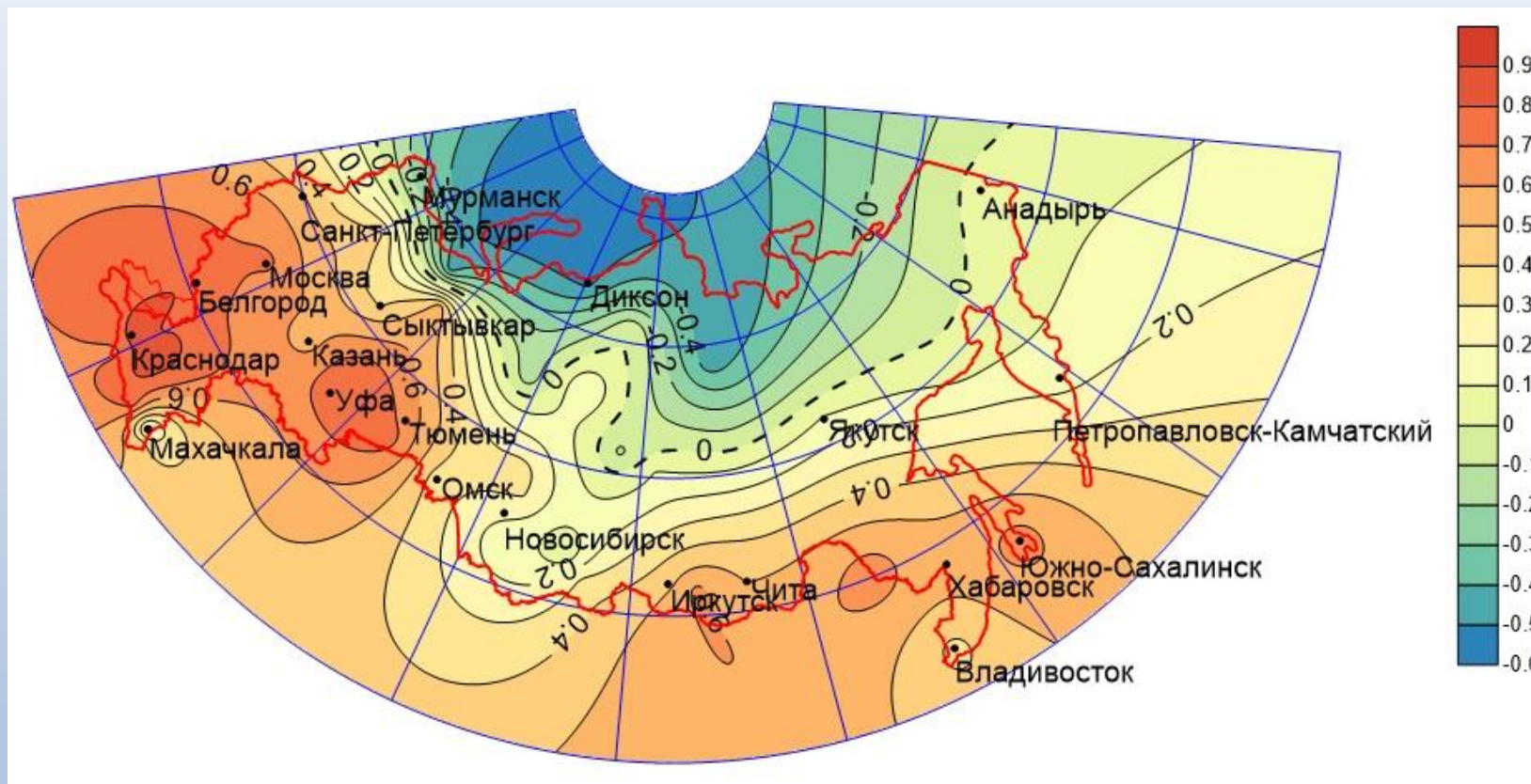
Коэффициент корреляции между количеством общей облачности и суммарной радиацией на территории России (1979-2023 гг.) в летний период



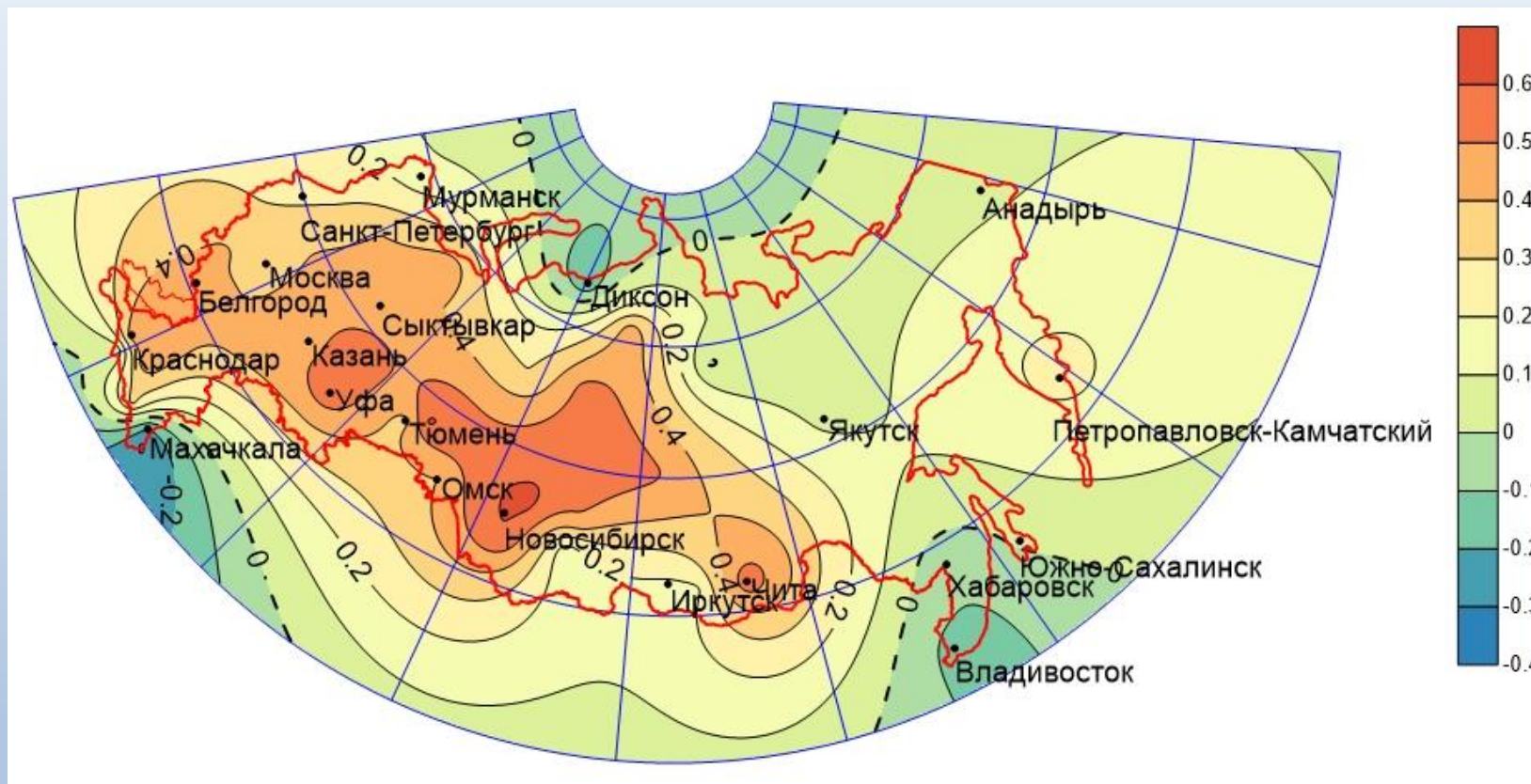
Коэффициент корреляции между суммарной радиацией и температурой воздуха на территории России (1979-2023 гг.) в зимний период



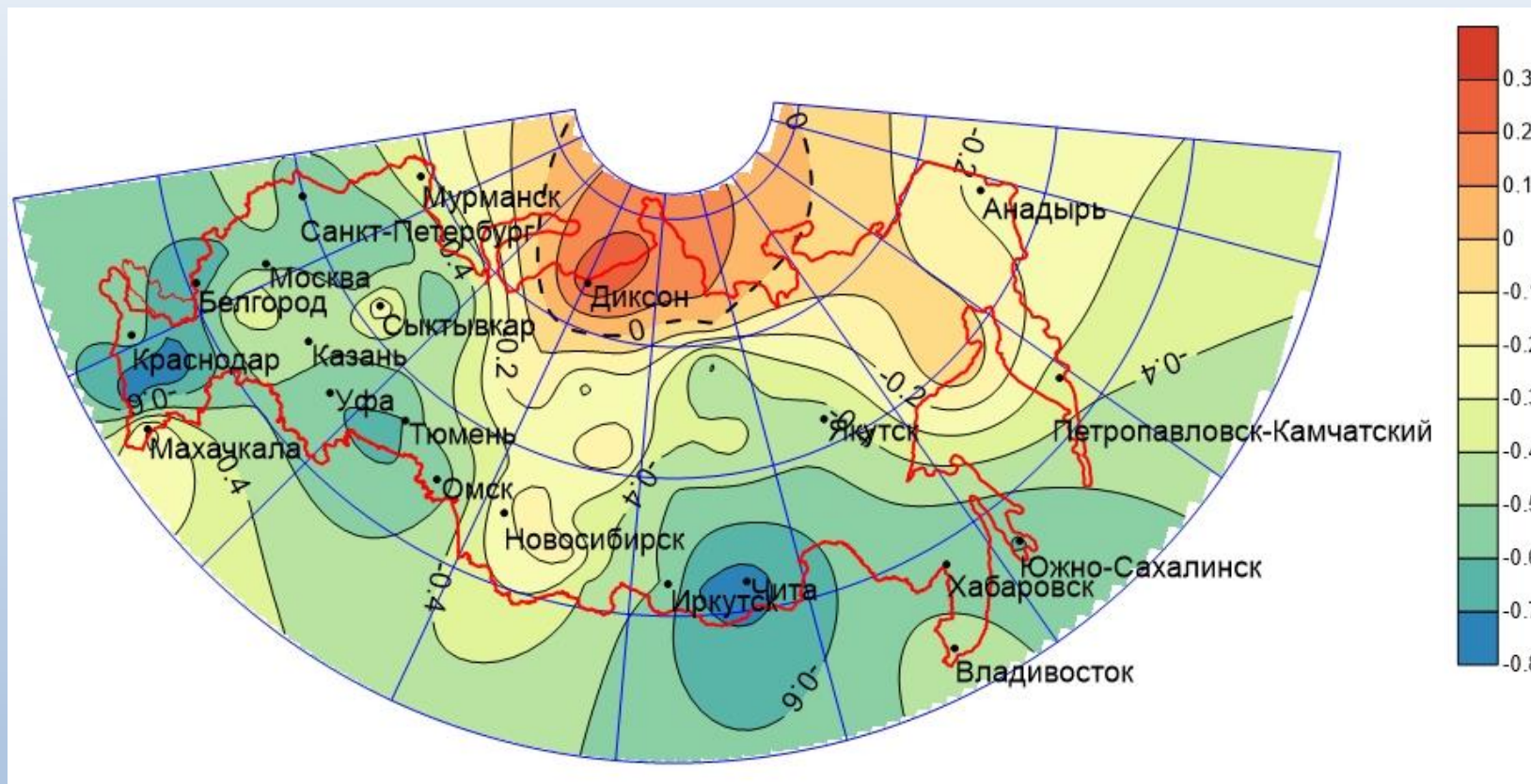
Коэффициент корреляции между суммарной радиацией и температурой воздуха на территории России (1979-2023 гг.) в летний период



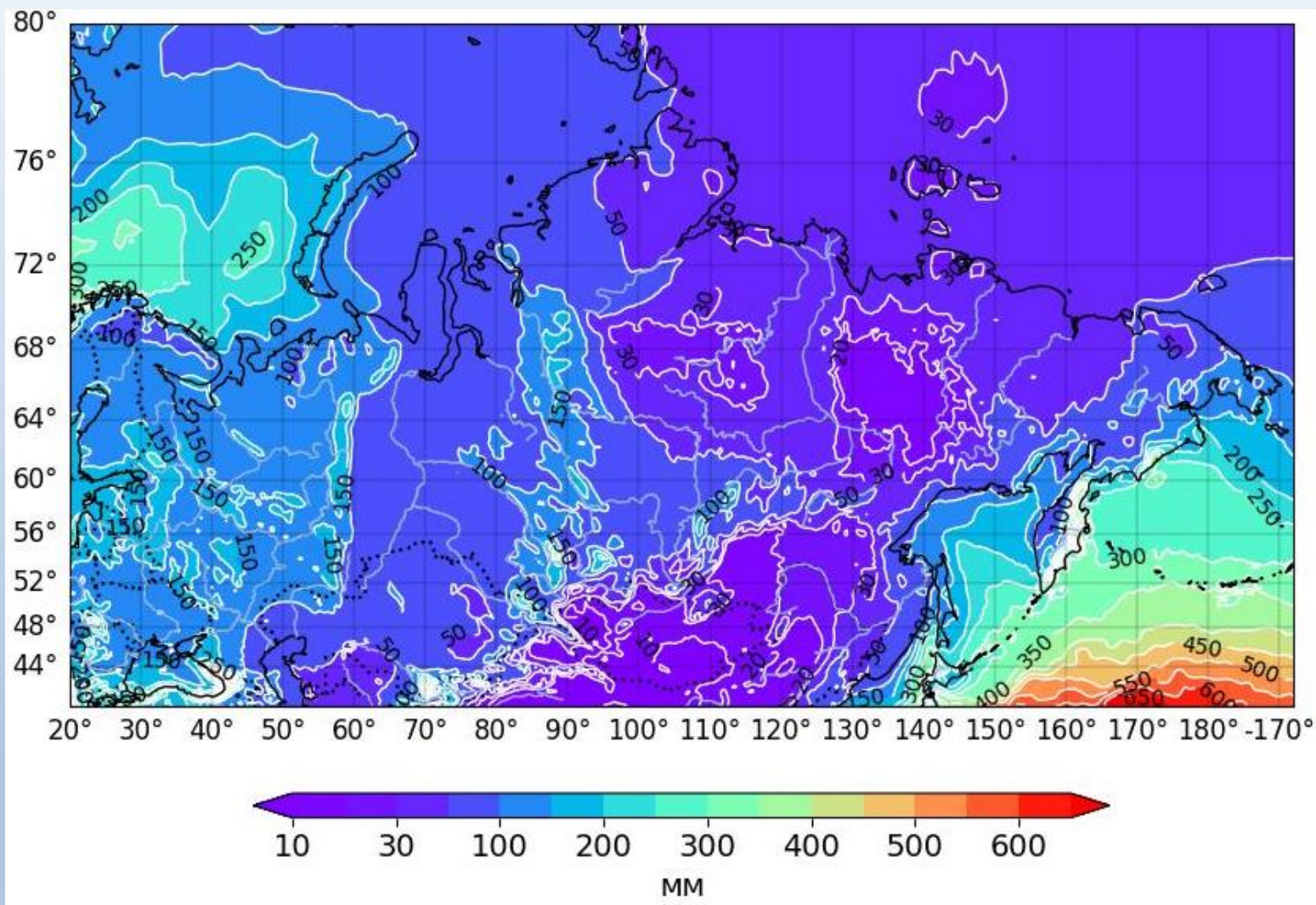
Коэффициент корреляции между количеством общей облачности и температурой воздуха на территории России (1979-2023 гг.) в зимний период



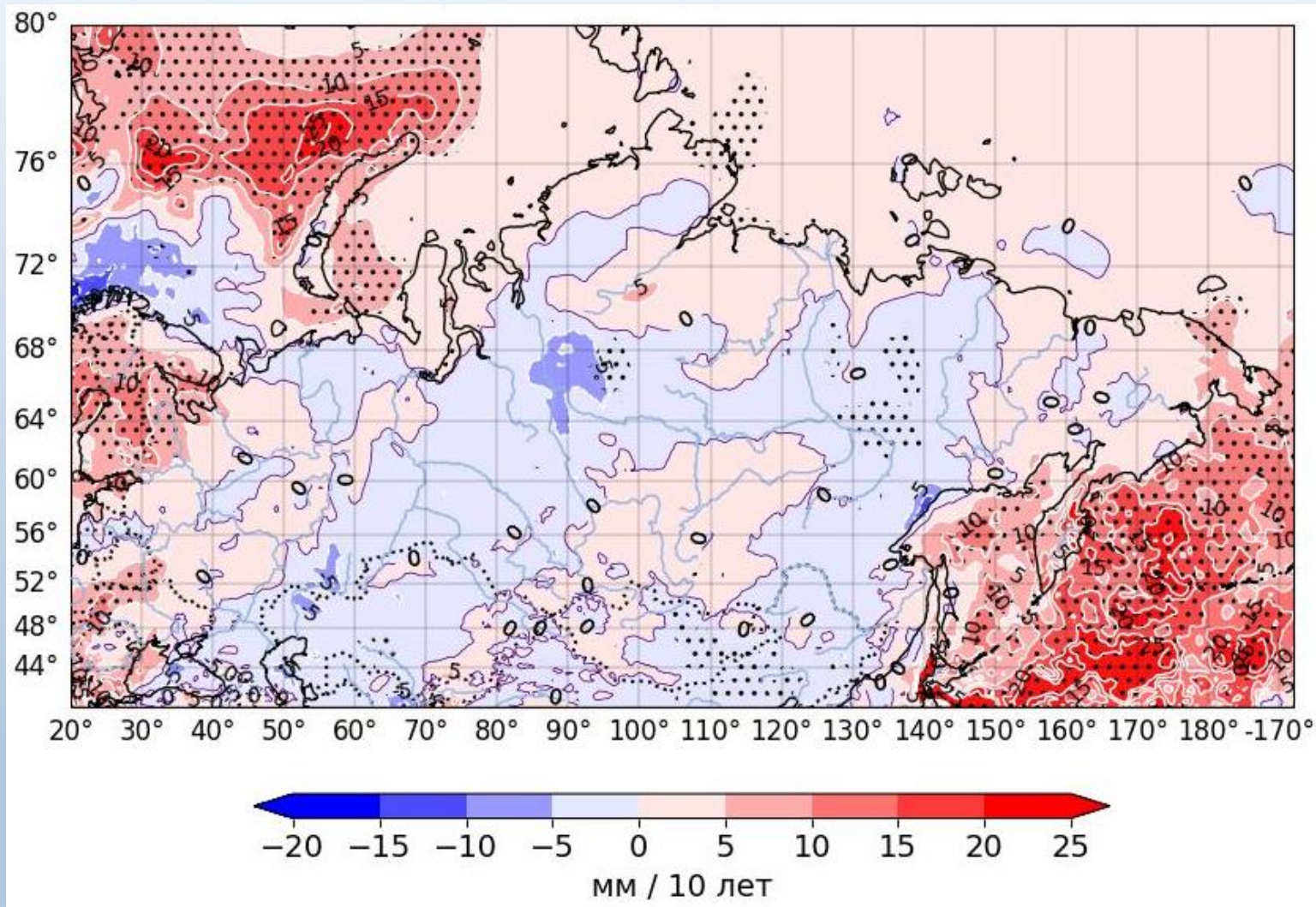
Коэффициент корреляции между количеством общей облачности и температурой воздуха на территории России (1979-2023 гг.) в летний период



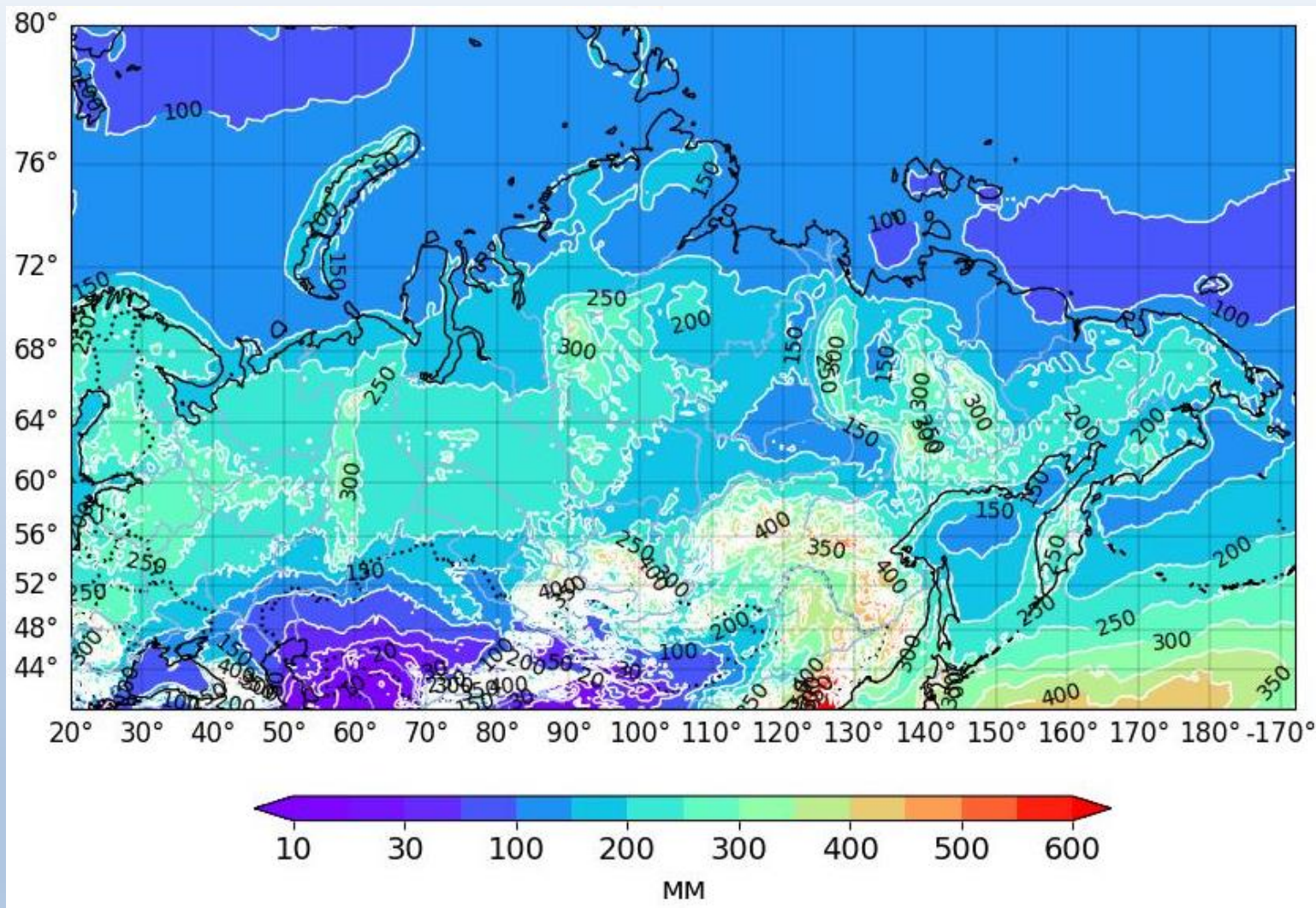
Общее количество осадков (мм) на территории России (1979-2023 гг.) в зимний период



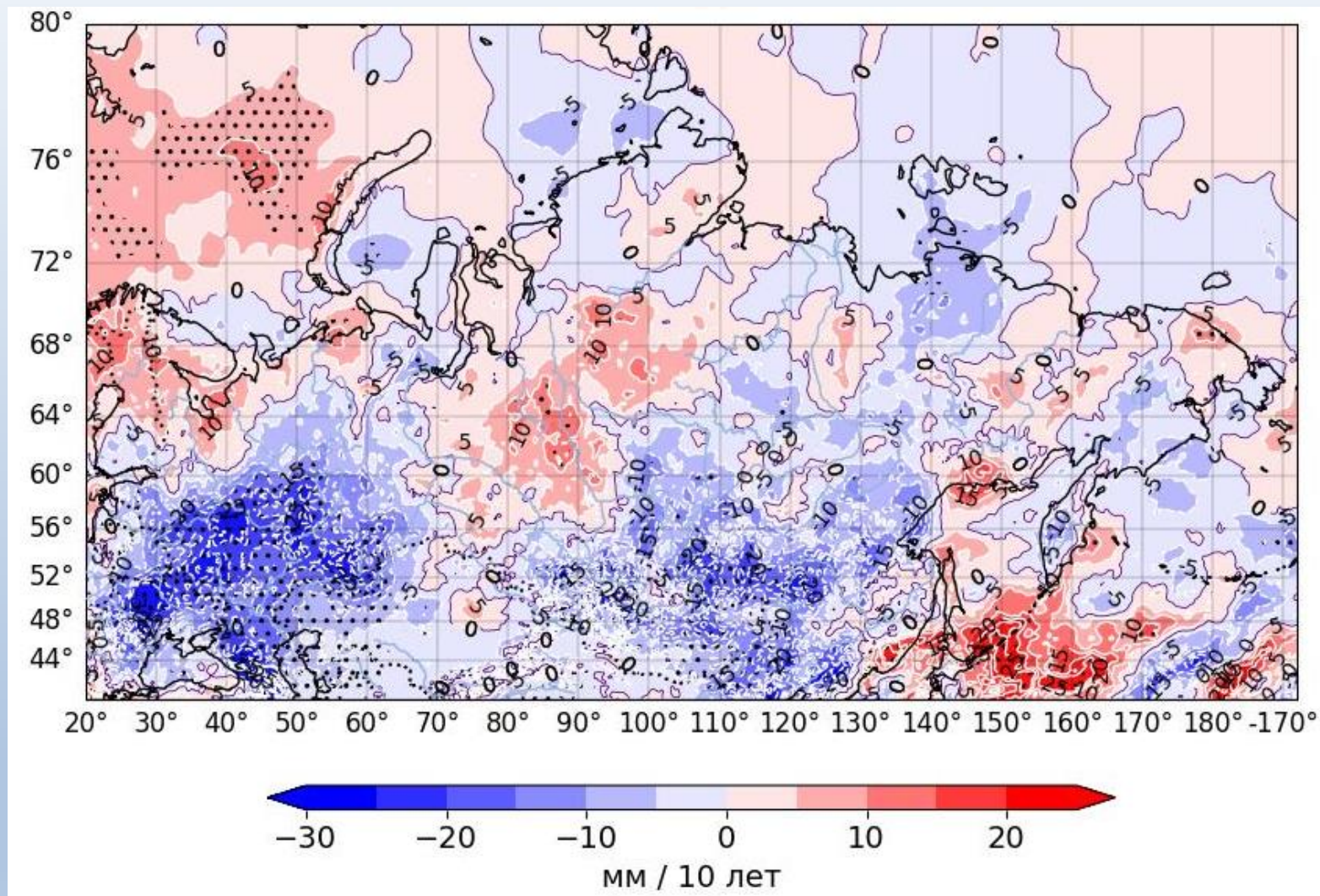
КНЛТ общего количества осадков (мм/ 10 лет) на территории России (1979-2023 гг.) в зимний период



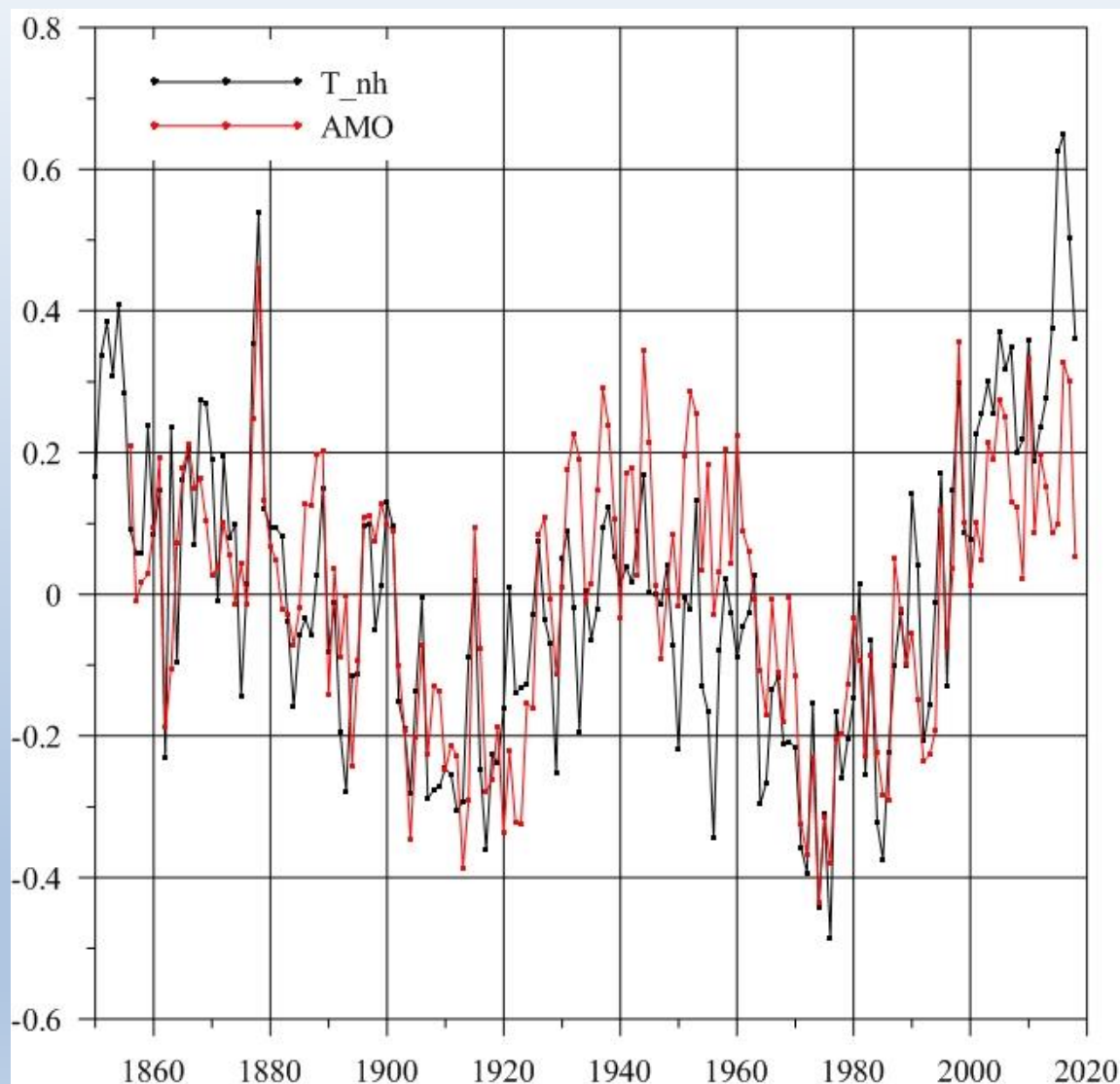
Общее количество осадков (мм) на территории России (1979-2023 гг.) в летний период



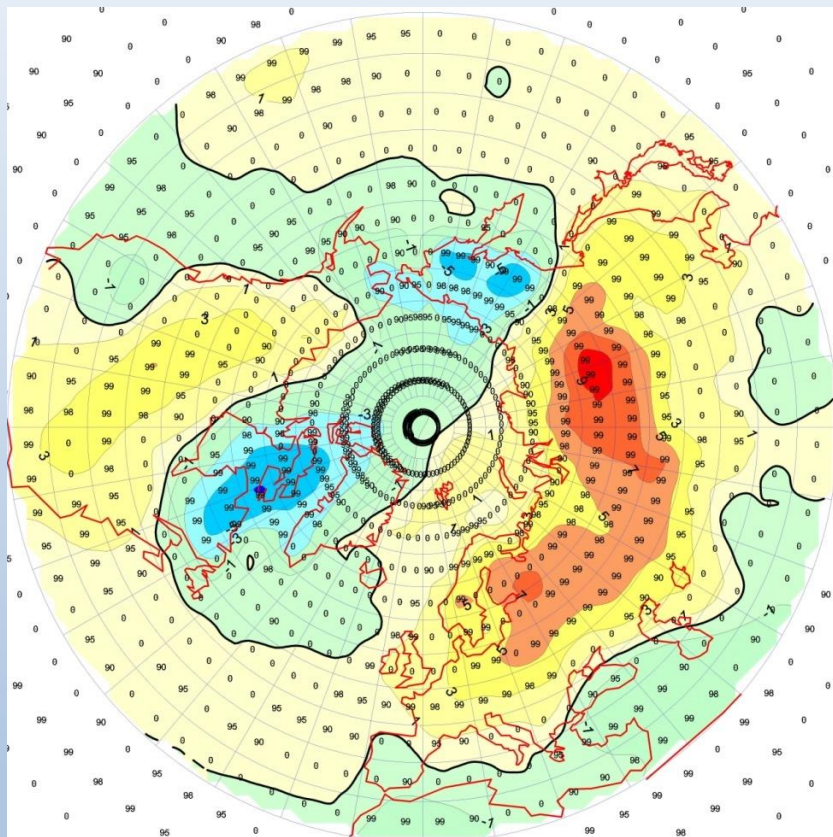
КНЛТ общего количества осадков (мм/ 10 лет) на территории России (1979-2023 гг.) в летний период



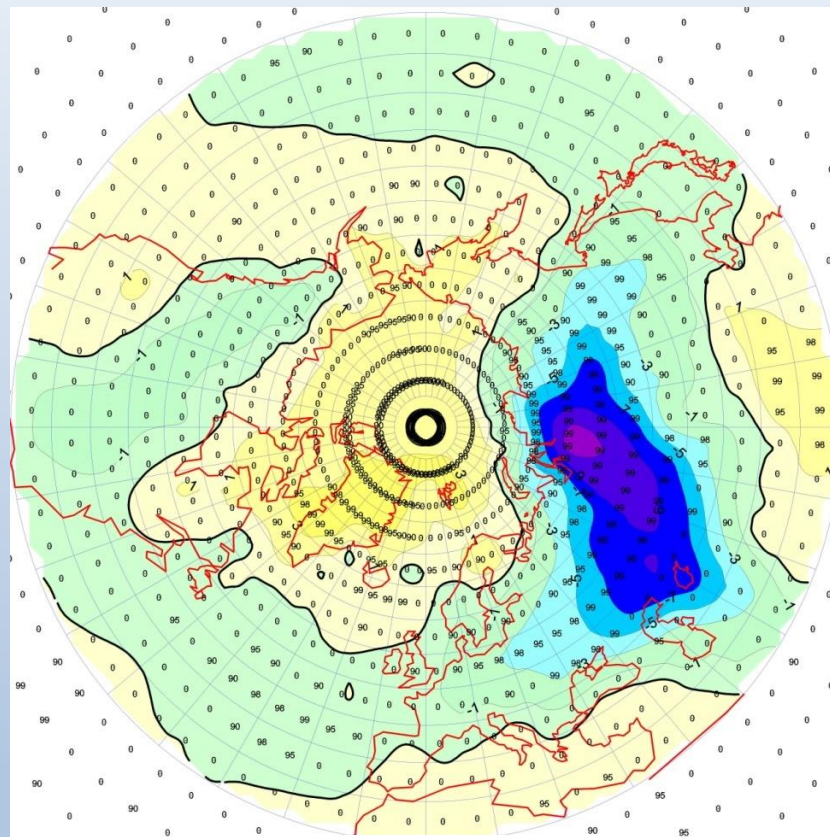
Многолетний ход приповерхностной средней годовой температуры Северного полушария и индекса АМО (°С) 1850–2019 гг.



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

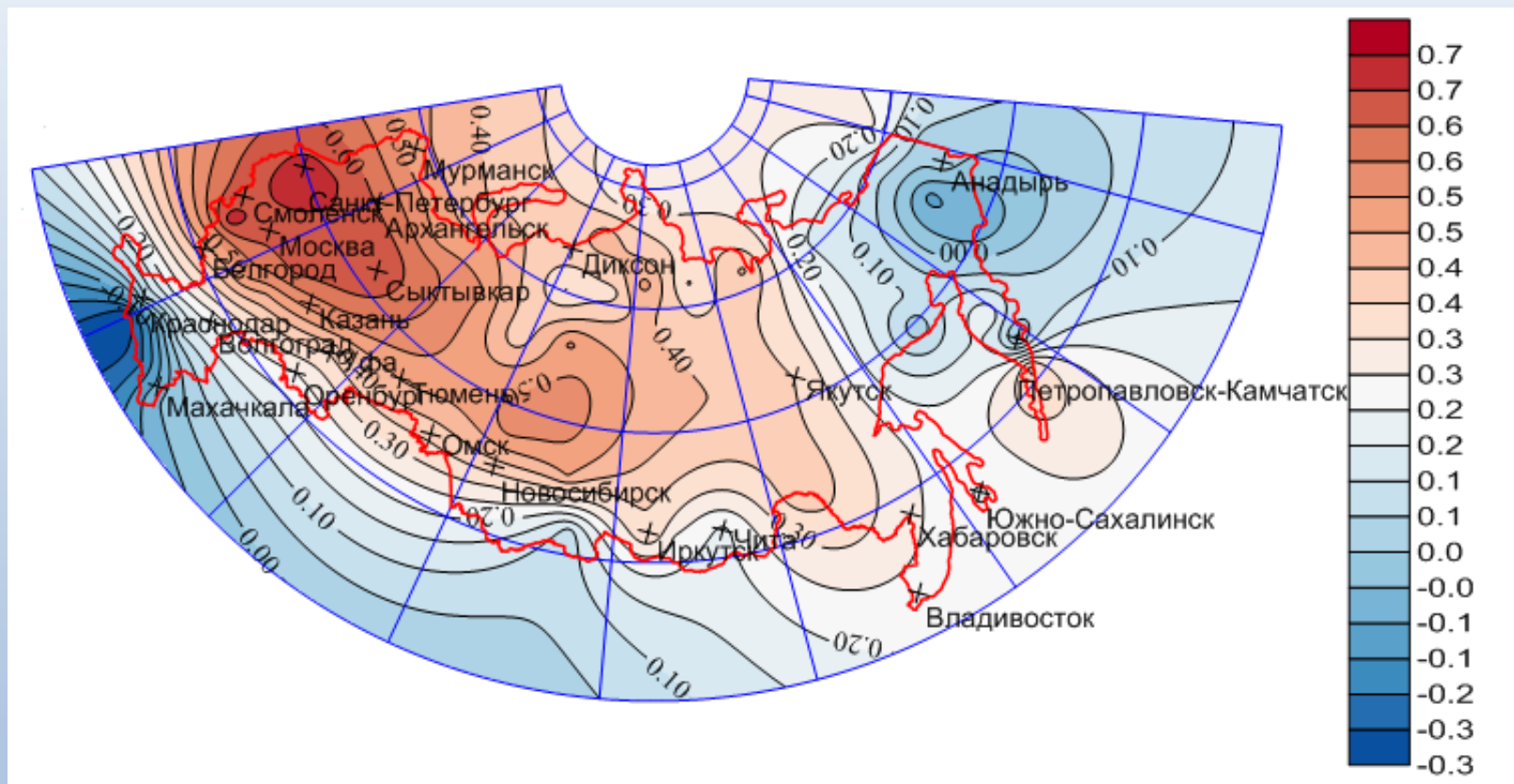


АО



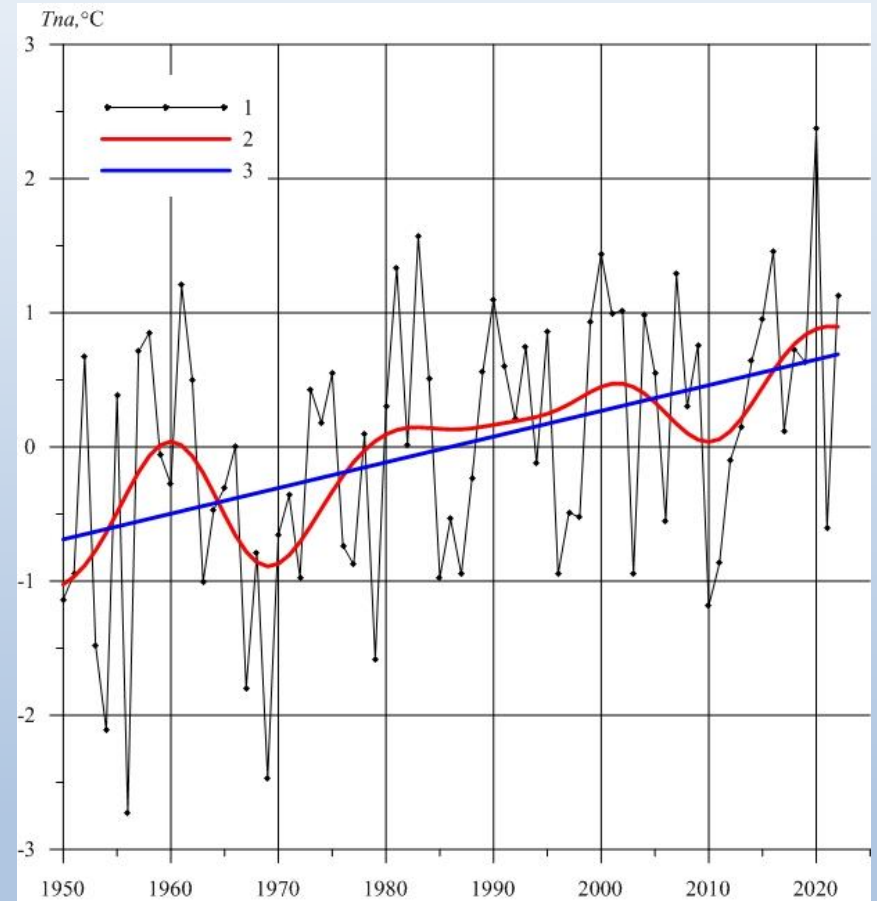
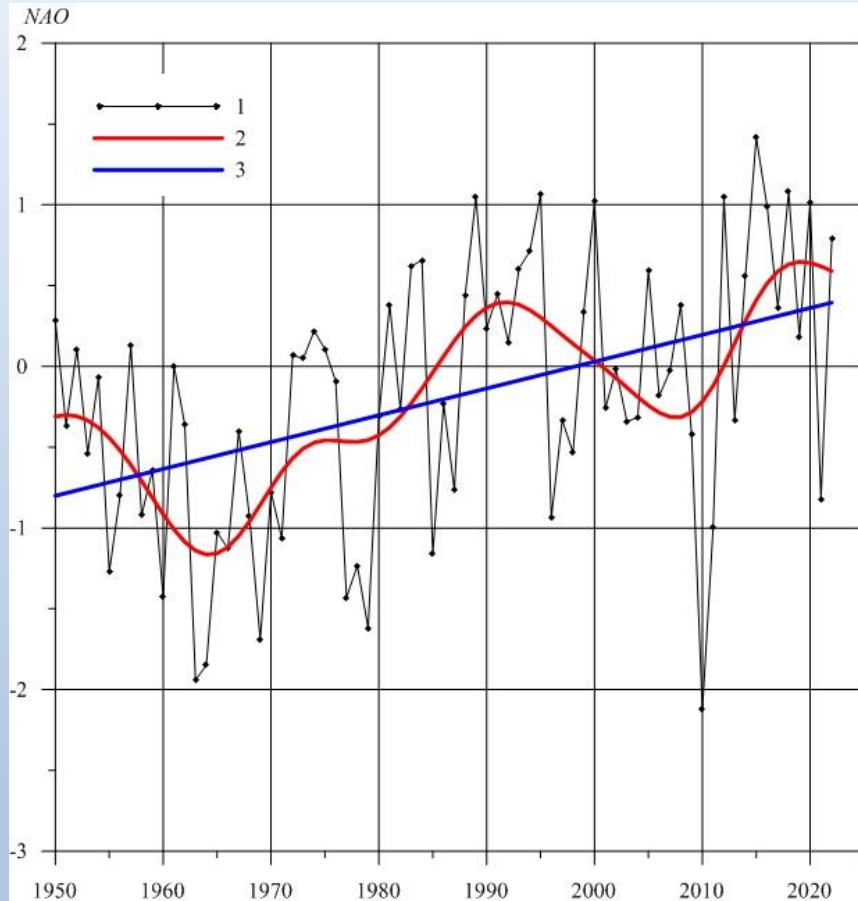
SCAND

Коэффициент корреляции между температурой воздуха и Североатлантическим колебанием (NAO) на территории России (1979-2023 гг.) в зимний период



Многолетний ход индекса циркуляции и нормированных аномалий температуры воздуха на ст. Казань, университет. Зима

Коэффициент корреляции исходных рядов $R_{NAO, Tna} = 0.61$



NAO

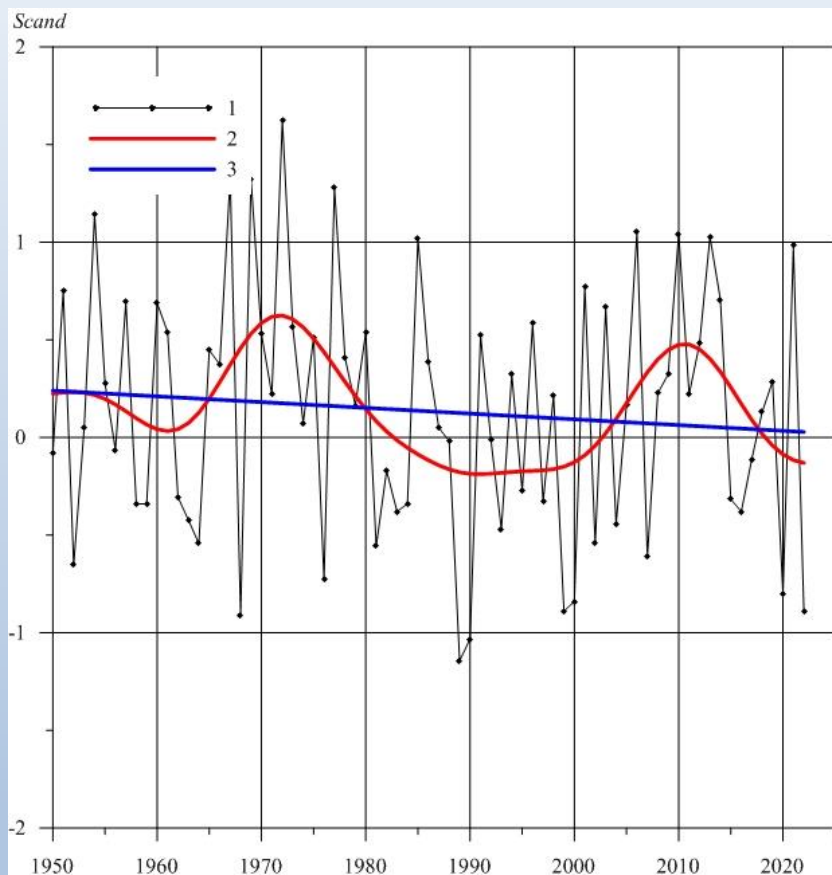
$A = 0,16$, ед/10 лет, $R^2L = 16\%$, $R^2F = 36\%$,
 $Av = 0.20$, $Sd = 0.81$

Аномалии температуры

$A = -0,19^\circ\text{C}/10$ лет, $R^2L = 14\%$, $R^2F = 27\%$
 $Av = 0$, $Sd = 0.99$

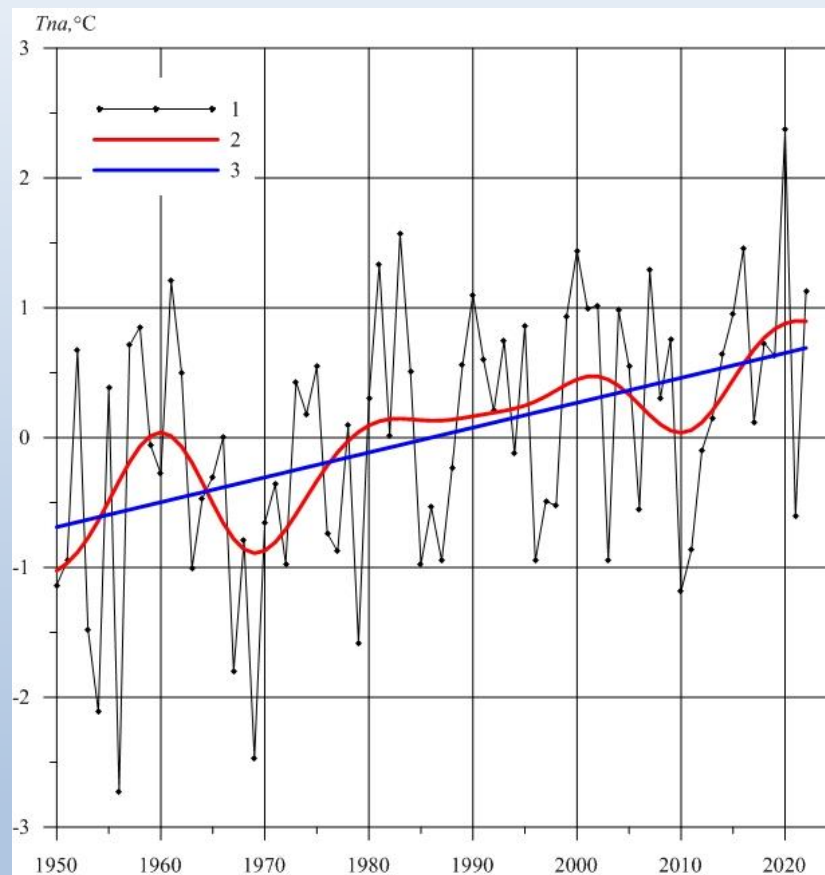
Многолетний ход индекса циркуляции и нормированных аномалий температуры воздуха на ст. Казань, университет. Зима

Коэффициент корреляции исходных рядов $R_{SCAND, Tna} = -0.51$



SCAND

$A = -0.02$, ед/10 лет, $R^2L = 0\%$, $R^2F = 15\%$,
 $Av = 0.13$, $Sd = 0.64$

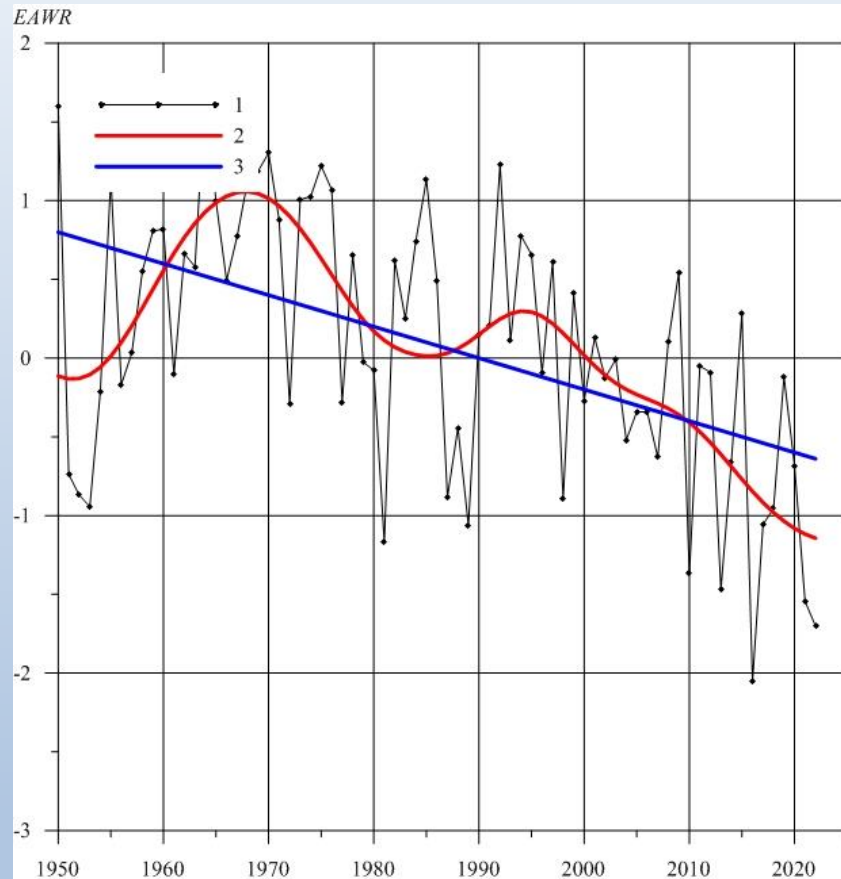


Аномалии температуры

$A = -0.19^\circ\text{C}/10$ лет, $R^2L = 14\%$, $R^2F = 27\%$
 $Av = 0$, $Sd = 0.99$

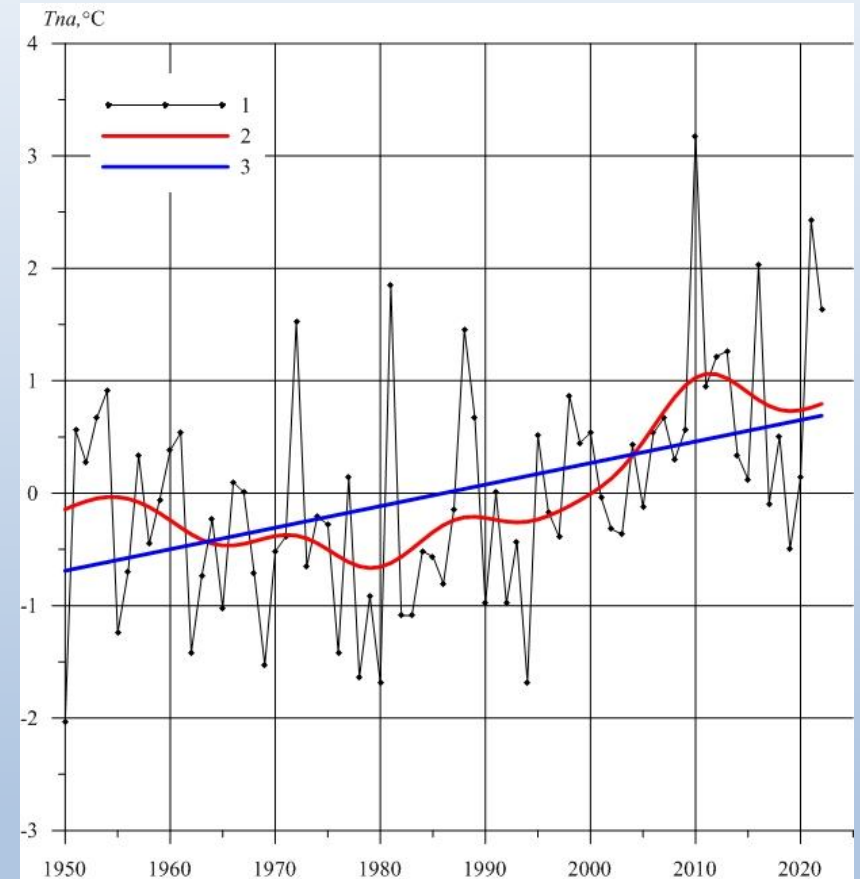
Многолетний ход индекса циркуляции и нормированных аномалий температуры воздуха на ст. Казань, университет. Лето

Коэффициент корреляции исходных рядов $R_{EAWR, Tna} = -0.72$



EAWR

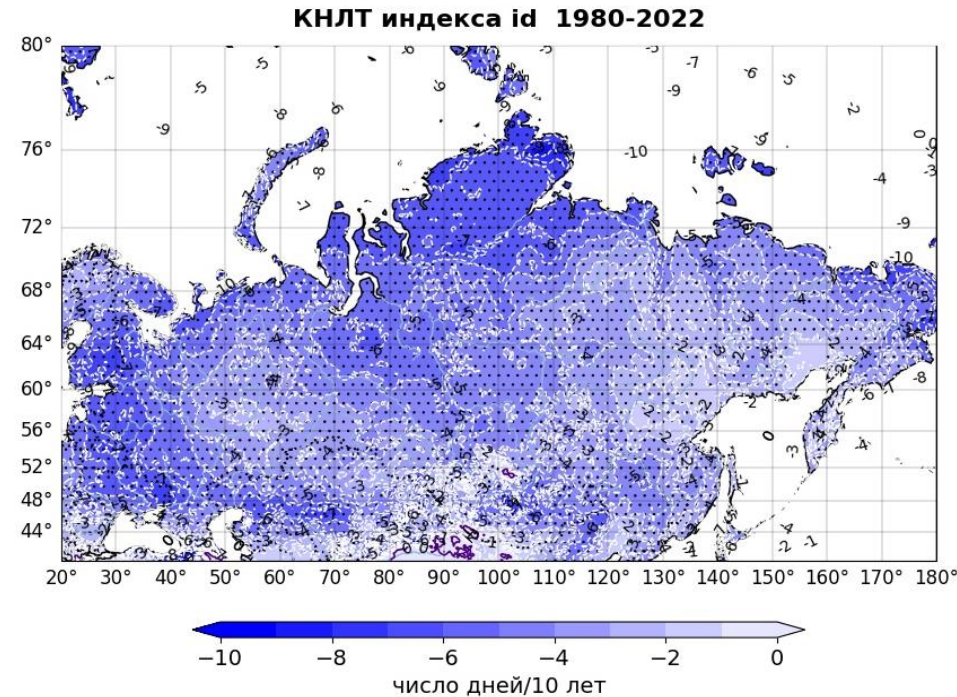
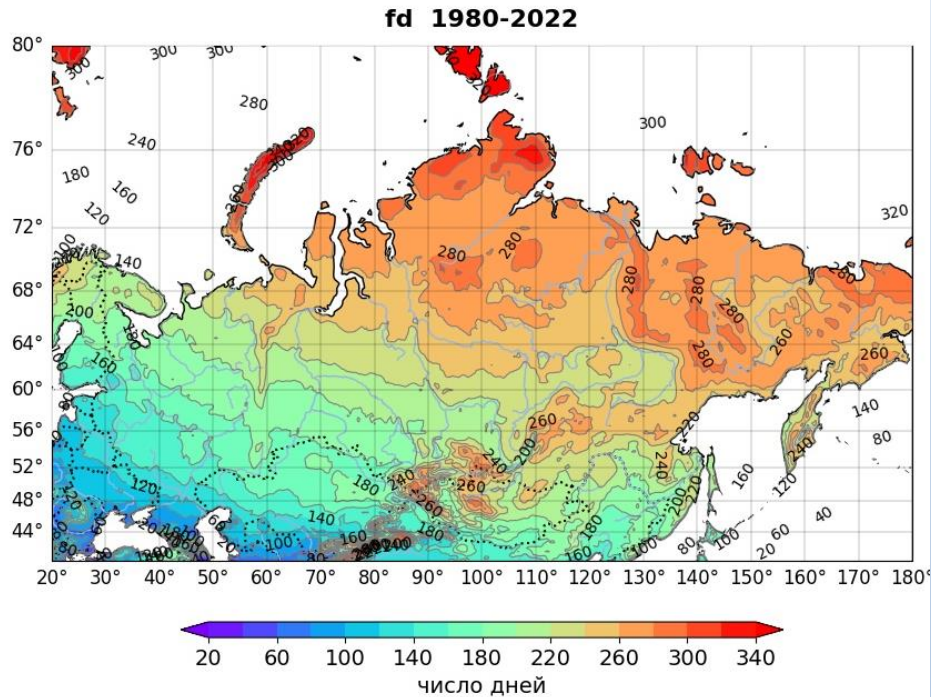
$A = -0,20$, ед/10 лет, $R^2L = 23\%$, $R^2F = 46\%$,
 $Av = 0.08$, $Sd = 0.84$



Аномалии температуры

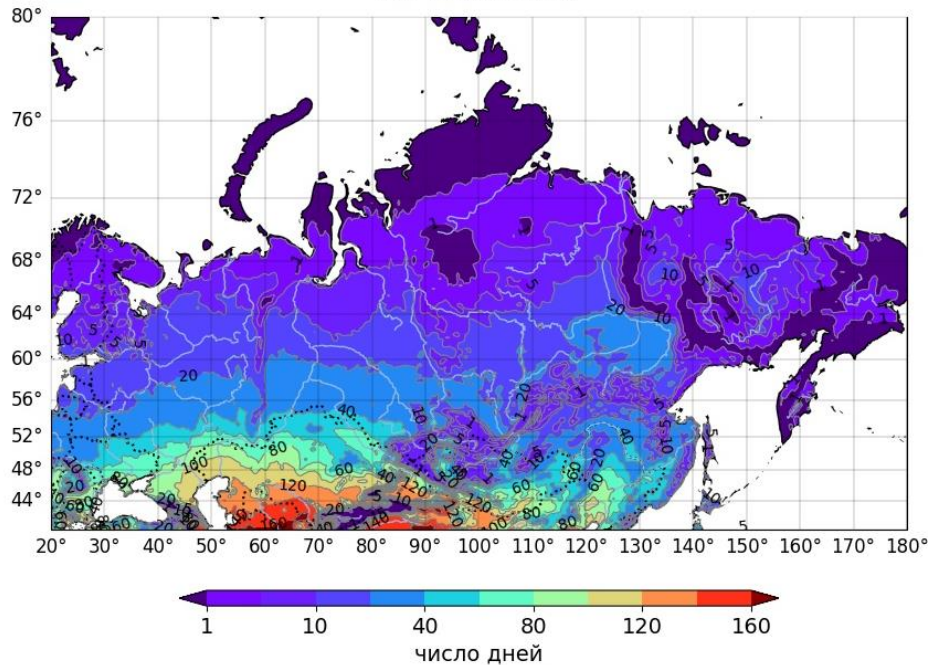
$A = -0,19^{\circ}\text{C}/10$ лет, $R^2L = 14\%$, $R^2F = 30\%$ $Av = 0$,
 $Sd = 0.99$

**Среднее многолетнее значение числа морозных дней fd
(суточная минимальная температура ниже 0°C)
(средние значения - слева; значения КНЛТ - справа)**

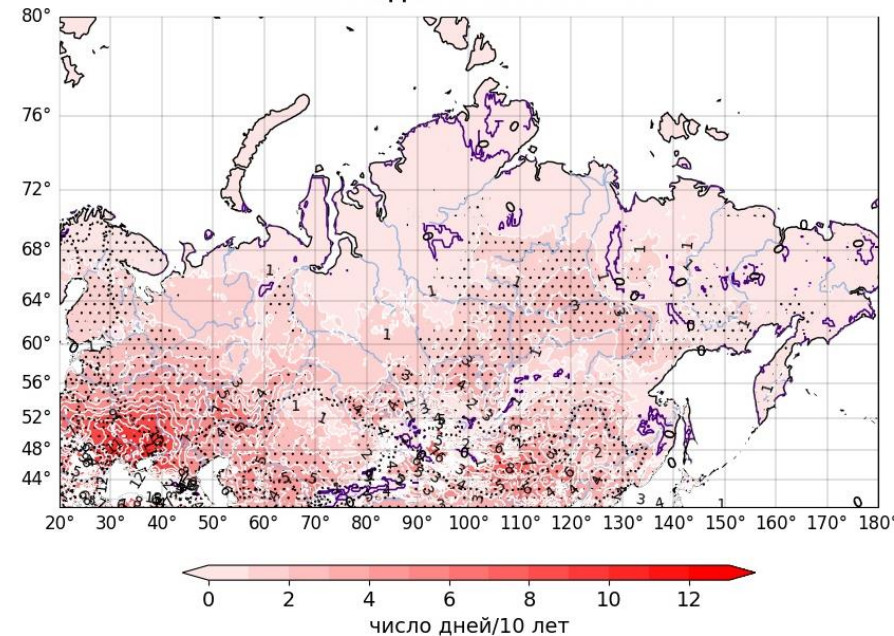


**Среднее многолетнее значение числа летних дней SU
(суточная максимальная температура выше 25°C)
(средние значения - слева; значения КНЛТ - справа)**

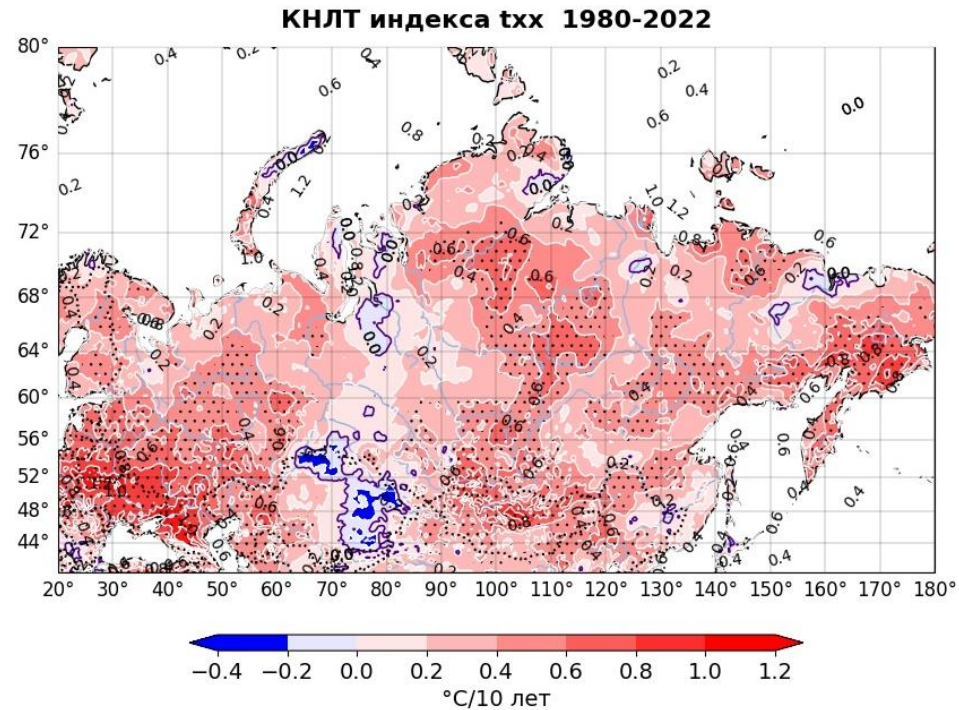
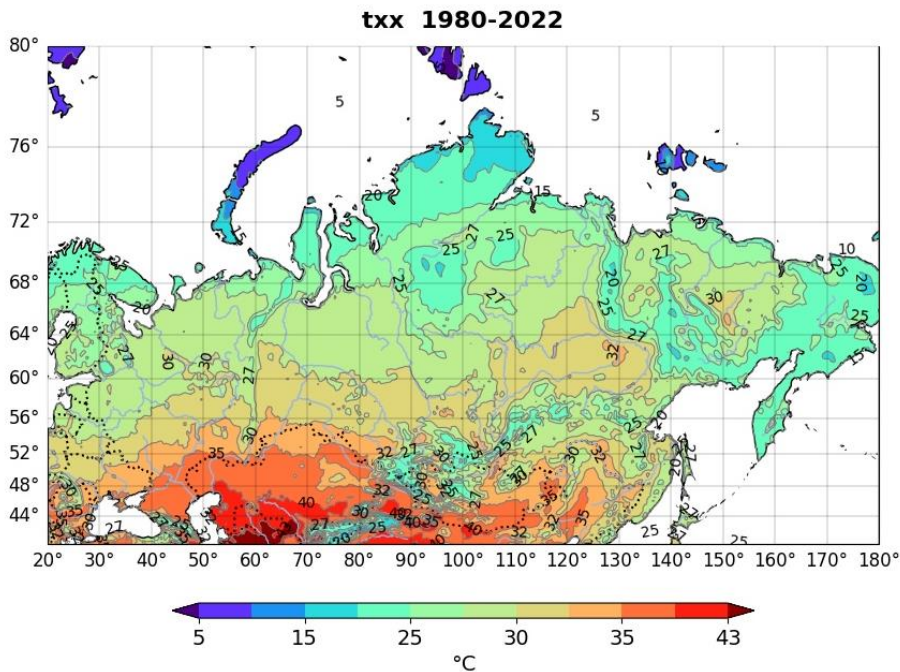
su 1980-2022



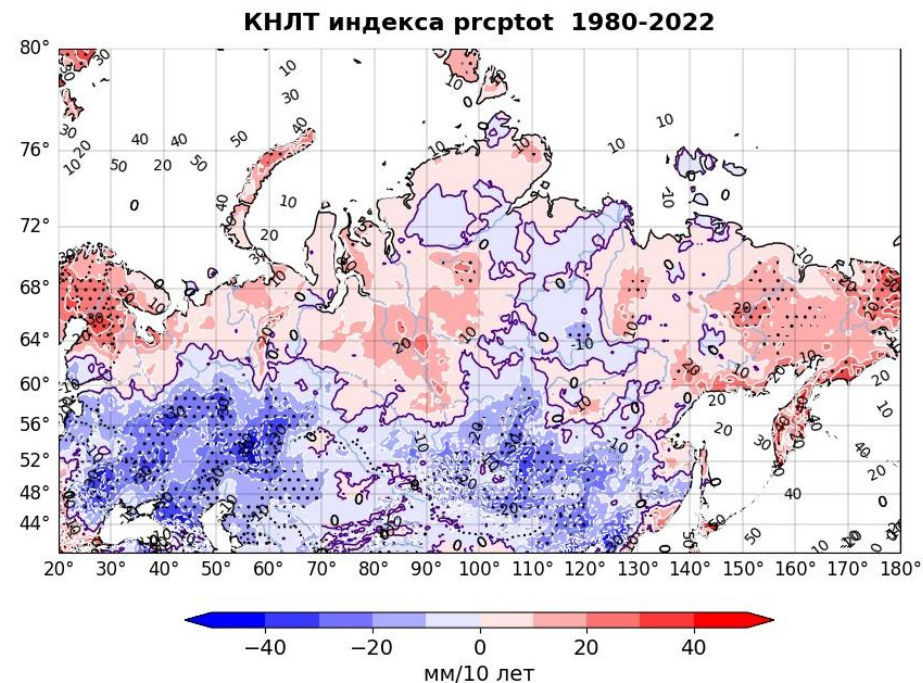
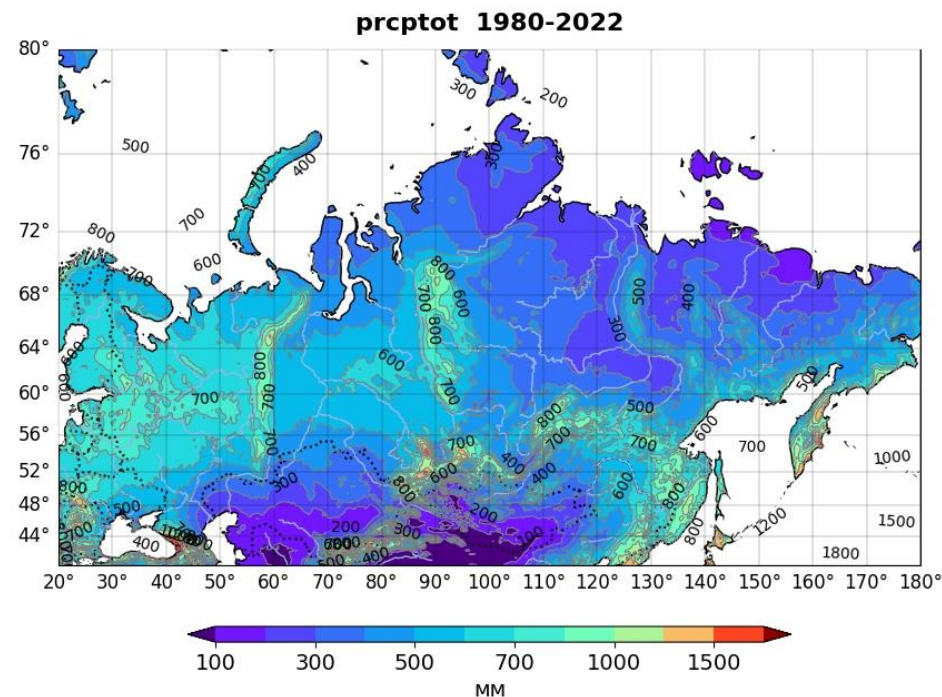
КНЛТ индекса su 1980-2022



Среднее многолетнее значение годового максимума суточной максимальной температуры воздуха ТХх (°C) (средние значения - слева; значения КНЛТ - справа)

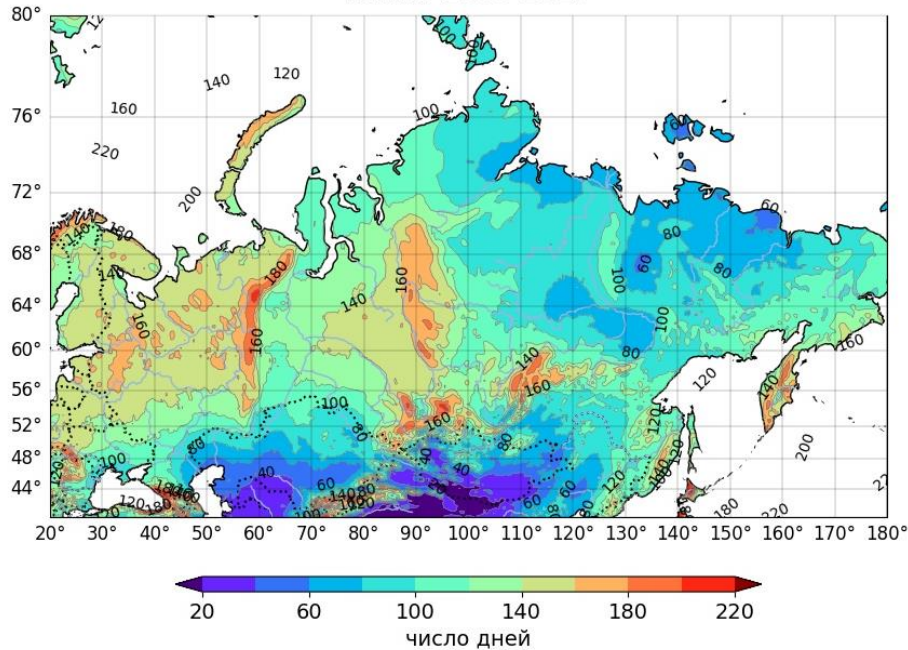


Среднее многолетнее значение годового количества осадков PRCPTOT (мм) (средние значения - слева; значения КНЛТ - справа)

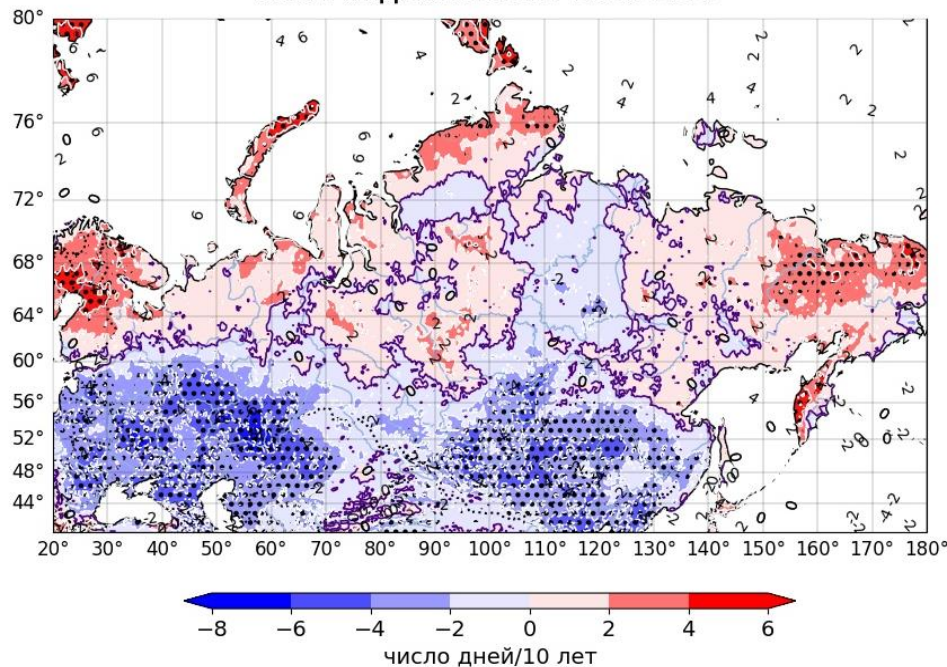


**Среднее многолетнее количество влажных дней R1mm
(когда общее количество осадков превышает 1 мм)
(средние значения - слева; значения КНЛТ - справа)**

r1mm 1980-2022



КНЛТ индекса r1mm 1980-2022



Выводы

1. В рассматриваемый период практически на всей территории России в течение года происходит потепление климата за исключением южных районов Западной и Средней Сибири в зимний период. Значения КНЛТ температуры воздуха свидетельствуют о неоднородном характере потепления в регионах России и в различные сезоны года. Так, в июле повсеместно скорость потепления минимальна в году.

2. В зимний период на континентальной территории России отмечается рост атмосферного давления со скоростью достигающей 1 гПа/10 лет (п-ов Ямал) за исключением Камчатки, где давление падает. Летом отмечается рост давления в центре ЕЧР (КНЛТ=0,6 гПа/10 лет) и обширная область падения давления в Арктике и на севере Сибири. В целом картина достаточно неустойчива.

3. Сезонные корреляционные связи между температурой воздуха и атмосферным давлением имеют неустойчивый характер на территории России. Зимой на обширной территории Сибири в условиях азиатского максимума давления устанавливается между этими показателями тесная отрицательная связь ($r=-0,7$). Летом в центре ЕЧР, наоборот, связь положительная ($r=0,6$).

4. Влияние циркуляционных мод на термический режим России неоднородно как по знаку, так и по интенсивности. В зимний период осцилляции АО, NAO способствуют потеплению климата, SCAND охлаждению, EAWR понижает температуру в летний период.

5. Выявлено возрастание количества облаков зимой на территории России со скоростью до 1 балла/10 лет за исключением центральной и северной частей Восточной Сибири. Летом изменения количества облаков минимальны, их убыль отмечается на юге ЕЧР и Восточной Сибири. Отмечаются высокие значения отрицательной корреляции между общей облачностью и суммарной радиацией, достигающей в летний период значения -0,9 на севере ЕЧР и Западной Сибири, арктическом побережье.

6. В январе корреляция между температурой воздуха и количеством общей облачности на всей территории России положительна ($r_{\max}=0,45$ в Западной Сибири). В июле знак корреляции становится отрицательным (в центре ЕЧР $r=-0,55$). Следовательно, зимой облачность способствует росту температуры, летом понижению.

7. Корреляция между облачностью и суммарной радиацией ($r=-0,8$ во все сезоны года) более высокая, чем между облачностью и температурой, что свидетельствует о необходимости привлечения сведений о характере атмосферной циркуляции для объяснения колебаний температуры.

8. Пространственно-временные изменения приходящей солнечной радиации зависят от состояния общей облачности. В местах роста количества облачности ($\text{КНЛТ}>0$), потоки суммарной радиации ослабевают ($\text{КНЛТ}<0$). И наоборот.

9. Обнаружены регионы (зимой центр ЕЧР, регионы Сибири во все сезоны, кроме лета), где корреляция между температурой воздуха и суммарной радиацией отрицательна. Эти условия возникают там, где значения КНЛТ суммарной радиации отрицательны ($\text{КНЛТ}<0$), а КНЛТ температуры больше нуля ($\text{КНЛТ}>0$). Таким образом, возникает следующая цепочка связей: облачность растет, суммарная радиация уменьшается, температура растет. Следовательно, в изменения ТВ вносит вклад глобальный фактор (потепление) плюс циркуляционный.

10. Тесные связи формируются между облачностью и атмосферными осадками во все сезоны на территории России. Величина r достигает в ряде регионов 0,8.

11. Корреляция между температурой и зональным ветром менее устойчива, чем между температурой и меридиональным. В последнем случае значения r достигают зимой $0,7 \div 0,8$.

12. Анализ изменений индекса UTCI указывают на улучшение биоклимата на территории России.

Спасибо за внимание!

ypereved@kpfu.ru