

ДОЛГОВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ВНЕЗАПНЫХ СТРАТОСФЕРНЫХ ПОТЕПЛЕНИЙ И ИХ ВЗАИМОСВЯЗЬ С ПРОЦЕССАМИ В ТРОПОСФЕРЕ

О.С. Зоркальцева¹, О.Ю. Антохина², П.Н. Антохин²

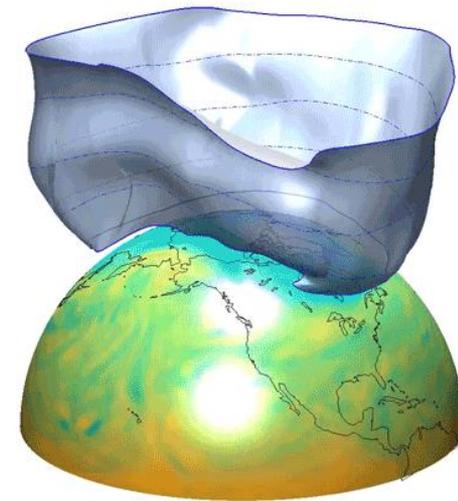
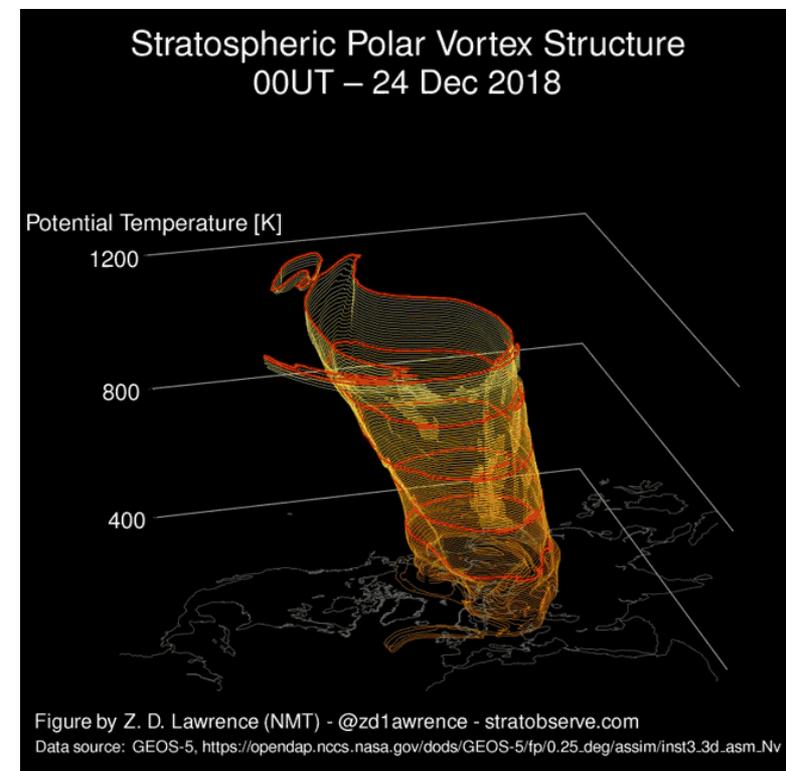
¹Институт солнечно земной физики Сибирского отделения Российской академии наук, Иркутск, Россия, meteorologist-ka@yandex.ru

²Институт оптики атмосферы им. В.И. Зуева Сибирского отделения Российской академии наук, Томск, Россия

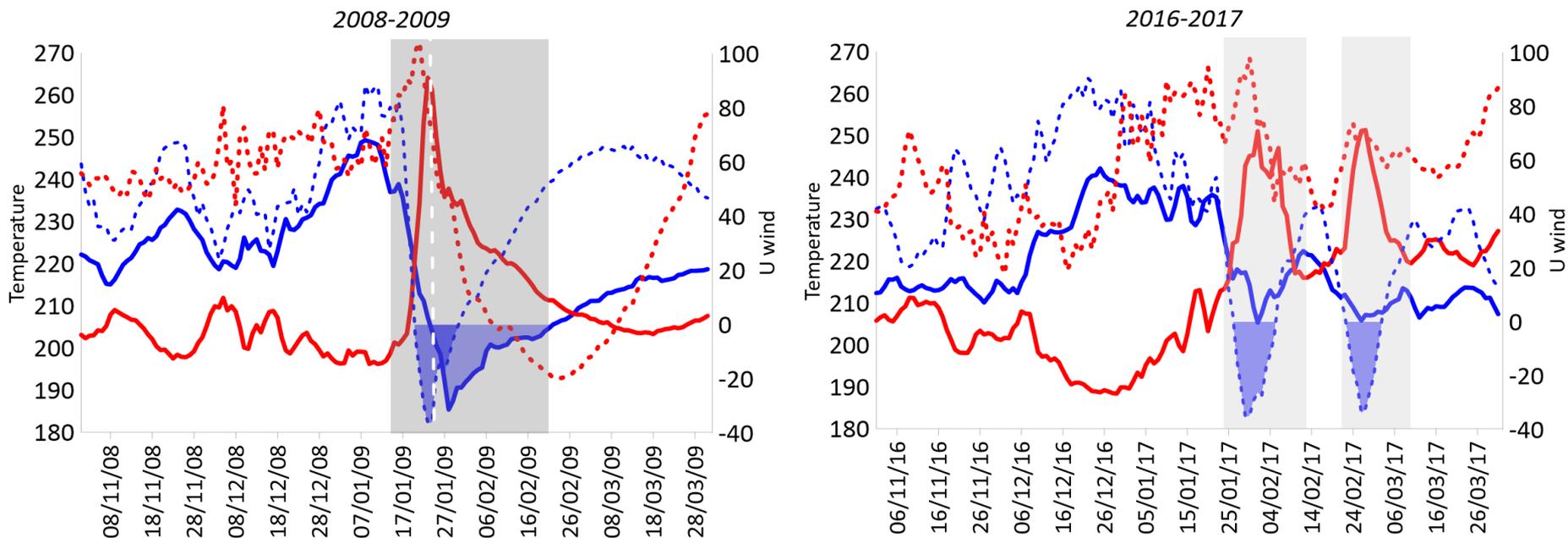
ВСП – наиболее интенсивное событие, отголоски которого регистрируются во всей толще атмосферы (0-100 км и выше)

Почему важно изучать ВСП? На какие практические вещи они влияют?

- Во-первых, на общее содержание озона.
 - Во-вторых, на погоду. Анализ метеорологических данных и расчётов климатических моделей показал, что при ослаблении стратосферного полярного вихря в ряде регионов (в том числе в Восточной Сибири) вероятность резких похолоданий увеличивается на 50% *.
 - В-третьих, на процессы в мезосфере (airglow).
 - В-четвертых, на ионосферу (проводимость слоев, радиосвязь).
- Kolstad E., Breiteig T., Scaife A. The association between stratospheric weak polar vortex events and cold air outbreaks in the Northern Hemisphere // Q. J. R. Meteorol. Soc. 2010. V. 136. P. 886–893.
- Zhang, Y. L., Y. Yi, X. Y. Ren, et al., 2021: Statistical characteristics and long-term variations of major sudden stratospheric warming events. *J. Meteor. Res.*, 2021, V. 35(3), 416–427, doi: 10.1007/s13351-021-0166-3.



Примеры мажорных (слева) и минорных (справа) внезапных стратосферных потеплений (ВСП)



Вариации среднезональной температуры воздуха вдоль 80с.ш. на 10 гПа (красная сплошная) и на 1 гПа (красный пунктир), и среднезональной скорости зональной компоненты ветра на 10 гПа (синяя сплошная) и на 1 гПа (синий пунктир) для зимнего периода 2008-2009 (слева) и 2016-2017 (справа)

Критерии (ВМО):

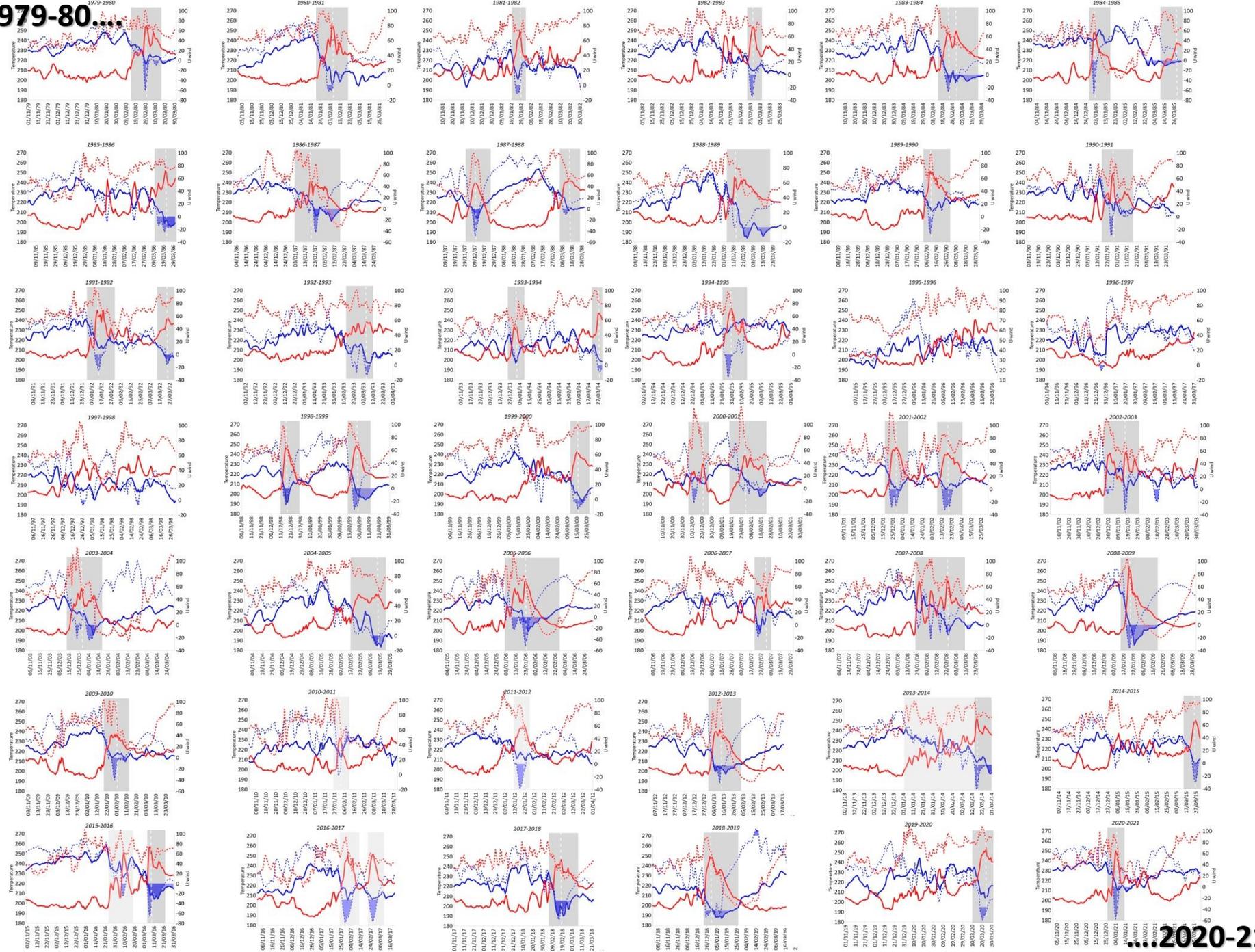
Мажорные ВСП –

- День начала - резкий рост температуры ($> 5\text{K/сут}$), реверс зонального ветра.
- Окончание – западный ветер.

Минорные ВСП –

- резкий рост температуры ($> 5\text{K/сут}$), нет реверса зонального ветра.
- Окончание - понижение температуры $> 3\text{K/сут}$

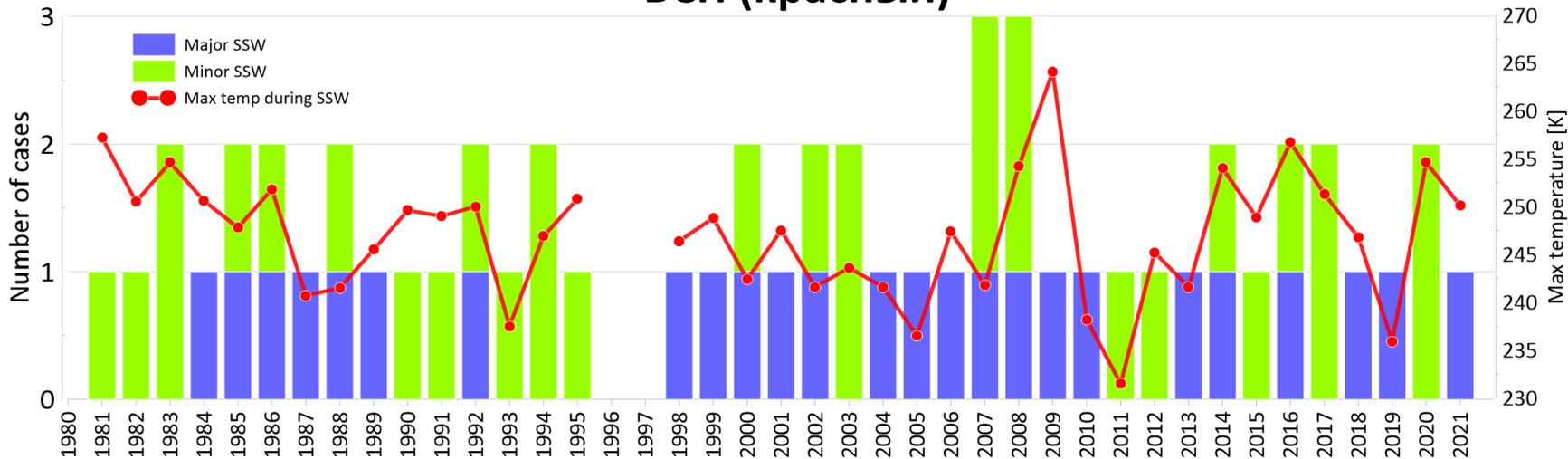
1979-80....



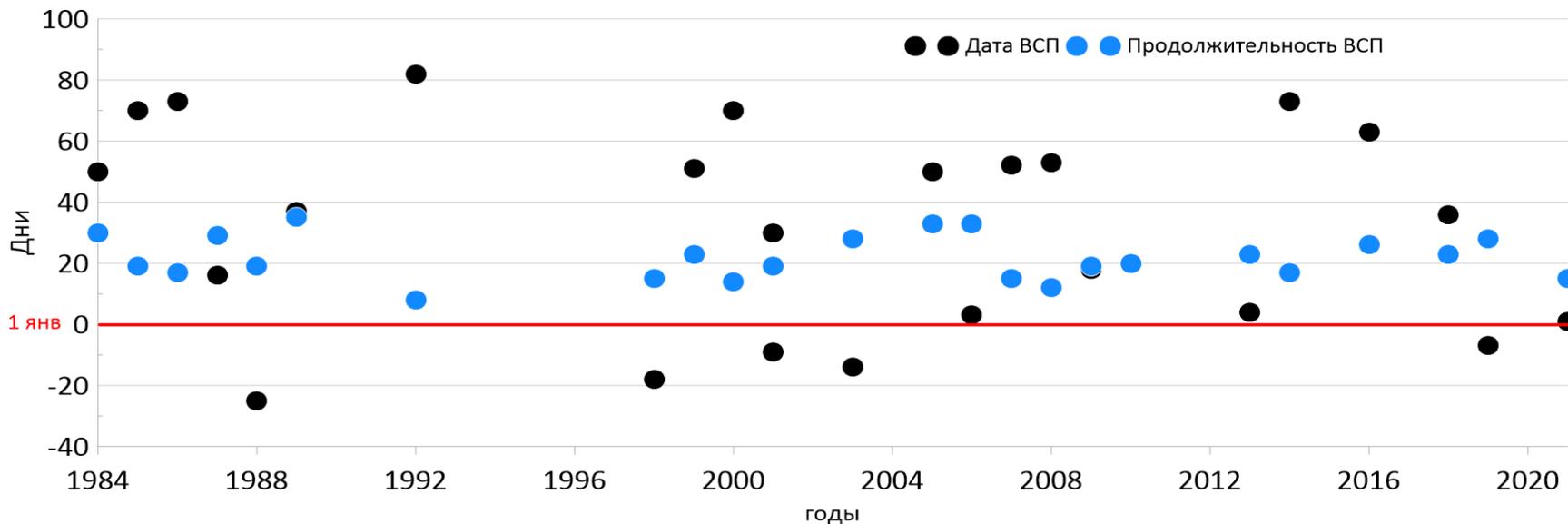
....2020-21

Мажорные ВСП				Минорные ВСП			
Дата начала	Дата окончания	Дата макс.темп.	Значение макс. темп.	Дата начала	Дата окончания	Дата макс.темп.	Значение макс. темп.
18.02.1980	16.03.1980	01.03.1980	254,8	22.01.1981	25.02.1981	05.12.1981	257,2
19.02.1984	20.03.1984	03.03.1984	250,6	21.01.1982	03.02.1982	28.01.1982	250,5
11.03.1985	30.03.1985	27.03.1985	237	27.01.1983	02.02.1983	29.01.1983	244,4
14.03.1986	31.03.1986	21.03.1986	251,8	22.02.1983	05.03.1983	26.02.1983	254,6
16.01.1987	14.02.1987	14.02.1987	240,5	29.12.1984	15.01.1985	02.01.1985	247,8
06.12.1987	25.12.1987	10.12.1987	239,2	13.02.1986	20.02.1986	18.02.1987	240,7
06.02.1989	13.03.1989	13.02.1989	245,5	29.02.1988	27.03.1988	17.03.1988	241,5
23.03.1992	31.03.1992	25.03.1992	242,6	03.02.1990	28.02.1990	12.02.1990	249,6
13.12.1998	28.12.1998	16.12.1998	246,4	17.01.1991	14.02.1991	28.01.1991	249
20.02.1999	15.03.1999	27.02.1999	248,8	10.01.1992	30.01.1992	19.01.1992	250
11.03.2000	25.03.2000	15.03.2000	242,4	02.02.1993	12.03.1993	09.03.1993	237,5
30.01.2001	18.02.2001	02.02.2001	238,5	28.12.1993	10.01.1994	31.12.1993	232,3
22.12.2001	10.01.2002	29.12.2001	247,5	06.03.1994	30.03.1994	28.03.1994	246,9
17.12.2003	14.01.2004	27.12.2003	239,5	23.01.1995	15.02.1995	30.01.1995	250,8
19.02.2005	24.03.2005	15.03.2005	236,5	17.01.1999	10.02.2000	09.02.1999	237,2
03.01.2006	05.02.2006	24.01.2006	247,4	07.12.2000	26.12.2000	21.12.2000	231,2
21.02.2007	08.03.2007	04.03.2007	241,8	13.02.2002	03.03.2002	19.02.2002	241,6
22.02.2008	05.03.2008	23.02.2008	254,2	27.12.2002	08.01.2003	01.01.2003	241,6
18.01.2009	06.02.2009	23.01.2009	264,1	14.01.2003	22.01.2003	17.01.2003	243,6
20.01.2010	09.02.2010	01.02.2010	238,2	30.12.2006	10.01.2007	03.01.2007	233,2
04.01.2013	27.01.2013	12.01.2013	241,6	03.02.2007	10.02.2007	06.02.2007	230,4
14.03.2014	31.03.2014	17.03.2014	254	21.01.2008	30.01.2008	25.01.2008	249,3
04.03.2016	30.03.2016	07.03.2016	256,7	04.02.2008	10.02.2008	06.02.2008	239,9
05.02.2018	28.02.2018	18.02.2018	246,8	29.01.2011	05.02.2011	02.02.2011	231,5
24.12.2018	21.01.2019	08.01.2019	235,9	11.01.2012	05.02.2012	21.02.2012	245,2
01.01.2021	16.01.2021	05.01.2021	250,1	05.02.2014	13.02.2014	09.02.2014	240,8
				22.03.2015	31.03.2015	26.03.2015	248,9
				26.01.2016	17.02.2016	09.02.2016	251
				27.01.2017	09.02.2017	01.02.2017	251
				22.02.2017	09.03.2017	27.02.2017	251,3
				02.02.2020	12.02.2020	06.02.2020	233,2
				15.03.2020	31.03.2020	24.03.2020	254,6

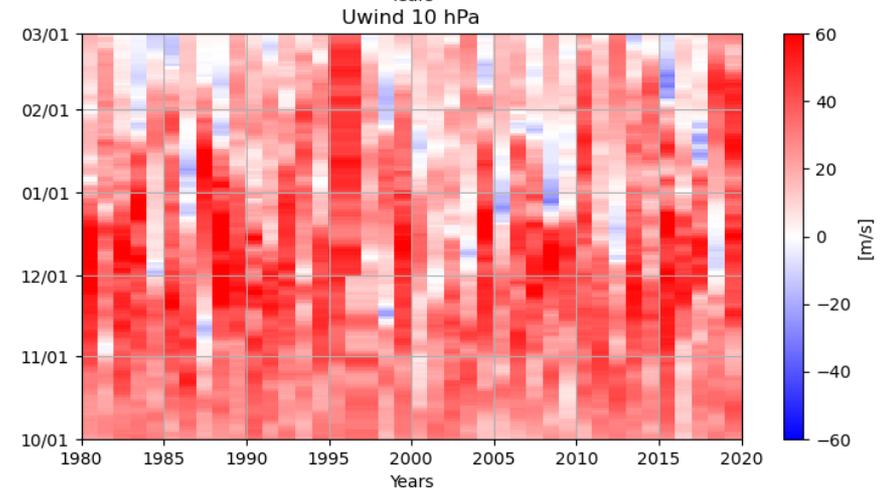
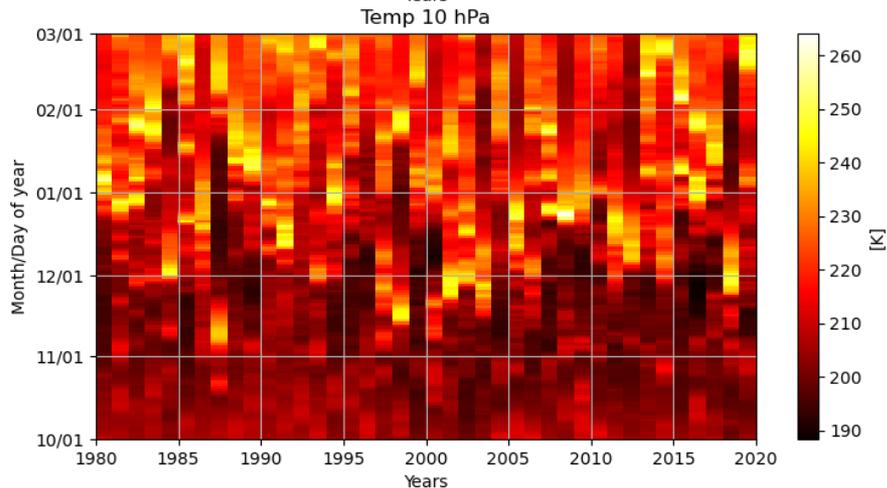
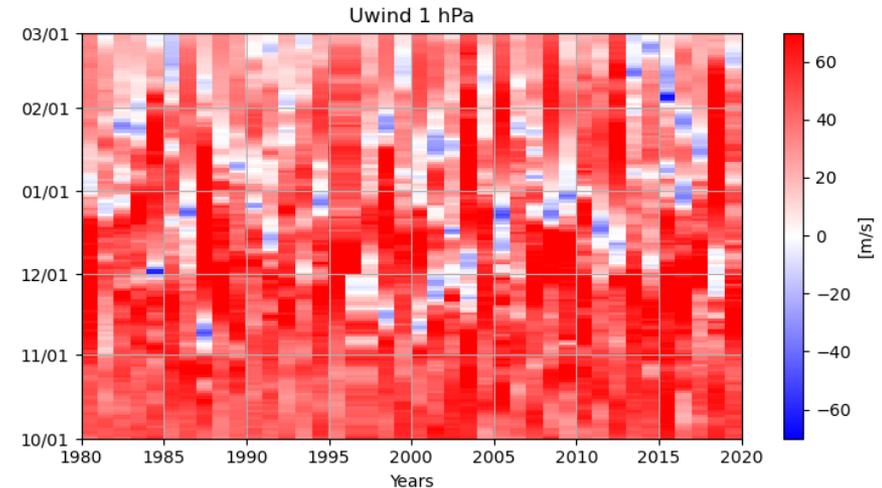
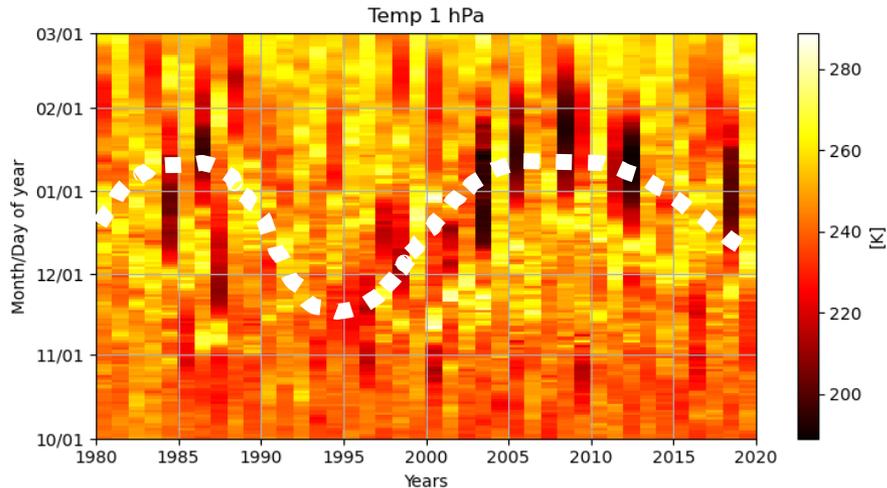
Долговременные изменения количества эпизодов мажорных (синий), минорных (зеленый) ВСП и значений максимальной температуры во время ВСП (красный)



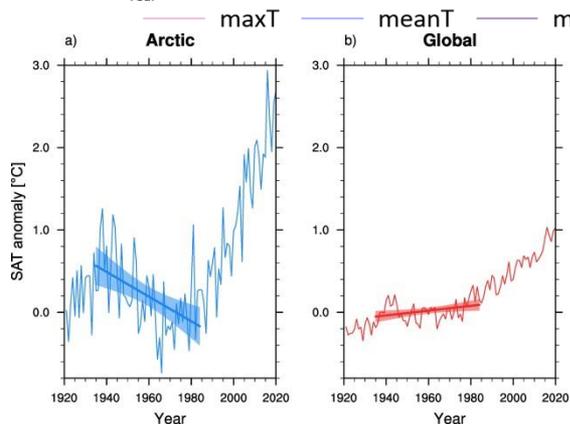
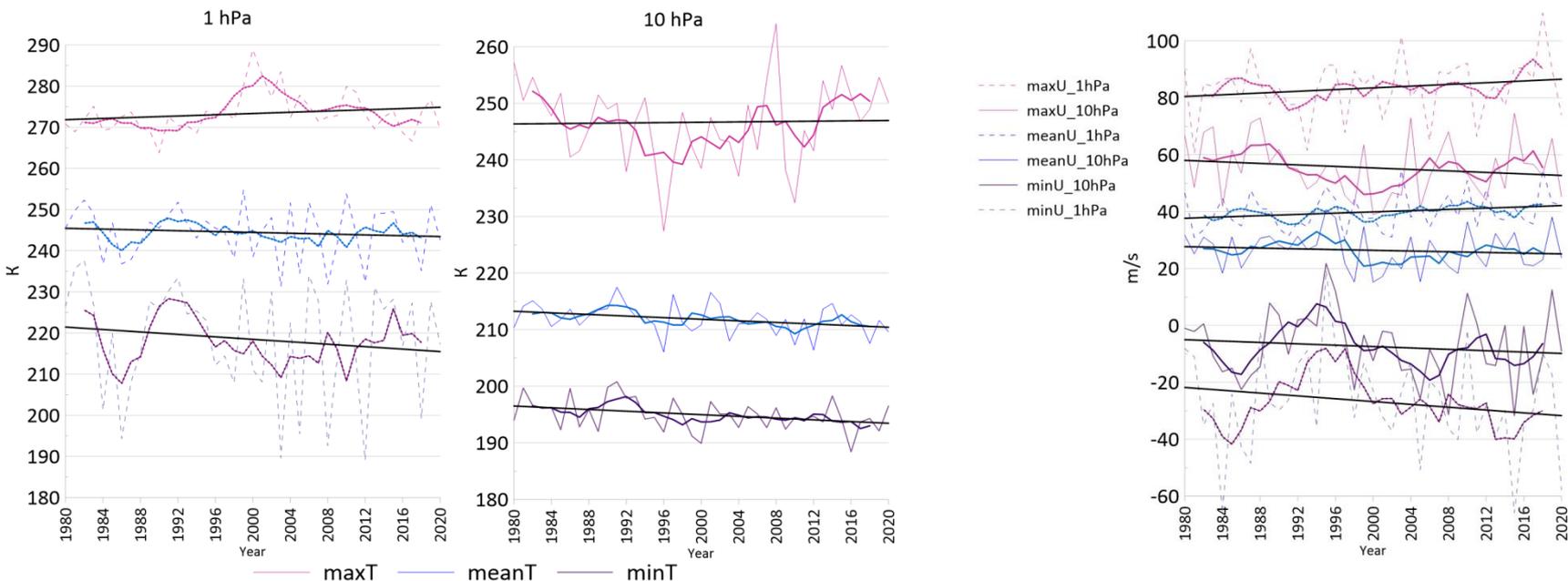
Долговременные изменения продолжительности (синий) и даты начала (черный) мажорных ВСП



Долговременные изменения температуры (80 с.ш.,слева) и скорости зонального ветра (60 с.ш.,справа) на высотах 1 гПа (верхняя панель) 10 гПа (нижняя панель) в зависимости от дня года с октября по март.



Долговременные изменения средних, максимальных и минимальных значений скорости и температуры на высотах 10 гПа (сплошная) и 1 гПа (пунктир) за каждый зимний период с 1980 по 2021 г.



Arctic Amplification (арктическое усиление) — это явление, при котором Арктика нагревается быстрее, чем происходит рост глобальной температуры. На протяжении большей части 20-го века Арктика охлаждалась, а средняя глобальная температура росла.*

* Mark R. England, Jan Eisenman, Nicholas J. Lutsko, Till J. W. Wagner / The Recent Emergence of Arctic Amplification First published: 21 July 2021 <https://doi.org/10.1029/2021GL094086>

Композитный анализ

4 группы событий:

1. Мажорные потепления с 1980 по 2000 г.,
2. Мажорные потепления с 2001 по 2021 г.,
3. Минорные потепления с 1980 по 2000 г.,
4. Минорные потепления с 2001 по 2021 г.

Дополнительно:

1. День с минимальной температурой с 1980 по 2000 г.,
2. День с минимальной температурой с 2001 по 2021 г.

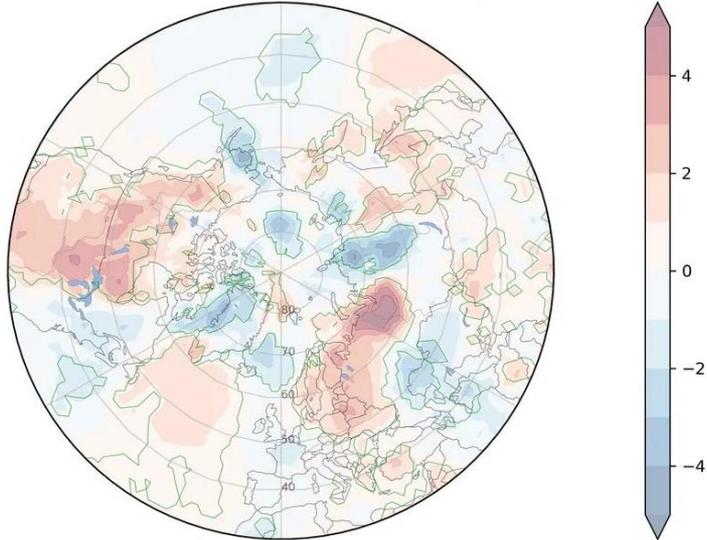
Процедура исключения тренда:

- Для каждого события в группе выбирались данные период 1980-2021 в интервале усреднения +/- 10 дней для каждого события.
- Для каждой точки рассчитывался линейный тренд ($y=kx+b$).
- Рассчитывалась величина тренда для года, когда было событие и полученная величина вычиталась из усредненных данных для события. Т.е получалась аномалия относительно тренда.
- Так для всех событий в группе. Затем полученные аномалии усреднялись.
- Уровень значимости аномалий был оценен по t-критерию Стьюдента.

Приземный уровень, температура

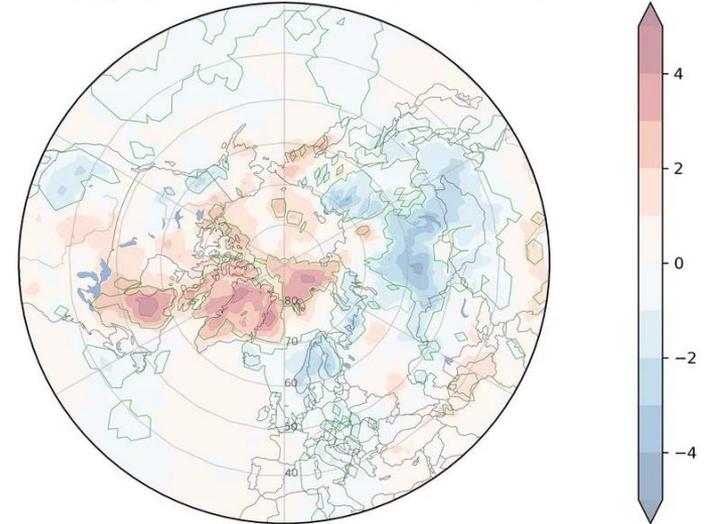
Major 1980-2000

t2m [K] group 1 confidence level 0.95 (level surface,)



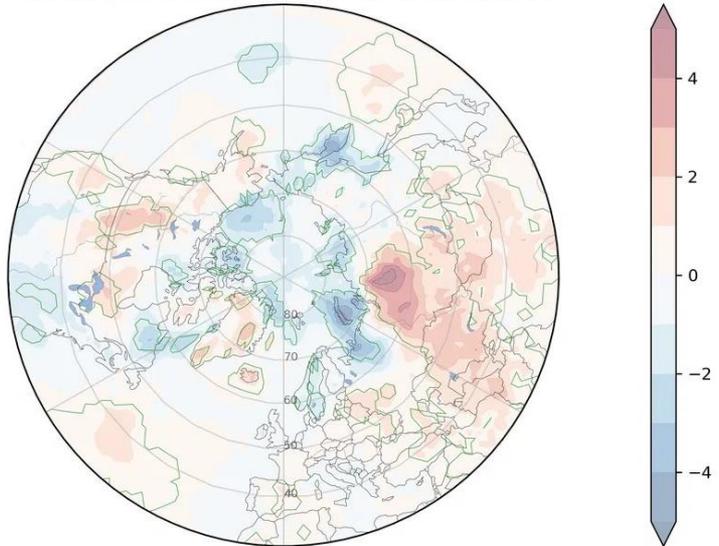
Major 2001-2021

t2m [K] group 2 confidence level 0.95 (level surface,)



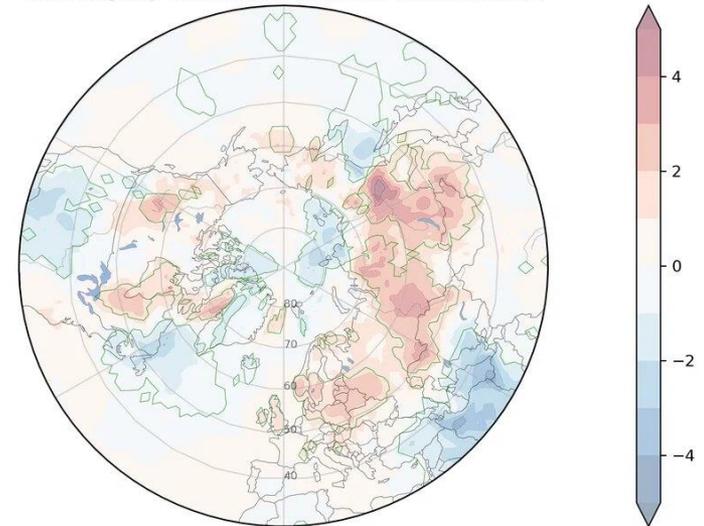
Minor 1980-2000

t2m [K] group 3 confidence level 0.95 (level surface,)



Minor 2001-2021

t2m [K] group 4 confidence level 0.95 (level surface,)



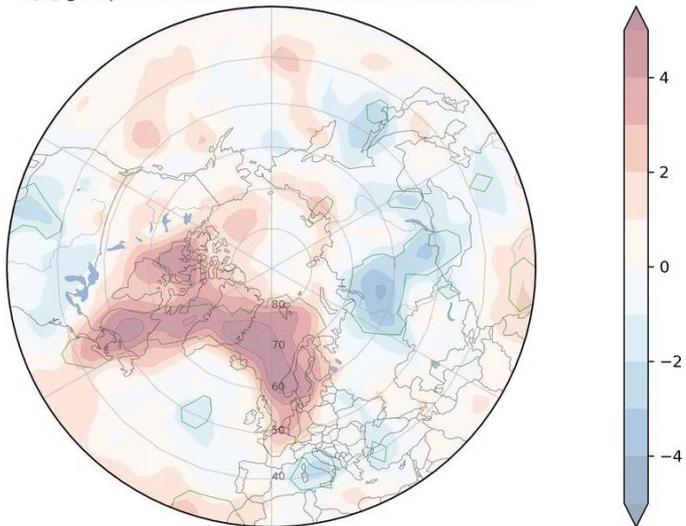
Выводы:

- С 1980 по 2021 г. наблюдалось 26 мажорных и 32 минорных эпизодов ВСП.
- С 1980 по 2021 не прослеживается долговременной тенденции ни в общем числе случаев ВСП, ни в максимальных температурах, ни в продолжительности ВСП, ни в дате начала ВСП. Скорее видны квазипериодические колебания перечисленных параметров и зимних значений скорости и температуры в высокоширотной стратосфере.
- Открытым остается вопрос о причинах отсутствия ВСП в 90е годы и о связях аномалий стратосферной циркуляцией с процессами в нижележащей атмосфере.
- Видно, что после 2000х изменился характер вертикальных связей в атмосфере от поверхности земли до 1 гПа.

Уровень 250 гПа (~ 10км), температура

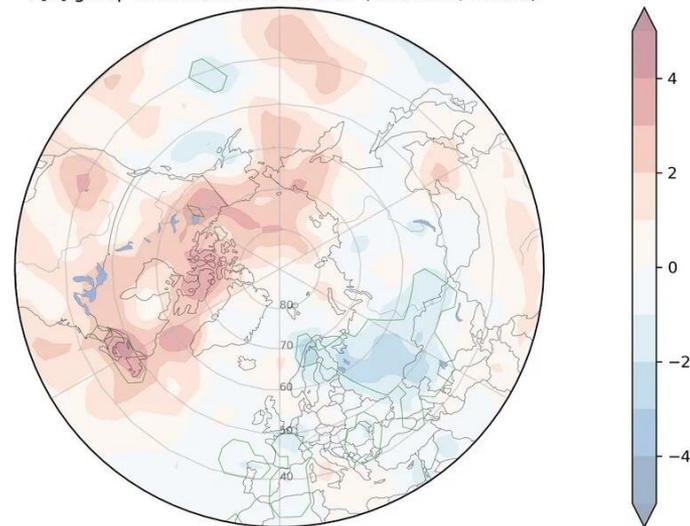
Major 1980-2000

t [K] group 1 confidence level 0.95 (level 250, mbars)



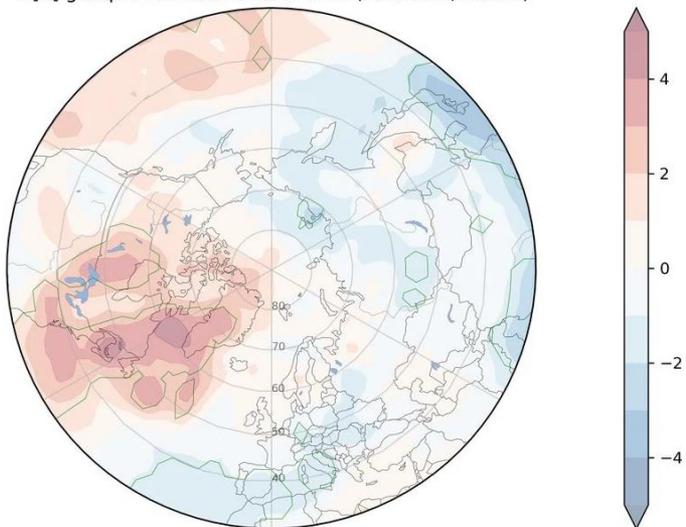
Major 2001-2021

t [K] group 2 confidence level 0.95 (level 250, mbars)



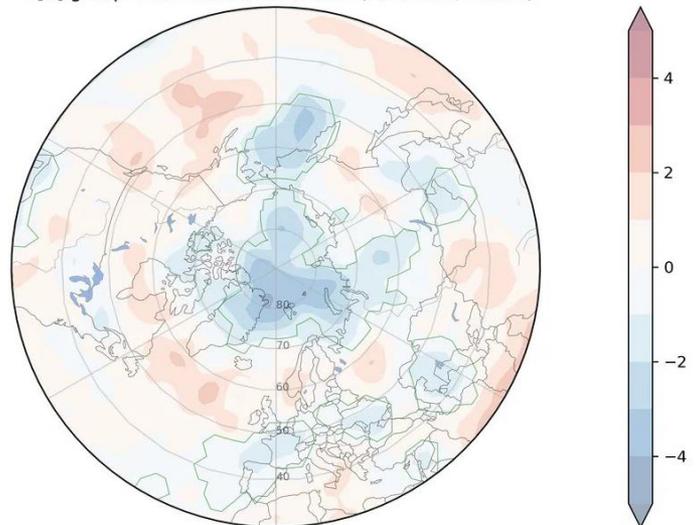
Minor 1980-2000

t [K] group 3 confidence level 0.95 (level 250, mbars)



Minor 2001-2021

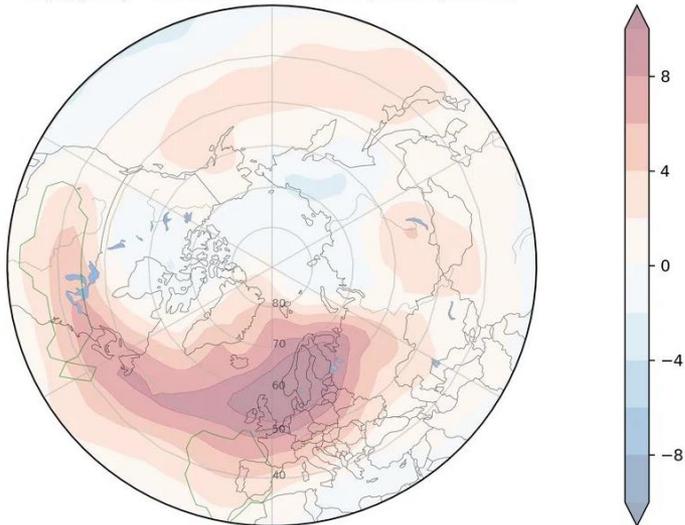
t [K] group 4 confidence level 0.95 (level 250, mbars)



Уровень 1 гПа (~ 50 км)

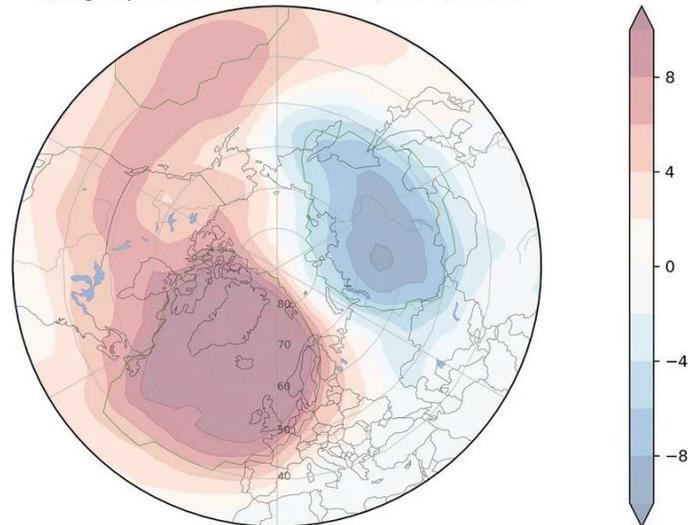
Major 1980-2000

t [K] group 1 confidence level 0.95 (level 1, mbars)



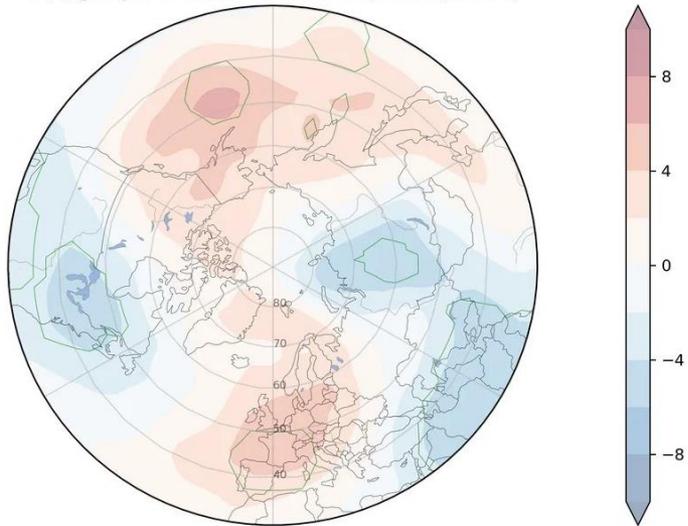
Major 2001-2021

t [K] group 2 confidence level 0.95 (level 1, mbars)



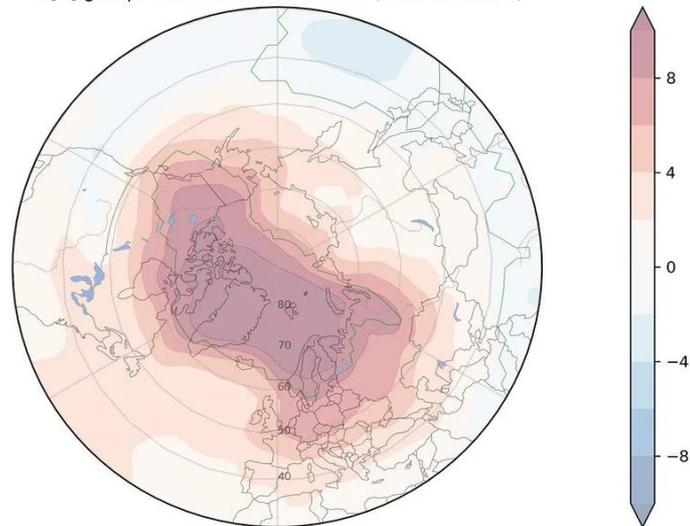
Minor 1980-2000

t [K] group 3 confidence level 0.95 (level 1, mbars)

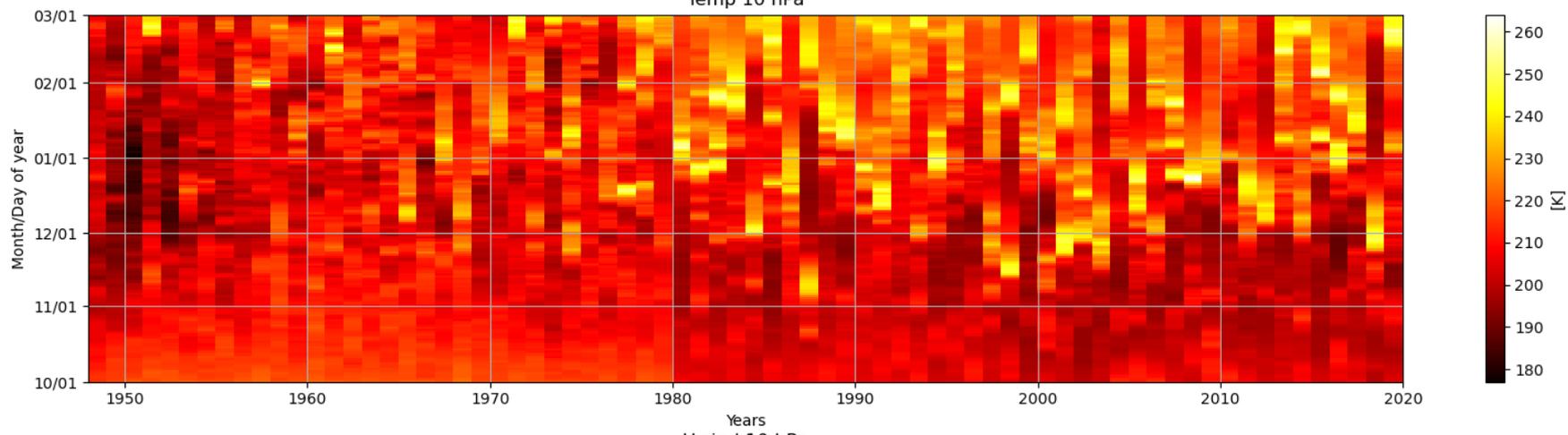


Minor 2001-2021

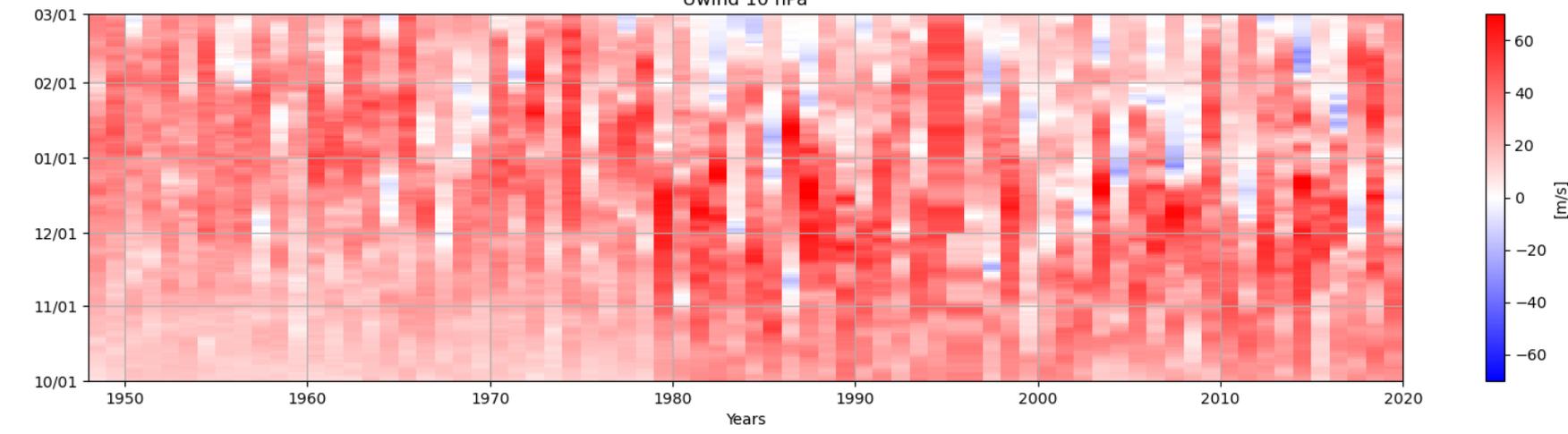
t [K] group 4 confidence level 0.95 (level 1, mbars)

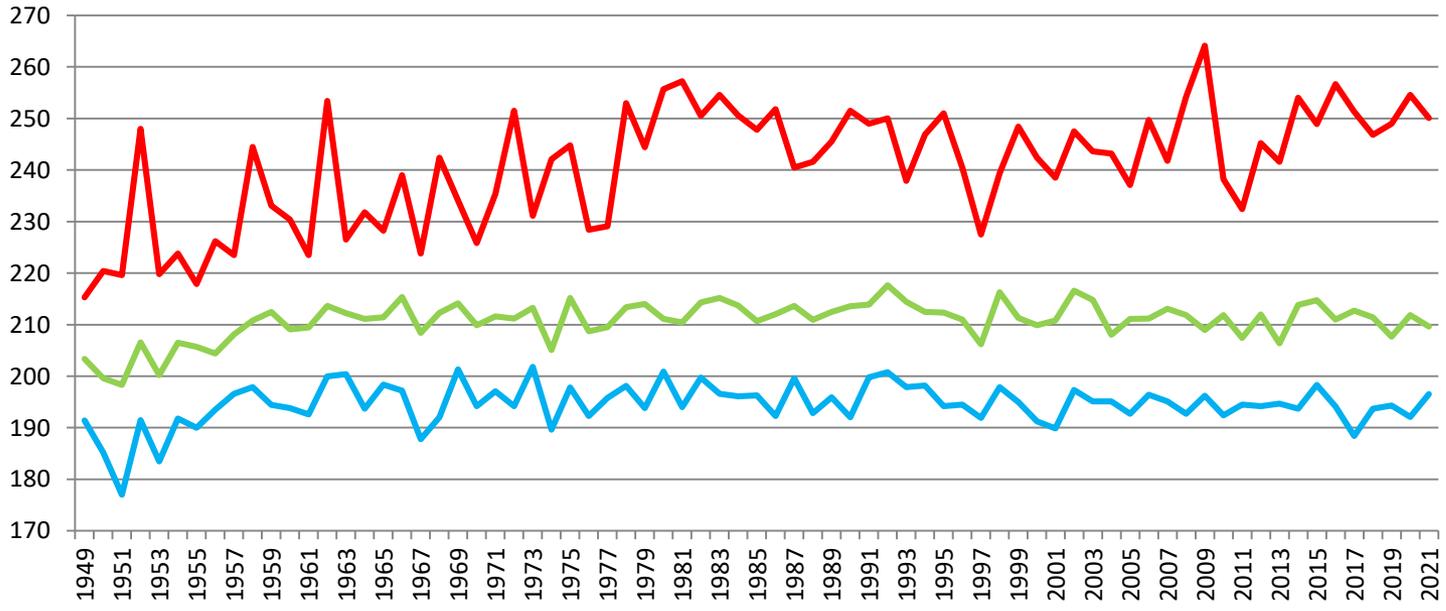
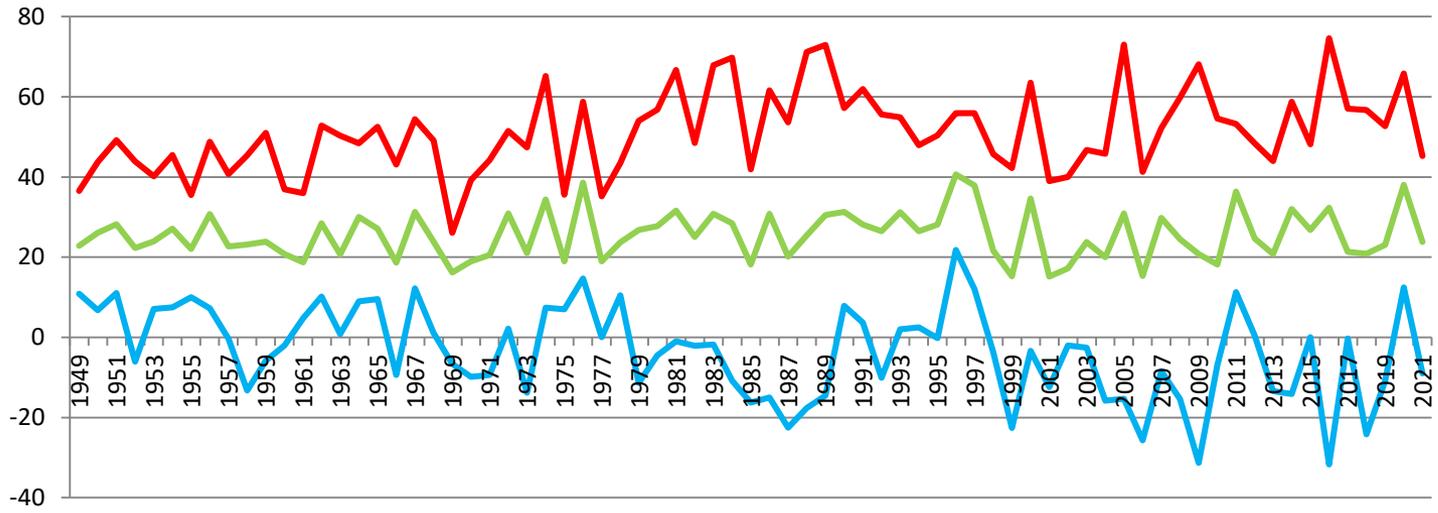


Temp 10 hPa



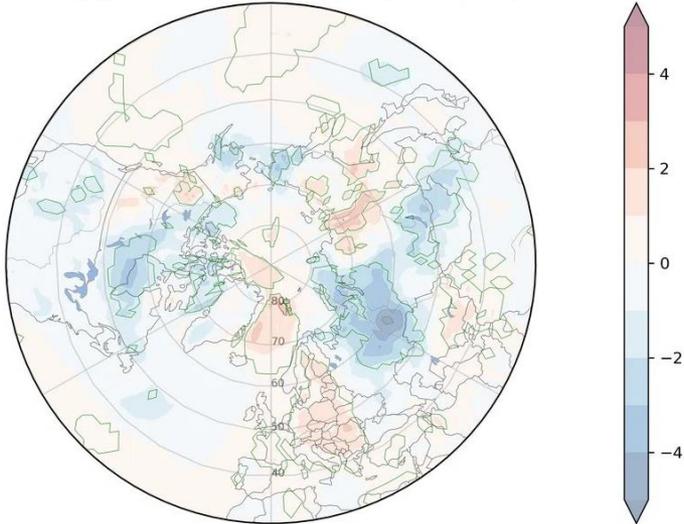
Uwind 10 hPa





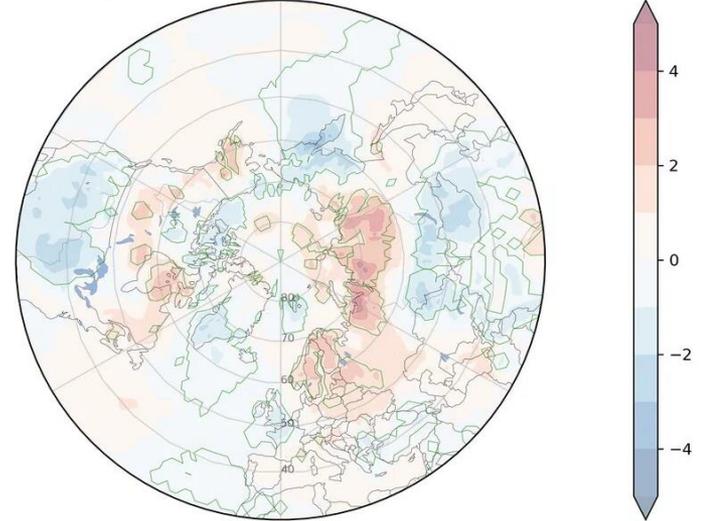
Min. temp. in stratosphere 1980-2000

t2m [K] group 1 confidence level 0.95 (level surface,)



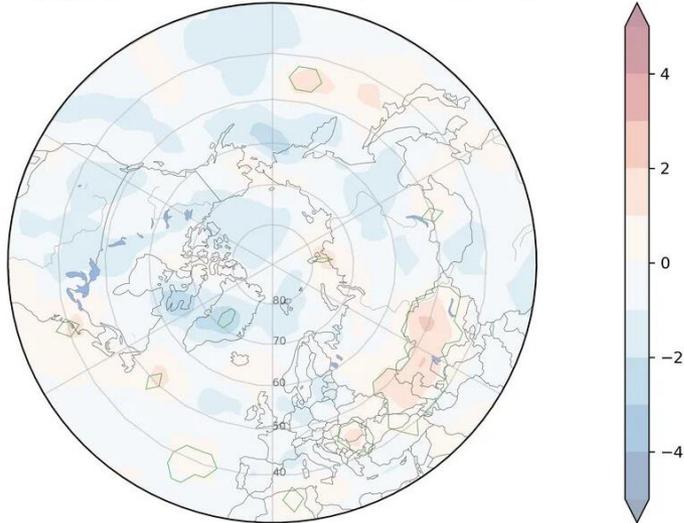
Min. temp. in stratosphere 2001-2021

t2m [K] group 2 confidence level 0.95 (level surface,)



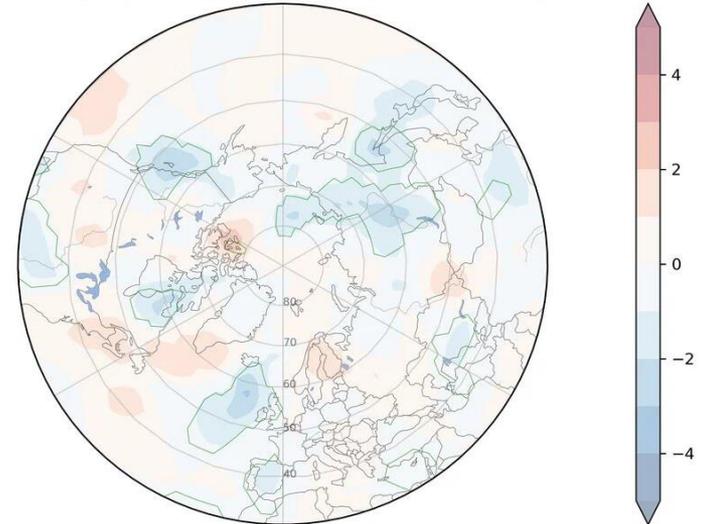
Min. temp. in stratosphere 1980-2000

t [K] group 1 confidence level 0.95 (level 250, mbars)



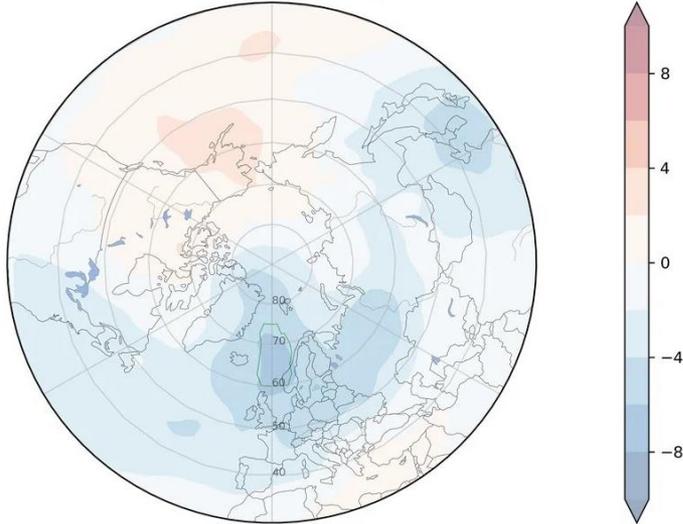
Min. temp. in stratosphere 2001-2021

t [K] group 2 confidence level 0.95 (level 250, mbars)



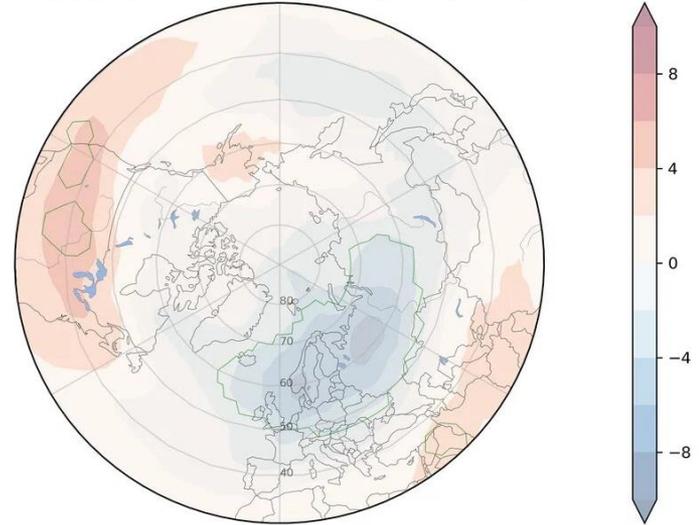
Min. temp. in stratosphere 1980-2000

t [K] group 1 confidence level 0.95 (level 1, mbars)



Min. temp. in stratosphere 2001-2021

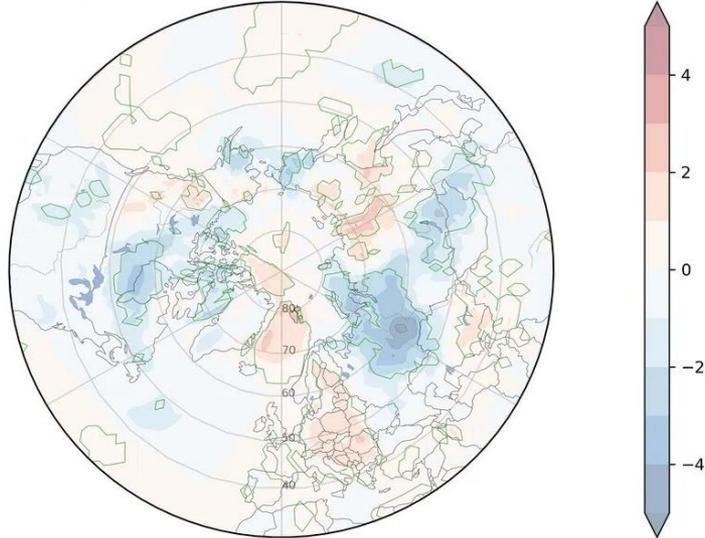
t [K] group 2 confidence level 0.95 (level 1, mbars)



Приземный уровень, температура

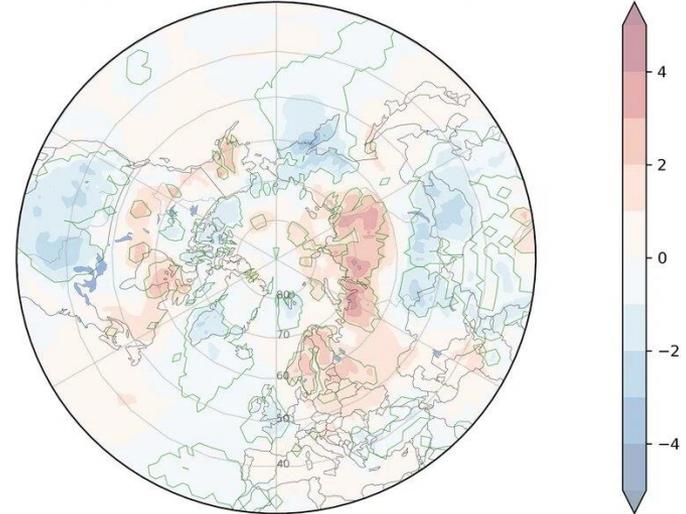
Major 1980-2000

t2m [K] group 1 confidence level 0.95 (level surface,)



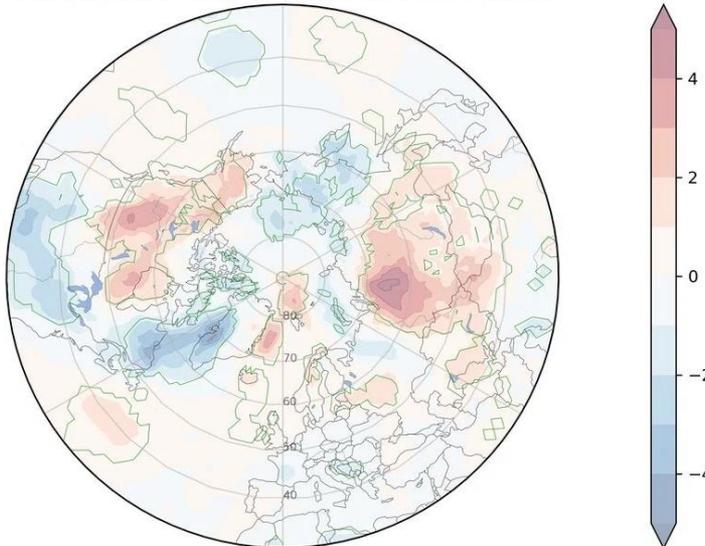
Major 2001-2021

t2m [K] group 2 confidence level 0.95 (level surface,)



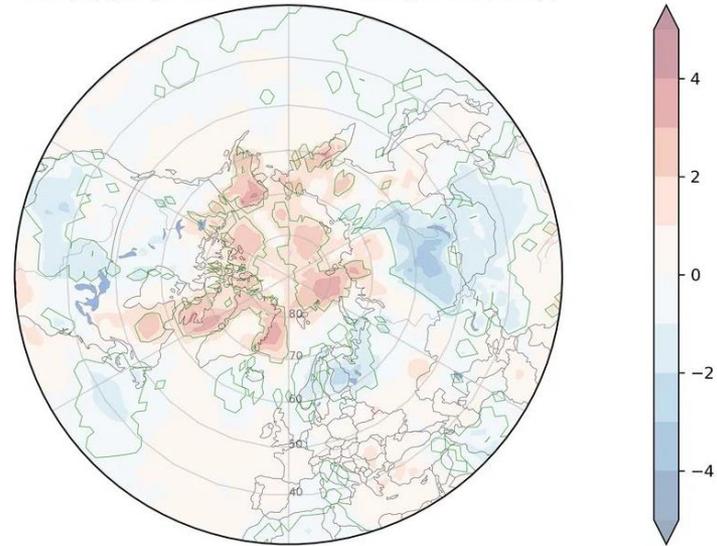
Minor 1980-2000

t2m [K] group 3 confidence level 0.95 (level surface,)



Minor 2001-2021

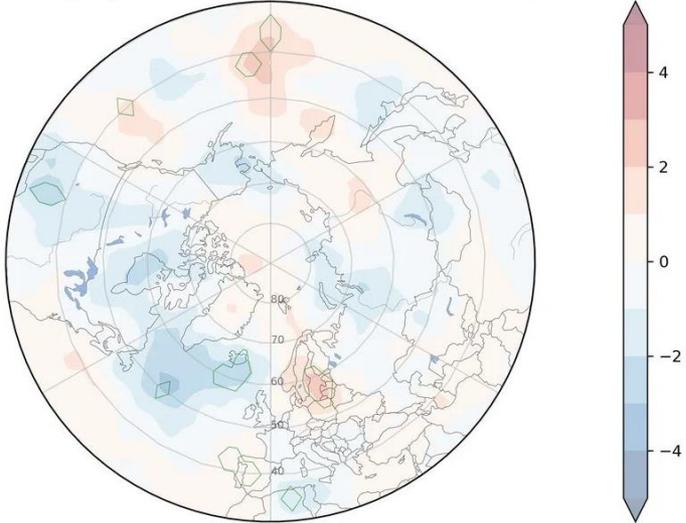
t2m [K] group 4 confidence level 0.95 (level surface,)



500 гПа (~ 5km)

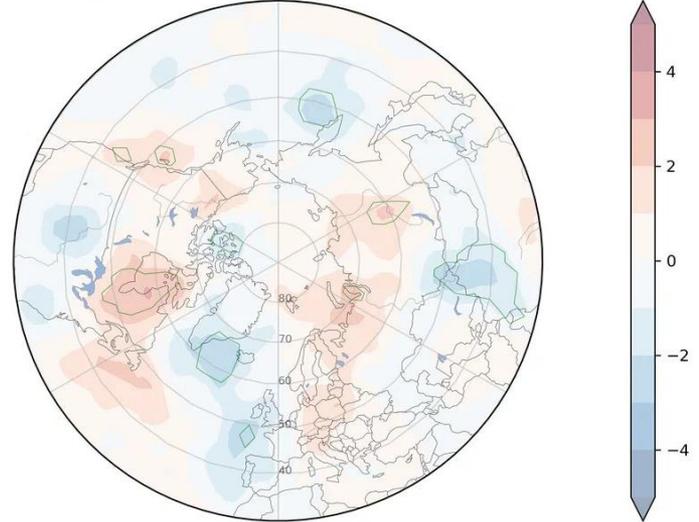
Major 1980-2000

t [K] group 1 confidence level 0.95 (level 500, mbars)



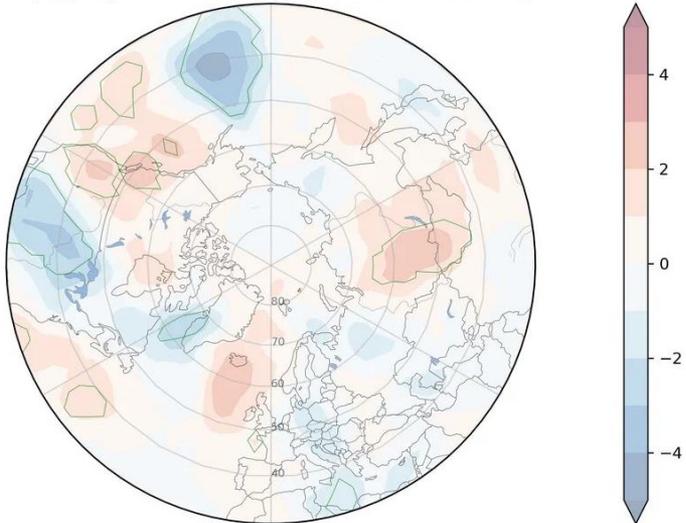
Major 2001-2021

t [K] group 2 confidence level 0.95 (level 500, mbars)



Minor 1980-2000

t [K] group 3 confidence level 0.95 (level 500, mbars)



Minor 2001-2021

t [K] group 4 confidence level 0.95 (level 500, mbars)

