

# **Основы современной климатологии**

**1. Климатическая система**

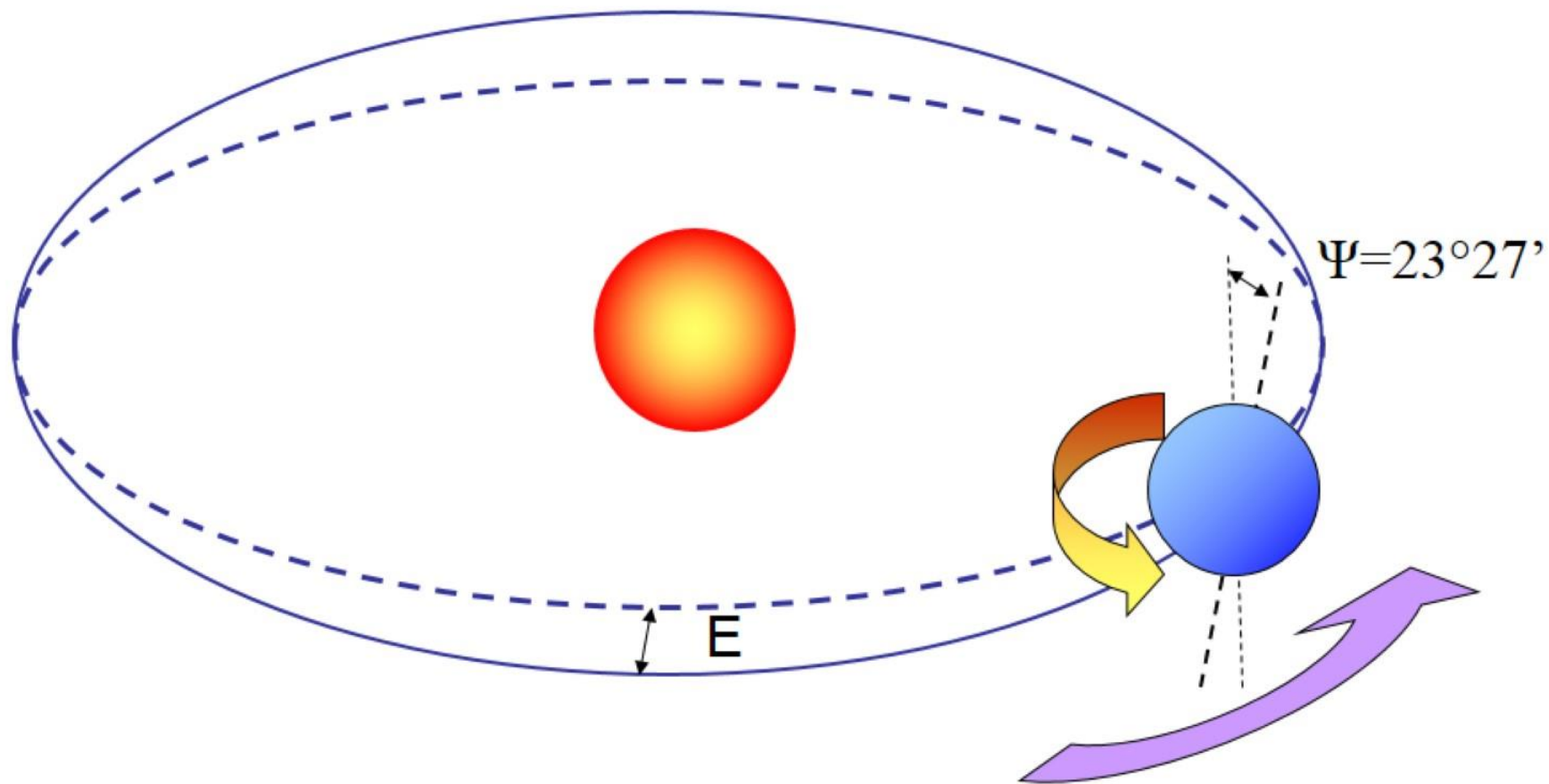
**2. Роль циркуляции атмосферы и океана в формировании регионального климата**

**3. Репрезентативность сети наблюдений**

**4. Наблюдаемые изменения климата**

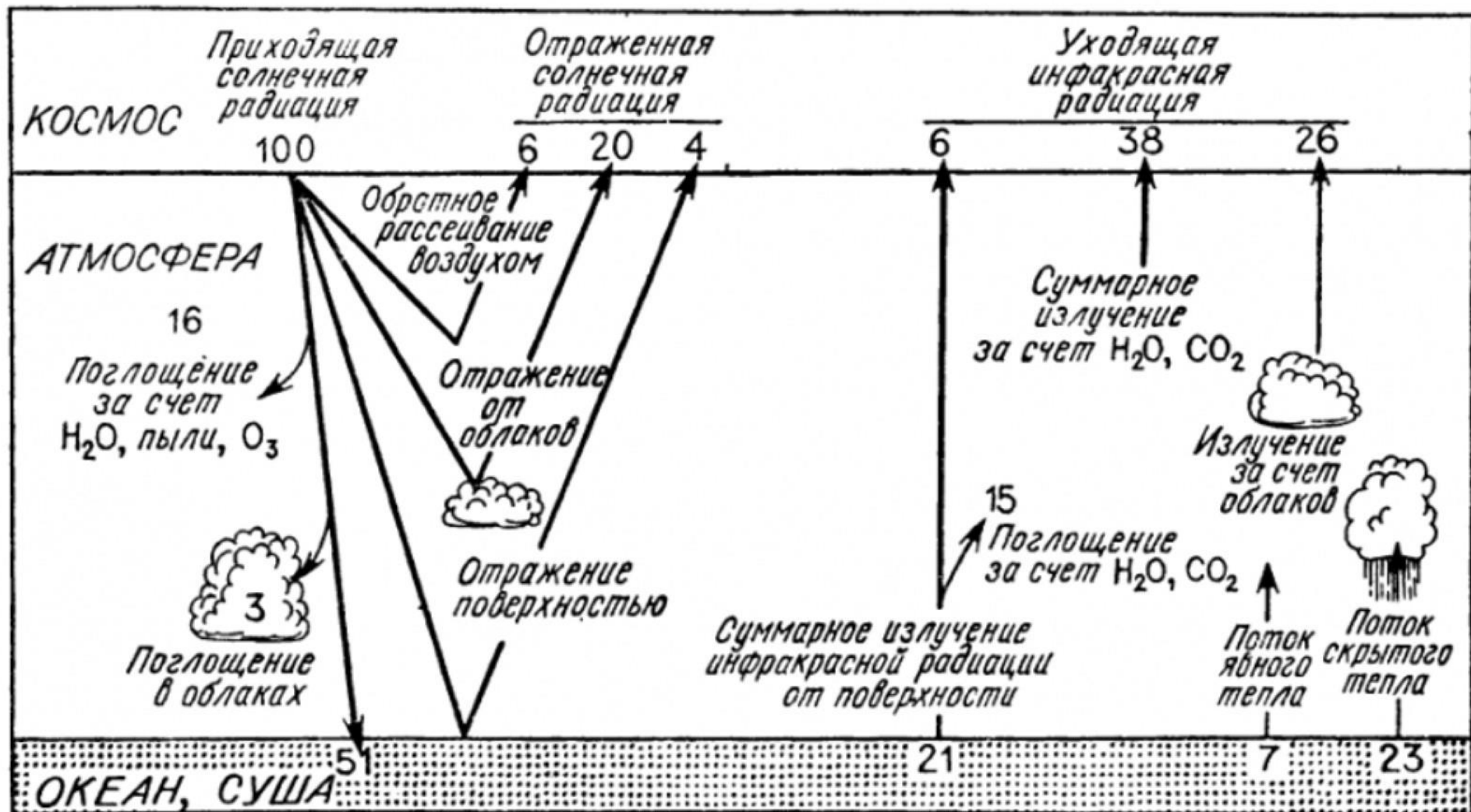
**5. Изменения климата в геологической истории Земли**

# Как устроена климатическая система



E – эксцентриситет (вытянутость орбиты)

# Соотношение между компонентами радиационно-теплового баланса





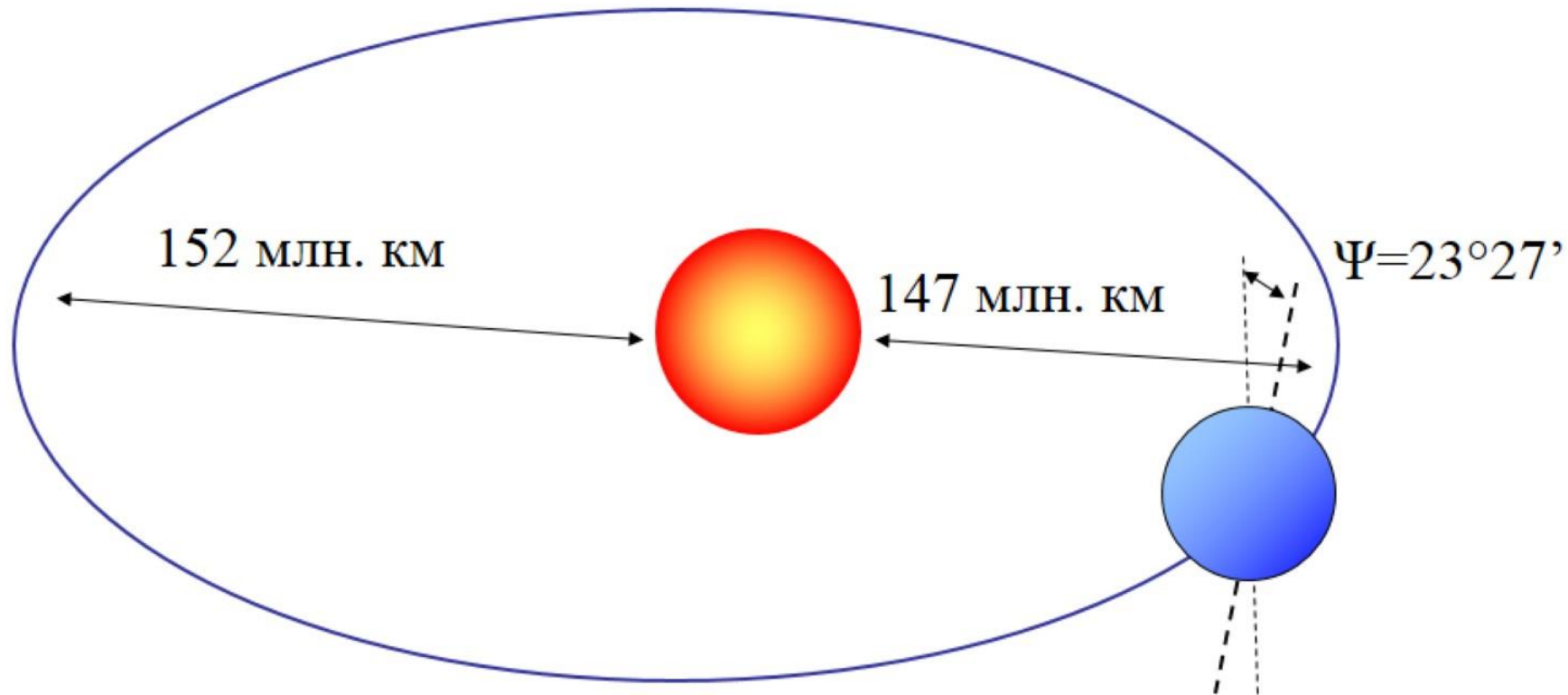




# **Факторы естественной изменчивости глобального климата**

- 1. Солнечная активность (11 летний, вековой и др. циклы).**
- 2. Орбитальные параметры Земли (поворот земной оси, колебания угла наклона оси, колебания эксцентриситета).**
- 3. Альбедо.**
- 4. Химический состав атмосферы.**

# Орбитальные факторы изменения климата



Годовая амплитуда приходящего излучения 3.3%

В 1908 году Шведский профессор Сванте Аррениус опубликовал работу “Das Werden der Welten”, в которой он научно обосновал парниковый эффект углекислого газа.



Свантэ Огюст  
Аррениус (1859-1927)



Михаил Будыко  
(1920-2001)

В 1960-х годах Российский климатолог Михаил Будыко разработал теоретическую модель климата. На основе полученных оценок он пришел к выводу, что климат Земли может вскоре измениться под воздействием роста содержания углекислого газа в атмосфере. В начале 1970-х годов им были построены региональные прогнозы изменения температуры воздуха и осадков, которые в общих чертах предсказали климат начала нового тысячелетия.



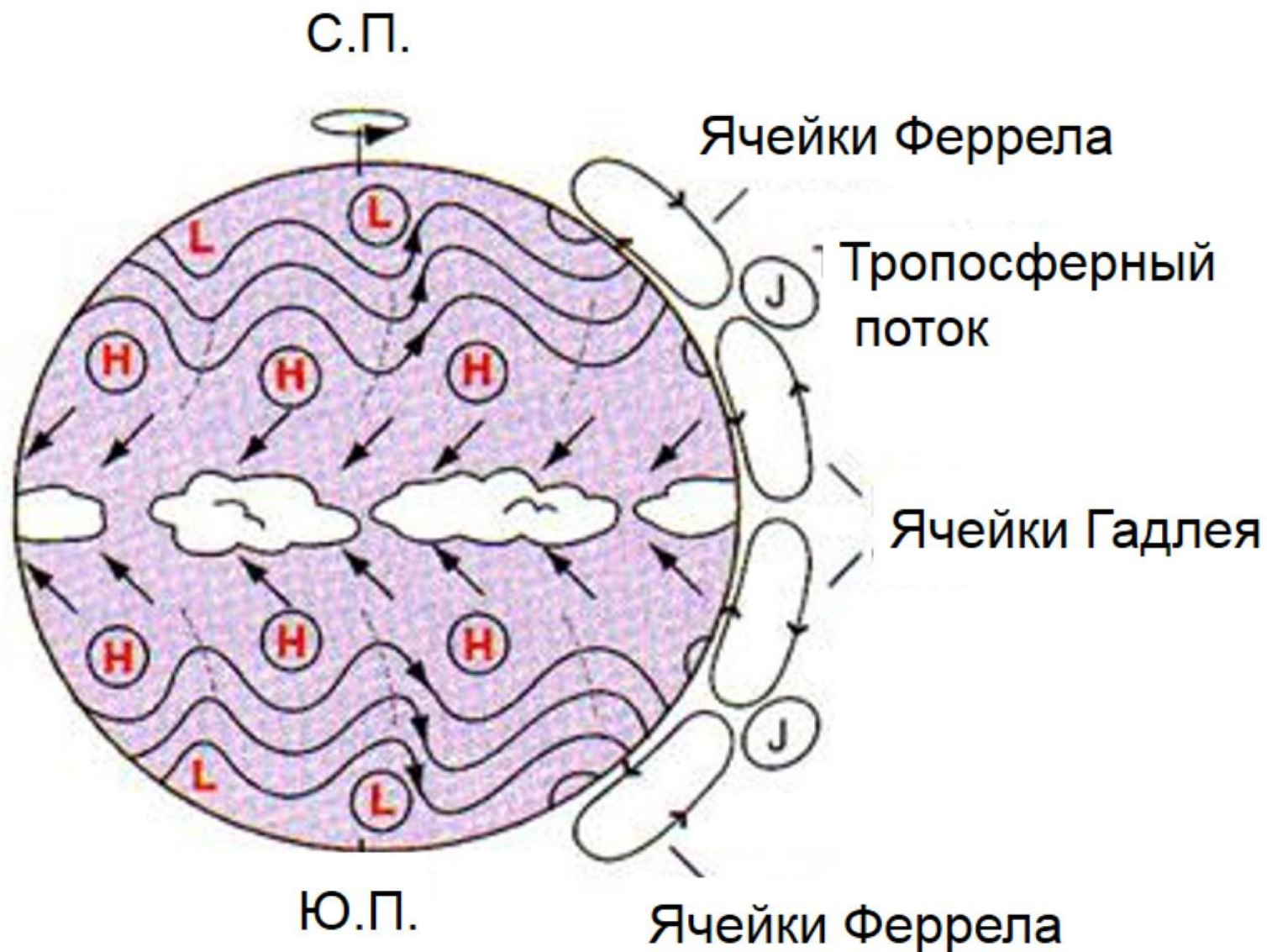


Что произойдет при увеличении содержания  $\text{CO}_2$  в атмосфере?

Противоизлучение возрастет, приземная температуры увеличится.

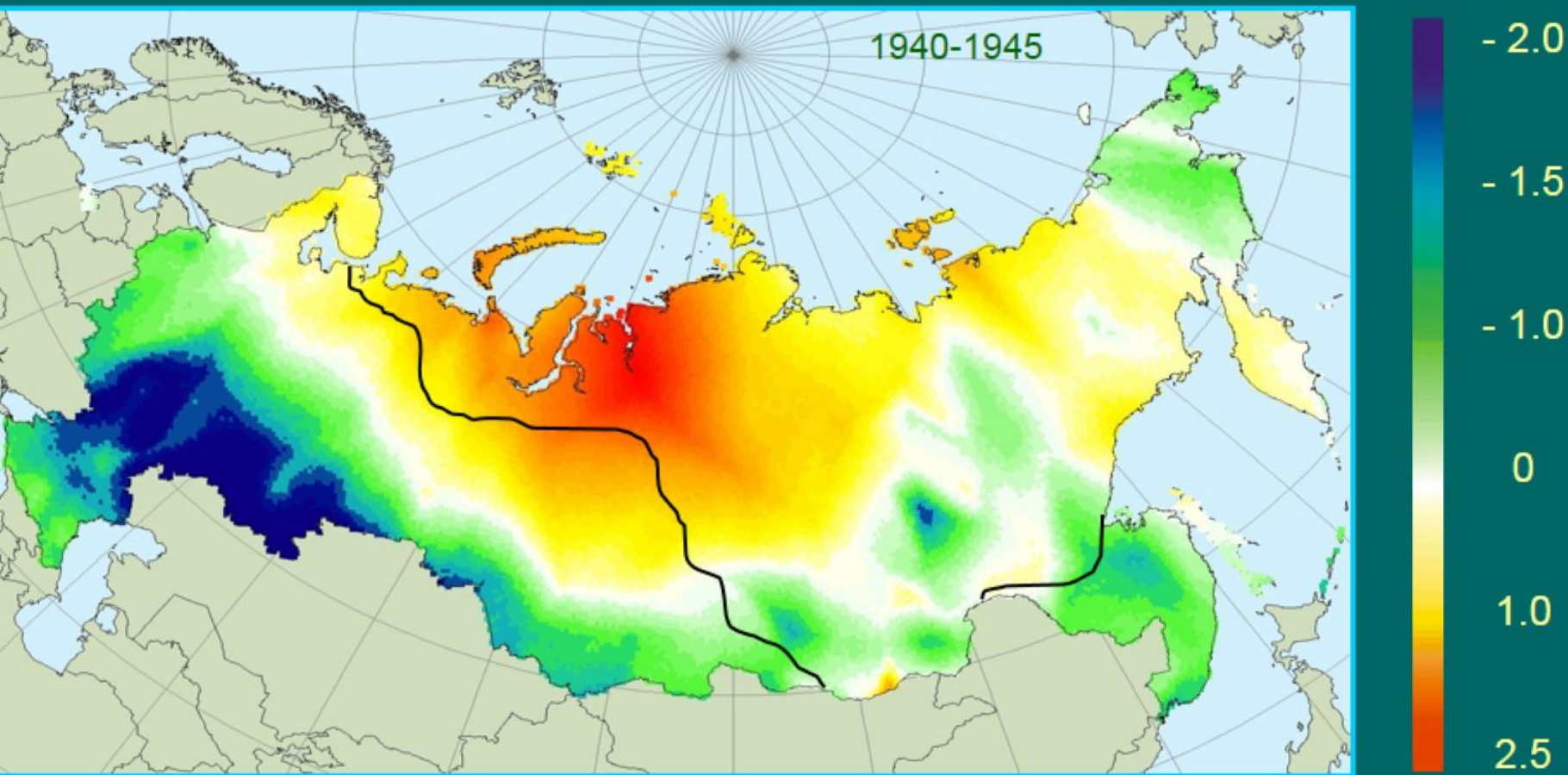
## **2. Роль циркуляции атмосферы и океана в формировании регионального климата**

# Общая циркуляция атмосферы

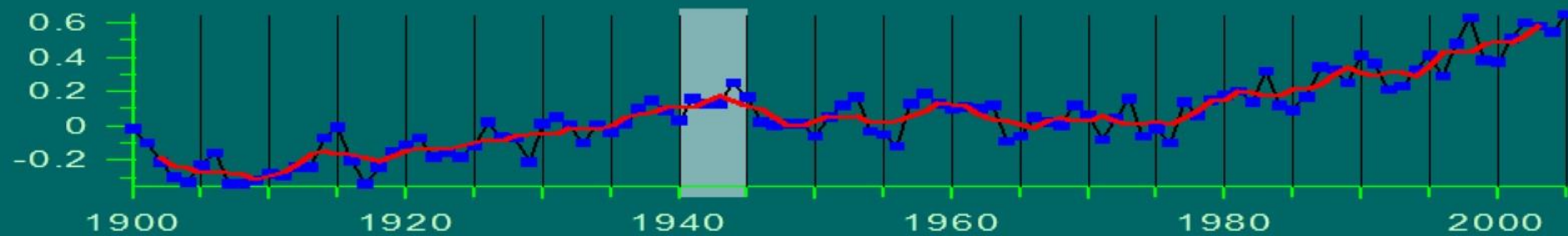




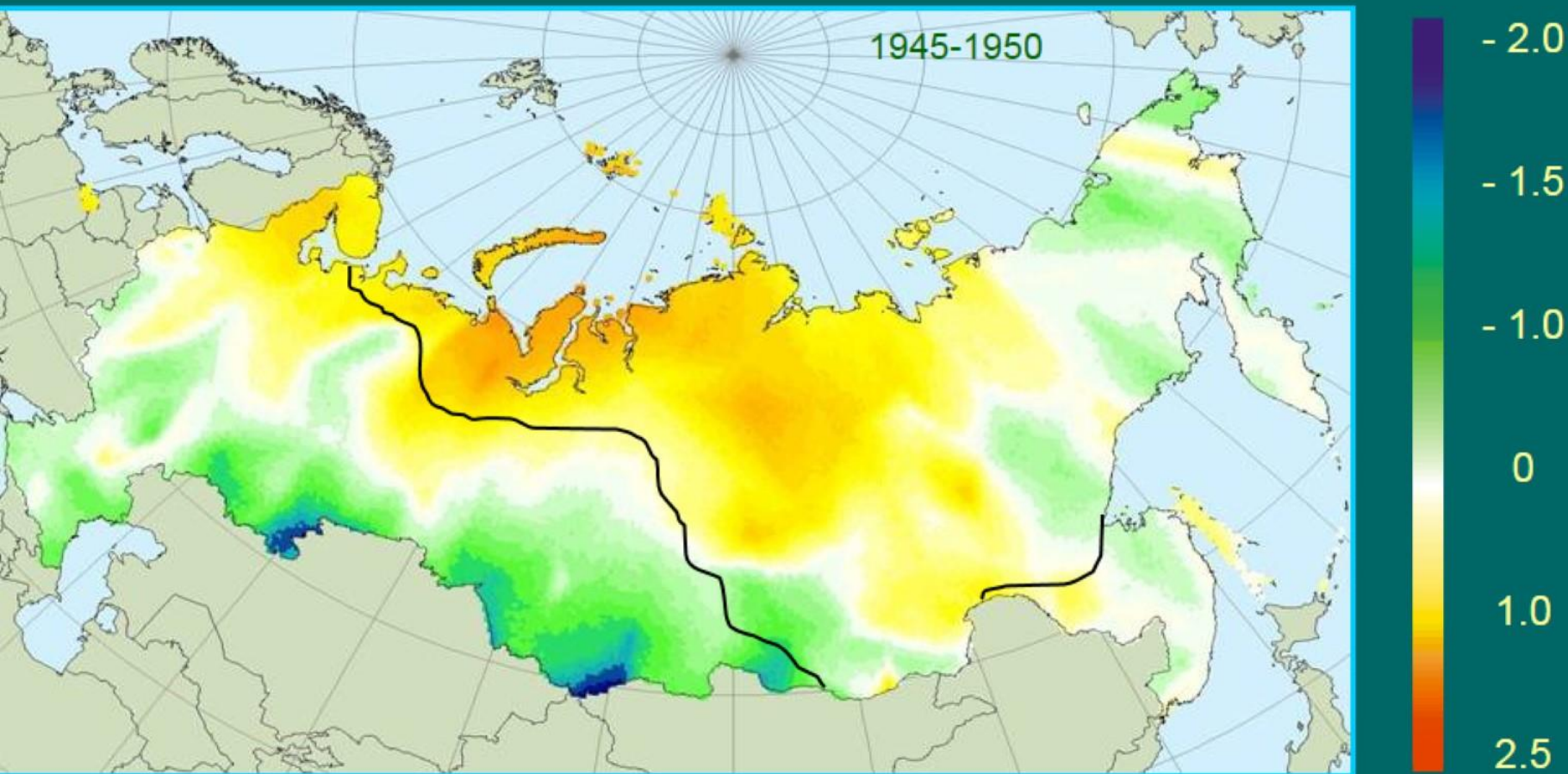
### 3. Regional variations of the annual-mean air temperature



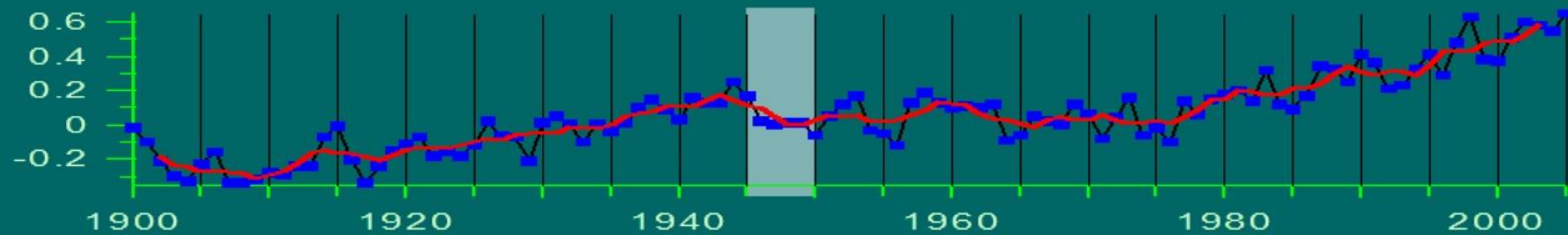
Global temperature variations



### 3. Regional variations of the annual-mean air temperature

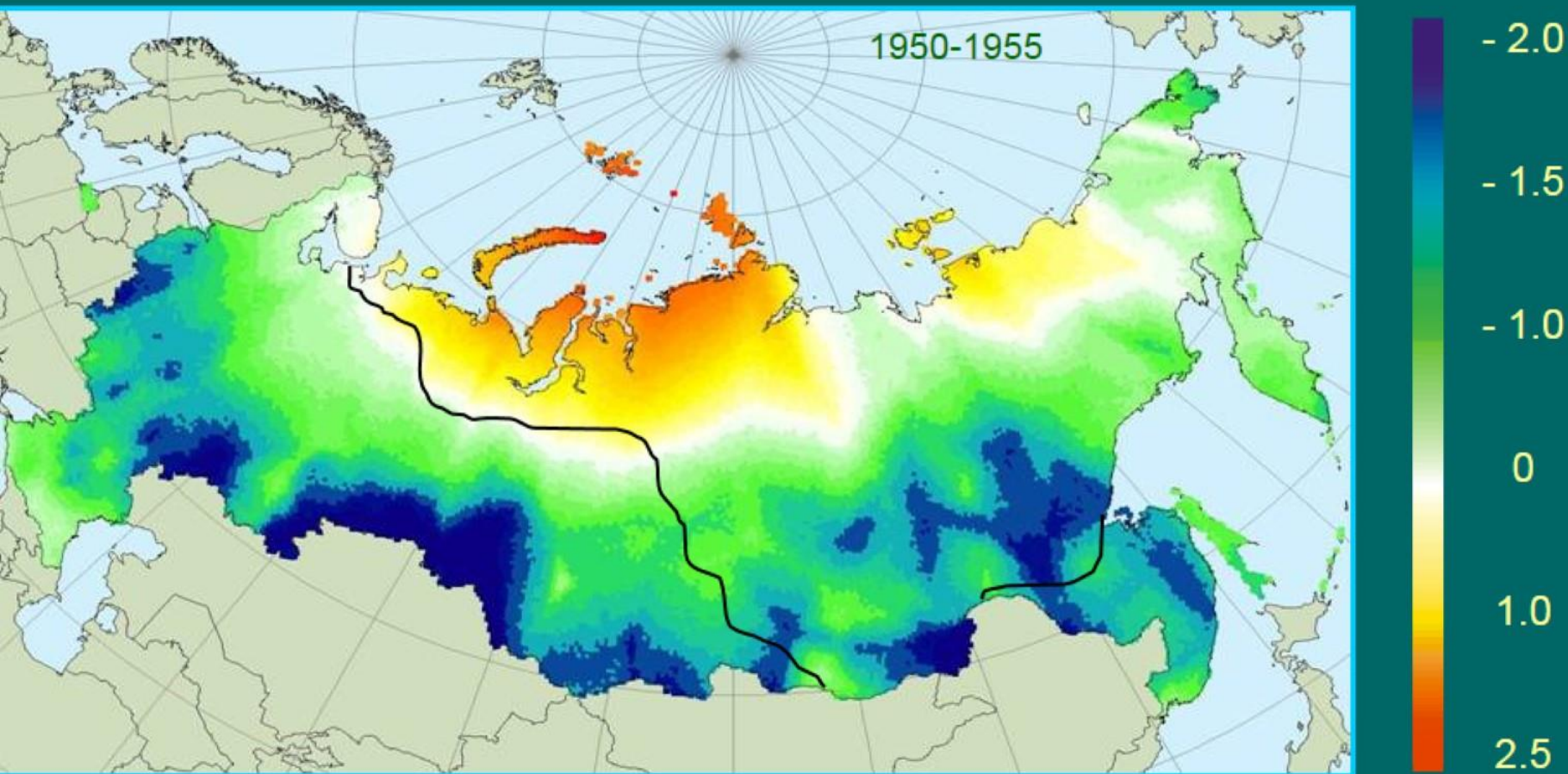


Global temperature variations

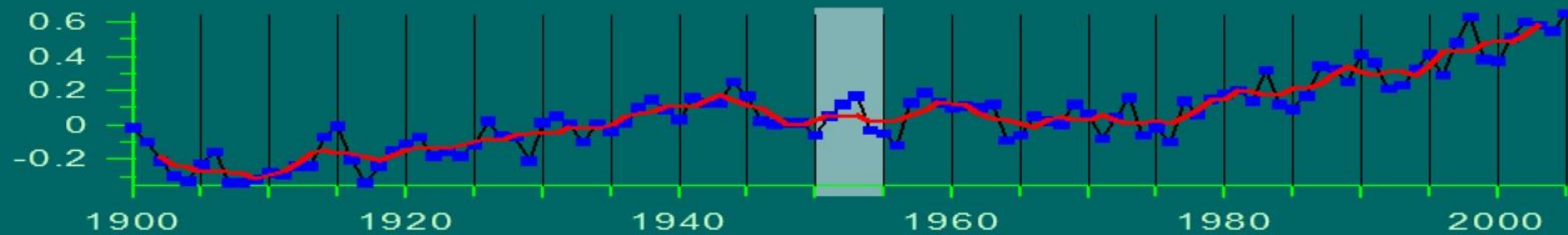




### 3. Regional variations of the annual-mean air temperature

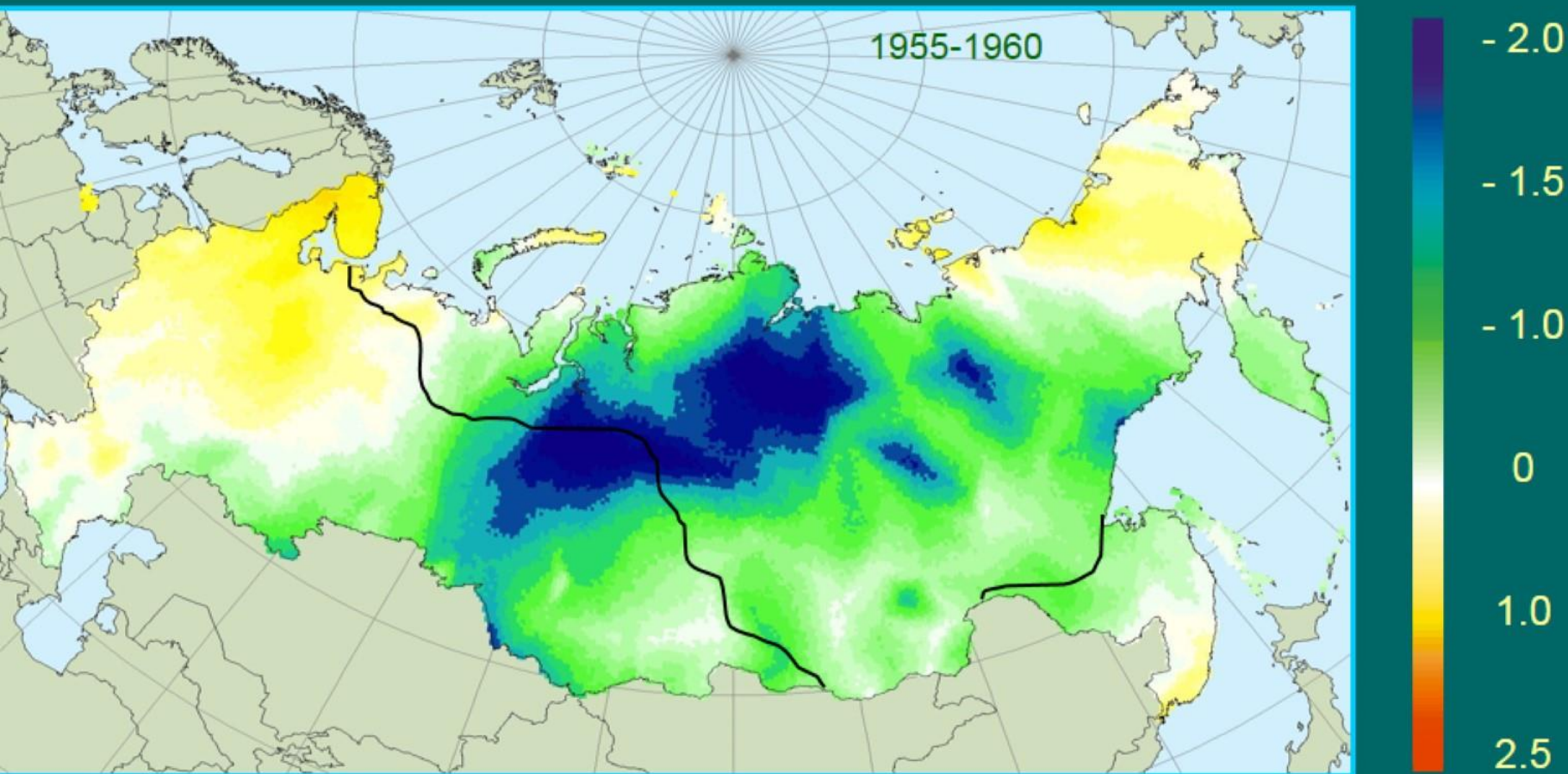


Global temperature variations

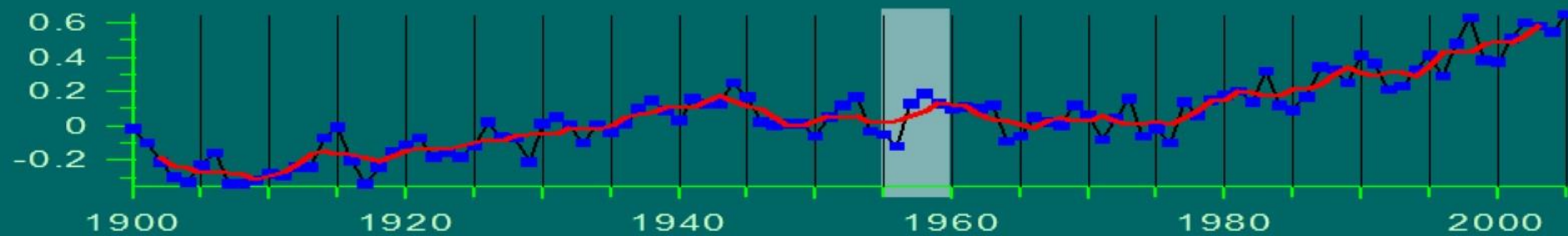




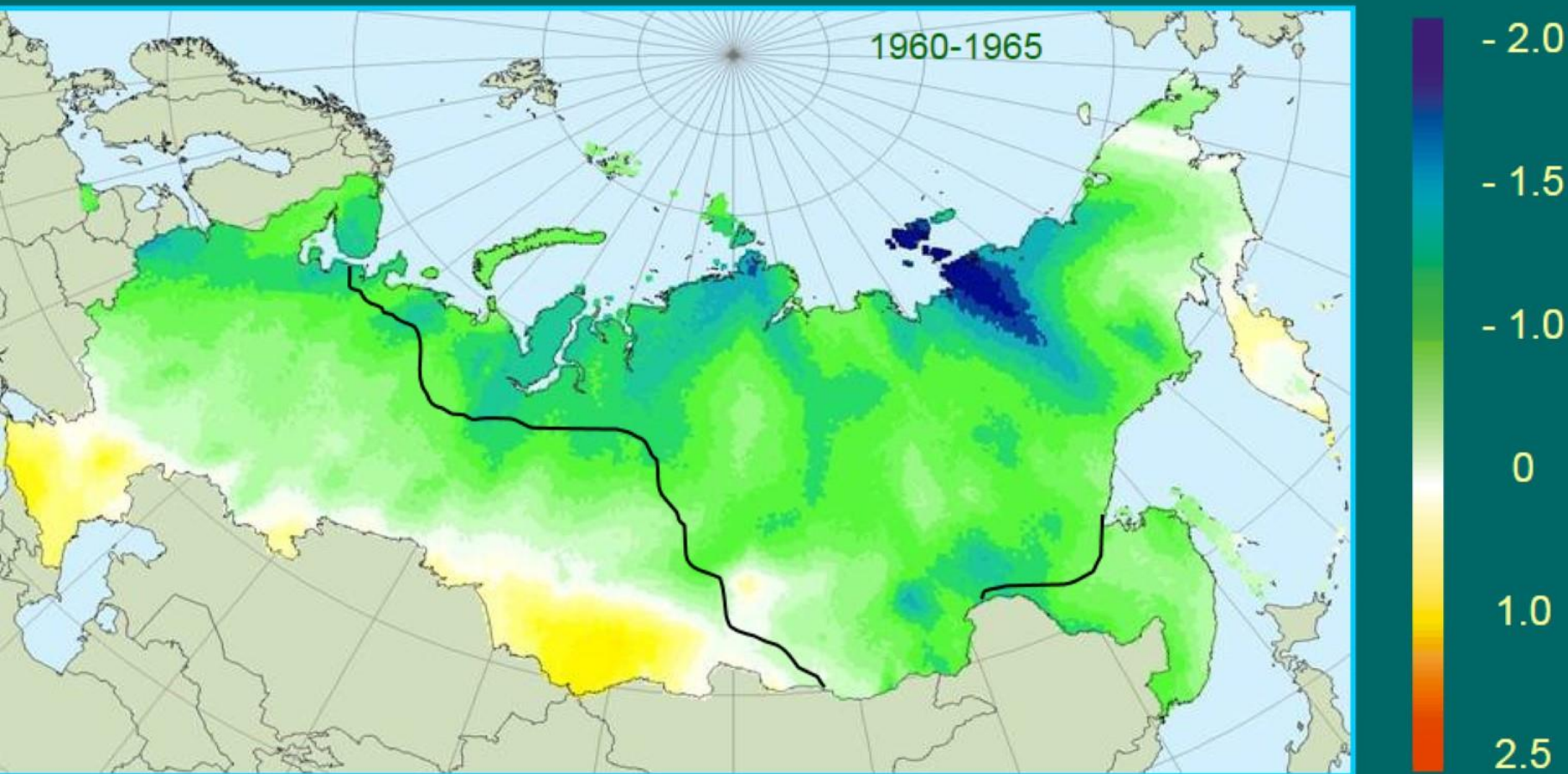
### 3. Regional variations of the annual-mean air temperature



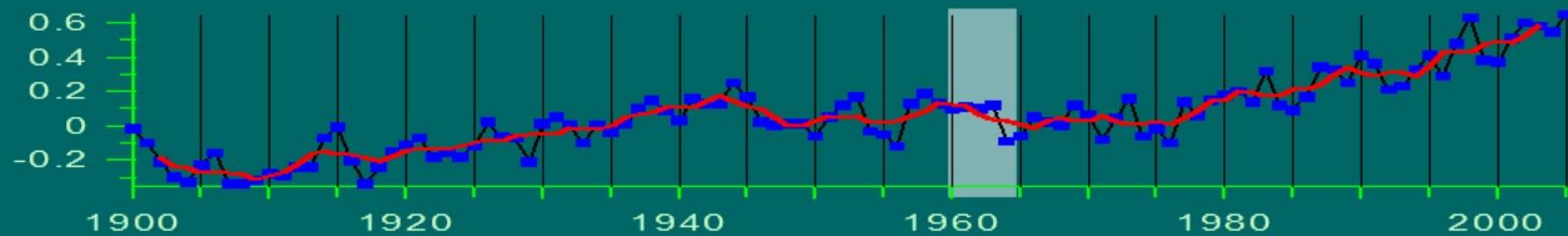
Global temperature variations



### 3. Regional variations of the annual-mean air temperature

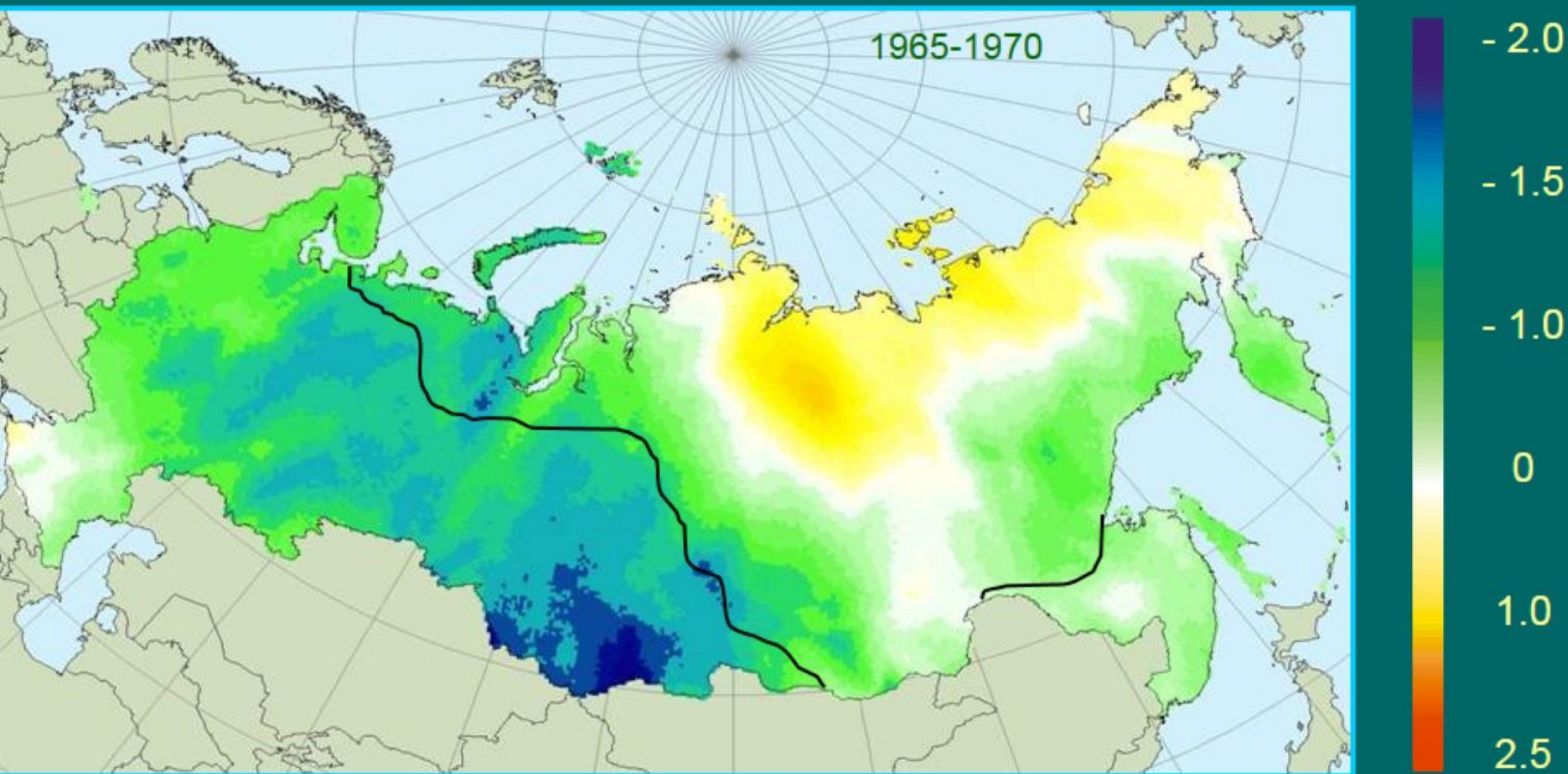


Global temperature variations

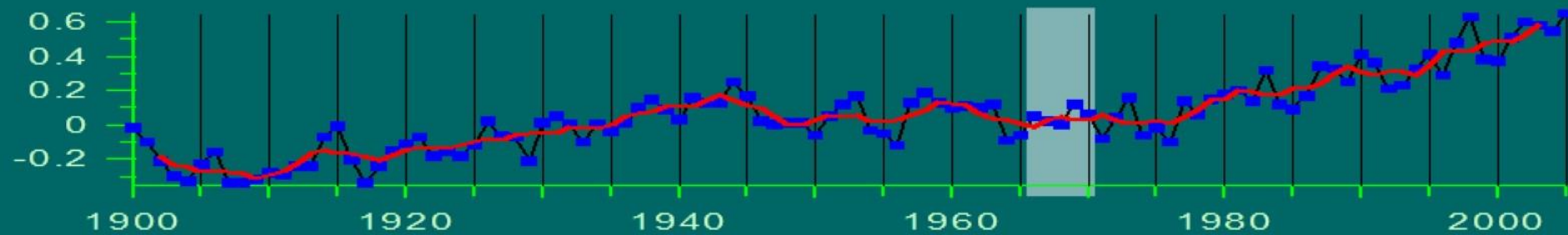




### 3. Regional variations of the annual-mean air temperature

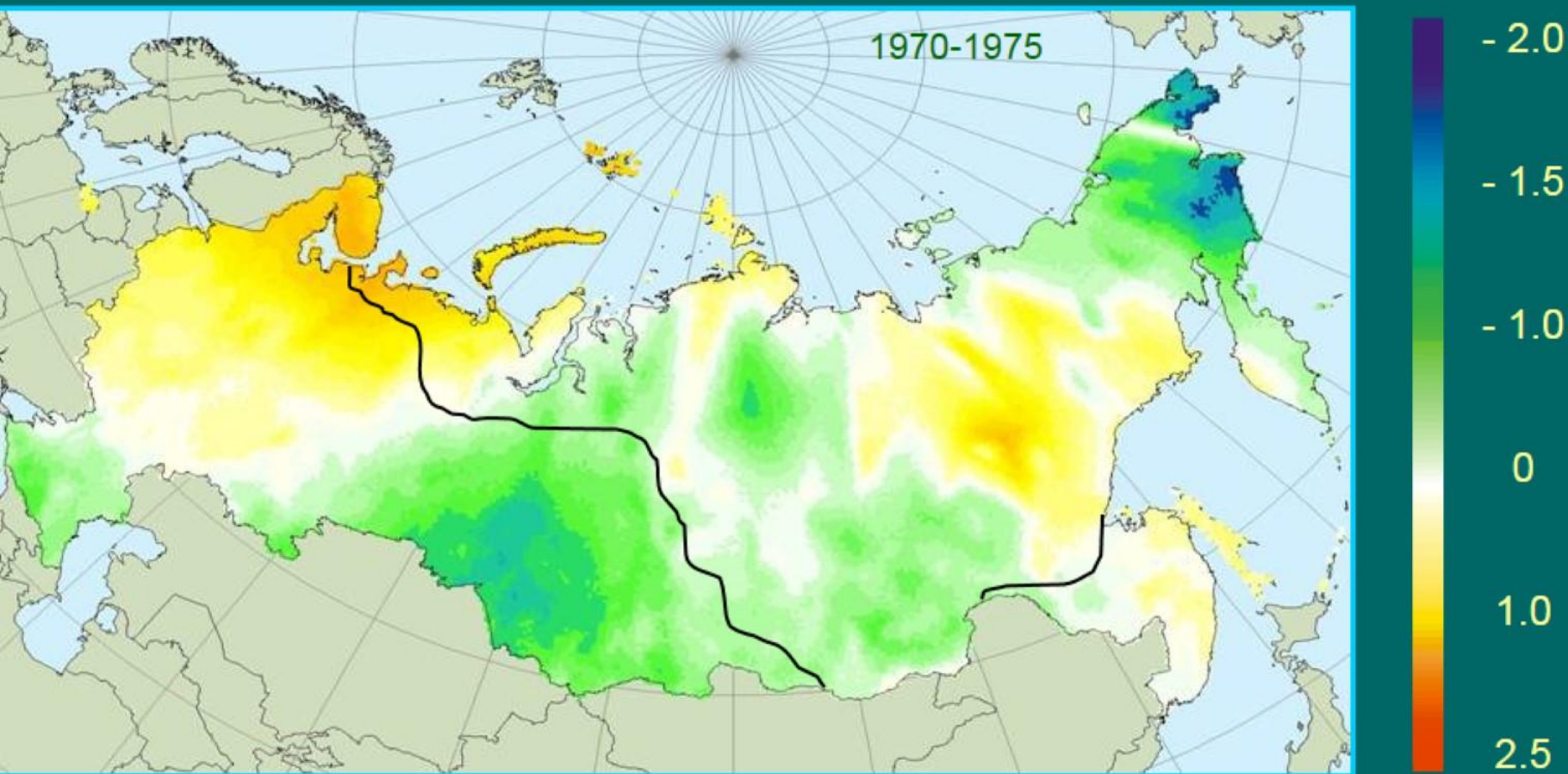


Global temperature variations

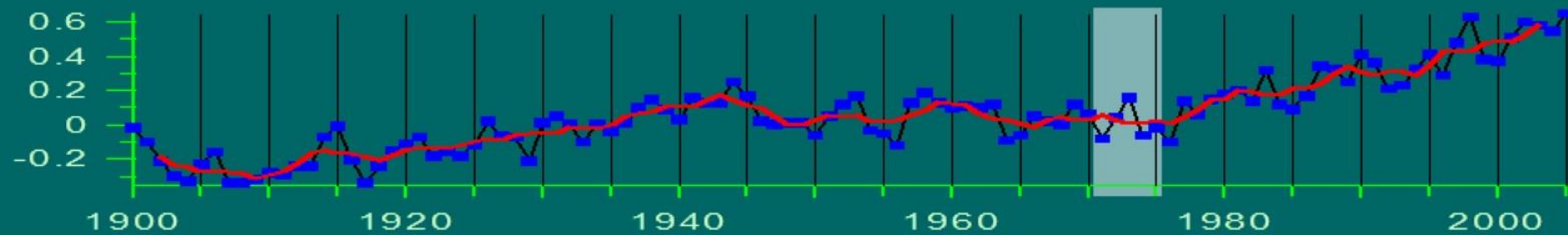




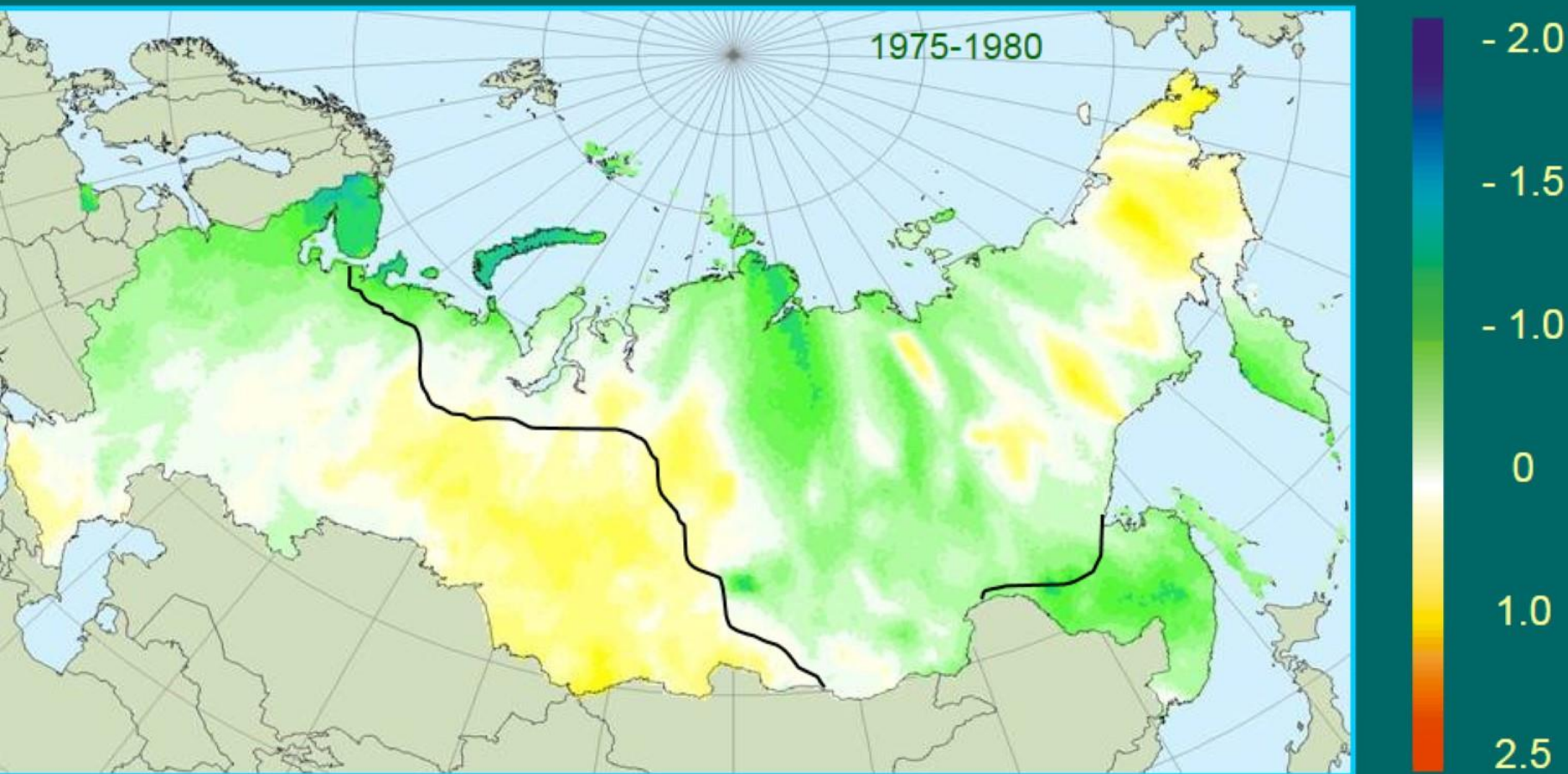
### 3. Regional variations of the annual-mean air temperature



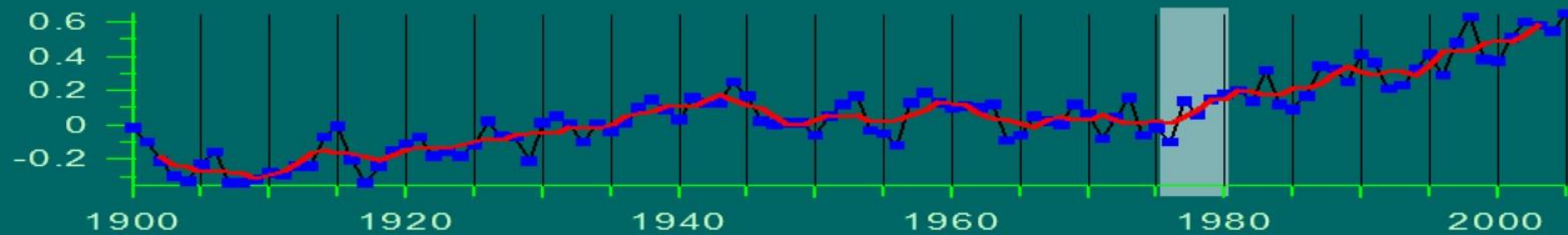
Global temperature variations



### 3. Regional variations of the annual-mean air temperature

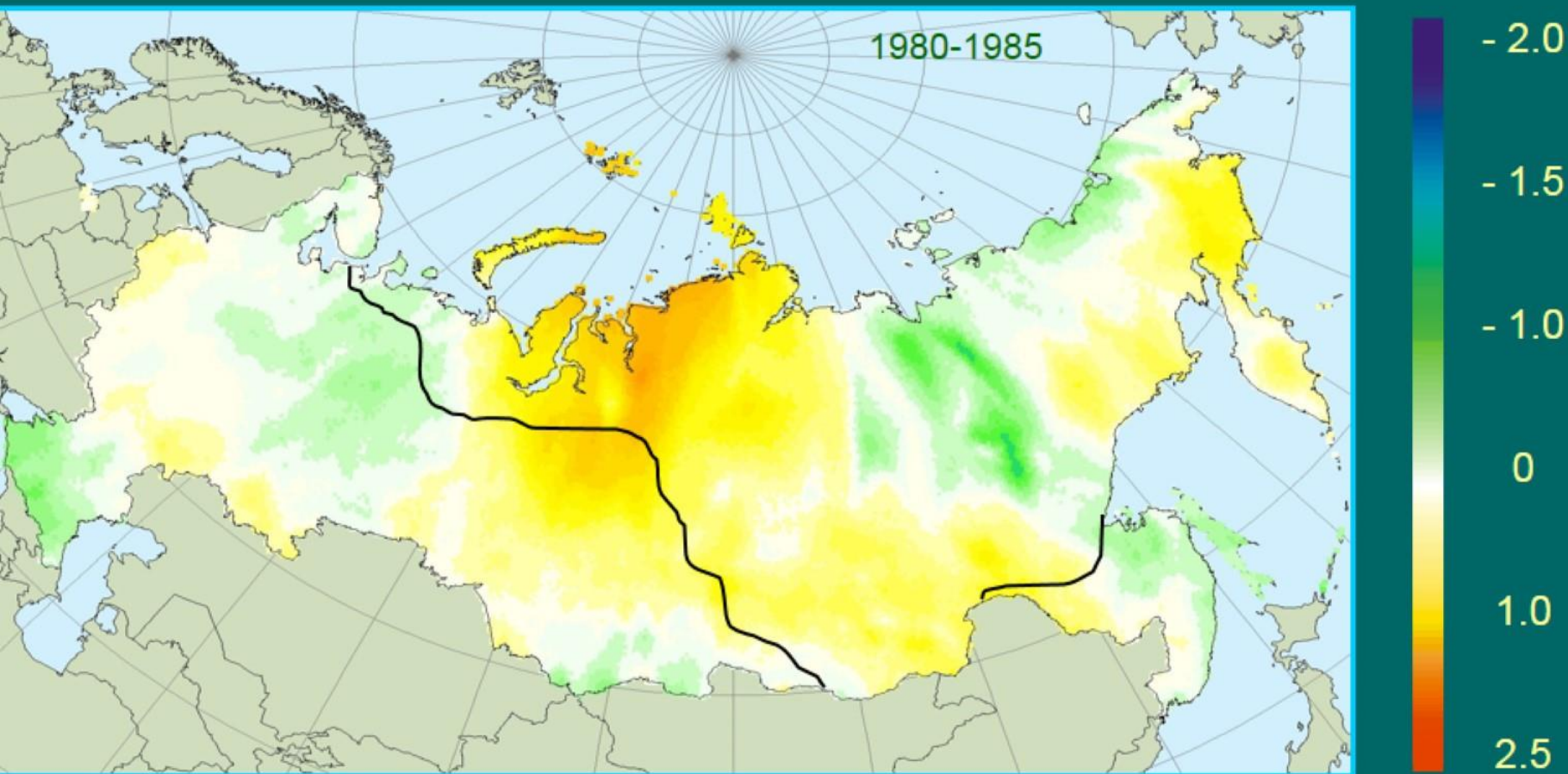


Global temperature variations

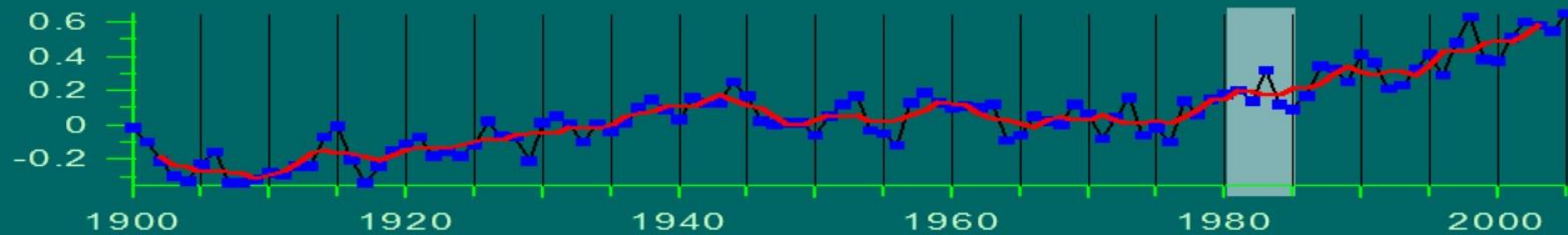




### 3. Regional variations of the annual-mean air temperature

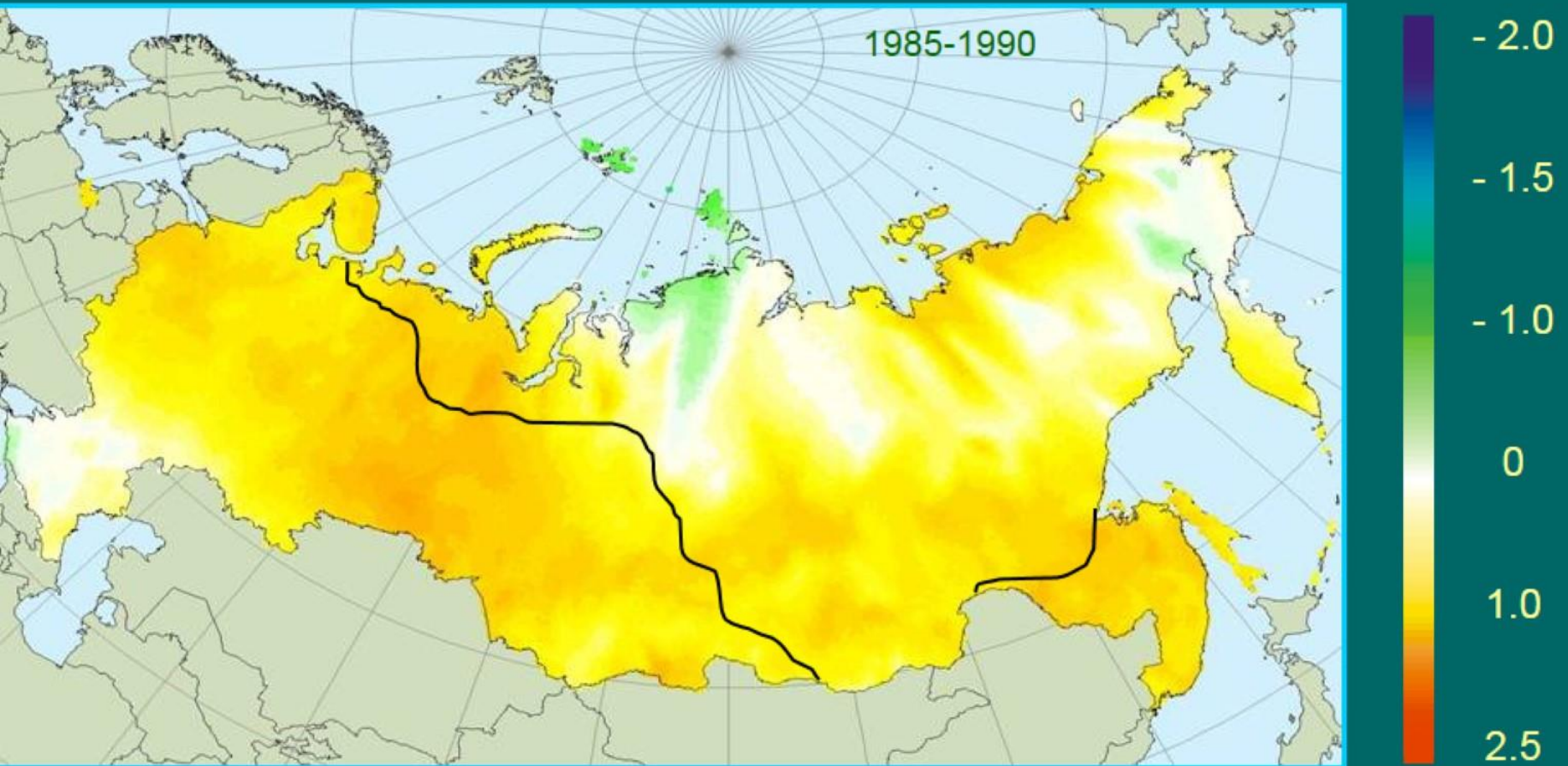


Global temperature variations

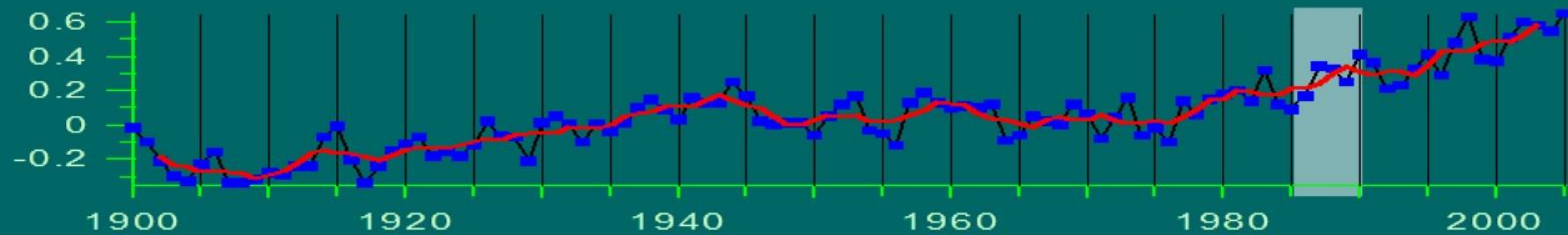




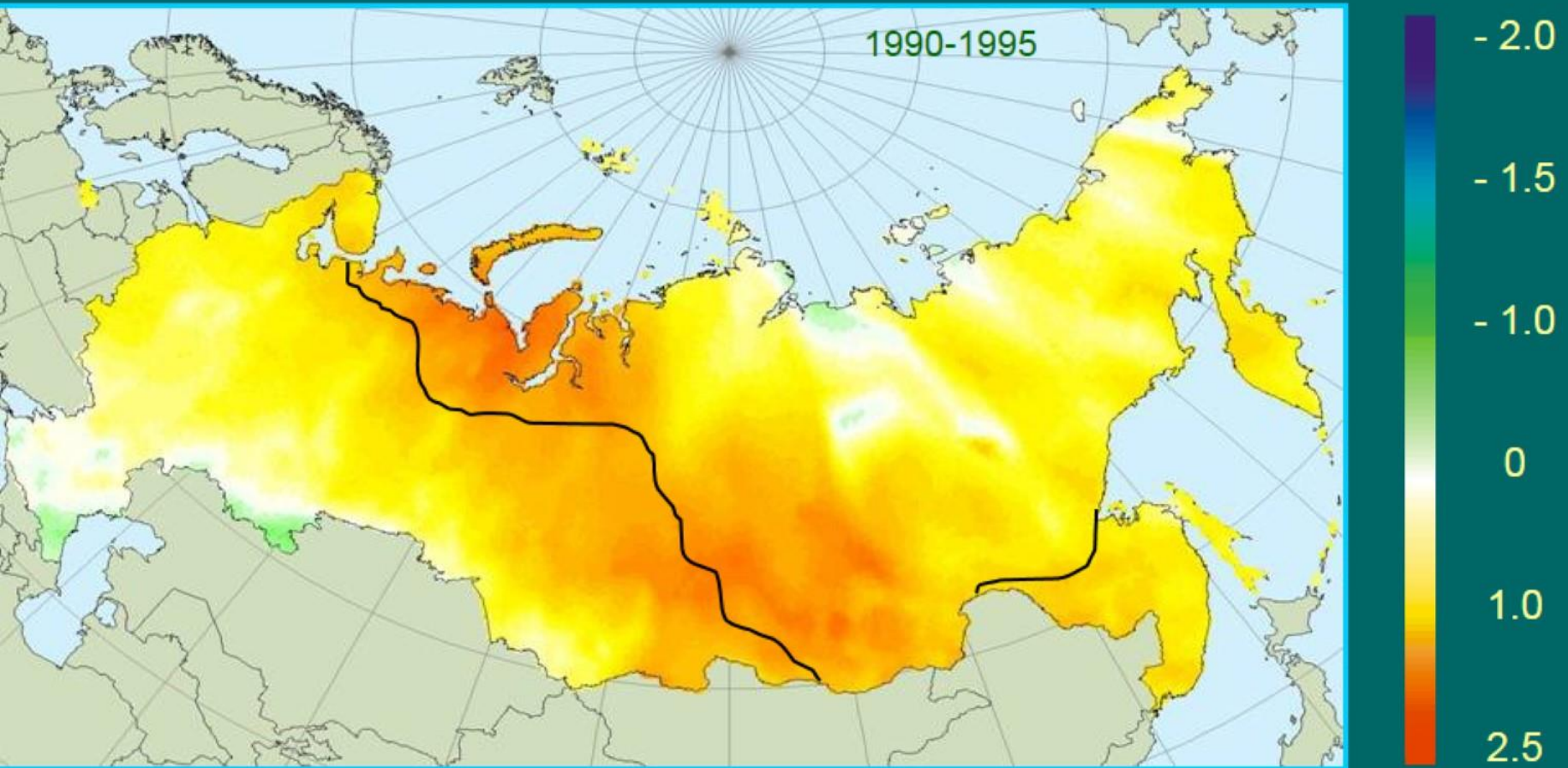
### 3. Regional variations of the annual-mean air temperature



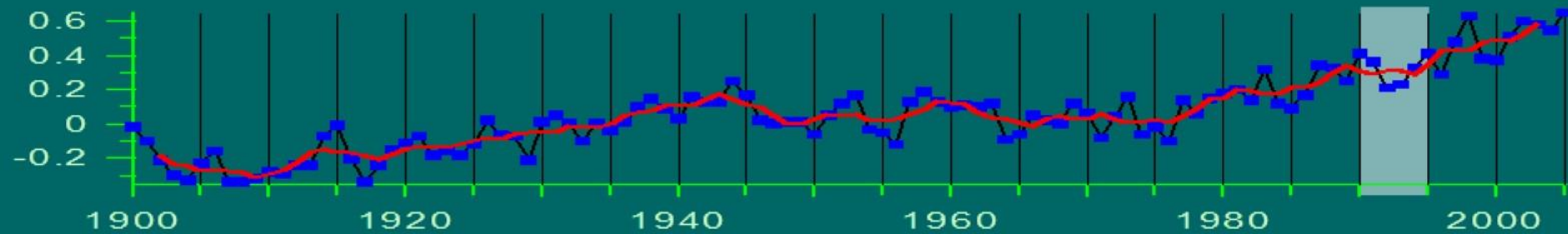
Global temperature variations



### 3. Regional variations of the annual-mean air temperature

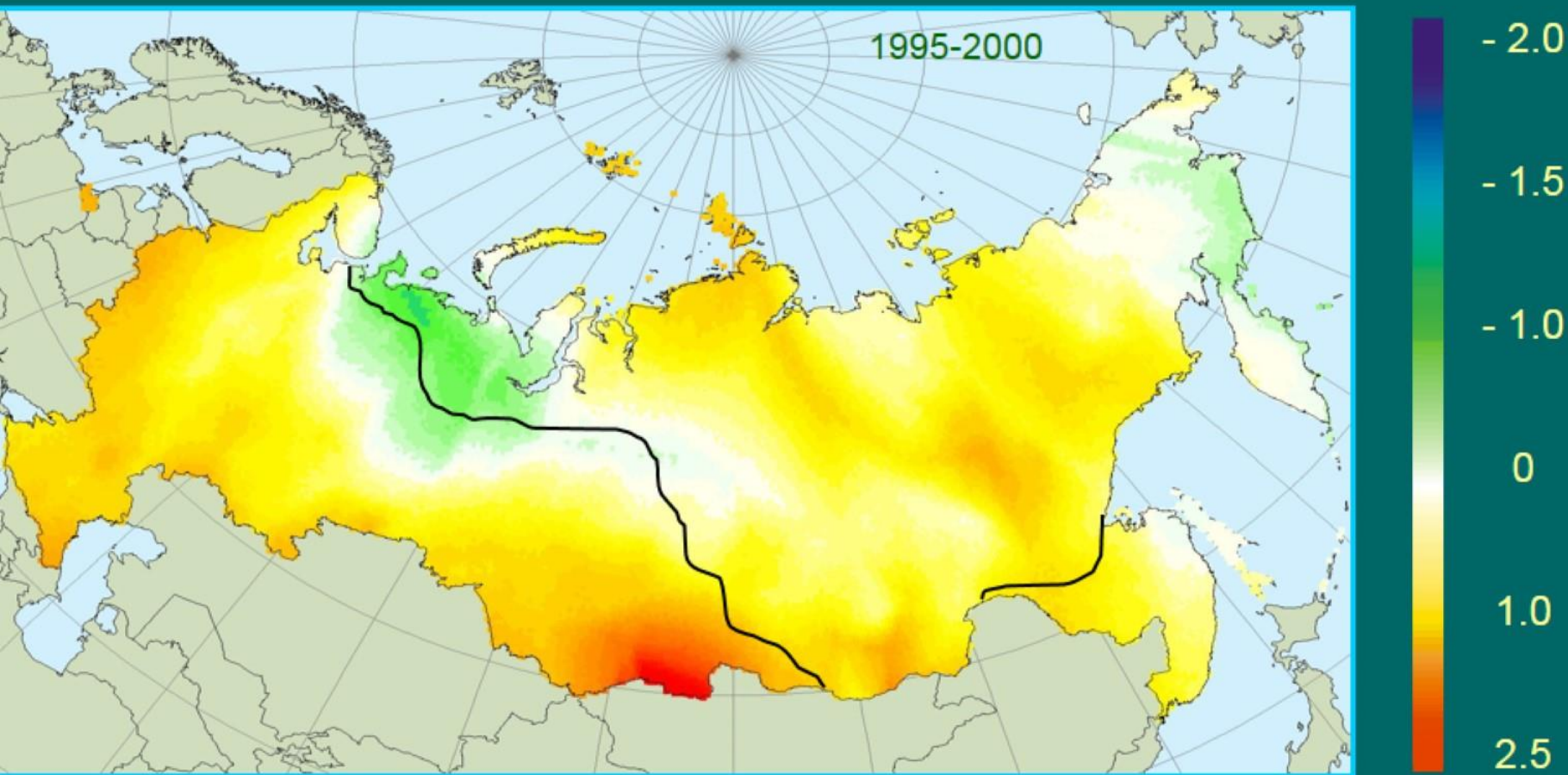


Global temperature variations

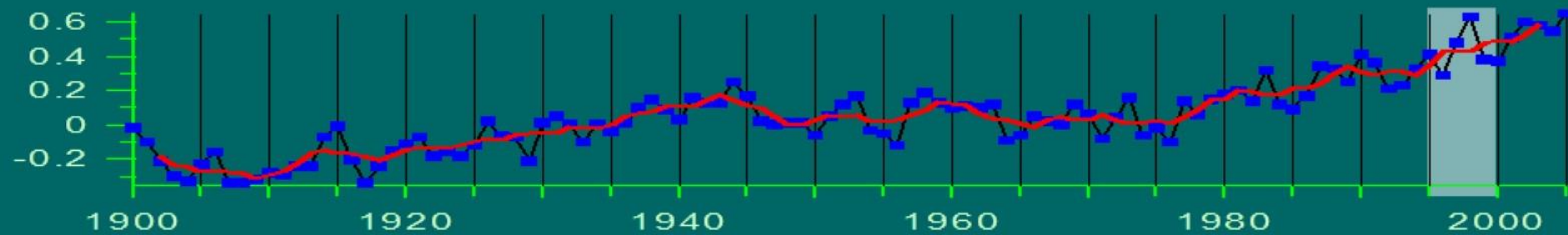




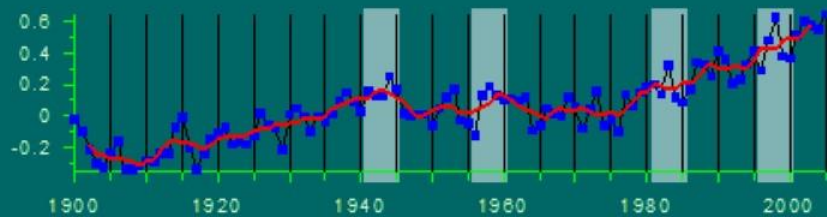
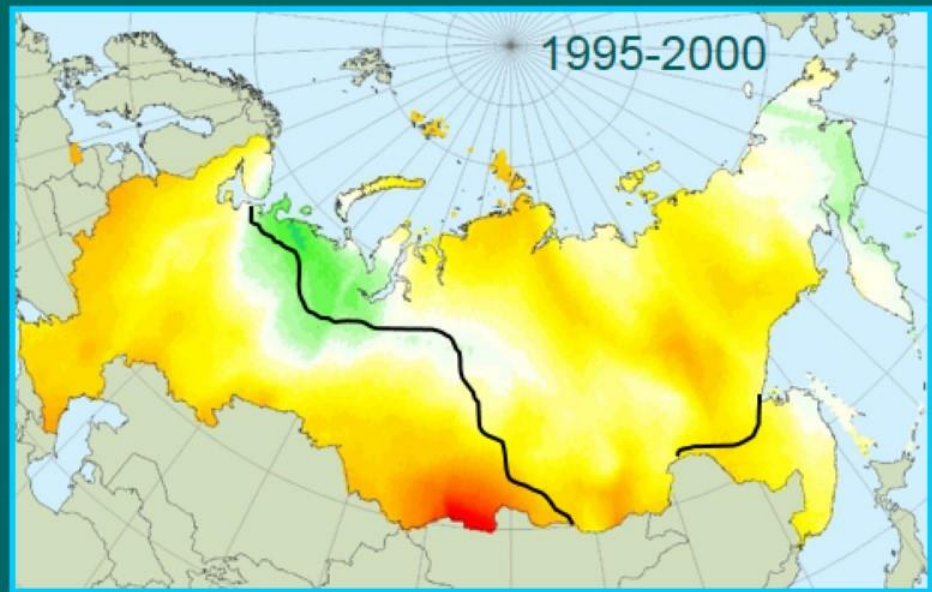
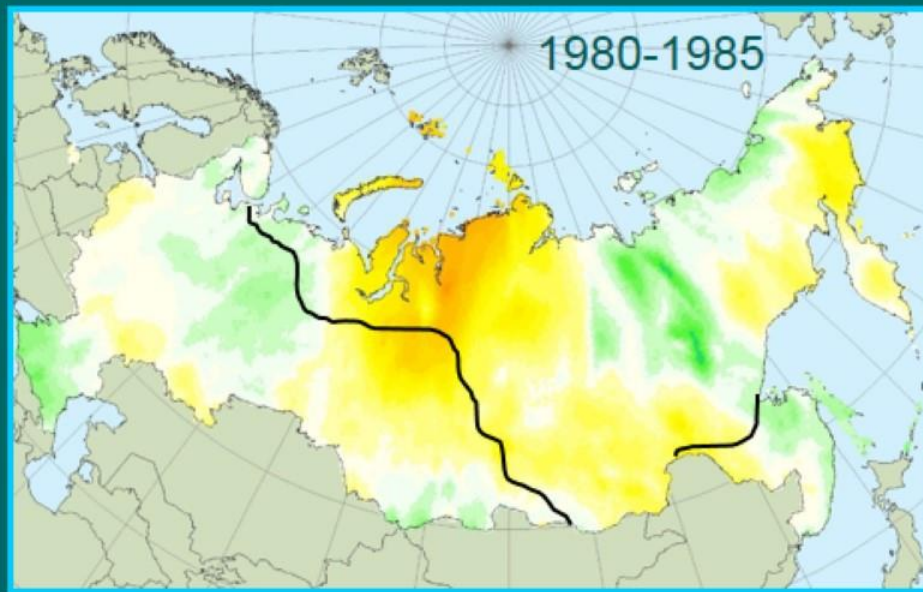
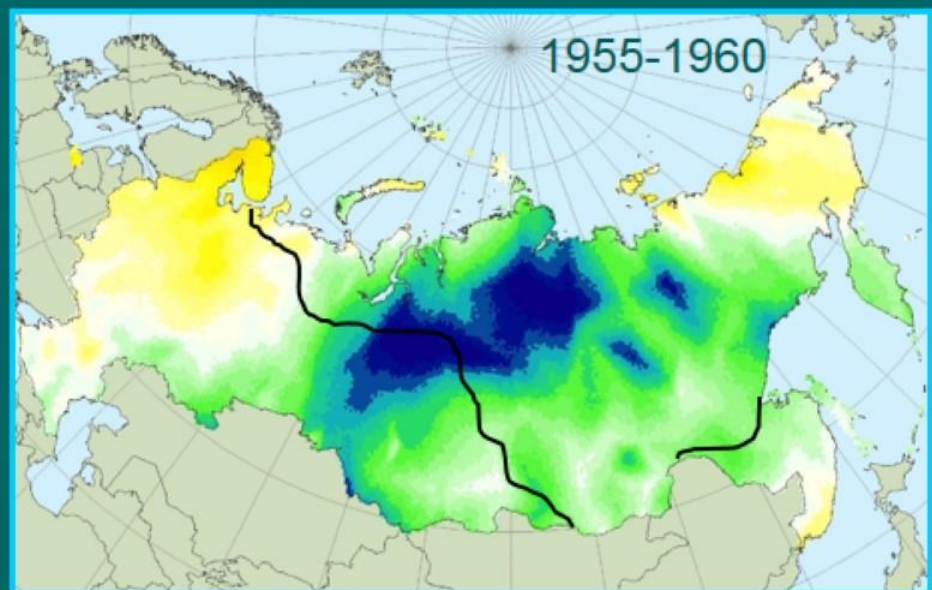
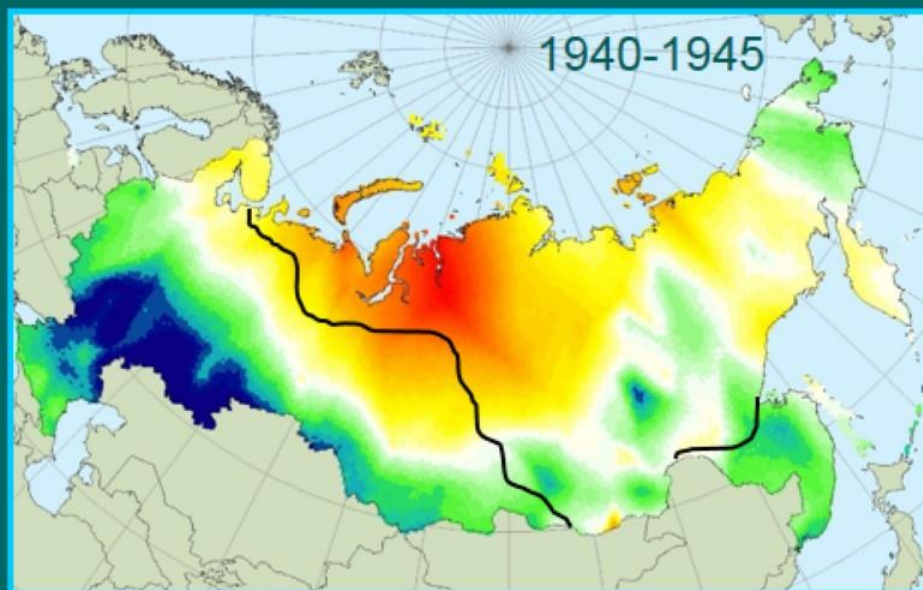
### 3. Regional variations of the annual-mean air temperature



Global temperature variations

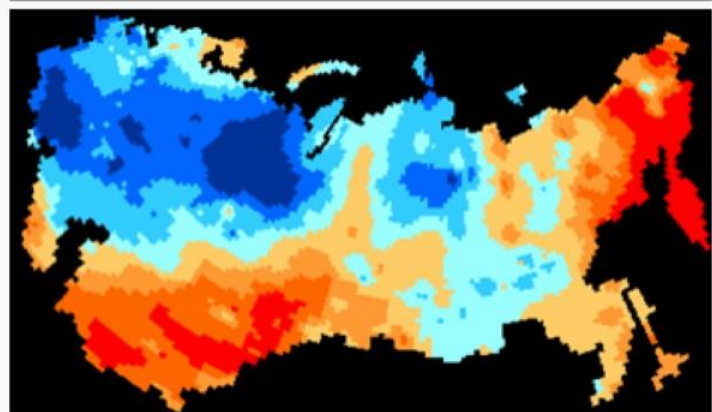
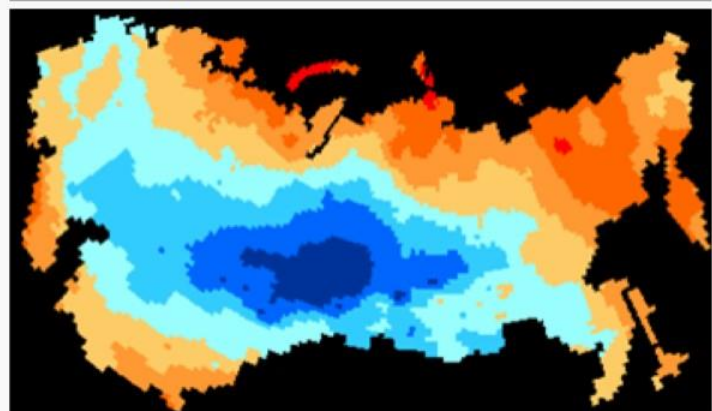
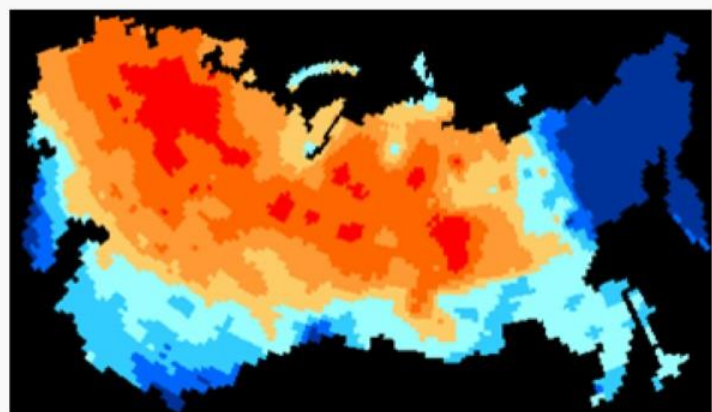








Air temperature,  $^{\circ}\text{C}$

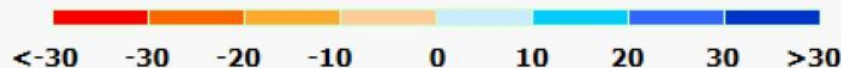
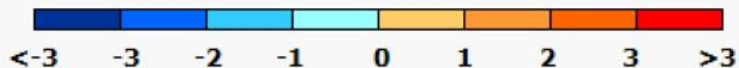
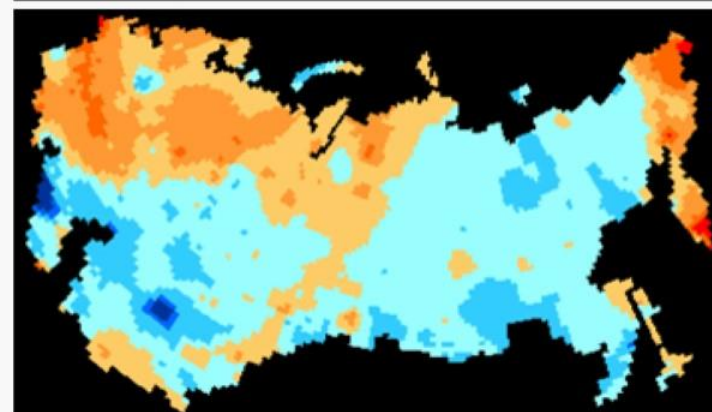
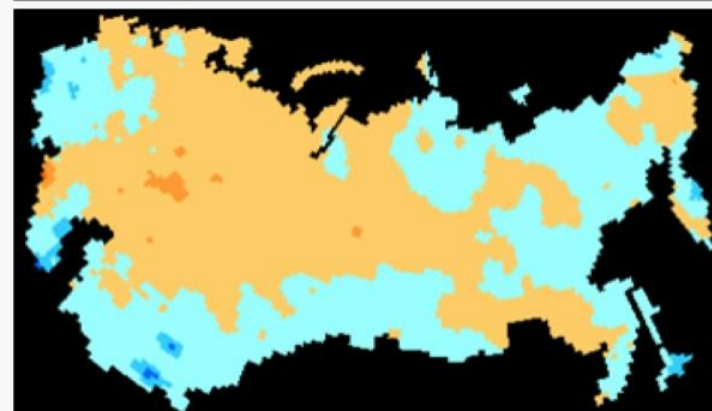
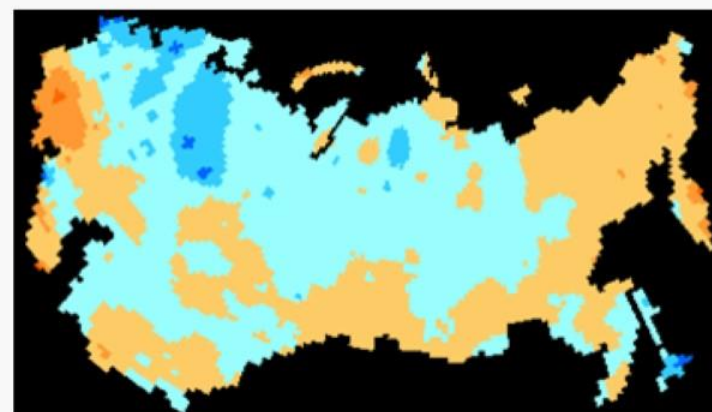


January

Departure from  
1961-1990 mean



Precipitation, mm/month

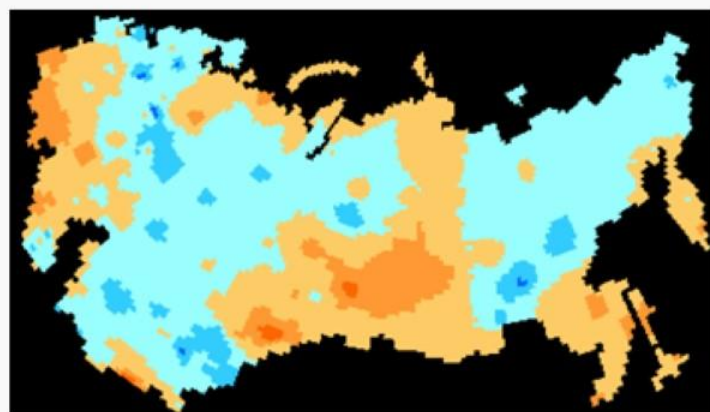




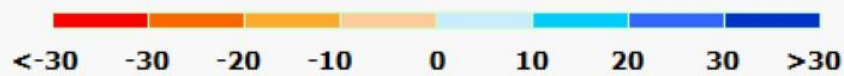
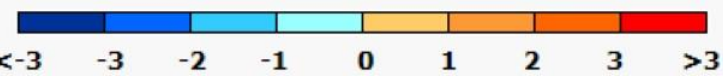
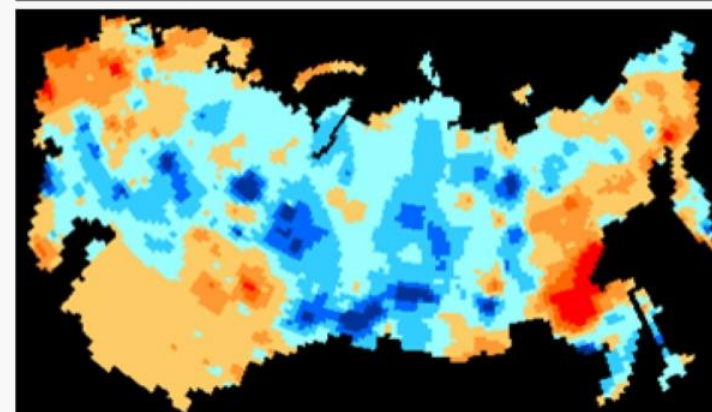
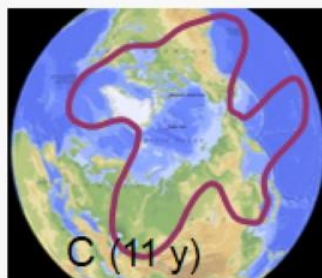
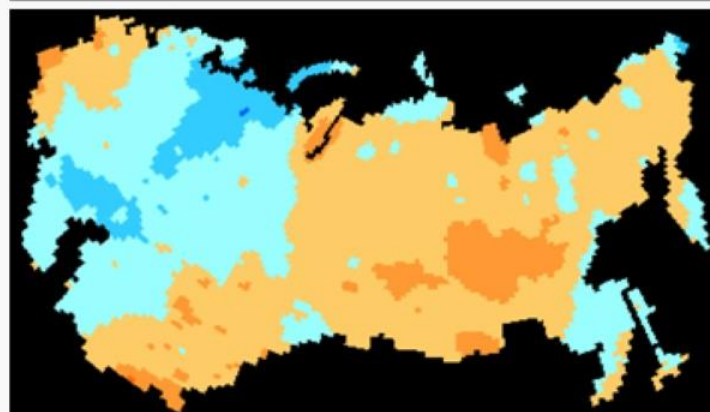
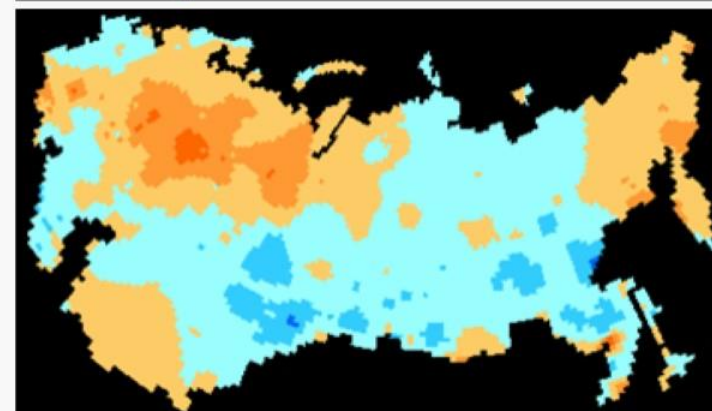
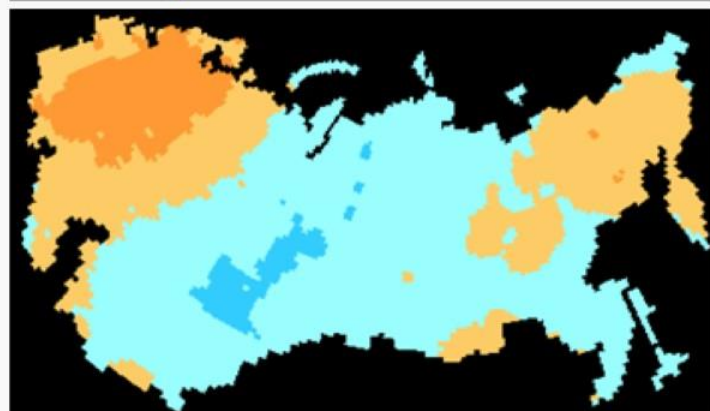
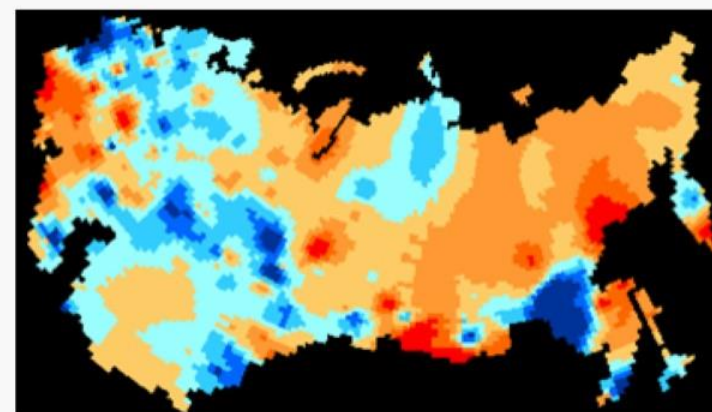
Air temperature, °C

July

Precipitation, mm/month



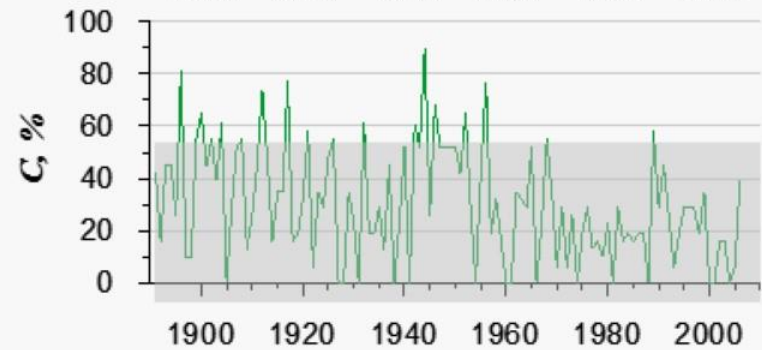
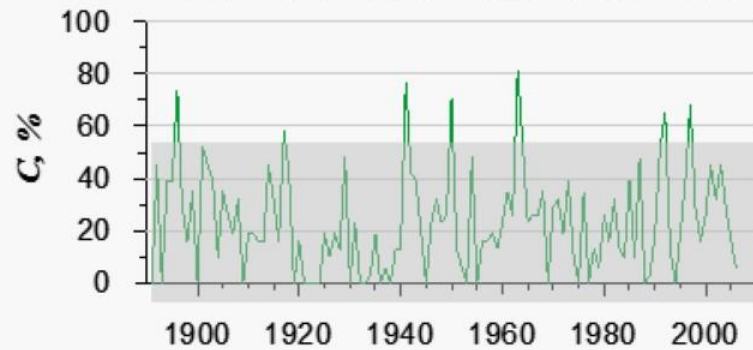
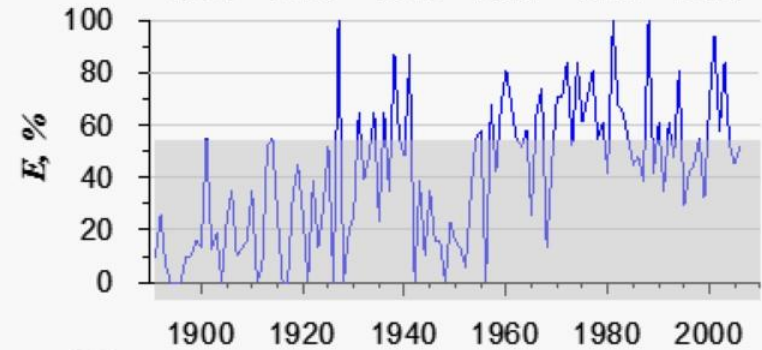
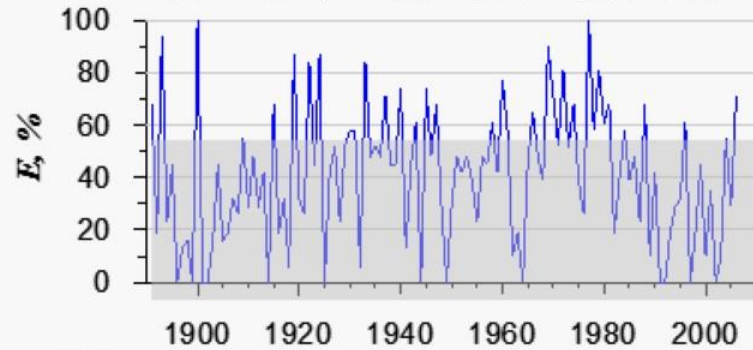
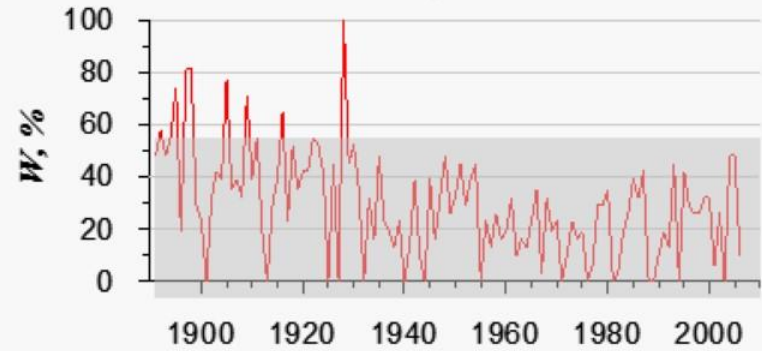
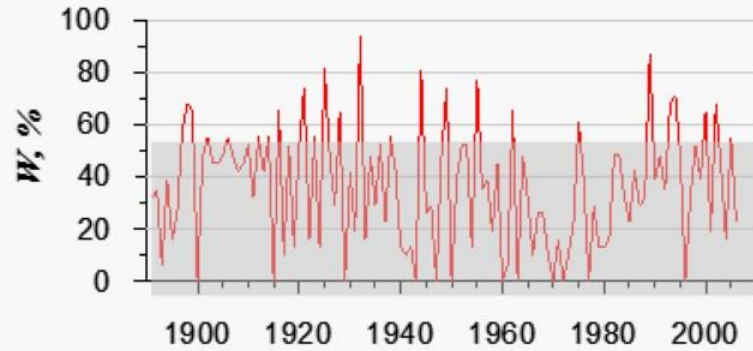
Departure from  
1961-1990 mean



# Relative frequency of *W*, *E*, and *C* circulation forms

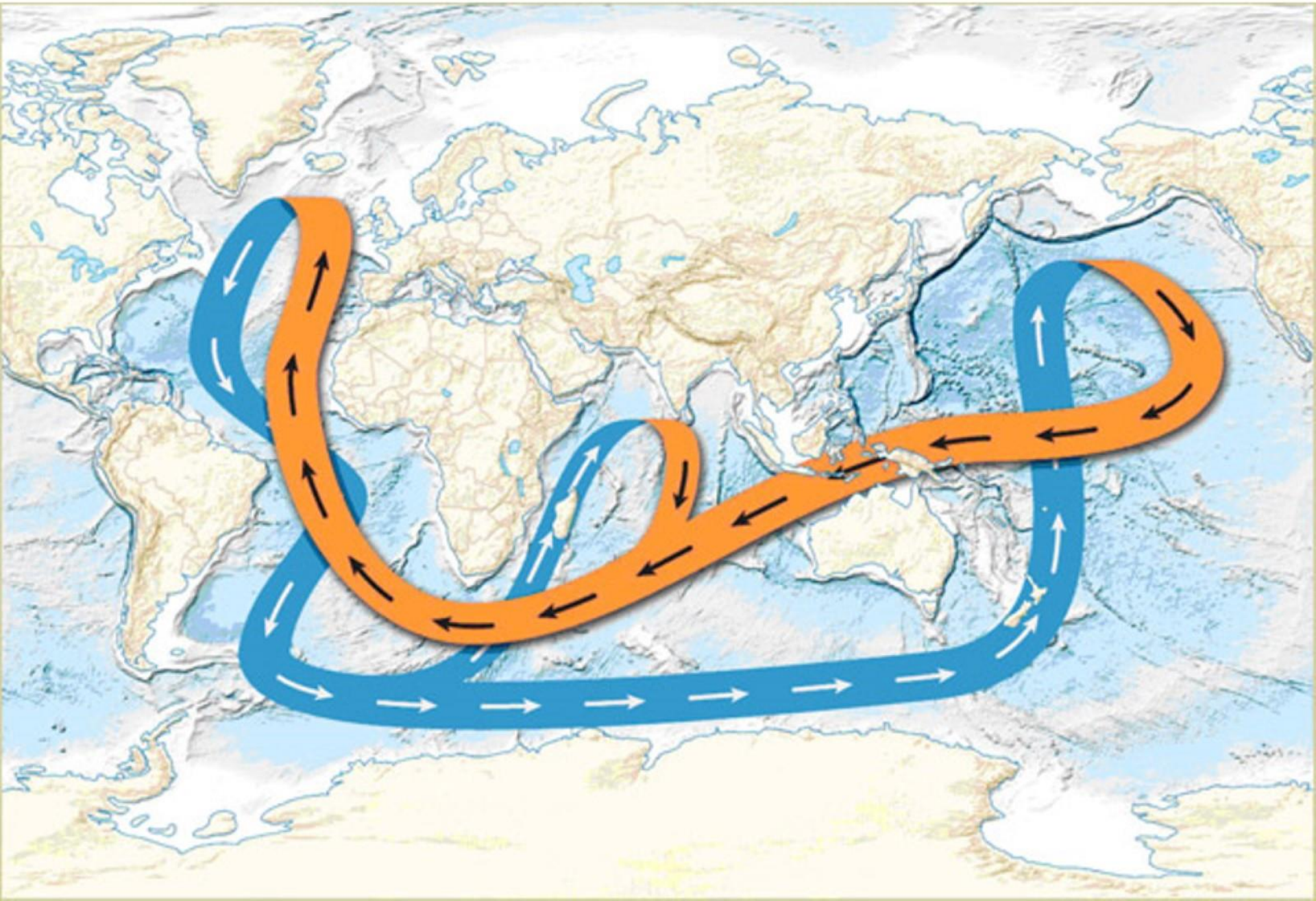
*January*

*July*





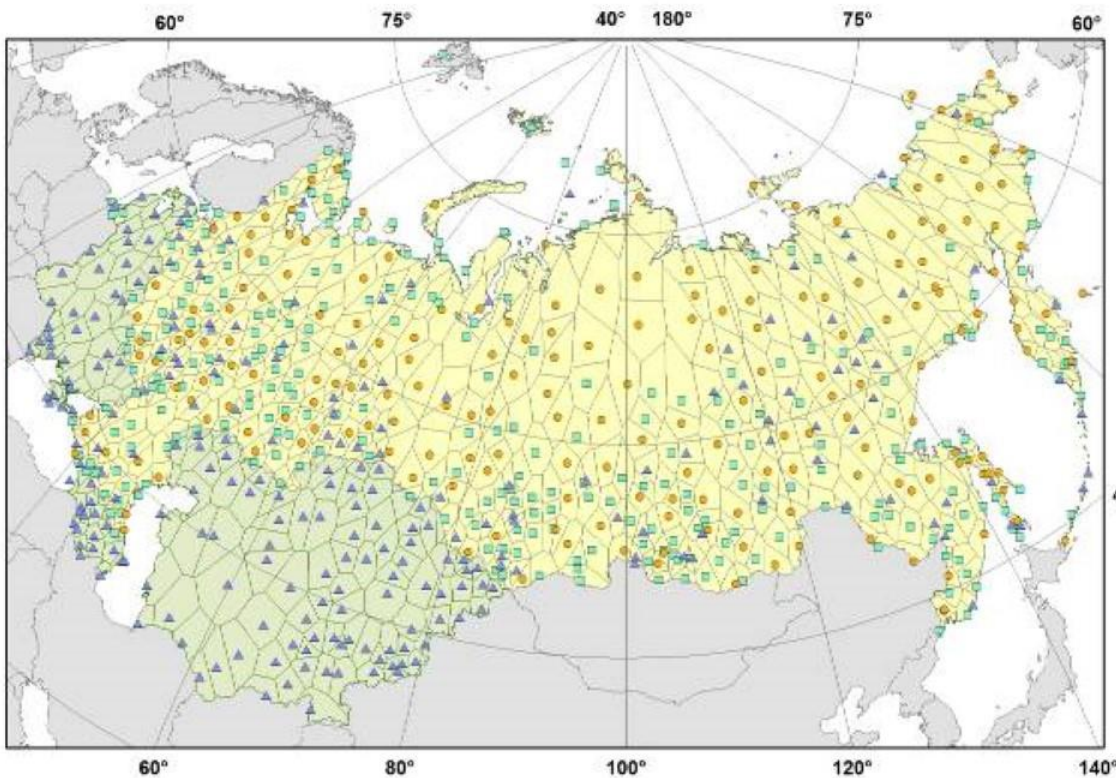
# Термохалинная циркуляция



### **3. Репрезентативность сети наблюдений**



# Сеть метеонаблюдений на территории России и сопредельных государств

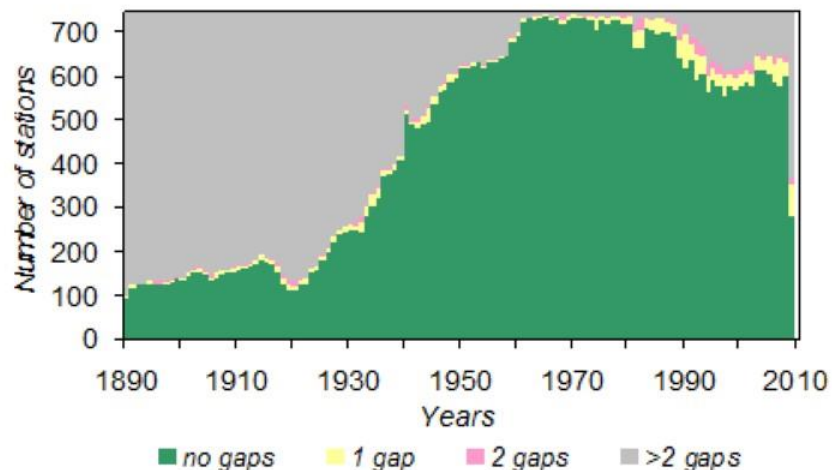
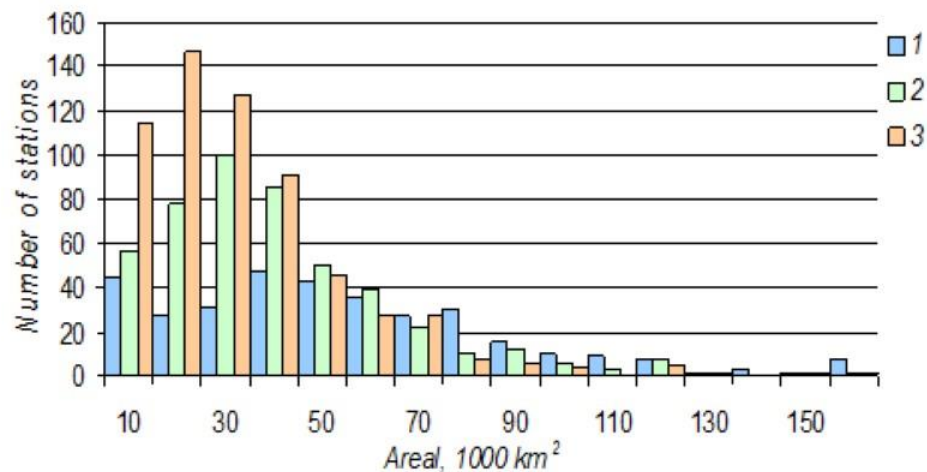


## Численность станций:

Максимум 2297 в 1986,  
1627 действующих в 2014 г,  
В том числе 744 с длинными  
рядами наблюдений;

## Средний ареал станций:

Арктика –  $25.1 \times 10^3 \text{ км}^2$ ,  
По всей России –  $10.5 \times 10^3 \text{ км}^2$ ,  
Центральный район –  $4.6 \times 10^3 \text{ км}^2$ .

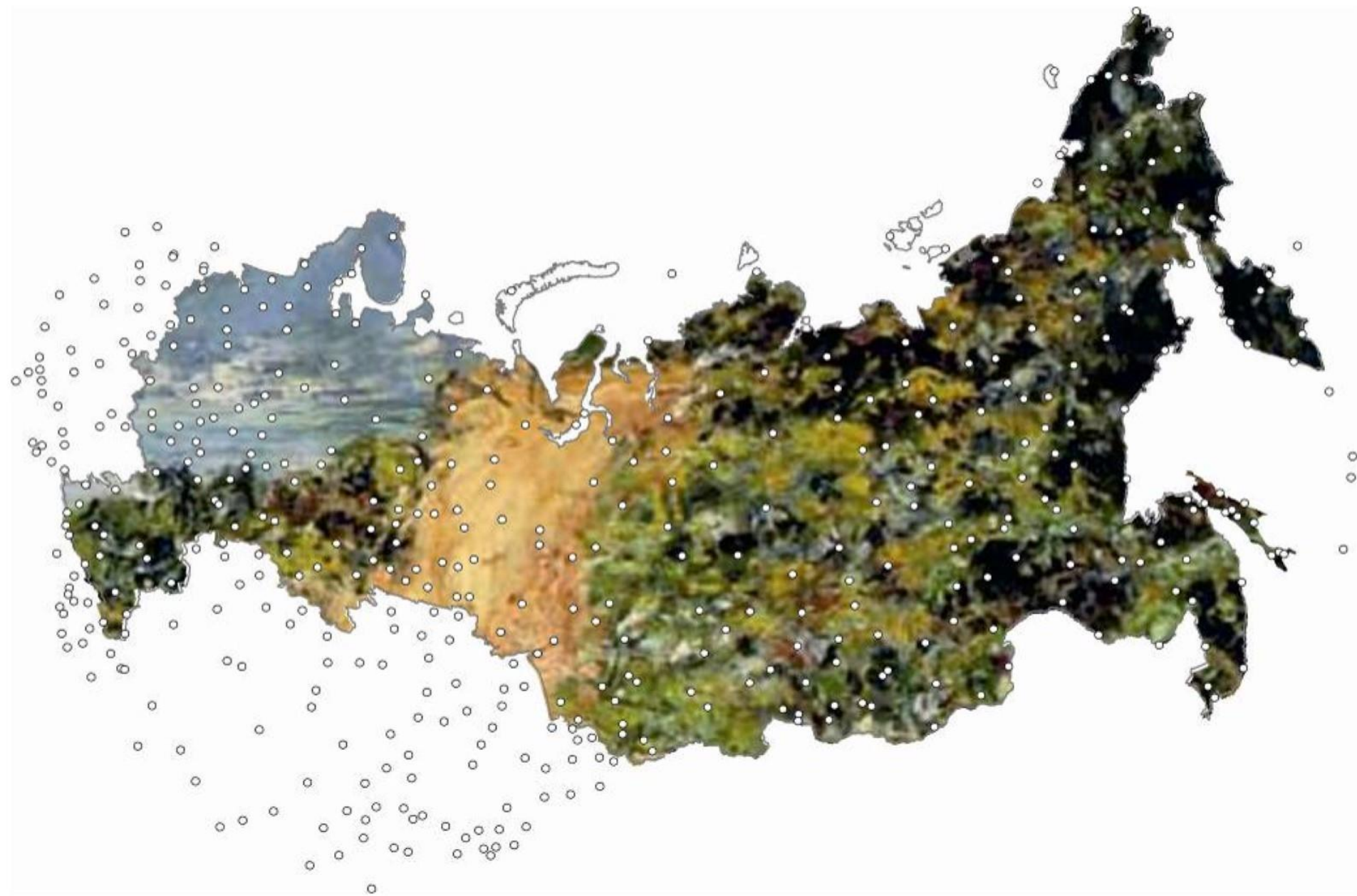




Клод Моне "Пейзаж в Монако"









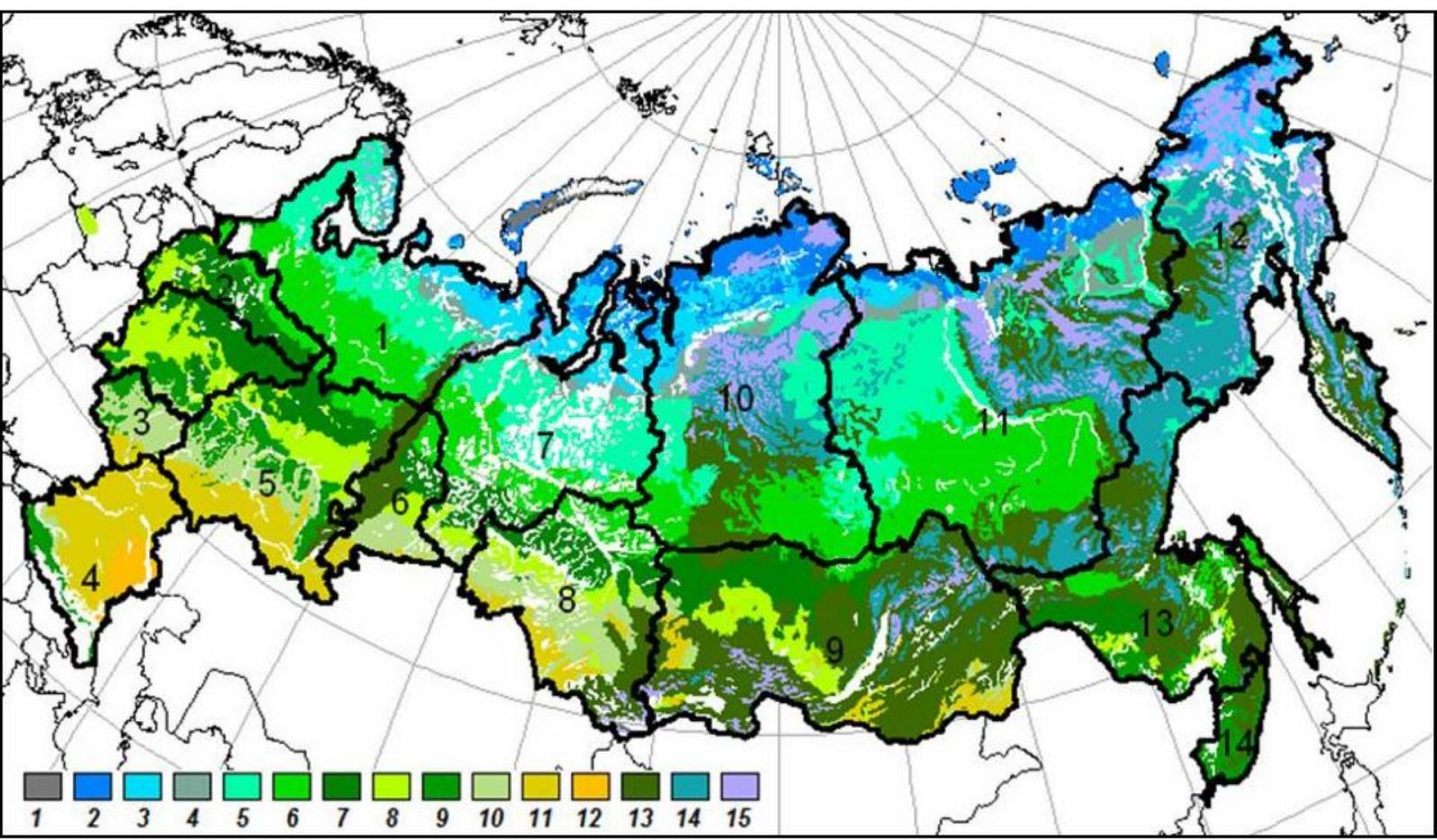


Клод Моне "Пейзаж в Монако"





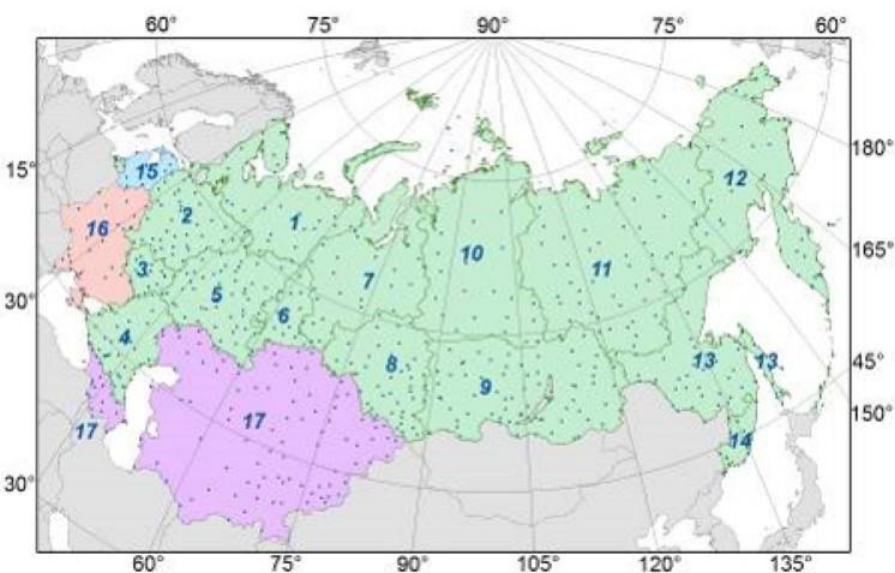
# Разделение на регионы с синхронными изменениями





# Разделение на регионы с синхронными изменениями

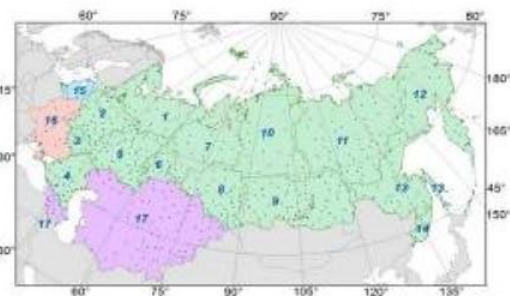
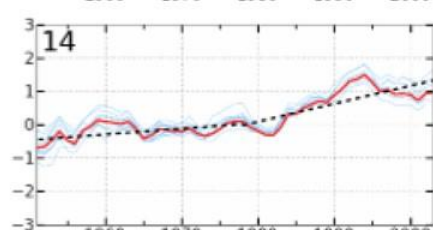
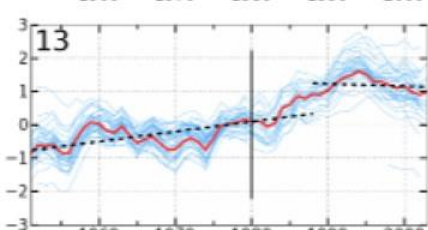
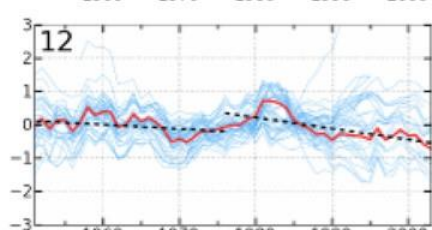
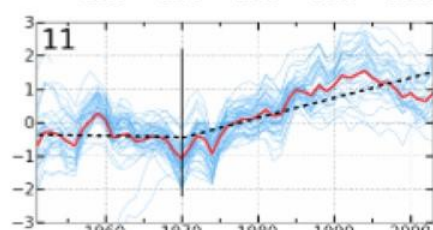
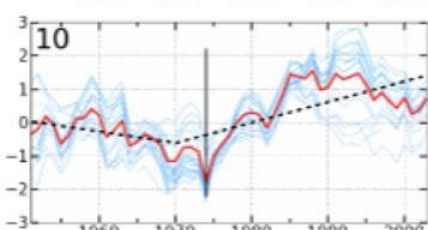
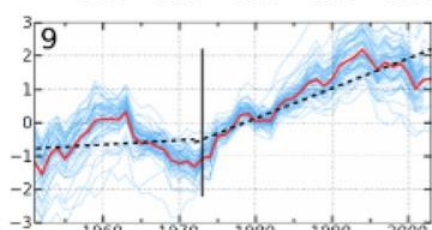
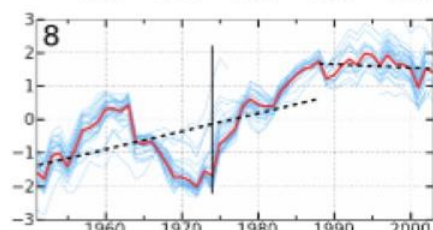
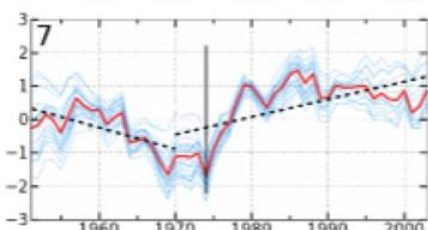
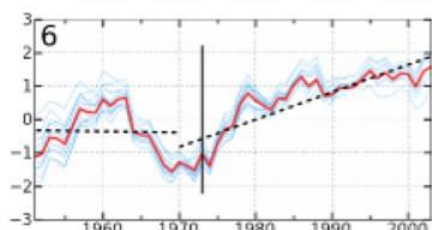
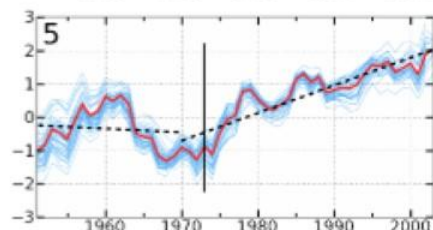
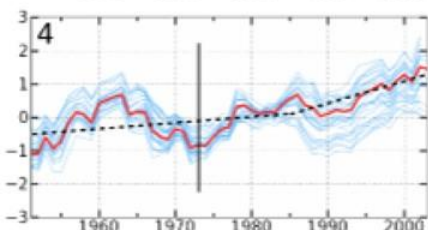
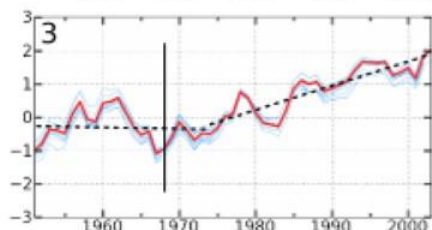
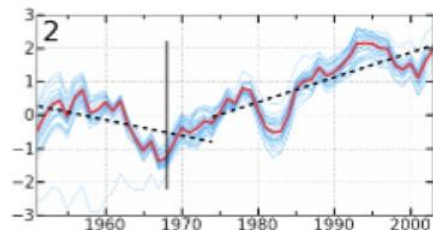
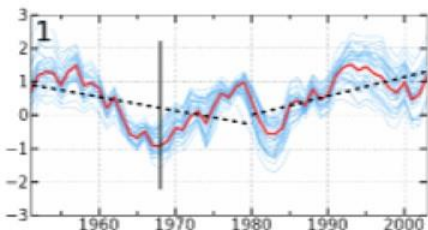
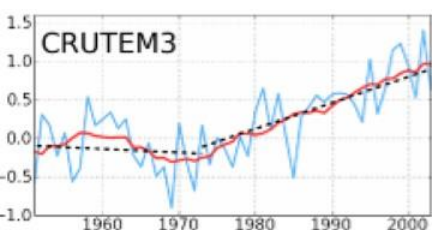
Среднерегionalные коэффициенты корреляции рядов температуры воздуха для различных сезонов и периодов времени



Период	Сезон	Среднерегionalный коэффициент корреляции		
		Min	Mean	Max
1900-2010	Зима	0.45	0.81	0.98
	Весна	0.58	0.82	0.97
	Лето	0.38	0.69	0.95
	Осень	0.53	0.79	0.97
	Год	0.51	0.80	0.97
1970-2010	Зима	0.40	0.79	0.98
	Весна	0.70	0.82	0.95
	Лето	0.39	0.72	0.95
	Осень	0.65	0.82	0.97
	Год	0.61	0.84	0.97

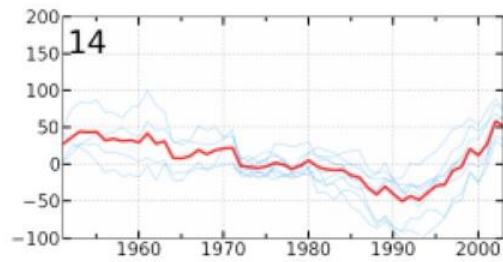
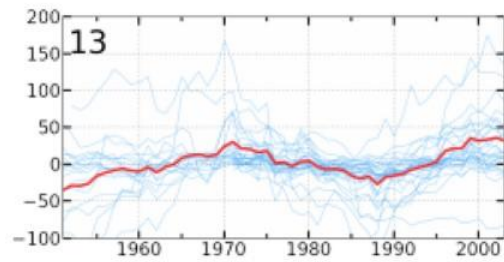
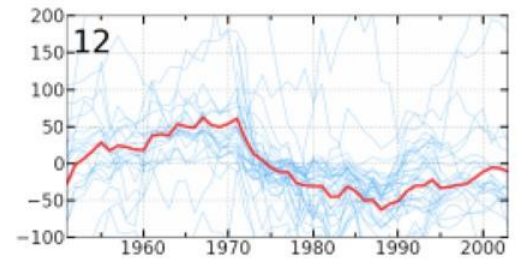
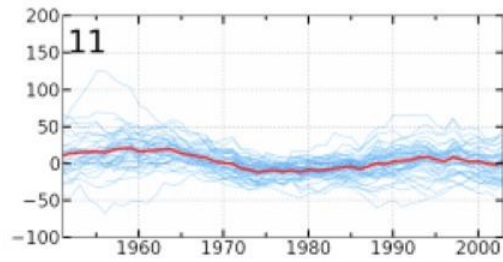
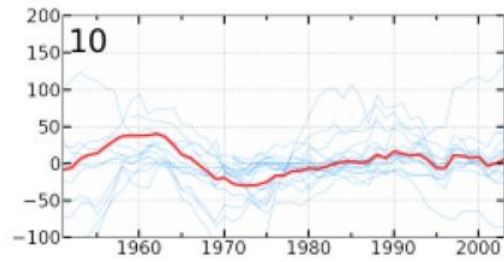
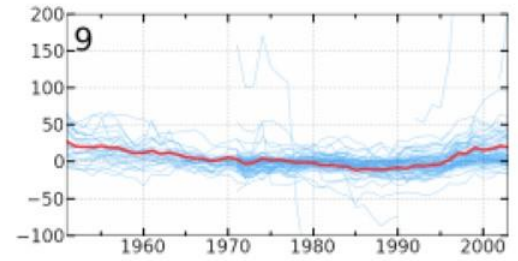
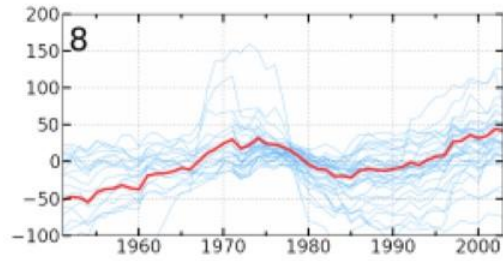
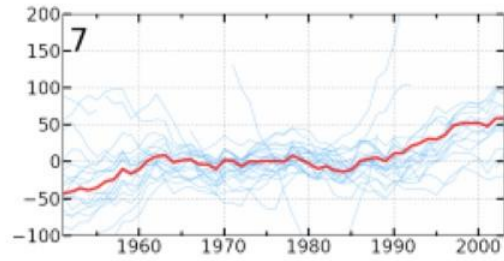
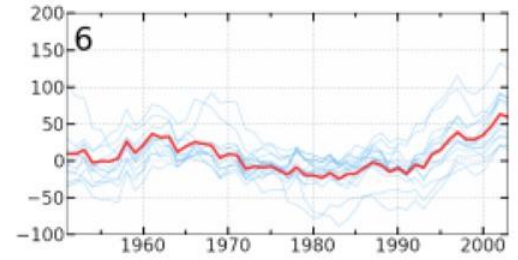
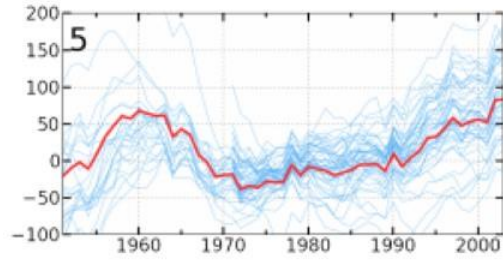
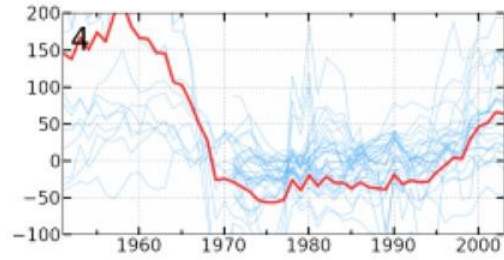
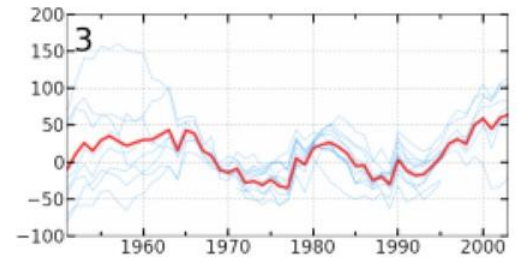
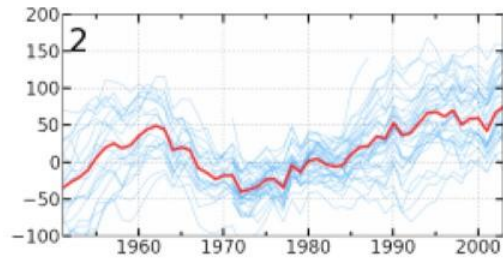
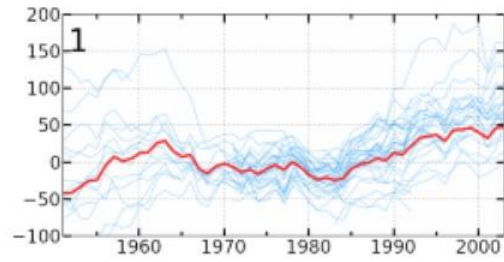
# Наблюдаемые региональные изменения температуры

(Анисимов и Кокорев, 2012; Кокорев и Анисимов, 2013; Anisimov et al., 2013)





# Наблюдаемые региональные изменения осадков



## **4. Наблюдаемые изменения климата**



# Оценочные доклады МГЭИК

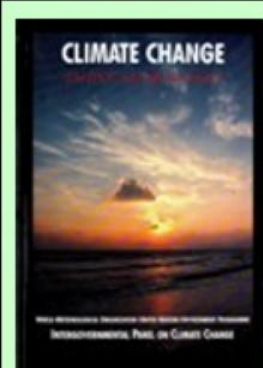
1991

1995

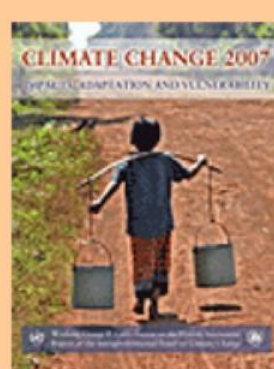
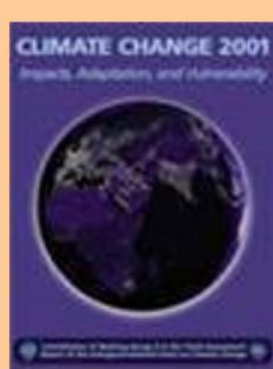
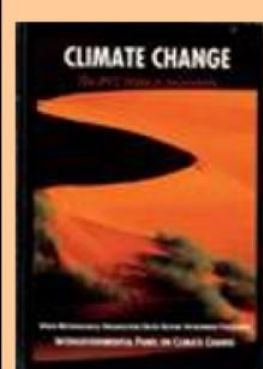
2001

2007

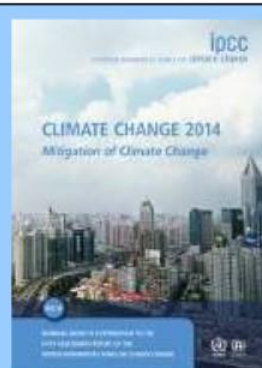
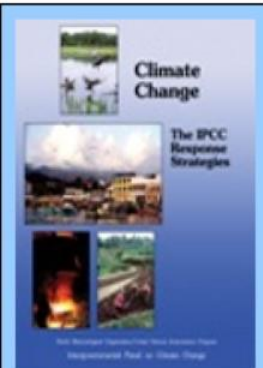
2013/2014



РГ-1,  
Физические  
основы

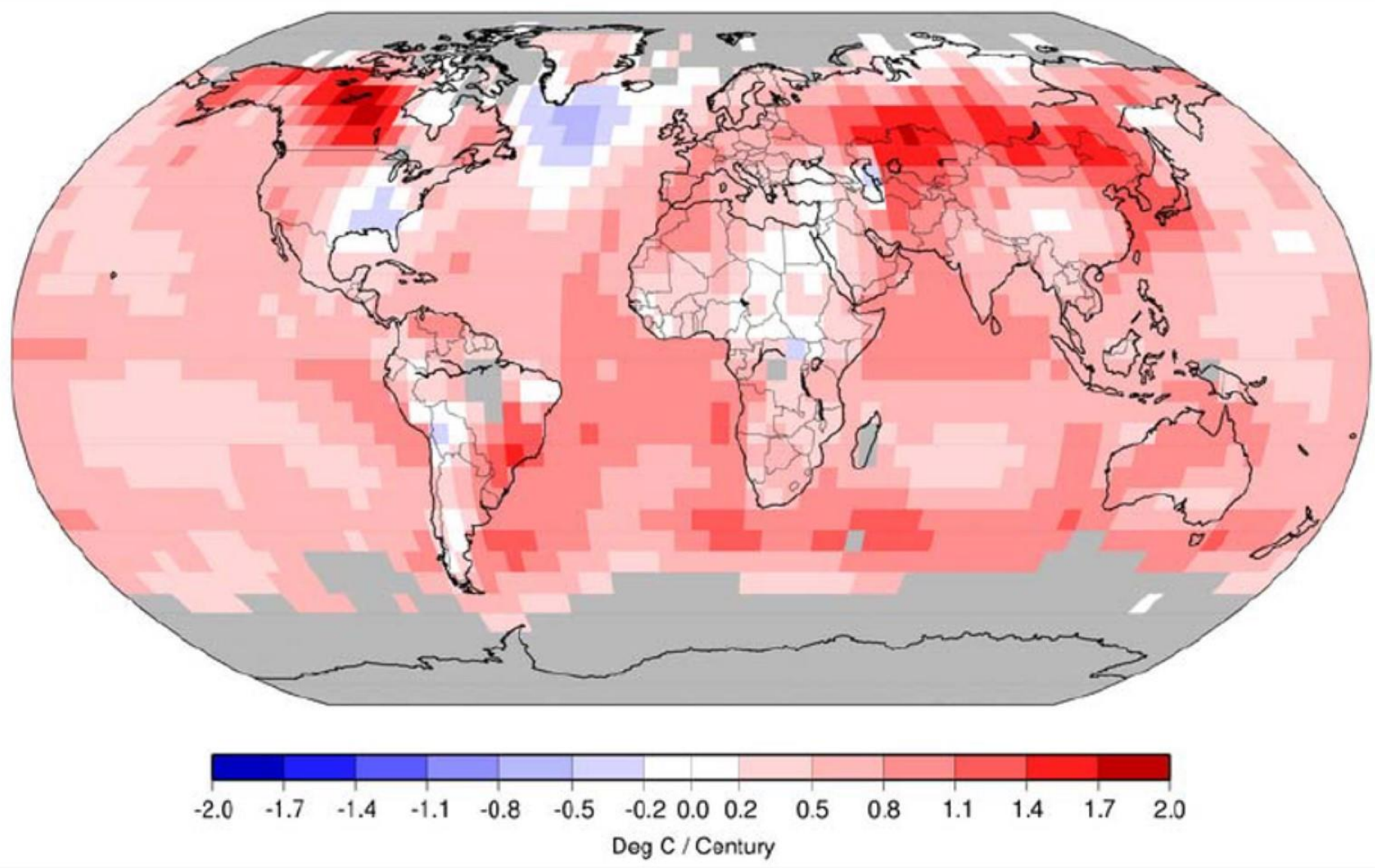


РГ-2,  
Последствия  
и адаптация



РГ-3,  
уменьшение  
воздействия  
на климат

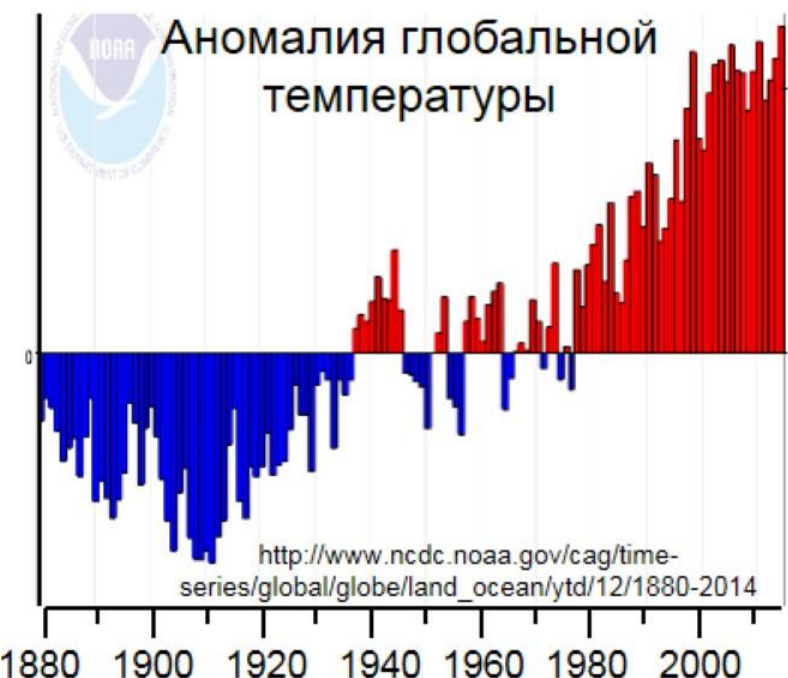
# Тренды температуры воздуха за период 1900-2014, °C/100 лет





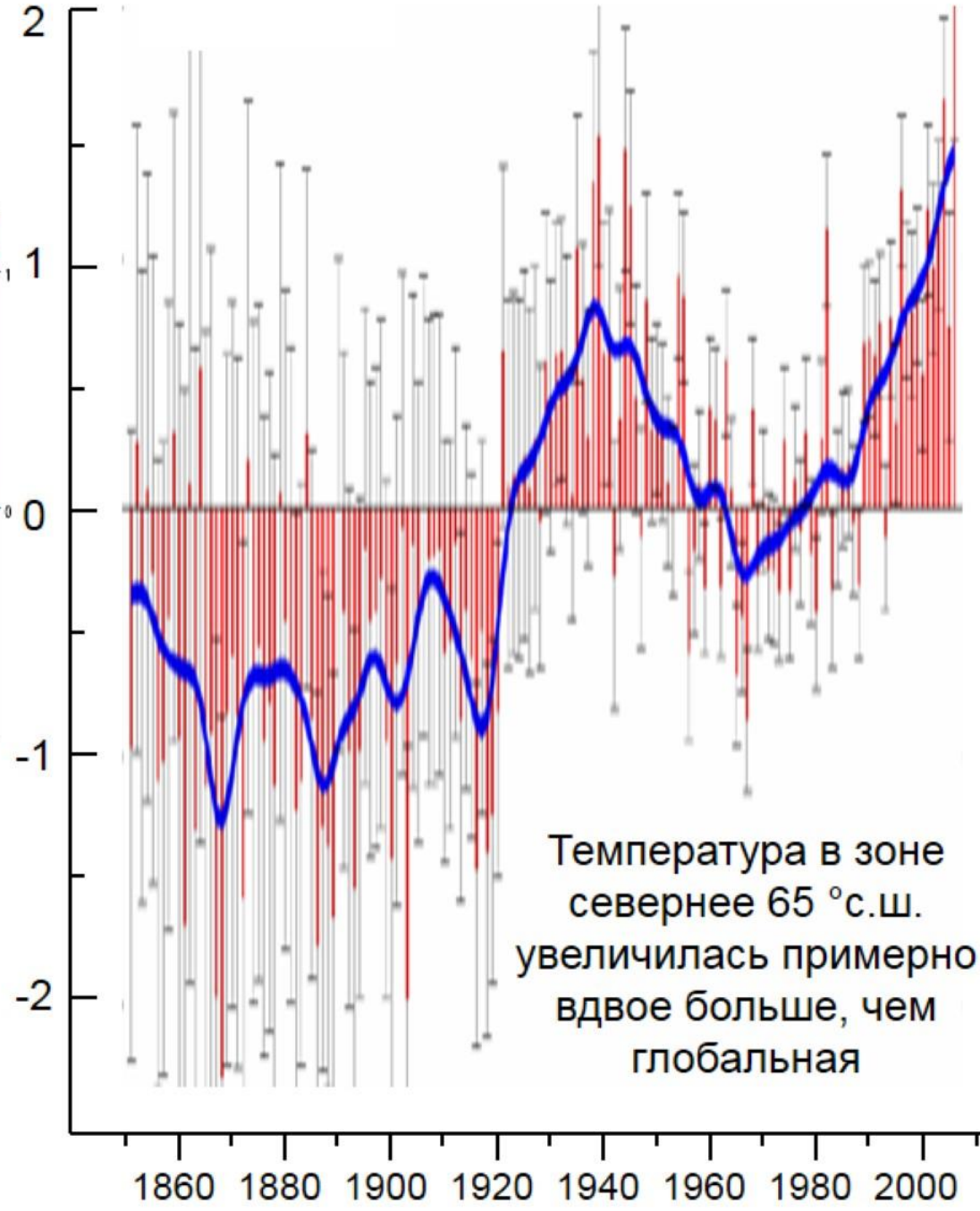


# Аномалия глобальной температуры



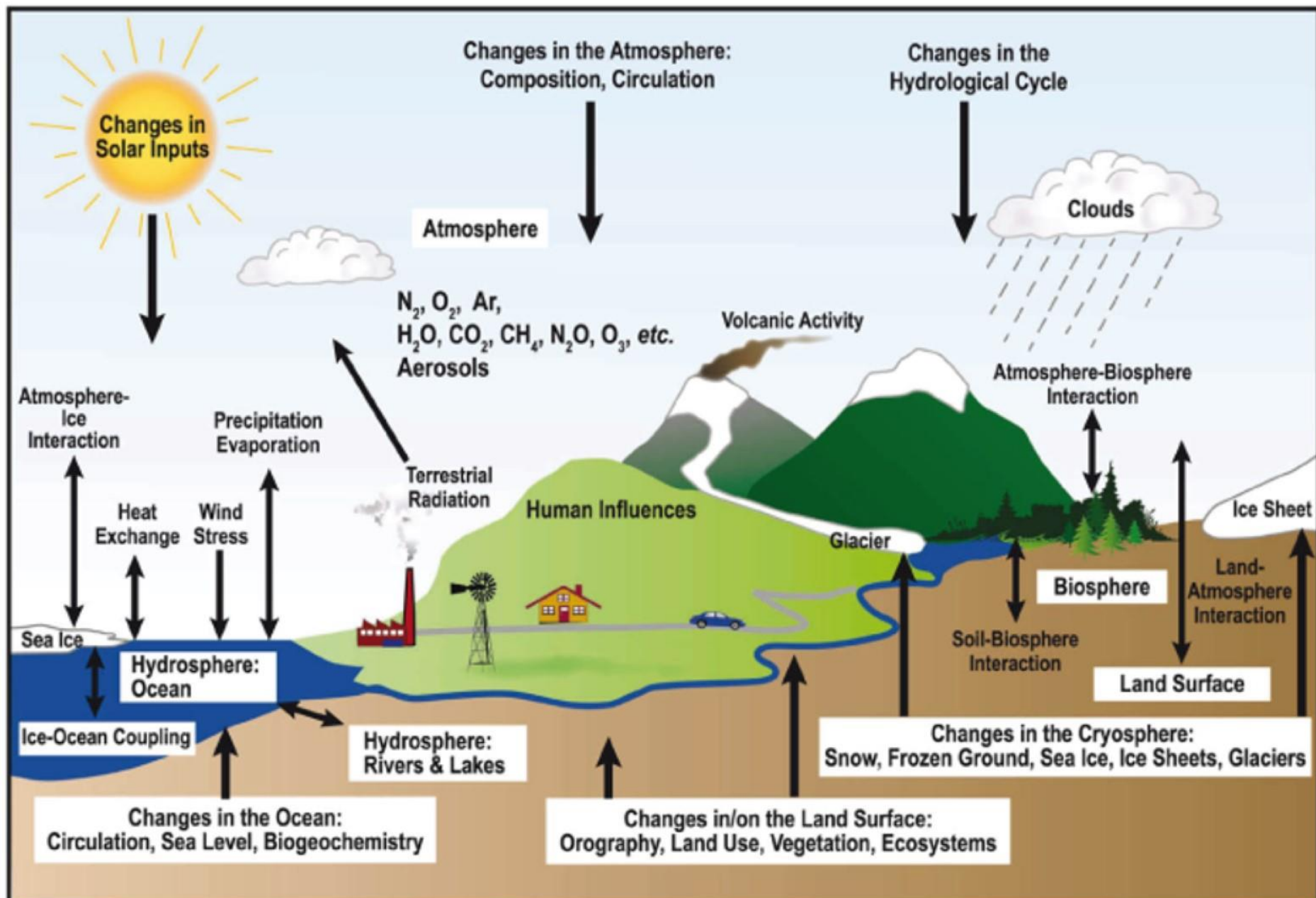
[http://www.ncdc.noaa.gov/cag/time-series/global/globe/land\\_ocean/ytd/12/1880-2014](http://www.ncdc.noaa.gov/cag/time-series/global/globe/land_ocean/ytd/12/1880-2014)

2014 был на  $0.69^{\circ}\text{C}$  теплее, чем среднее за 20 столетие ( $13.9^{\circ}\text{C}$ )



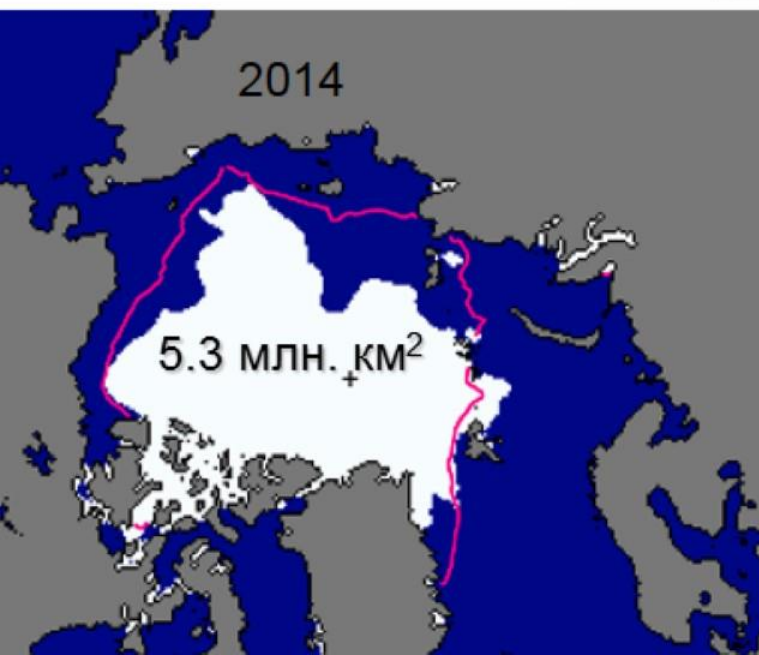
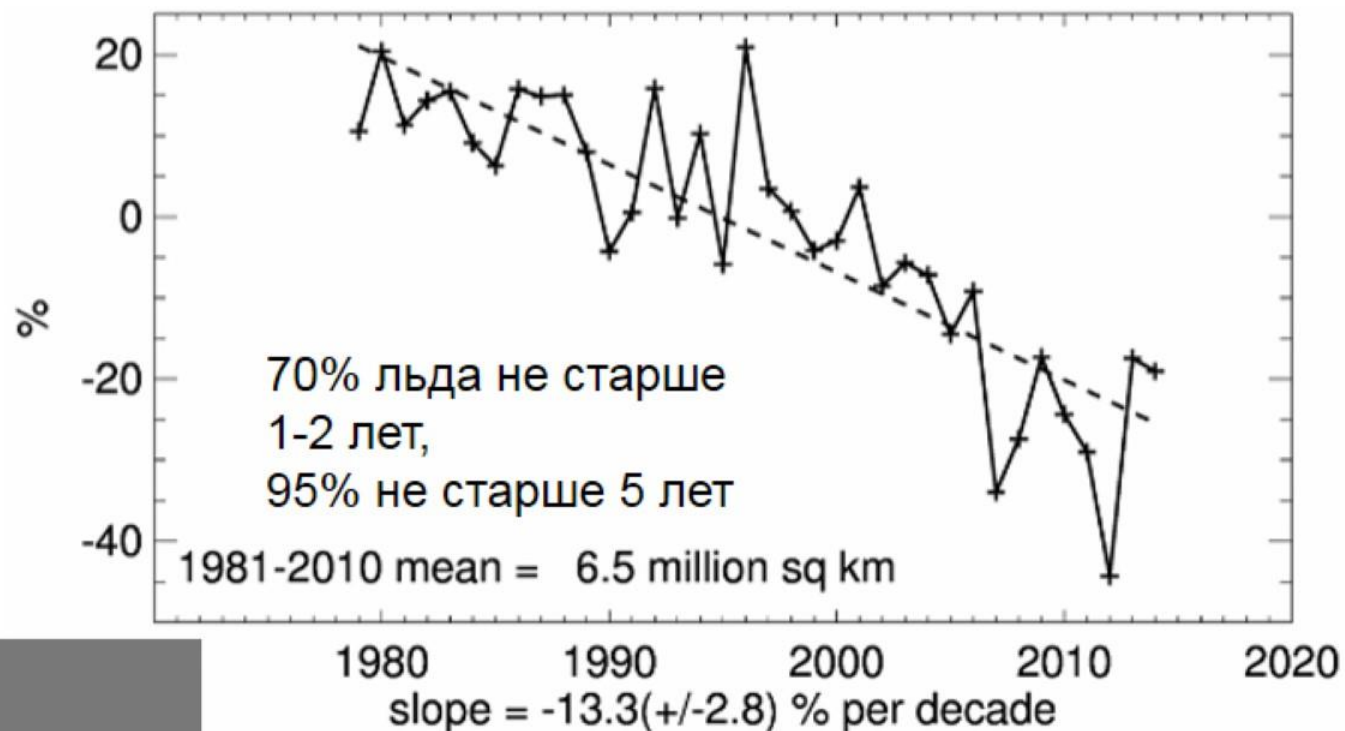
Температура в зоне севернее  $65^{\circ}$  с.ш. увеличилась примерно вдвое больше, чем глобальная

# Изменения в климатической системе



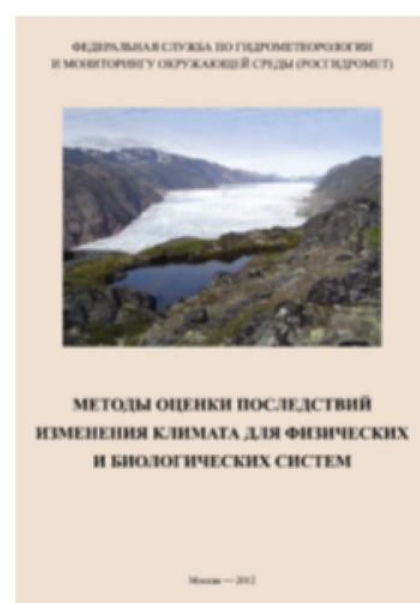
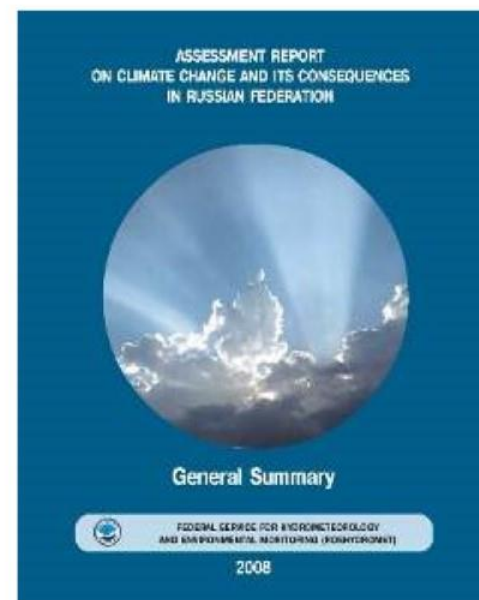
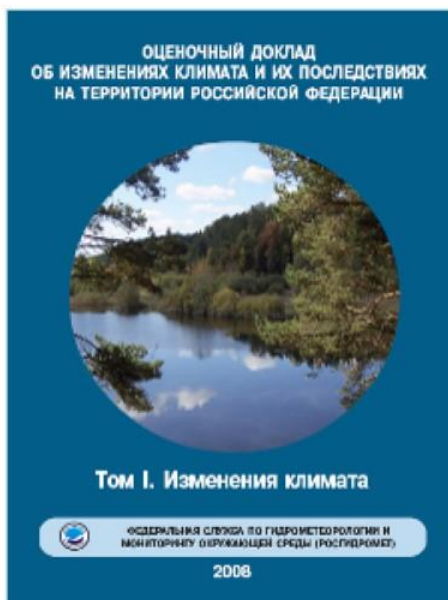
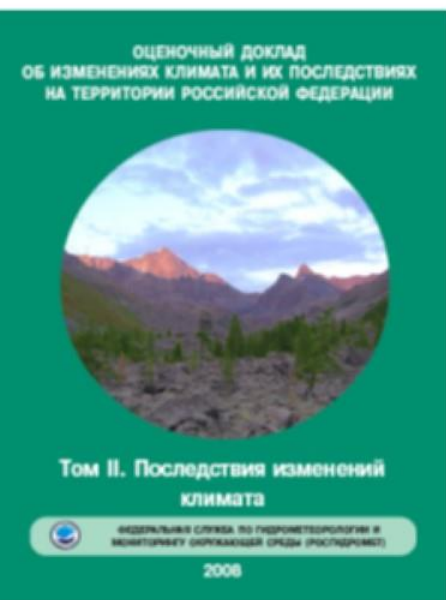


# Сокращение площади морских льдов



Среднее за 1981-2010=6.5 млн. км<sup>2</sup>

# Оценки изменений климата и их последствий для России



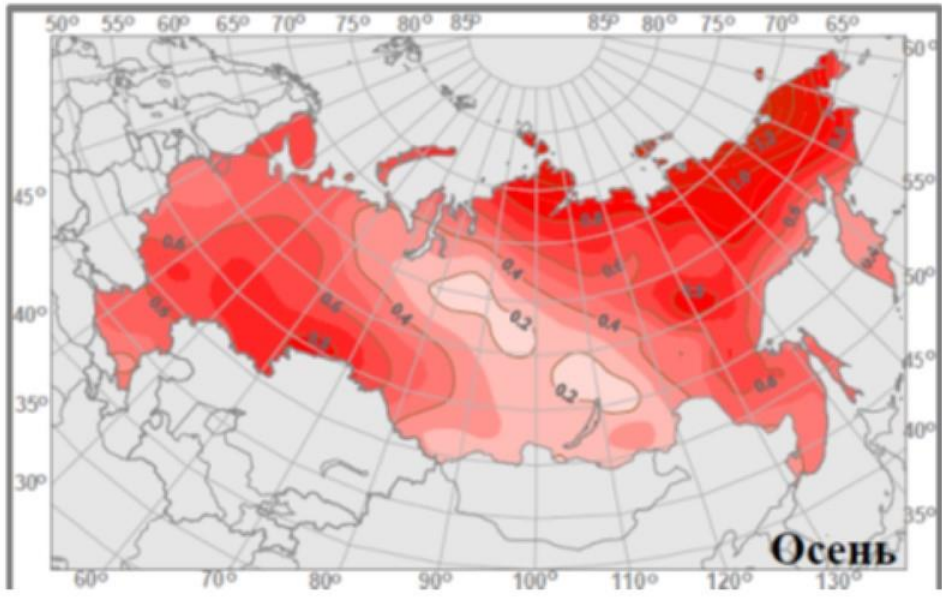
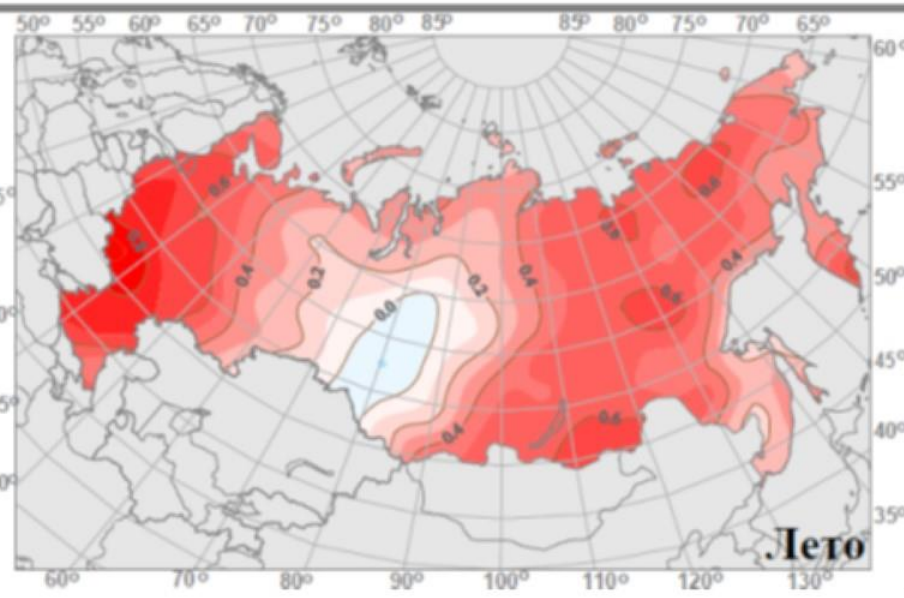
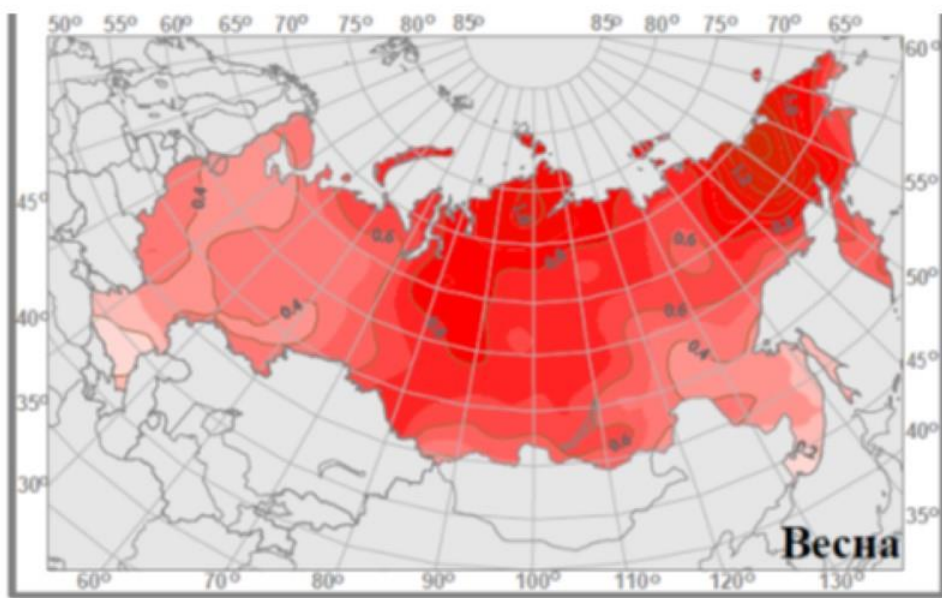
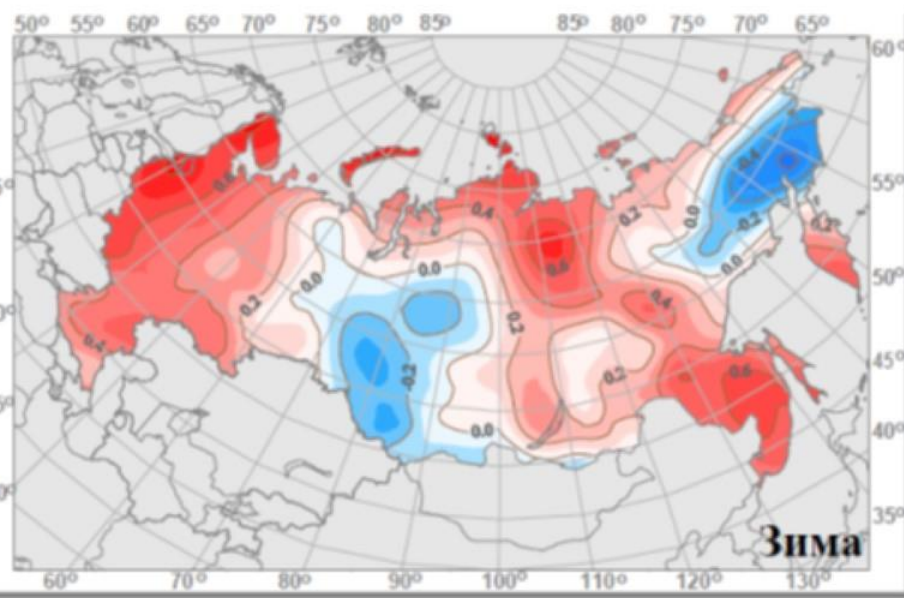


# Тренды температуры за период 1976-2013, °C/10 лет

Доклад Росгидромета об особенностях климата, 2013 [www.igse.ru](http://www.igse.ru)



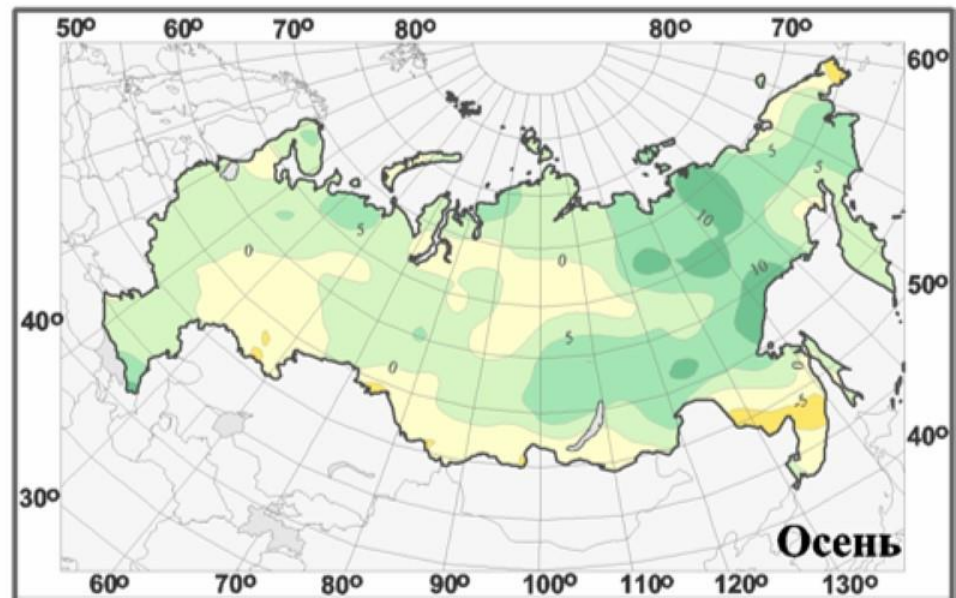
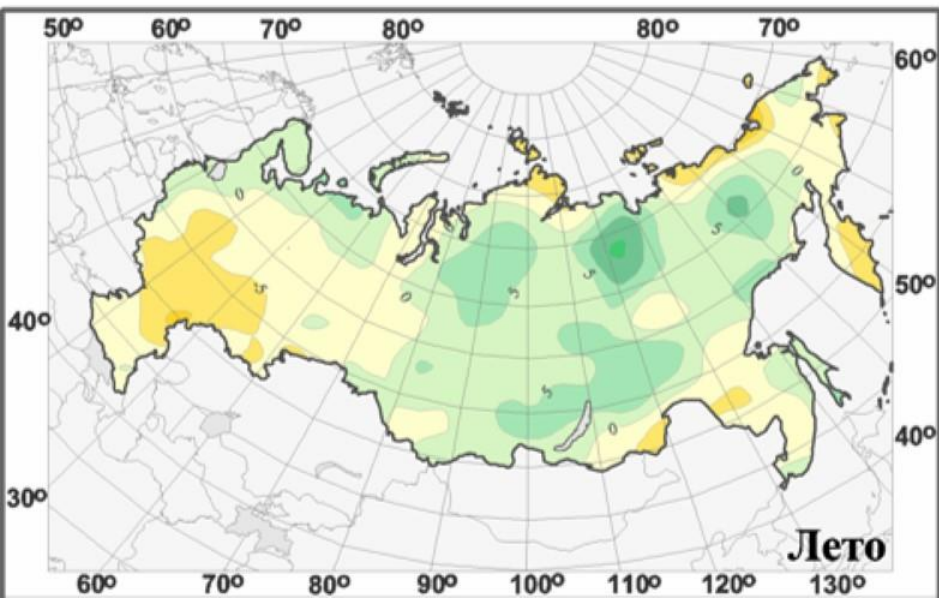
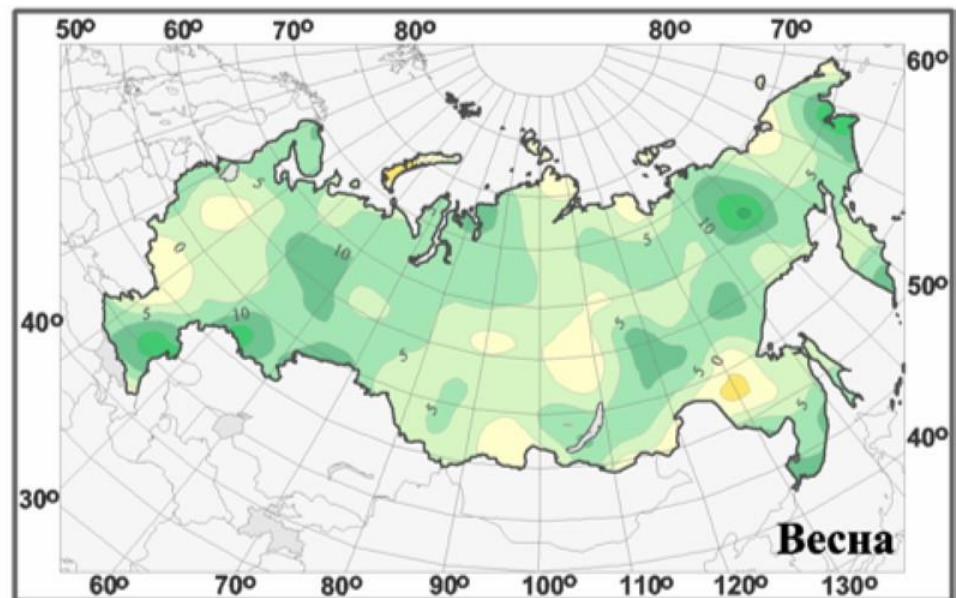
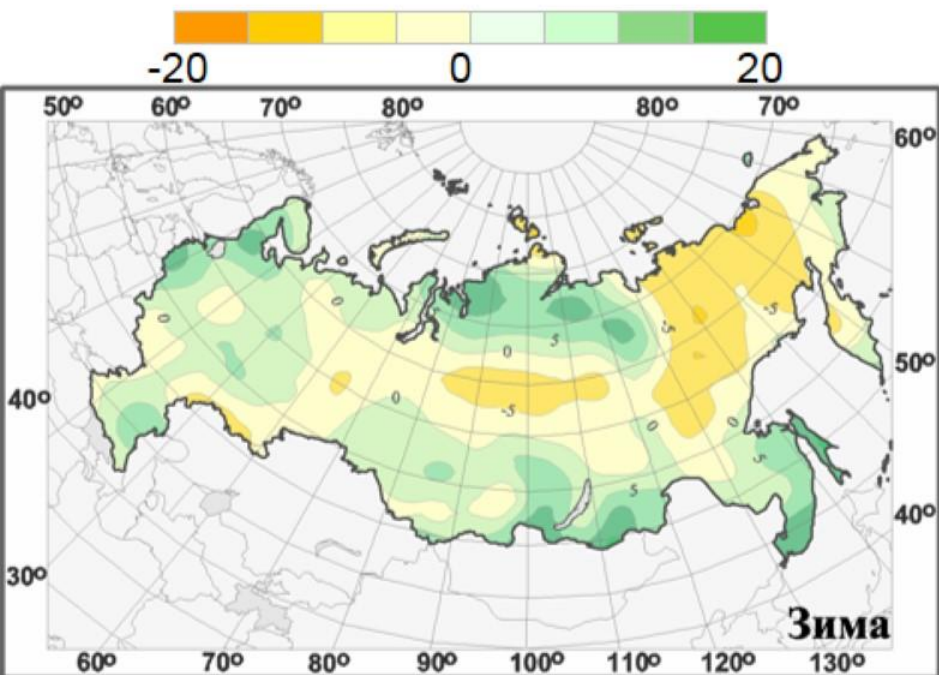
-1.2 -0.8 -0.4 0 0.4 0.8 1.2 1.6





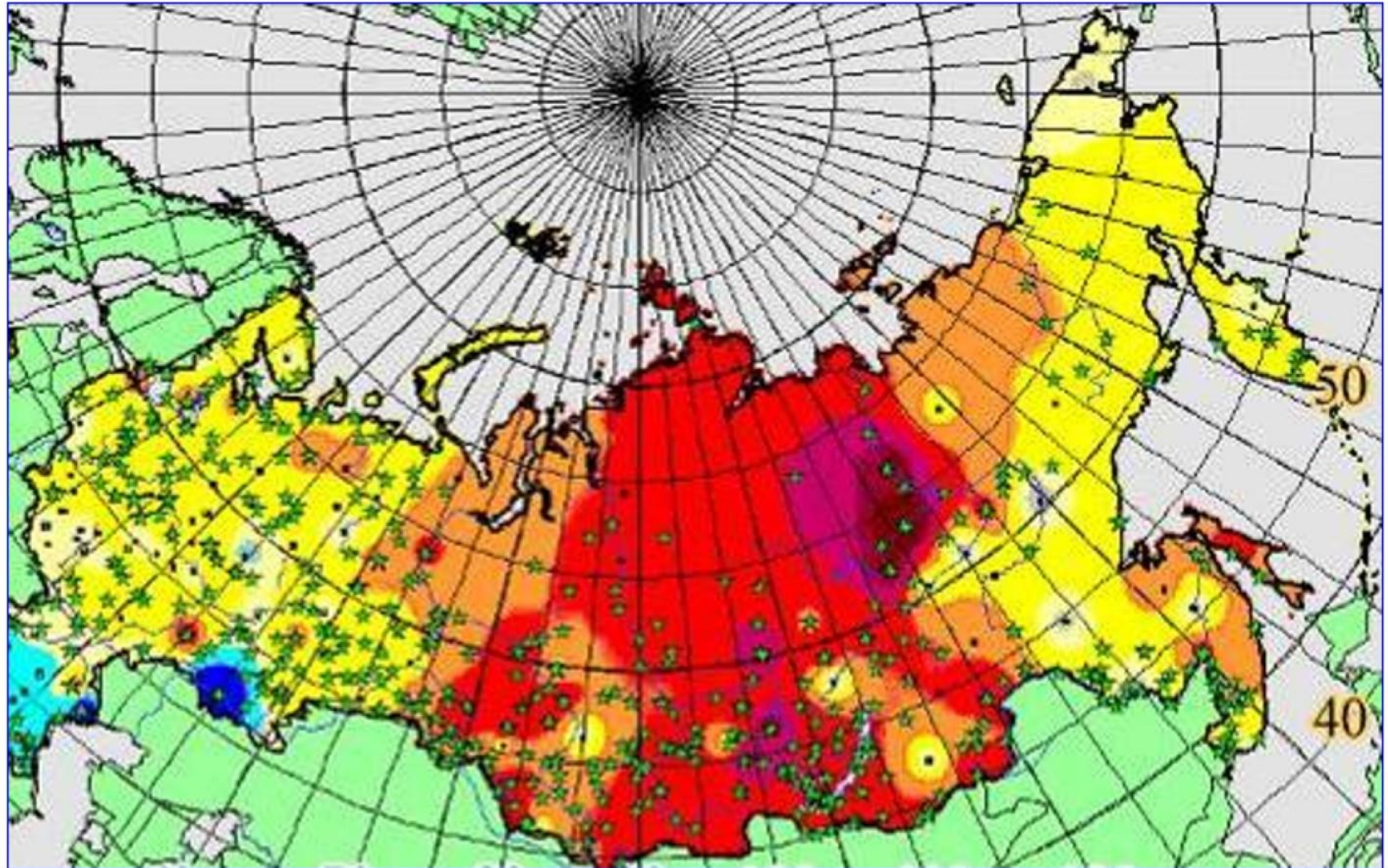
# Тренды осадков за период 1976-2013, %/10 лет

Доклад Росгидромета об особенностях климата, 2013 [www.igse.ru](http://www.igse.ru)



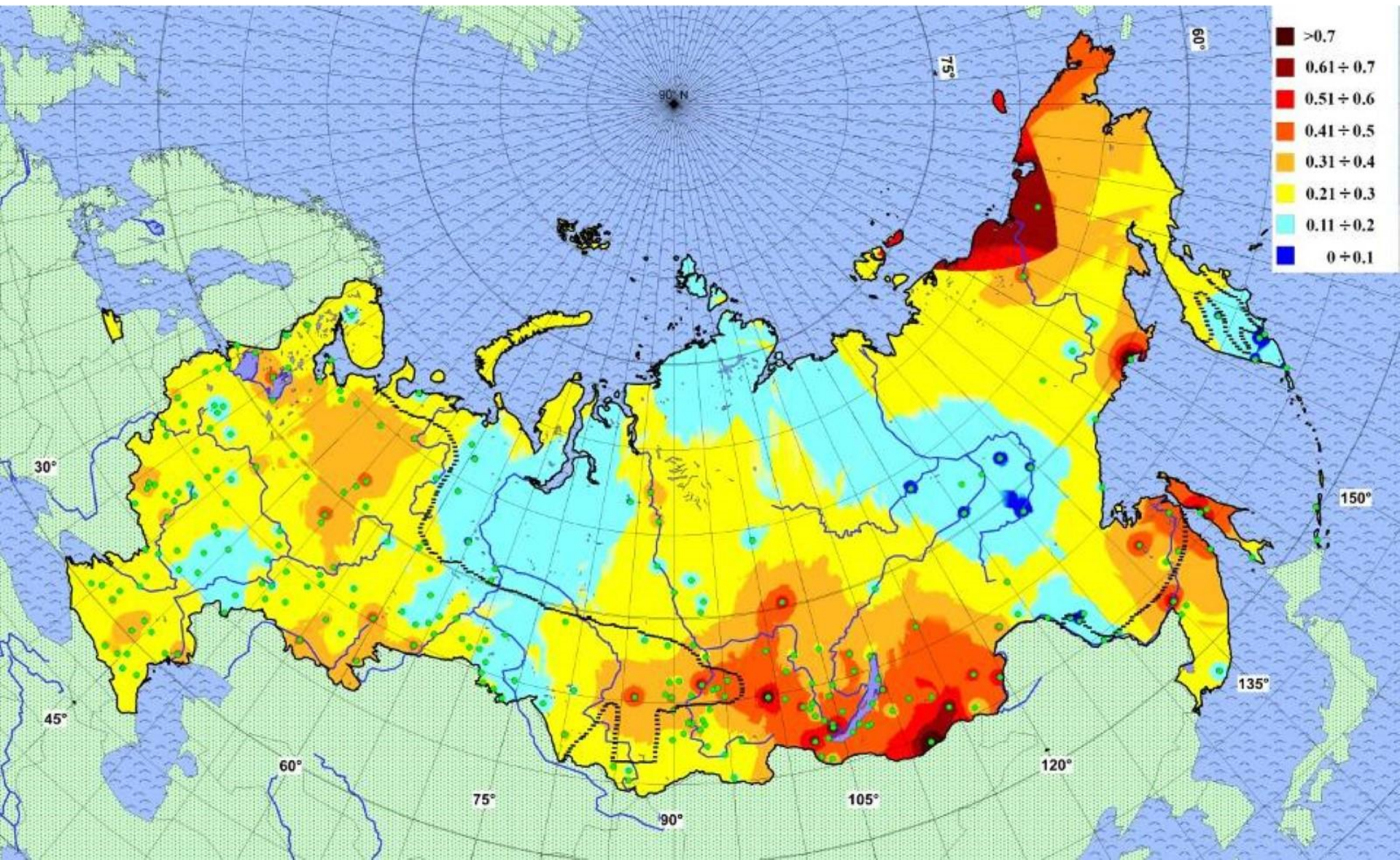


Тренды среднегодовой температуры почвы на глубине 1.6 м за период 1976-2012 на 431 станции (°C/10 лет)



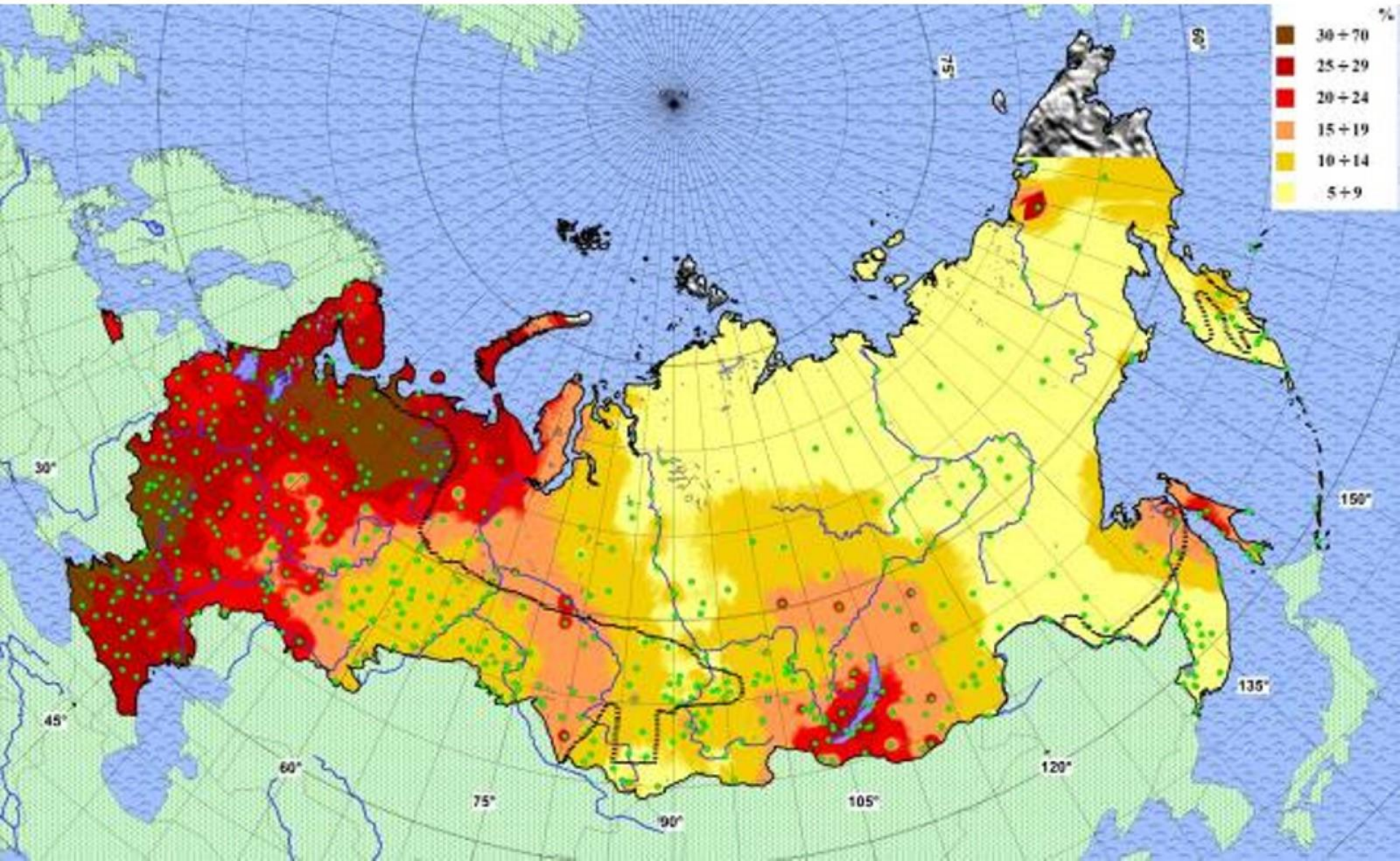


# Отношение трендов среднегодовой температуры почвы и воздуха за период 1976-2012



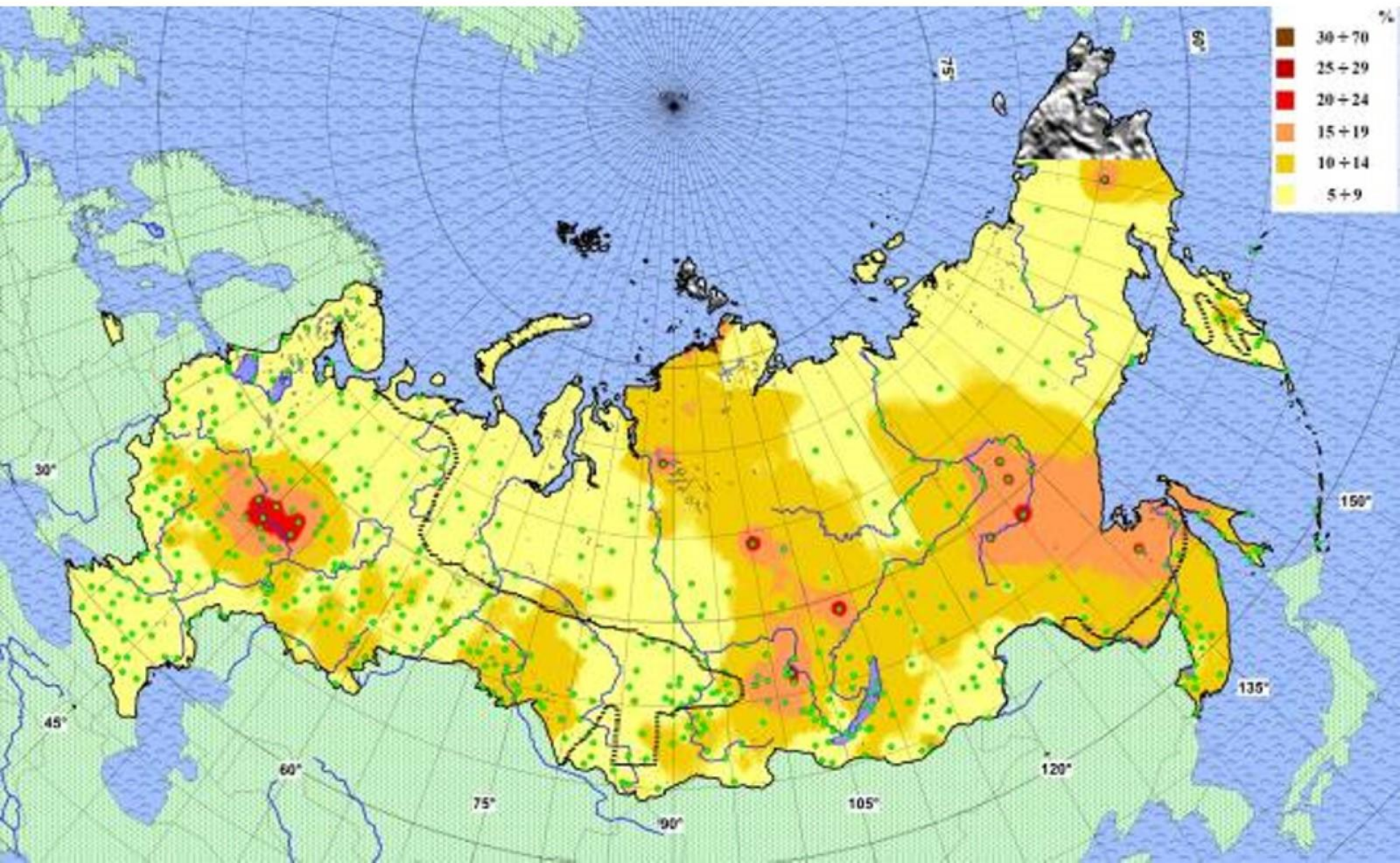


Вклад температуры воздуха (в %) в общую дисперсию среднегодовой температуры почвогрунтов на глубине 160 см.





Вклад зимних осадков (в %) в общую дисперсию среднегодовой температуры почвогрунтов на глубине 160 см.





# Экспериментальное изучение влияния зимних осадков на температуру почвогрунтов



Скважина оборудованная датчиками температуры находится в центре участка

Процесс чистки свежеснегавпавшего снега с участка с нарушенными условиями

## Изменения параметров климата на территории России с 1980 г.

1. Увеличение температуры на  $0.4\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{лет}$  (лето) -  $0.9\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{лет}$  (зима)
2. Увеличение на  $1.4 - 2.6\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{лет}$  минимальных и на  $0.6\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{лет}$  максимальных годовых температур
3. Увеличение высоты снега на ЕТР и зап. Сибири (10%-20%), на Чукотке (+30%), и уменьшение в восточной Сибири (-20%).
4. Увеличение стока сибирских рек на 10%, уменьшение продолжительности ледового периода на  $1.2 - 4.5\text{ дн}/10\text{лет}$
5. Сокращение морских льдов в Арктике в среднем на 13.7% за 10 лет
6. Увеличение температуры и мощности сезонно-талого слоя ММГ



# Литература

*Анисимов О.А., Жильцова Е.Л., 2012. Об оценках изменений климата регионов России в 20 и начале 21 веков по данным наблюдений. Метеорология и гидрология. № 6. С. 95-107.*

*Анисимов, О.А., Жильцова Е.Л., О.К. Захарова, 2010. Анализ и прогноз пространственных закономерностей полей температуры воздуха и осадков с учетом атмосферной циркуляции: применение в экосистемном моделировании. В кн: Проблемы экологического моделирования и мониторинга экосистем. Ю.А. Израэль (ред.). С.Пб.: Гидрометеоиздат. С. 22-37.*

*Анисимов О.А., Жильцова Е.Л., Кокорев В.А., 2011. Пространственные и временные закономерности динамики температуры воздуха на территории России в 20 - начале 21 века. В кн: Проблемы экологического моделирования и мониторинга экосистем. Ю.А. Израэль, (ред.). М.: "Планета". С. 83-98.*

Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Том II. Последствия изменений климата, 2008. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). ГУ «НИЦ Планета». 288 с.

*Хромов С.П., Петросянц М.А., 2006. Метеорология и климатология.*