

# Современное изучение городской климатологии

Подготовлено студенткой  
кафедры метеорологии и  
климатологии

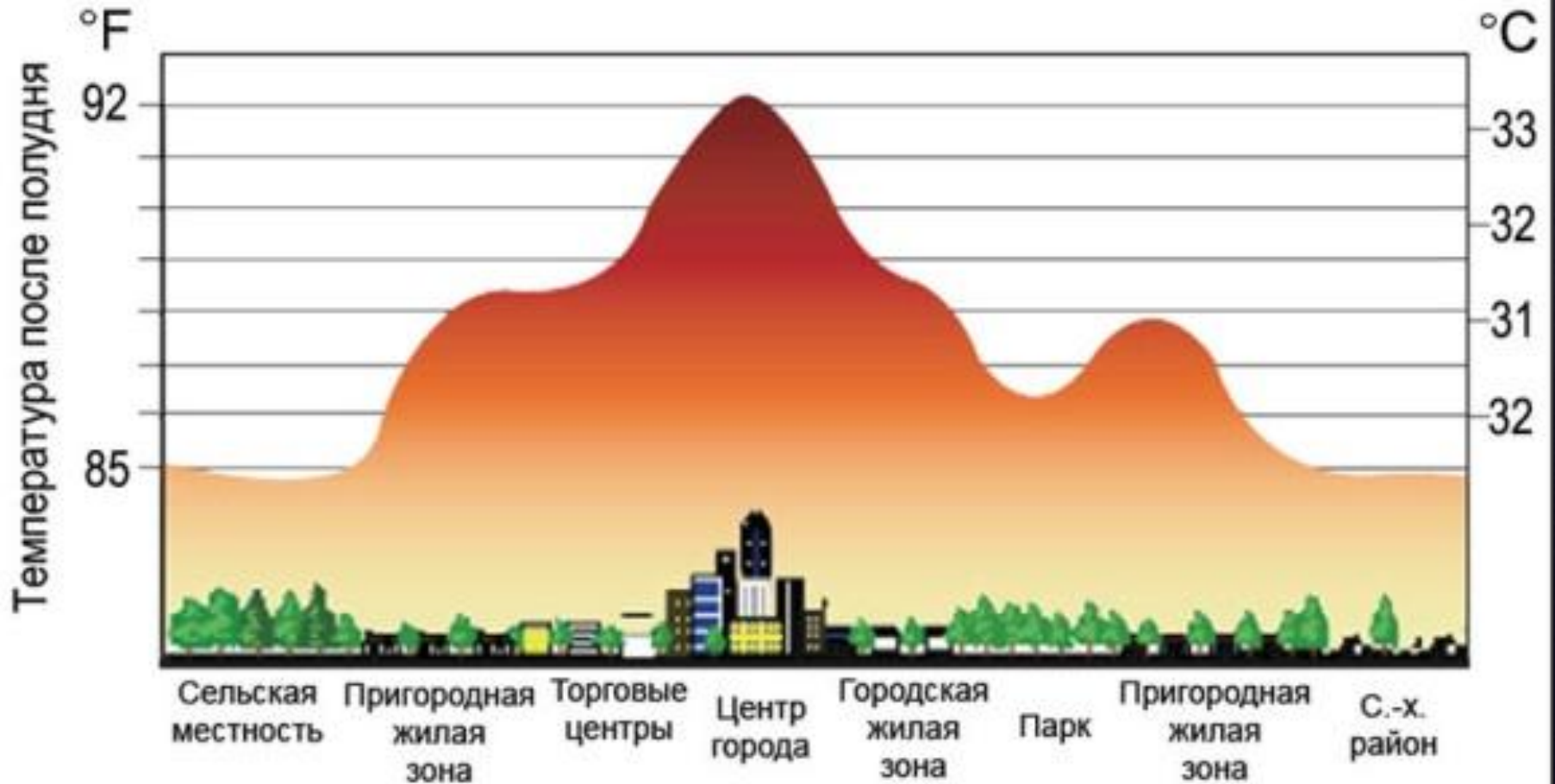
Семёновой Анастасией  
Научный руководитель:  
к.г.н Константинов П.И



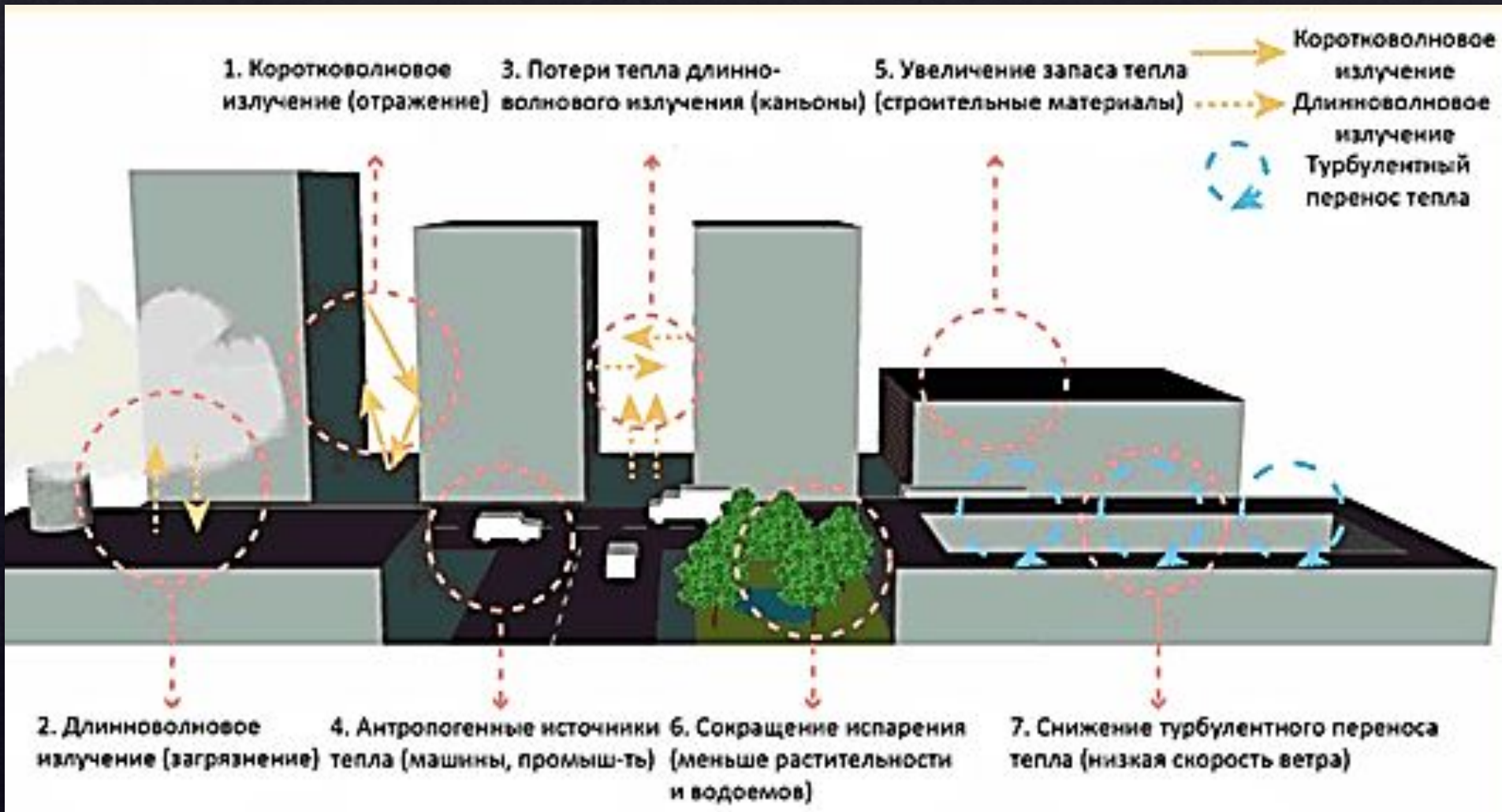
# Объекты изучения городской климатологии

- ◆ Острова тепла
- ◆ Термический комфорт
- ◆ Тепловые волны
- ◆ Качество воздуха
- ◆ Влияние погоды и климата на человека

# Острова тепла



# Факторы, влияющие на тепловой баланс и микроклимат города





# Особенности островов тепла

- ◆ **Максимум аномалии температур наблюдается в центре города, минимум — на наветренной периферии.**
- ◆ **Максимум — в полночь, минимум — утром**
- ◆ **Максимум весна, осень, минимум — в начало зимы**
- ◆ **Различие по географическим зонам**
- ◆ **Интенсивность зависит от плотности застройки, кол-ва жителей**

# Экономическое значение островов тепла

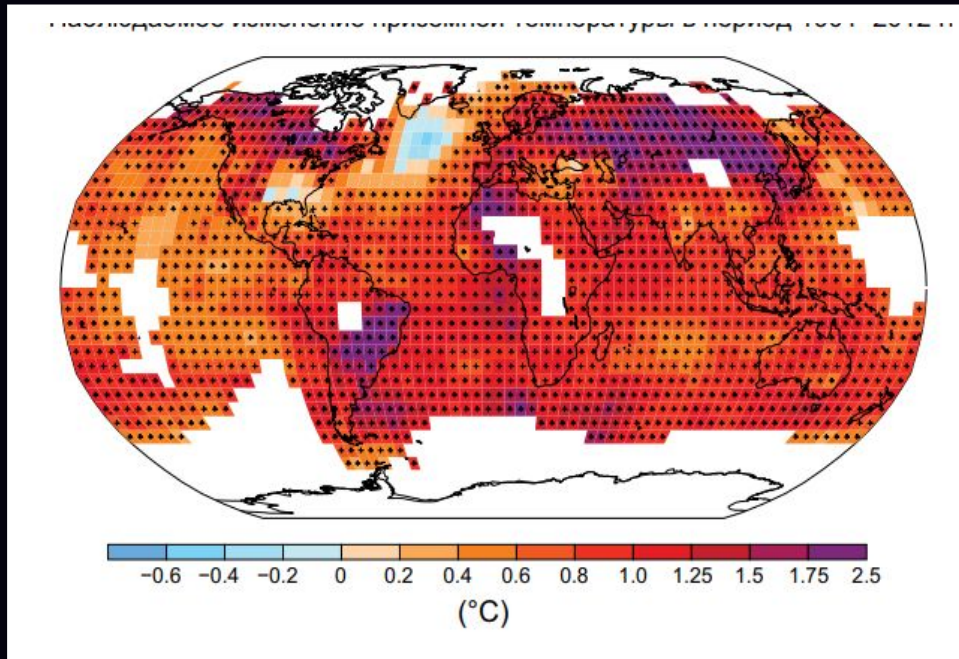
Экономия на  
отоплении  
разных районов  
города

Норильск

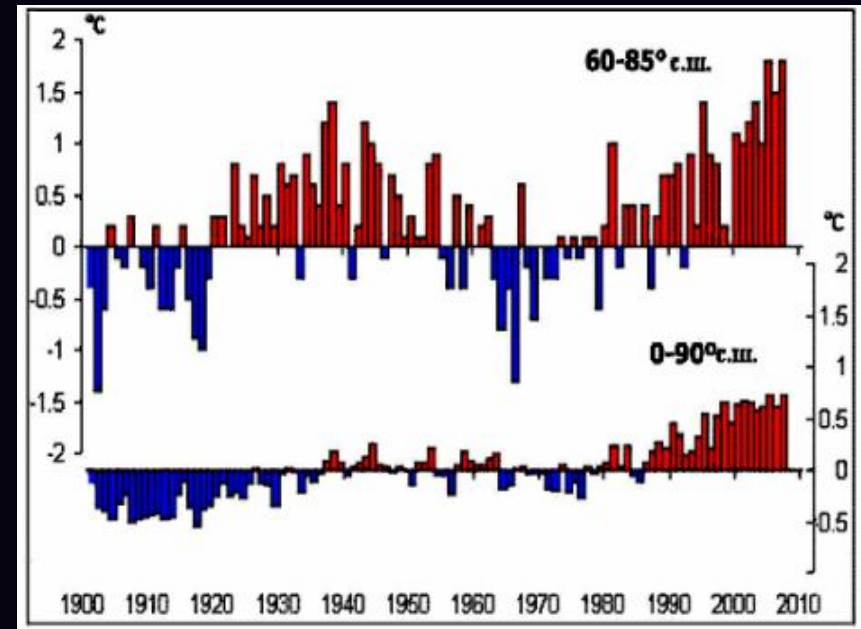


≈ 37 млн. руб. в год

# Изменение климата в Арктическом регионе



IPCC, 2013



Доклад Росгидромета, 2008



# Объекты прямого изучения





# Measurement techniques:

Stationary automatic weather stations (AWS)



Mobile weather station



Low-cost compact temperature sensors (iButton)



MTP-5 microwave temperature profiler (Norilsk only)



In situ measurements

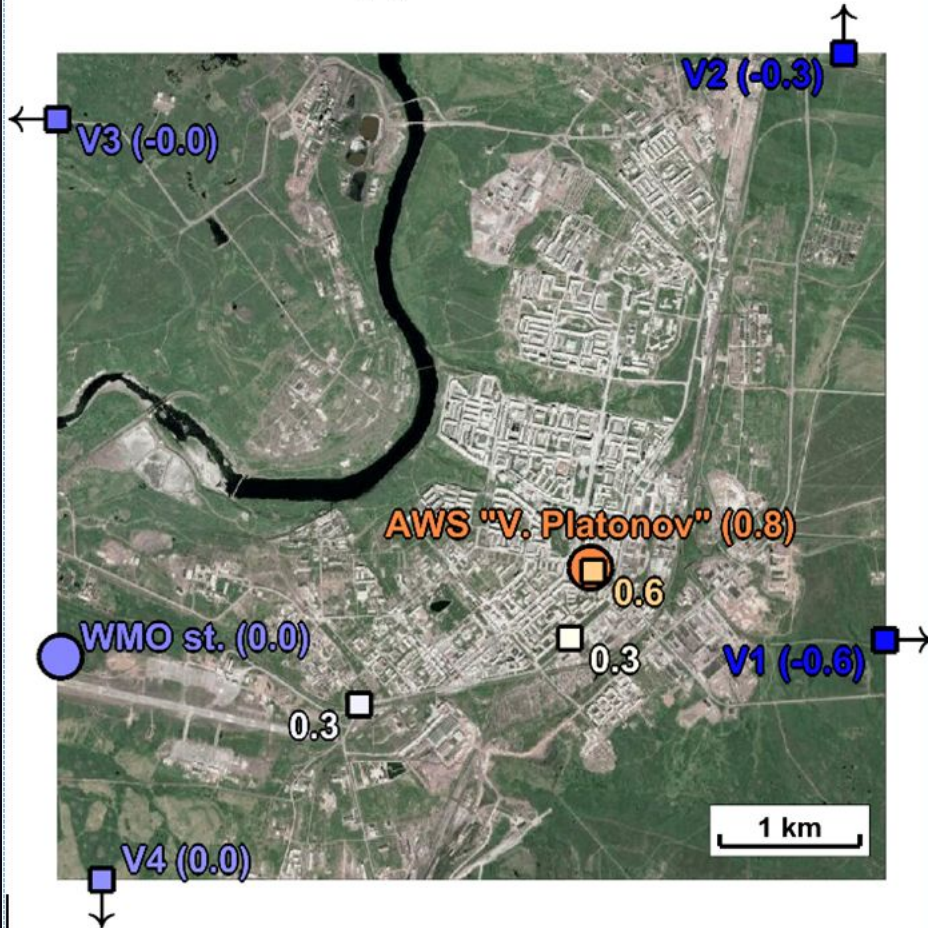
Post-processing of the raw data  
(synchronization, quality-control,  
correction)

Building 2D temperature fields  
(geostatistical modelling)

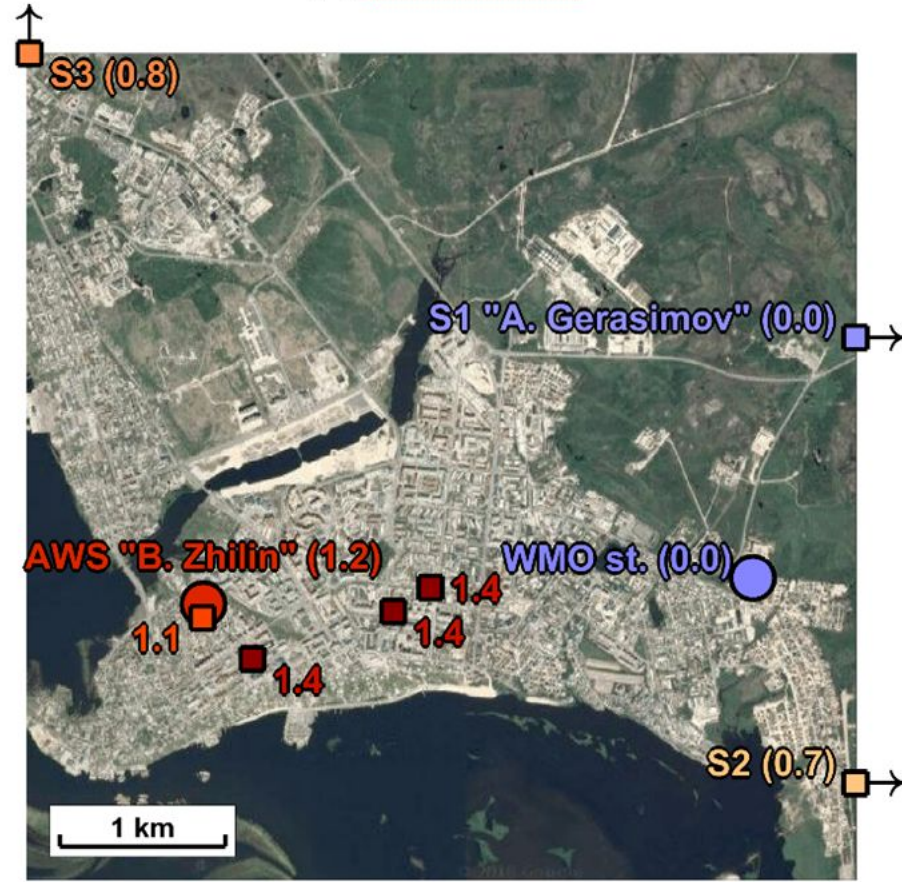


# UHI in Salekhard & Vorkuta

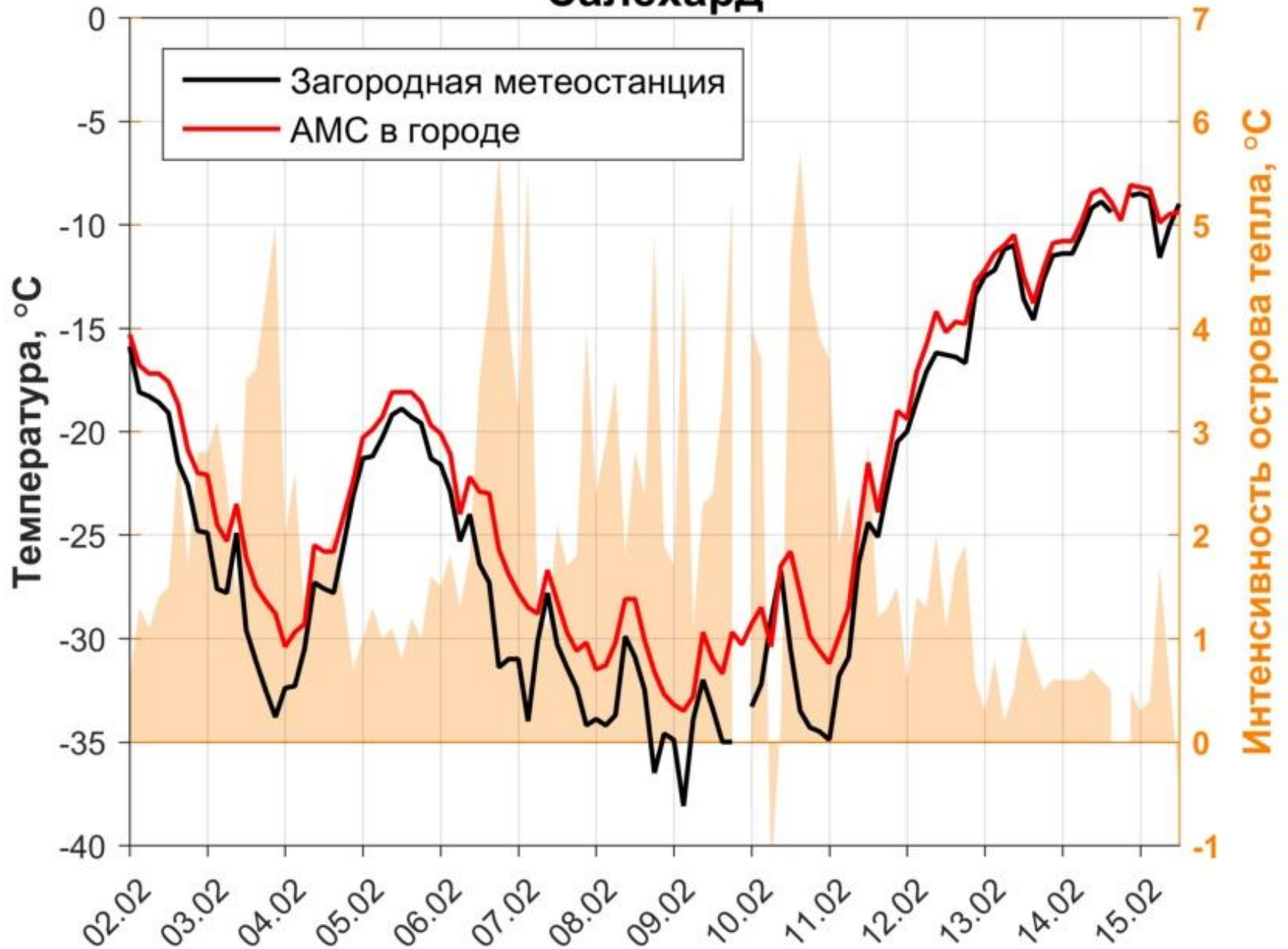
(a) Vorkuta



(c) Salekhard



# Салехард









# Что такое термический комфорт?

Термический комфорт – показатель комфортности, при котором обеспечивается оптимальный уровень физиологических функций организма, в то время как человек не ощущает ни жары, ни холода.

(Исаев, 2003)



## Факторы, влияющие на термический комфорт:

- ◆ **метеорологические параметры:** температура воздуха, скорость ветра, влажность воздуха
- ◆ **скорость метаболизма** (зависит от физиологических параметров человека)
- ◆ **уровень физиологической активности**
- ◆ **теплоизоляционные свойства одежды**

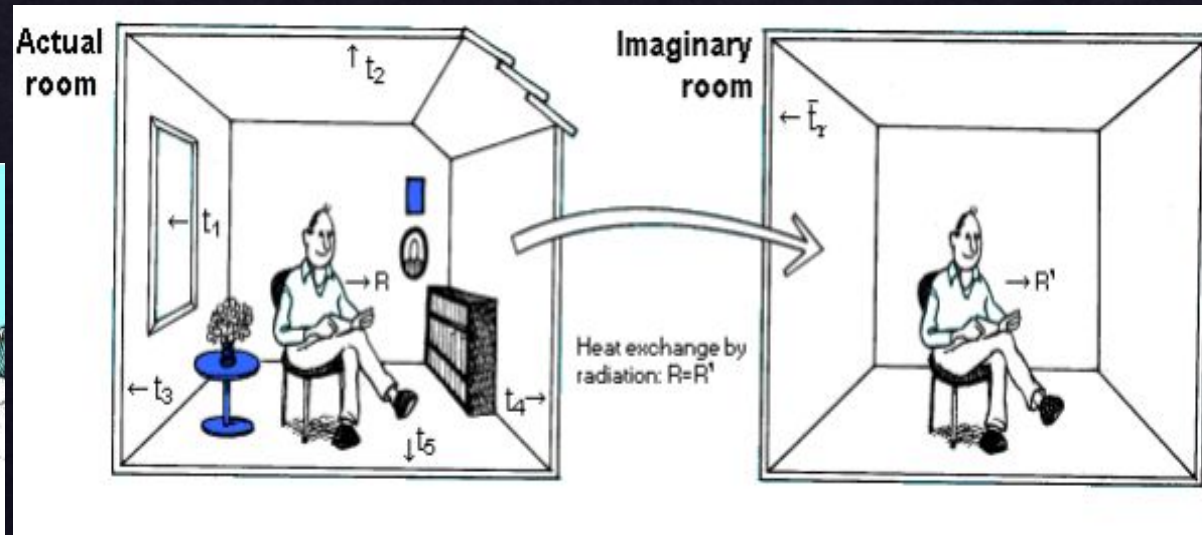
# Биоклиматические индексы комфортности

- ◆ Физиологическая- эквивалентная температура – **PET**
- ◆ Универсальный индекс теплового комфорта – **UTCI**
- ◆ Модернизированная физиологическая - эквивалентная температура – **mPET**
- ◆ Жёсткость погоды – **Wind chill**



# Физиологически-эквивалентная температура (PET)

**Физиологическая- эквивалентная температура (PET)** - температура воздуха, при которой для обычных комнатных условий тепловой баланс человеческого тела остается неизменным со значениями температуры внутренних органов и температуры кожи для данной ситуации.





# PET

**PET** – это мера теплового ощущения находящегося в покое человека. Индекс рассчитывается с учётом уравнения теплового баланса человека:

$$M+W+R+C+ED+ERe+ESw+S=0$$

M - скорость обмена веществ (внутренняя выработка энергии),

W – теплоотдача при физической работе,

R – радиационный баланс тела,

C - конвективный поток тепла,

ED- скрытый поток тепла, расходуемый на потоотделение,

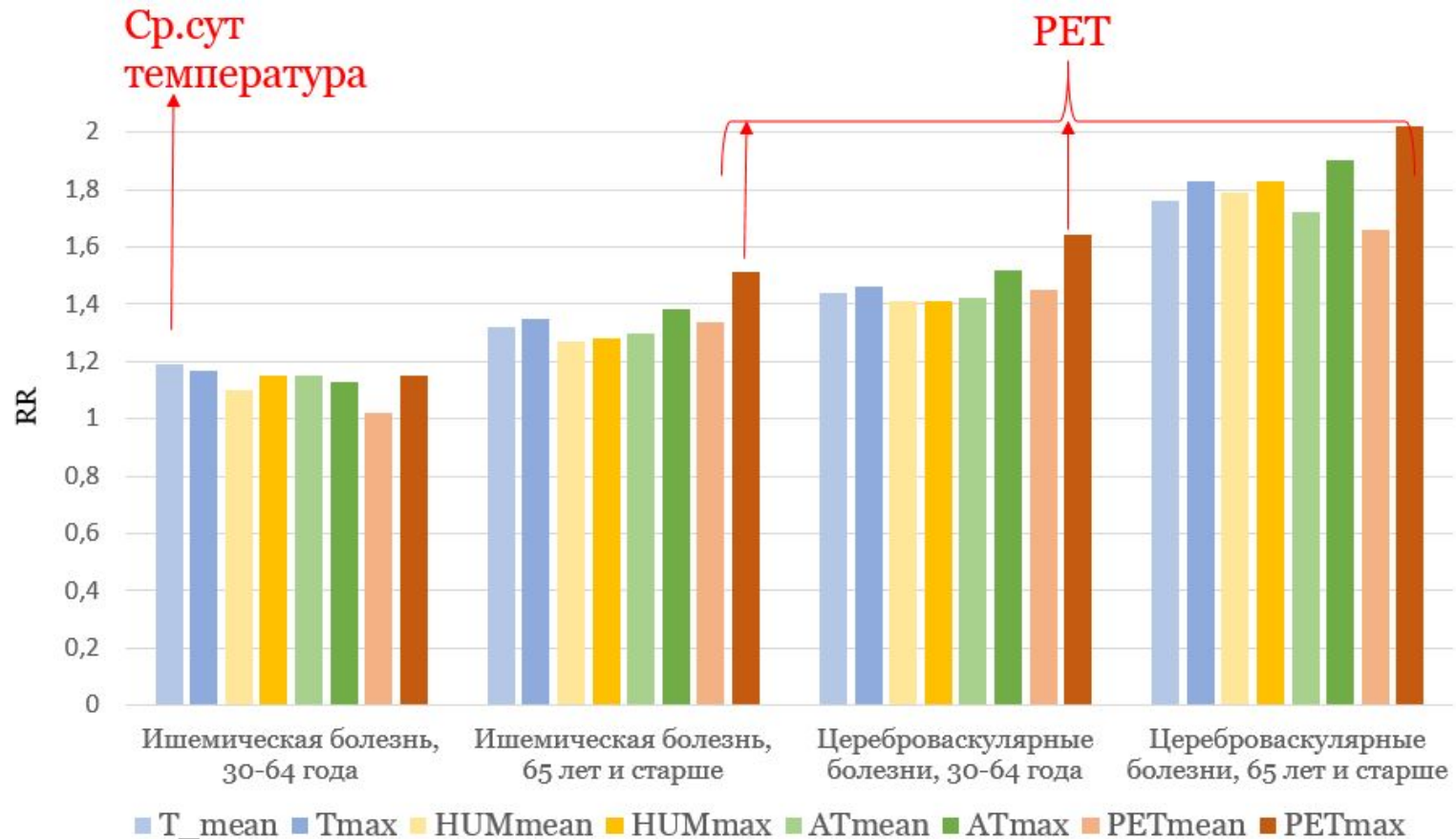
ERe - сумма тепловых потоков для нагревания и увлажнения вдыхаемого воздуха,

ESw – поток тепла, расходуемый на испарение пота

S - поток тепла, который сохраняется для нагревания или охлаждения масса тела

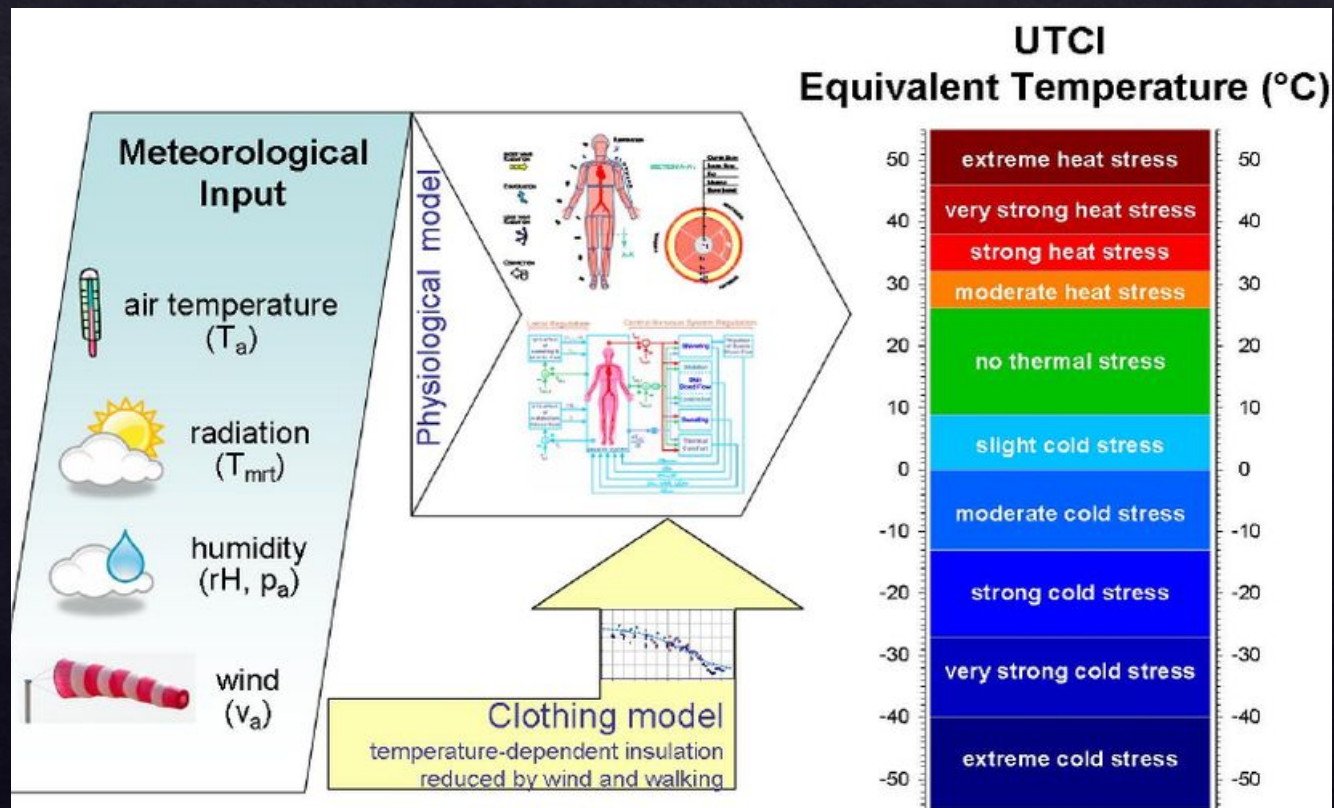
Индекс PET	Теплоощущение человека	класс физиологического воздействия
	крайне холодно	экстремальный холодовой стресс
4		
	очень холодно	сильный холодовой стресс
8		
	холодно	умеренный холодовой стресс
13		
	прохладно	слабый холодовой стресс
18		
	комфортно	отсутствие теплового воздействия
23		
	умеренно тепло	легкое тепловое воздействие
29		
	тепло	умеренное тепловое воздействие
35		
	жарко	сильное тепловое воздействие
41		
	очень жарко	экстремальное тепловое воздействие

# Относительные риски смертности (RR) во время аномально-жаркой погоды, идентифицированной по различным биоклиматическим индексам (Shartova et al., 2018)



# UTCI

- ◆ **UTCI** – это универсальный индекс теплового комфорта.
- ◆ Это концепция «эквивалентной температуры»: он включает определение базового условия, с которым будут сравниваться все другие климатические условия.



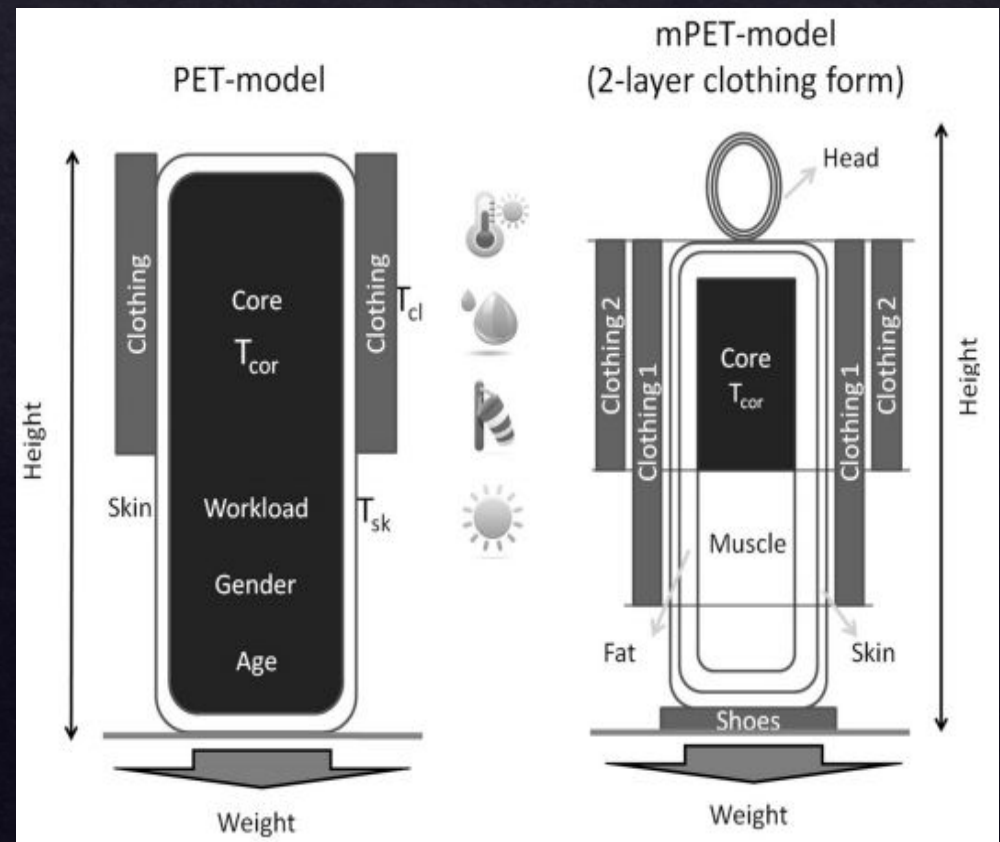


# mPET

**mPET** – самый современный тепловой индекс, основанный на физиологических параметрах человека.


Он преобразован из индекса PET, но основан на другом уравнении теплового баланса человека

Сейчас это самый универсальный индекс, который лучше всего оценивает термический комфорт **в разных климатических зонах** и **в разные периоды года**





# Градация индексов

Thermal perception			
	UTCI	PET/mPET	
Very cold <sup>1</sup> (Extreme cold stress <sup>1,2</sup> )	< -40	<4	
(very strong cold stress <sup>2</sup> )	-40 to -27		
Cold <sup>1</sup> (Strong cold stress <sup>1,2</sup> )	-27 to -13	4-8	
Cool <sup>1,3</sup> (Moderate cold stress <sup>1,2</sup> / Moderate Hazard <sup>3</sup> )	-13 to 0	8-13	
Slightly cool <sup>1</sup> (Slight cold stress <sup>1,2</sup> )	0 to +9	13-18	
Comfortable <sup>1,3</sup> (No thermal stress <sup>1,2</sup> / No Danger <sup>3,4</sup> )	+9 to +26	18-23	
Slightly warm <sup>1</sup> (Slight heat stress <sup>1</sup> )		23-29	
Warm <sup>1,3,4</sup> (Moderate heat stress <sup>1,2</sup> / Caution <sup>3,4</sup> )	+26 to +32	29-35	
Hot <sup>1,3,4</sup> (Strong heat stress <sup>1,2</sup> / Extreme caution <sup>3,4</sup> )	+32 to +38	35-41	
(very strong heat stress <sup>2</sup> )	+38 to +46		
Very hot <sup>1,3,4</sup> (Extreme heat stress <sup>1,2</sup> / Danger <sup>3,4</sup> )	> +46	>41	
Sweltering <sup>4</sup> (extreme danger <sup>4</sup> )			

# Wind chill

**Wind chill** или «Охлаждение ветром» - показатель, отражающий ощущения человека при одновременном воздействии на него ветра и пониженной температуры. Оценивается субъективное ощущение человеком температуры воздуха на открытом участке кожи с учетом скорости ветра

		Actual Air Temperature $T_{air}$ (°C)											
Wind Speed $V_{10\text{ m}}$ (km/h)	5	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-45	-50	
5	4	-2	-7	-13	-19	-24	-30	-36	-41	-47	-53	-58	
10	3	-3	-9	-15	-21	-27	-33	-39	-45	-51	-57	-63	
15	2	-4	-11	-17	-23	-29	-35	-41	-48	-54	-60	-66	
20	1	-5	-12	-18	-24	-30	-37	-43	-49	-56	-62	-68	
25	1	-6	-12	-19	-25	-32	-38	-44	-51	-57	-64	-70	
30	0	-6	-13	-20	-26	-33	-39	-46	-52	-59	-65	-72	
35	0	-7	-14	-20	-27	-33	-40	-47	-53	-60	-66	-73	
40	-1	-7	-14	-21	-27	-34	-41	-48	-54	-61	-68	-74	
45	-1	-8	-15	-21	-28	-35	-42	-48	-55	-62	-69	-75	
50	-1	-8	-15	-22	-29	-35	-42	-49	-56	-63	-69	-76	
55	-2	-8	-15	-22	-29	-36	-43	-50	-57	-63	-70	-77	
60	-2	-9	-16	-23	-30	-36	-43	-50	-57	-64	-71	-78	
65	-2	-9	-16	-23	-30	-37	-44	-51	-58	-65	-72	-79	
70	-2	-9	-16	-23	-30	-37	-44	-51	-58	-65	-72	-80	
75	-3	-10	-17	-24	-31	-38	-45	-52	-59	-66	-73	-80	
80	-3	-10	-17	-24	-31	-38	-45	-52	-60	-67	-74	-81	



# Модель RayMan Pro 3.1

Входные данные:

- ▶ дата, время и координаты.
- ▶ метеорологические параметры
- ▶ физиологические параметры человека (рост, вес, возраст, степень его физической активности).



PET index derived from Rayman model (Matzarakis, Rutz, Mayer)

The screenshot shows the RayMan Pro 3.1 software interface. It features a menu bar (File, Input, Output, Table, Language, ?) and several data entry sections:

- Date and time:** Date (4.4.2019), Day of year (94), Local time (18:30), and a 'Now and today' button.
- Geographic data:** Location (GUS (Moskau)), Add location, Remove location, Geogr. longitude (37°35'), Geogr. latitude (55°45'), Altitude (0), and Timezone (3.0).
- Current data:** Air temperature Ta (22.0), Vapour pressure VP (17.2), Rel. humidity RH (65.0), Wind velocity v (2.0), Cloud cover N (0.0), Surface temperature Ts, Global radiation G, and Mean radiant temp. Tmrt.
- Personal data:** Height (1.75), Weight (75.0), Age (35), and Sex (m).
- Clothing and activity:** Clothing (0.9), Activity (80), Position (standing), and a checked box for 'Auto Standard Clo for mPET'.
- Thermal indices:** A row of checkboxes for PMV, PET (checked), SET\*, UTCI (checked), PT, and mPET (checked).

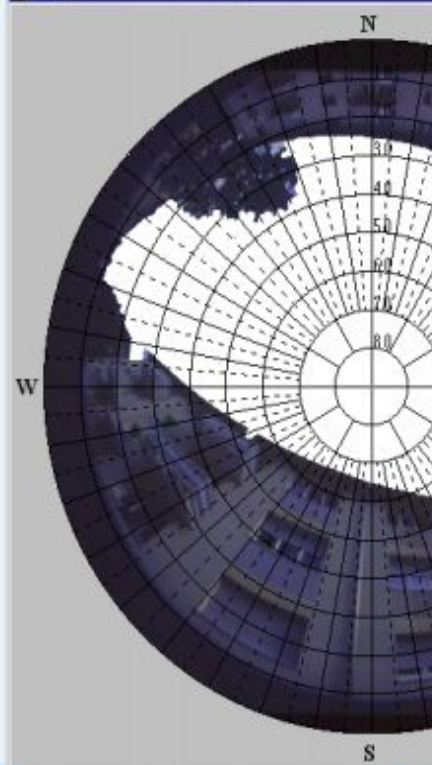
Buttons for 'New', 'Add', and 'Close' are also visible.

Matzarakis, A., Rutz, F. (2005) Application of RayMan for tourism and climate investigations. *Annalen der Meteorologie* 41:

Matzarakis, A.; Rutz, F.; Mayer, H. (2000) Estimation and calculation of the mean radiant temperature within urban structures. In: *Biometeorology and Urban Climatology at the Turn of the Millenium* (ed. by R.J. de Dear, J.D. Kalma, T.R. Oke and A. Auliciems): Selected Papers from the Conference ICB-ICUC'99, Sydney. WCASP-50, WMO/TD No. 1026, 273-278.

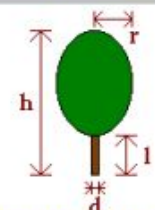
# Трёхмерный блок модели RayMan Pro

RayMan 1.3 - Edit free sky view factor - Horizonteinengung frei zeichnen



## Input of co-ordinates of vegetation

RayMan 1.3 - Edit deciduous tree - Laubbaum bearbeiten



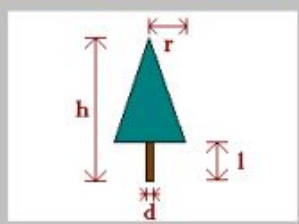
## Deciduous tree



RayMan 1.3 - Edit coniferous tree - Nadelbaum bearbeiten

Coniferous tree

x-coord. (m)	37.25
y-coord. (m)	27.75
Tree height h (m)	10.00
Crown radius r (m)	1.50
Trunc length l (m)	4.00
Trunc diam. d (m)	0.15
Albedo	30.25
Emission coeff.	16.25



OK Abbrechen

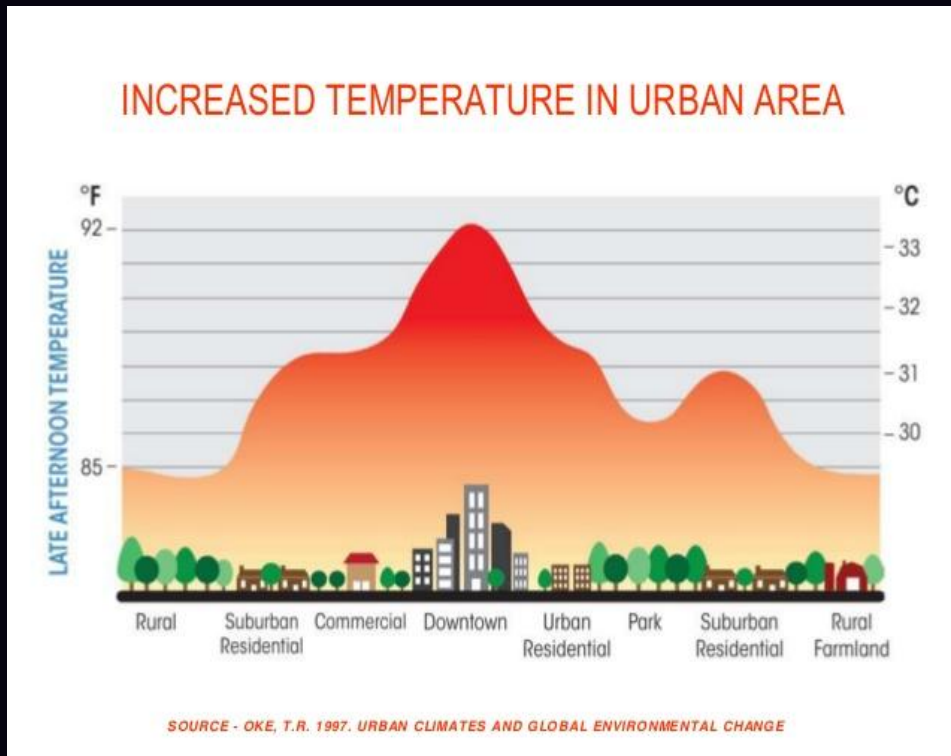
Socrates Exchange, March 2005

Meteorological Institute



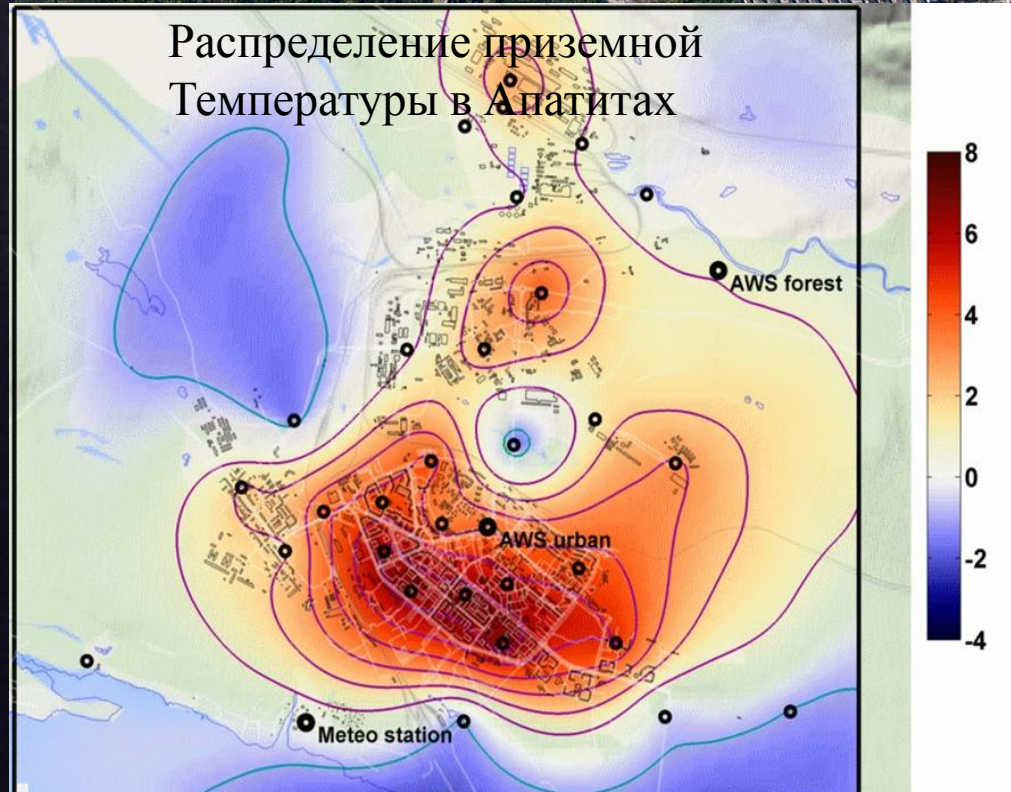
# Предпосылки к изучению комфортности Арктических городов

- ◇ В России в городах проживает 74% населения, в Арктической зоне - 85%
- ◇ Наличие островов тепла в городах — повышенных температур в центре города
- ◇ **Отсутствие данных о современной климатологии комфортности непосредственно в городах, тем более — в городах Арктической зоны**



# Проблемы в изучении

- ◆ 1. Малое количество метеостанций в Арктике
- ◆ 2. «Городские» метеостанции располагаются вне городской черты, поэтому не могут характеризовать климат всего города целиком.



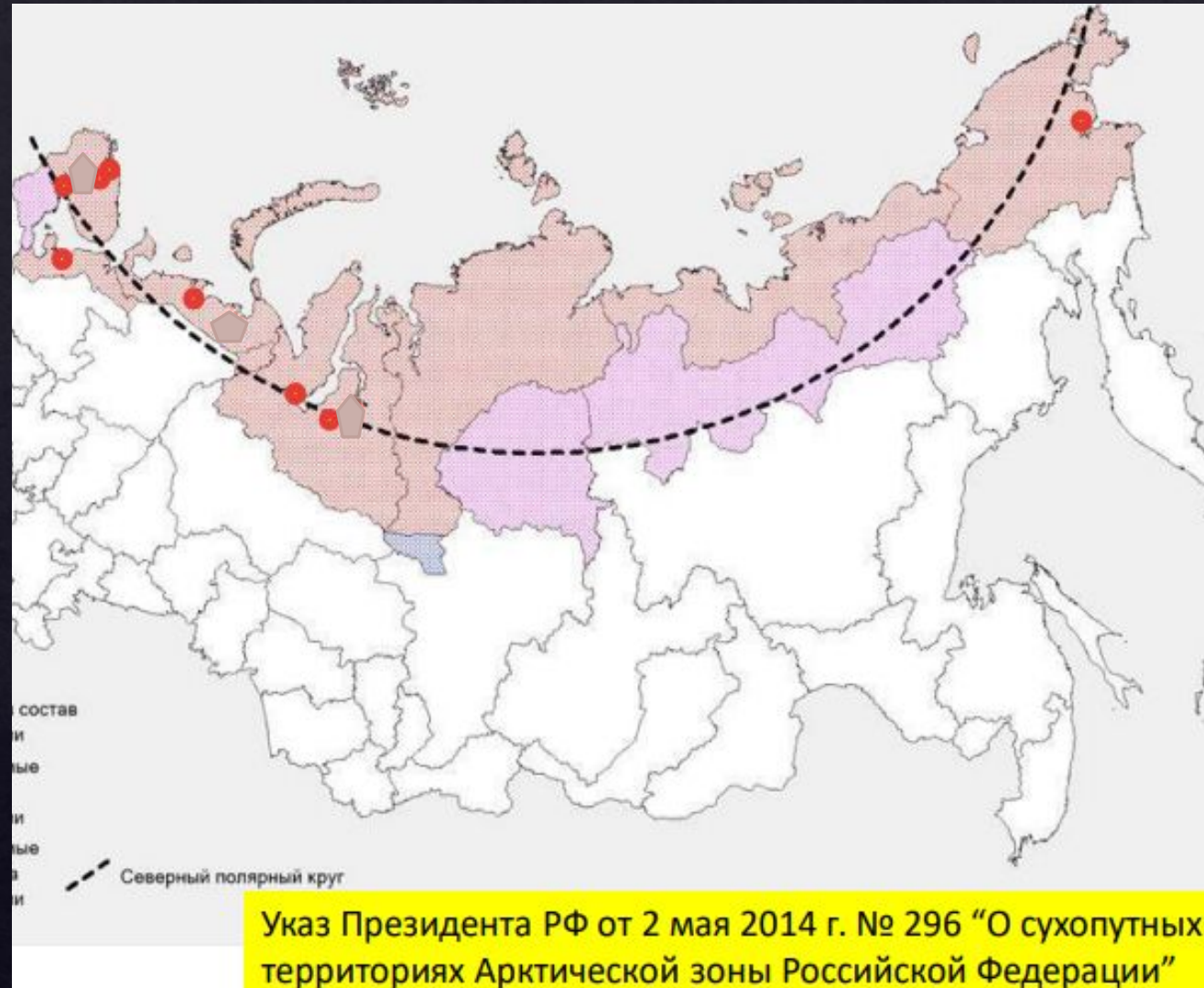


# Данные и территория изучения

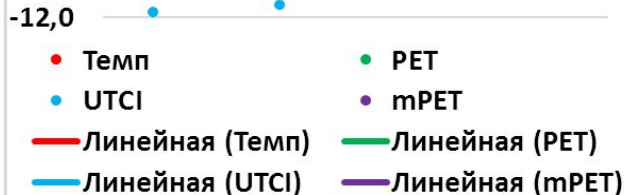
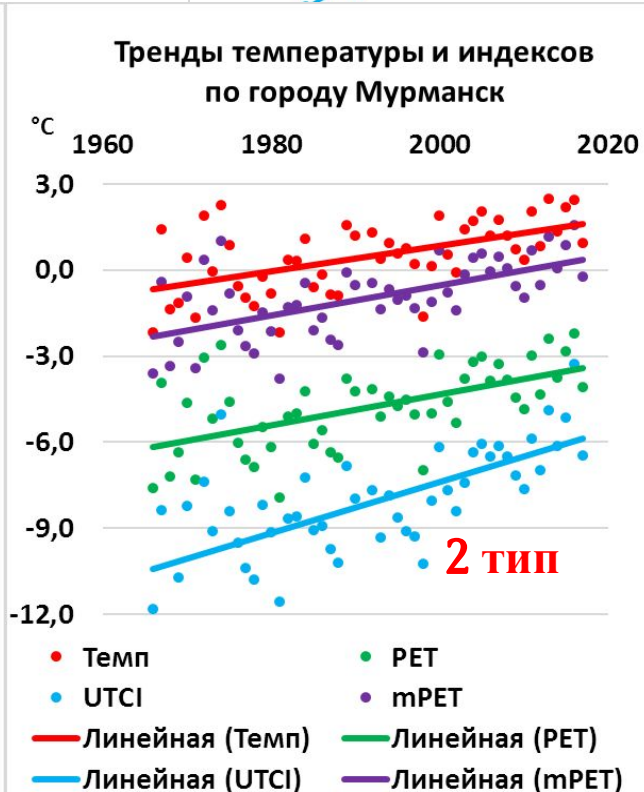
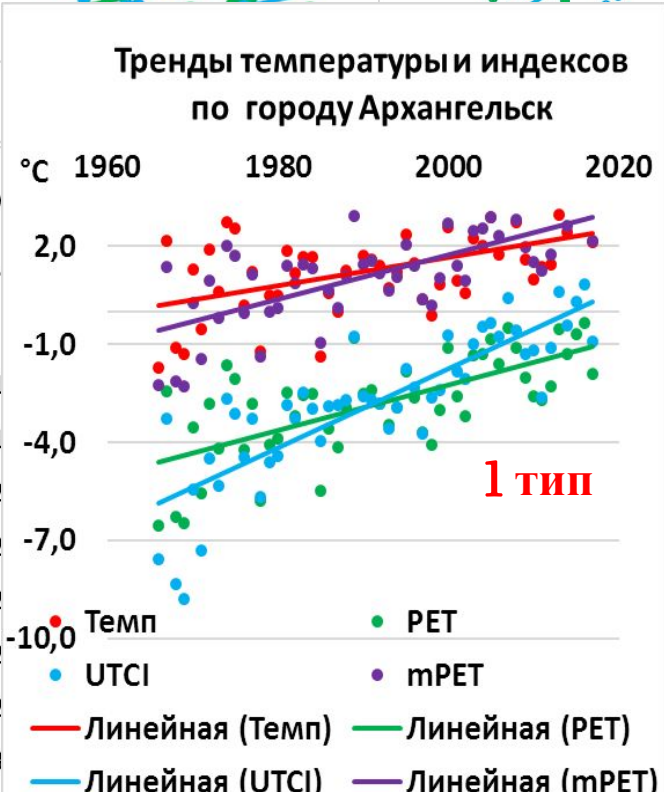
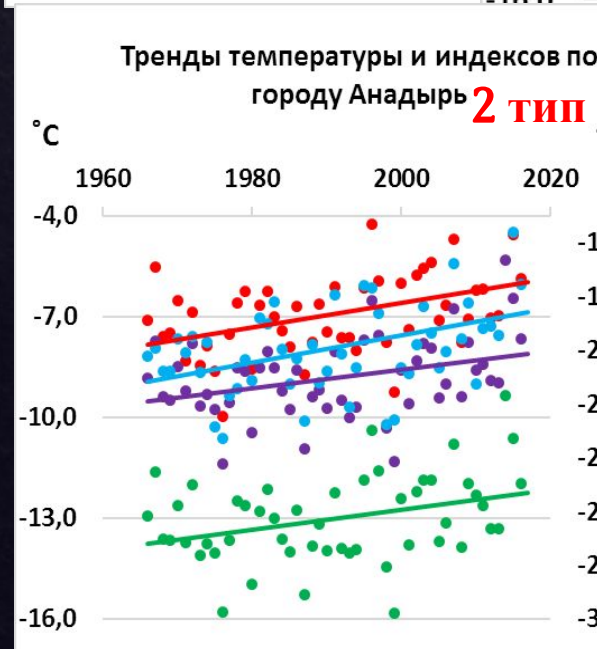
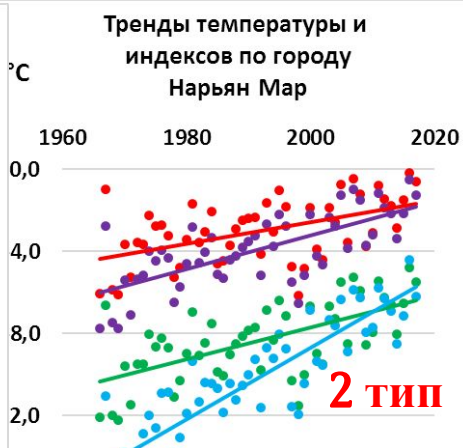
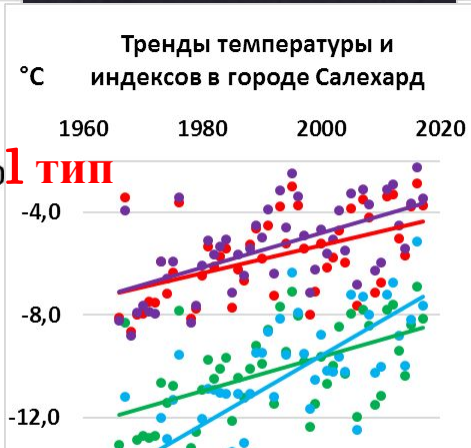
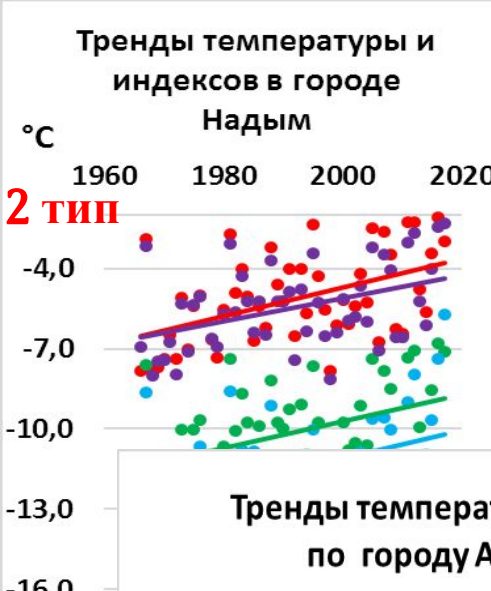
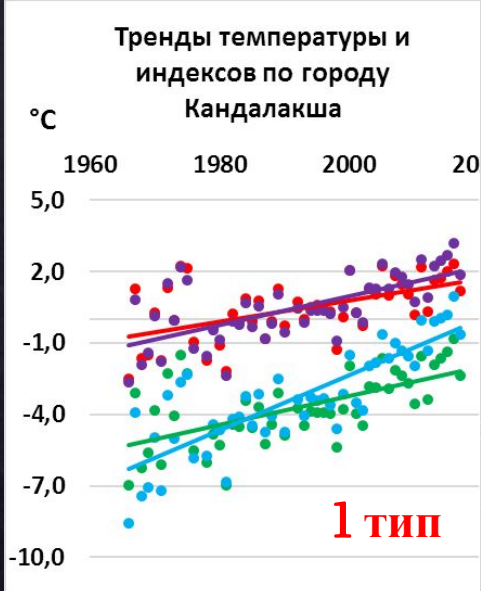
Данные метеосети  
«Росгидромета»  
(срочные измерения) за  
период 1966-2017гг.

- Территория  
Арктической зоны по  
указу Президента РФ  
от 2 мая 2014

Города: Мурманск,  
Кандалакша,  
Архангельск, Нарьян-  
Мар, Салехард, Анадырь  
и Надым

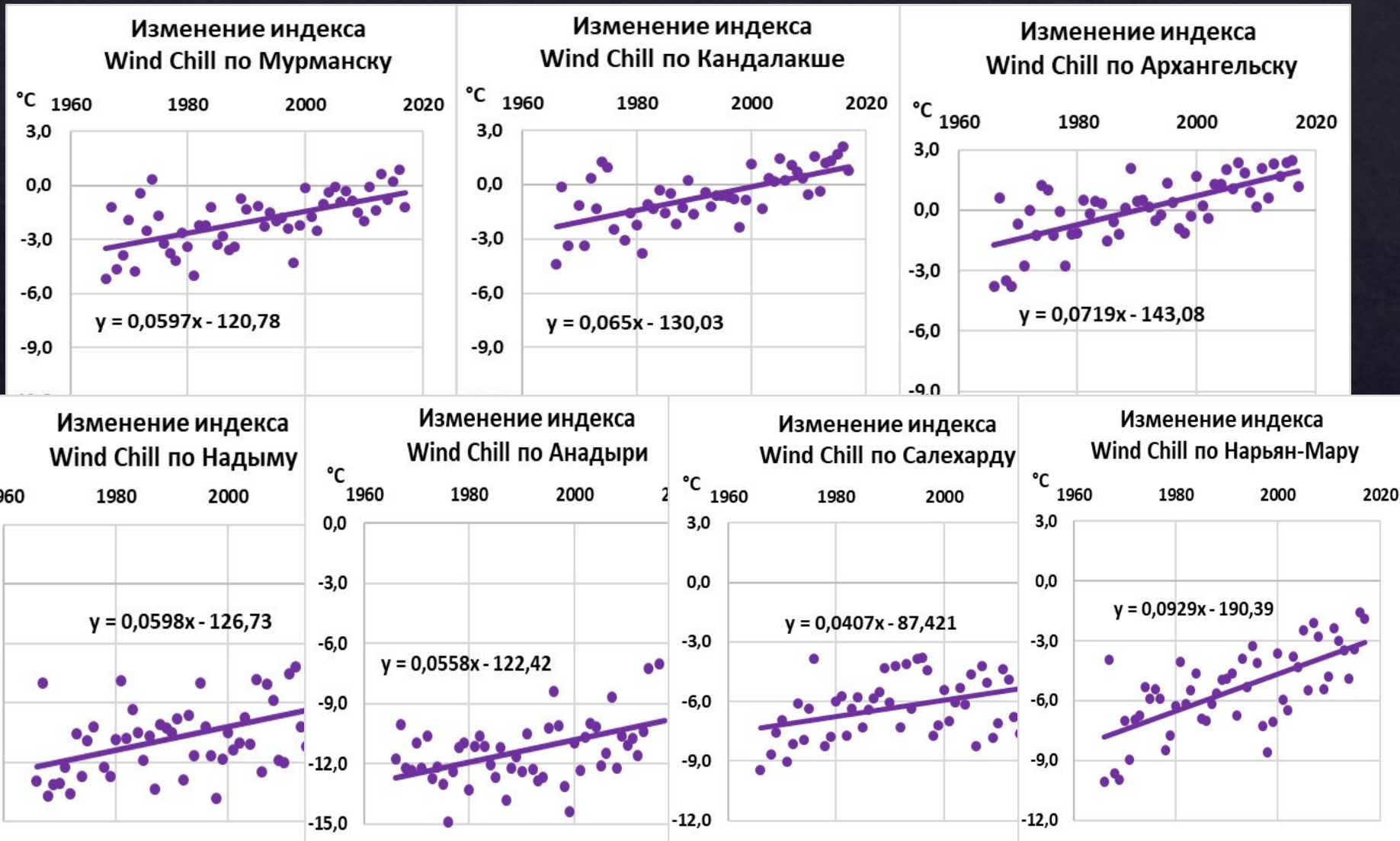


# Результаты модельного эксперимента





# Динамика индекса Wind Chill

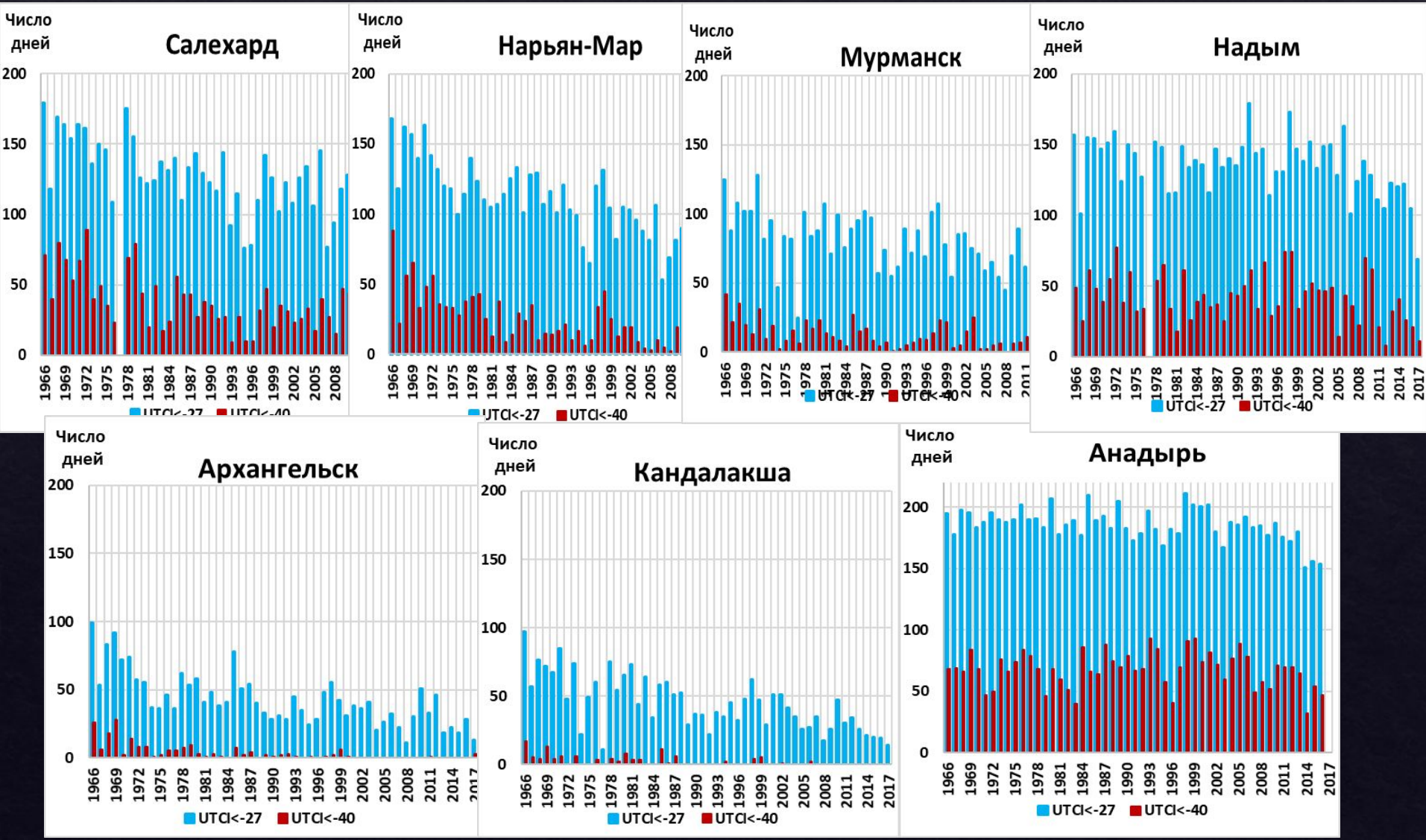


# Скорости роста температуры и индексов за 10 лет

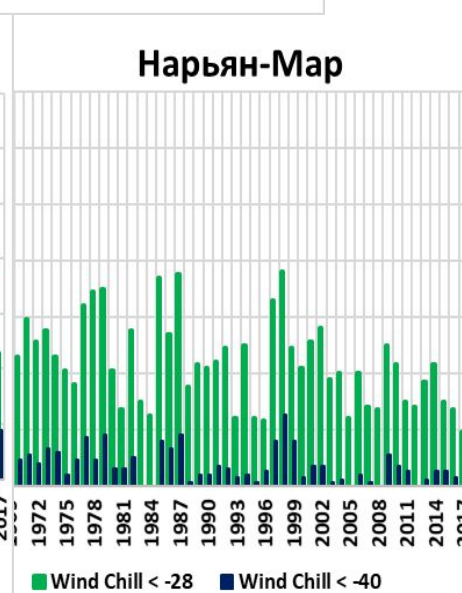
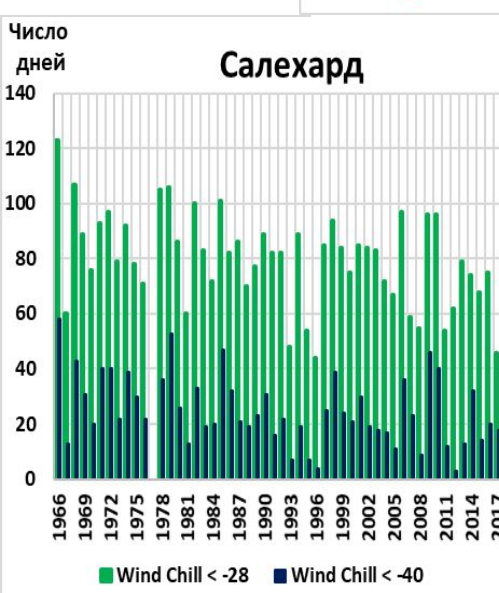
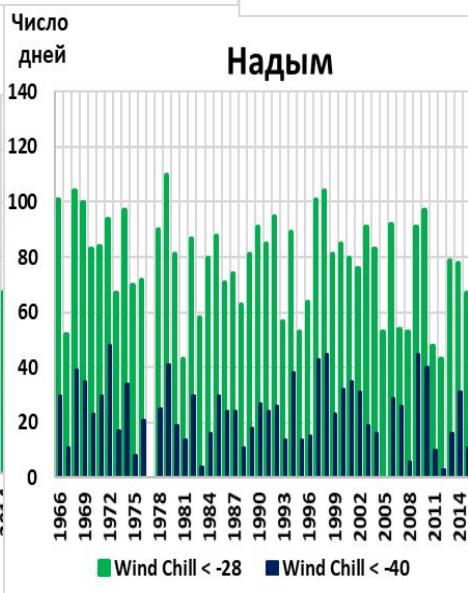
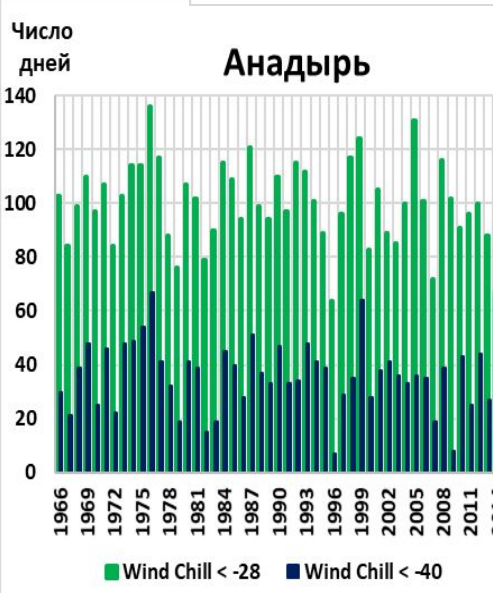
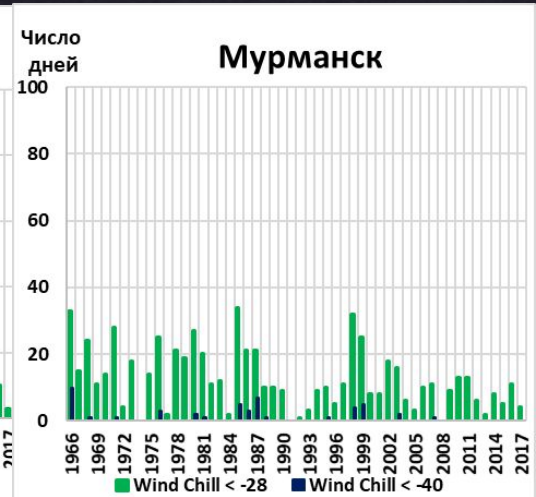
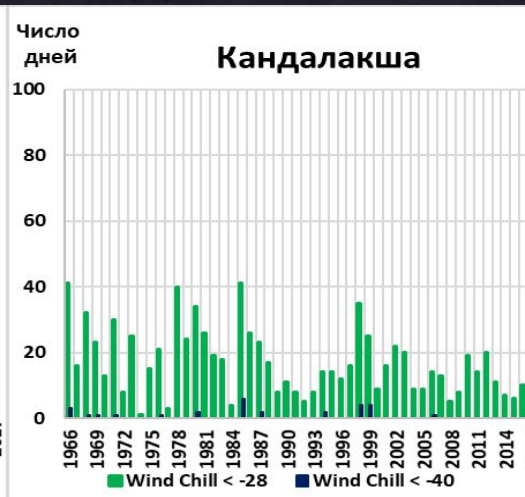
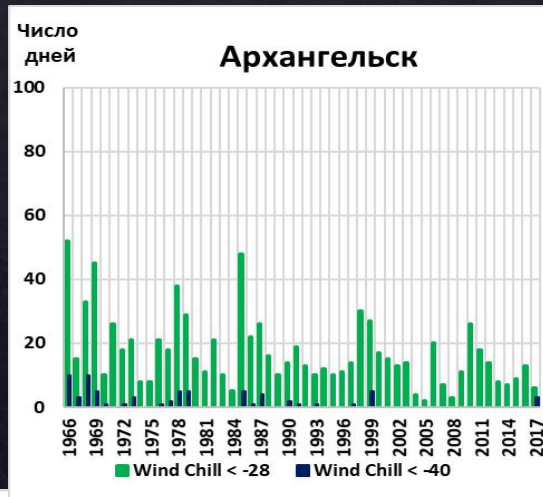
Город	$\Delta T$	$\Delta PET$	$\Delta mPET$	$\Delta UTCI$	$\Delta Wind Chill$
Мурманск	0.45	0.54	0.53	0.68	0.60
Кандалакша	0.45	0.61	0.61	1.10	0.65
Архангельск	0.45	0.69	0.67	1.22	0.72
Нарьян-Мар	0.52	0.78	0.83	1.68	0.93
Салехард	0.53	0.67	0.68	0.82	0.41
Надым	0.54	0.50	0.43	0.47	0.60
Анадырь	0.36	0.30	0.28	0.29	0.56



# Динамика количества дней с очень сильным и экстремальным холодовым стрессом (UTCI < -27 и < -40)

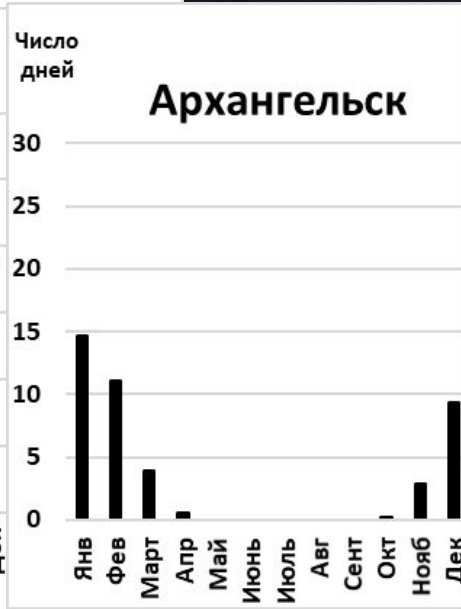
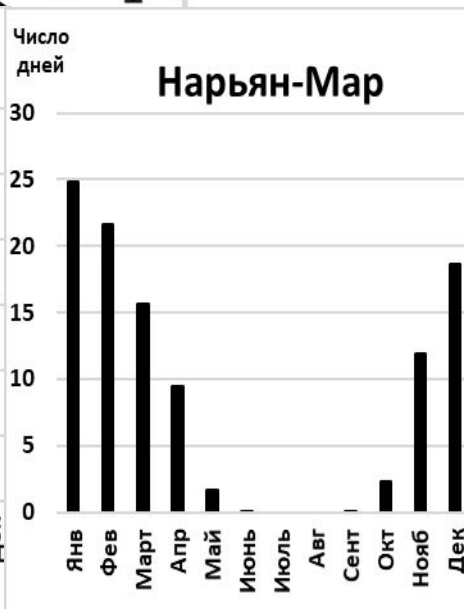
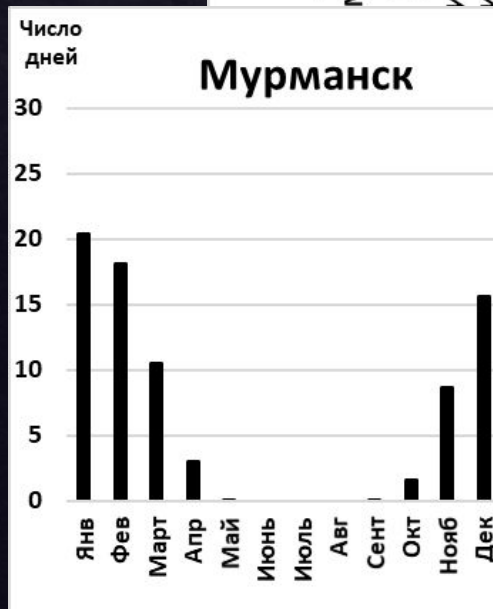
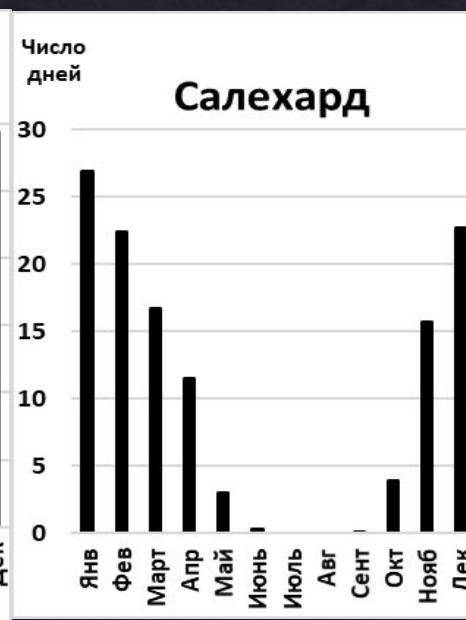
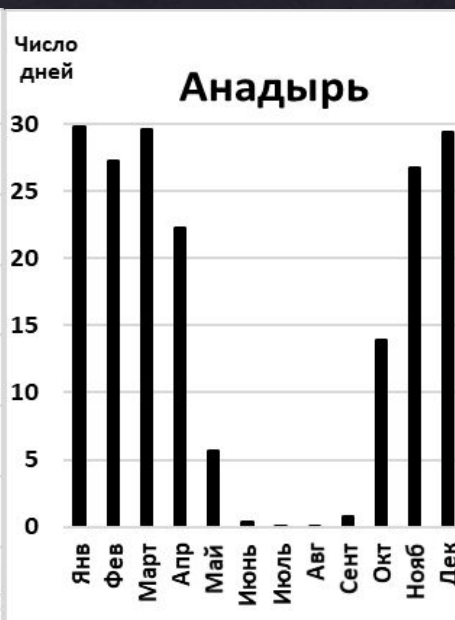
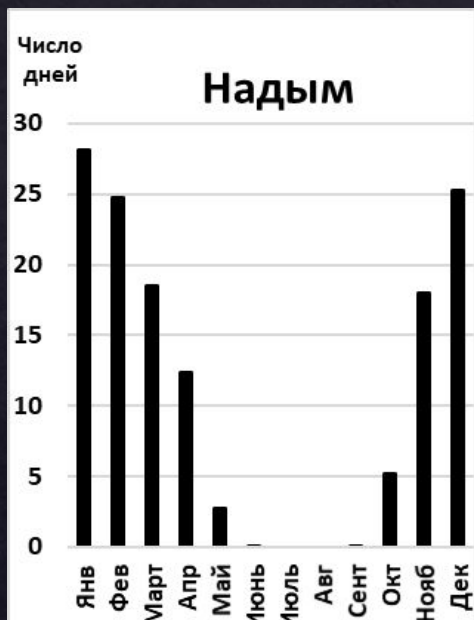


# Динамика количества дней со средним и высоким риском переохлаждения (Wind Chill < -28 и < -40)

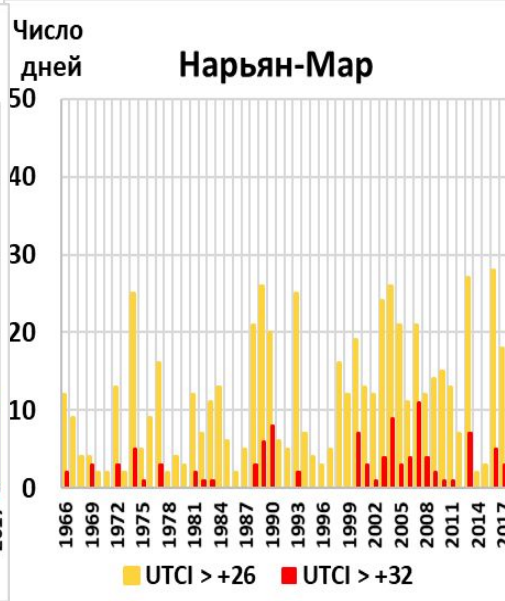
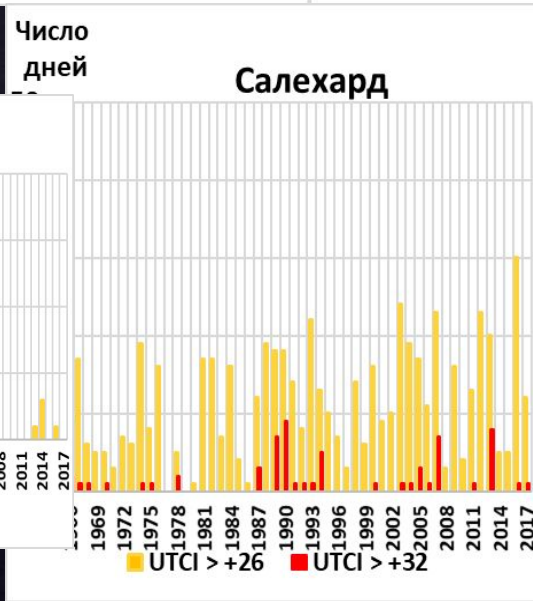
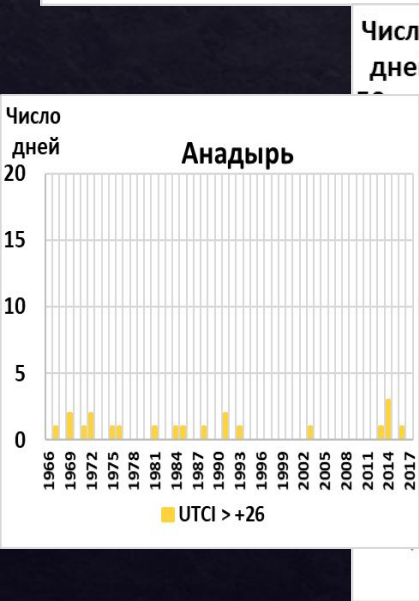
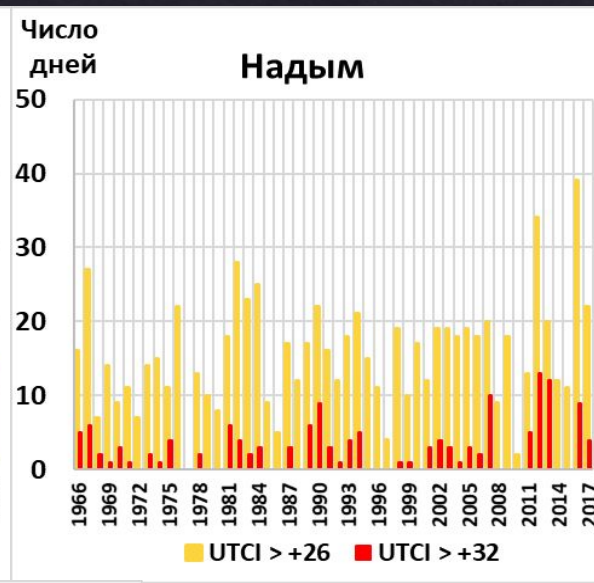
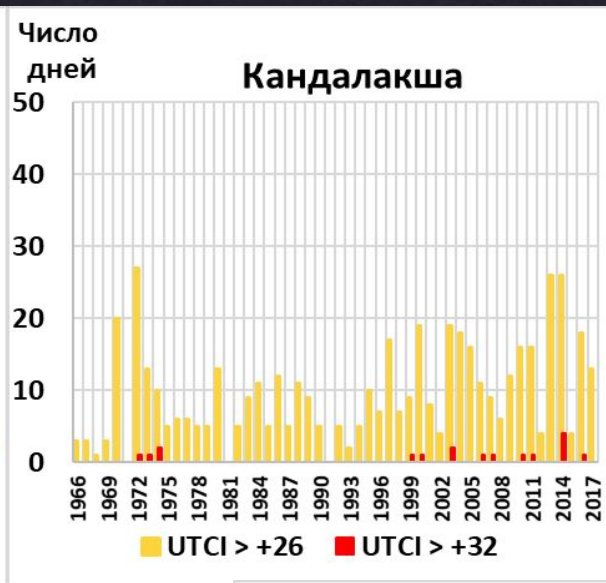
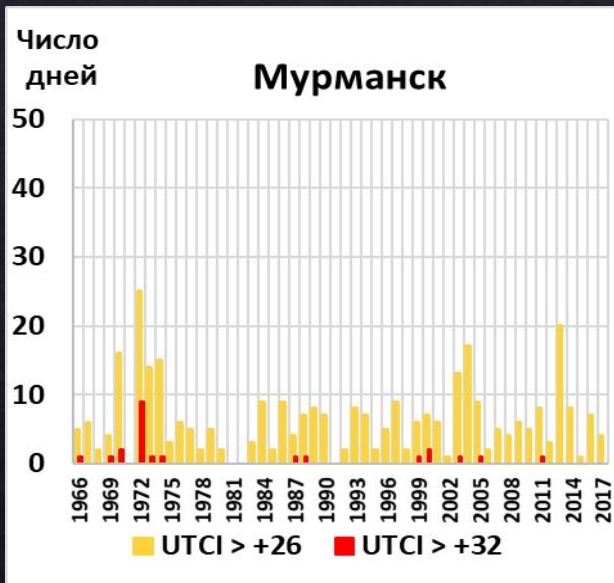




# Годовой ход холодого стресса по UTCI

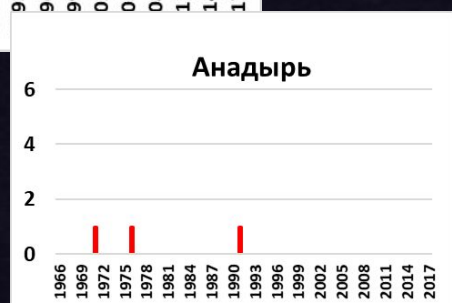
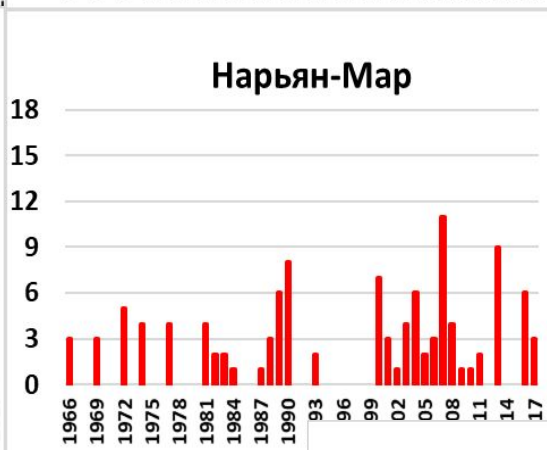
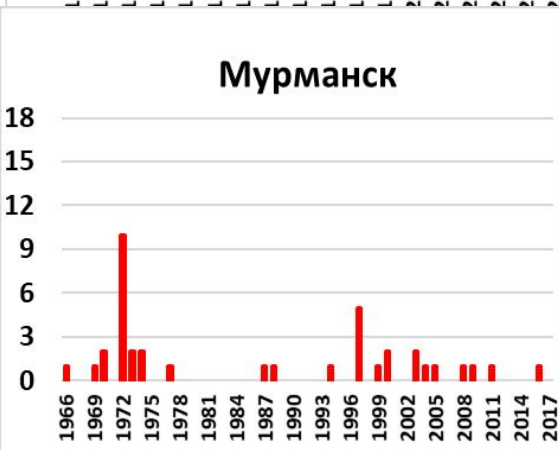


# Динамика количества дней с умеренным и сильным тепловым стрессом (UTCI >26 и >32)

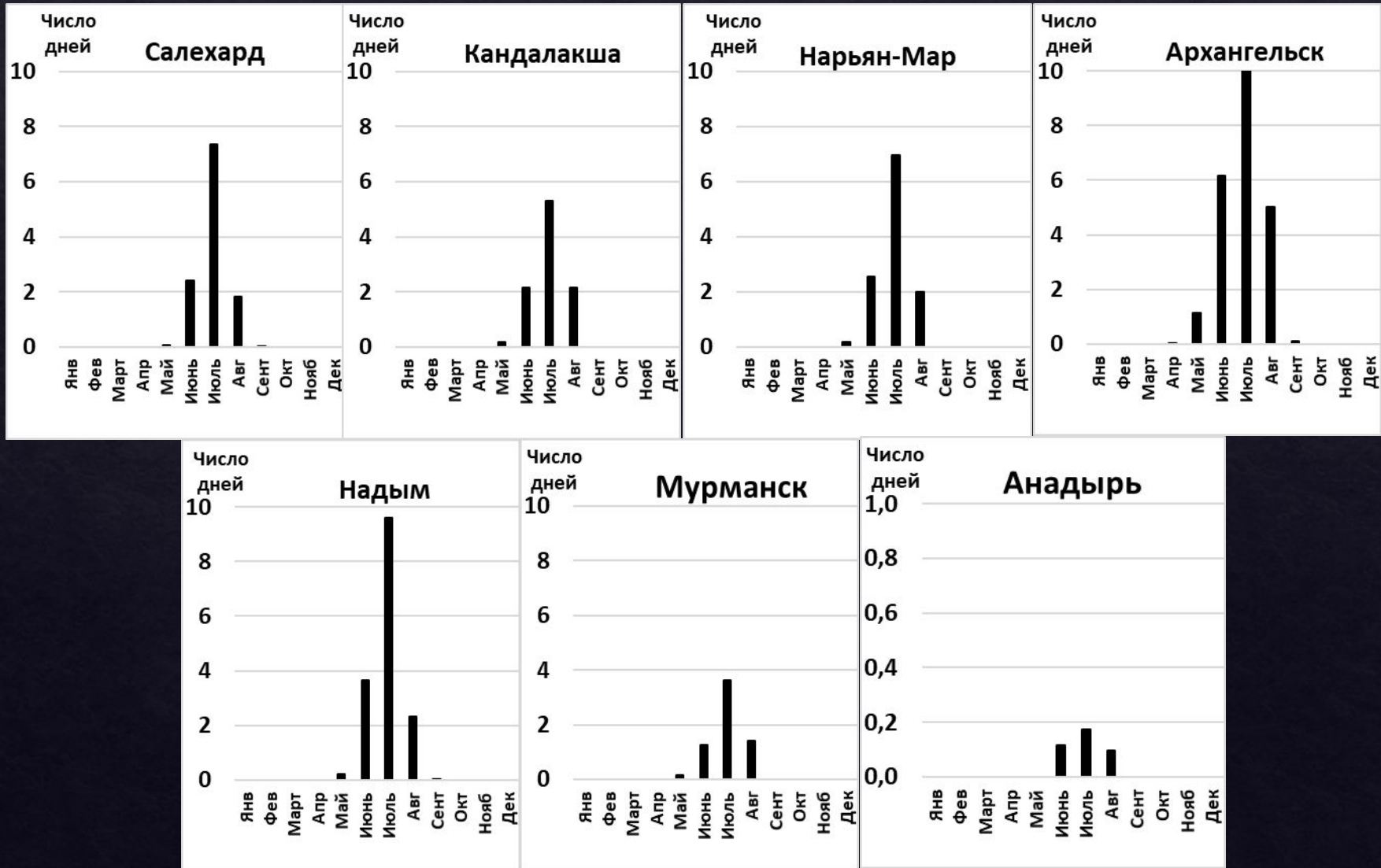




# Динамика количества дней с сильными тепловым воздействием (PET>35)



# Годовой ход умеренного теплового стресса (UTCI > +26)

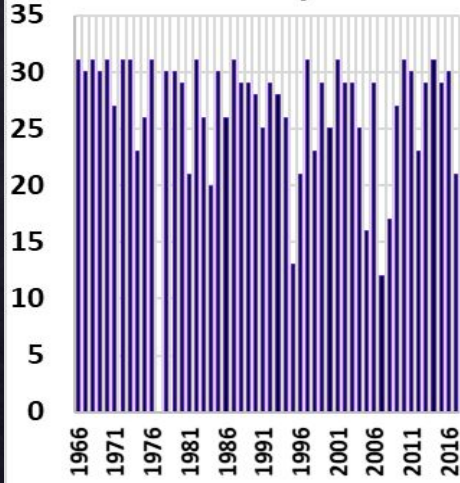




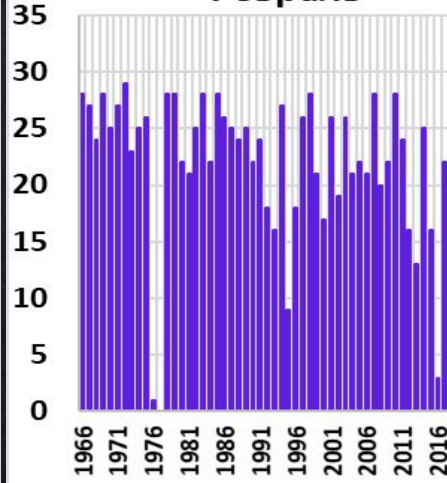


# Внутригодовая динамика очень сильного холодового стресса (UTCI<-27) в Салехарде

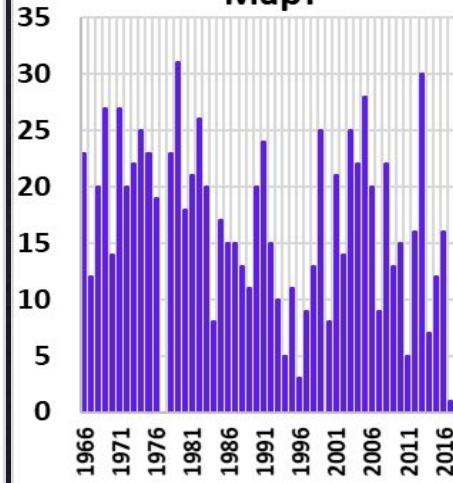
## Январь



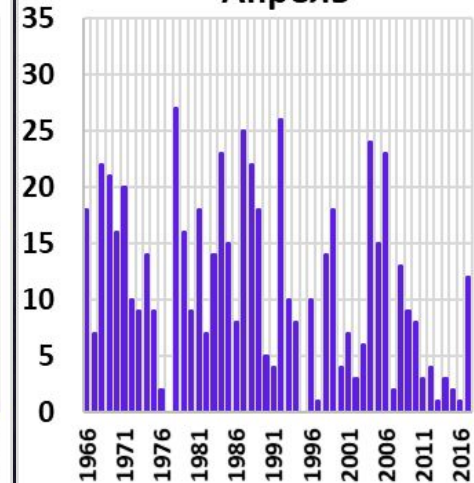
## Февраль



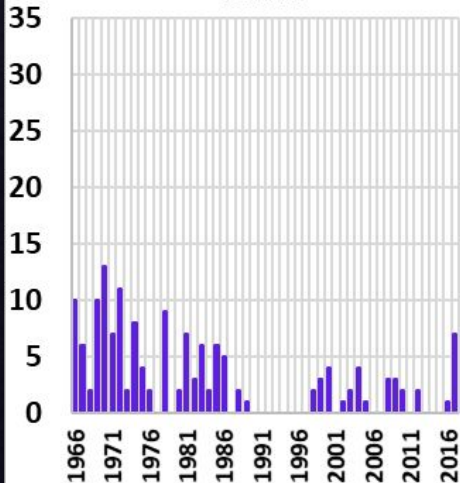
## Март



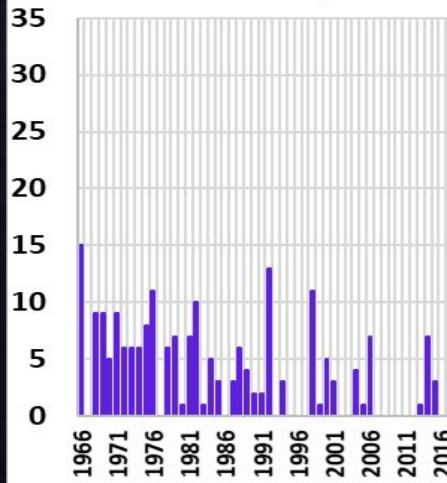
## Апрель



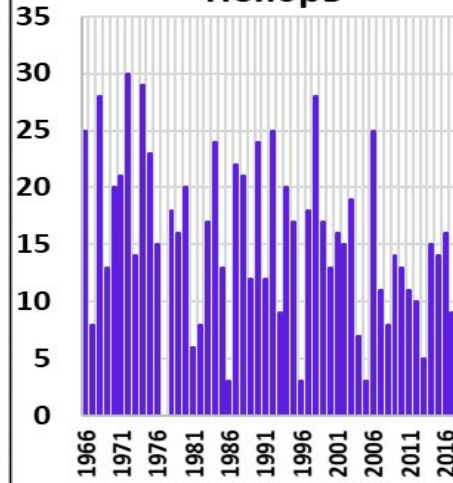
## Май



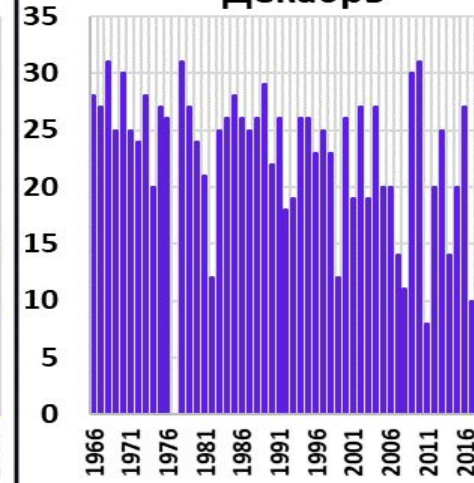
## Октябрь



## Ноябрь

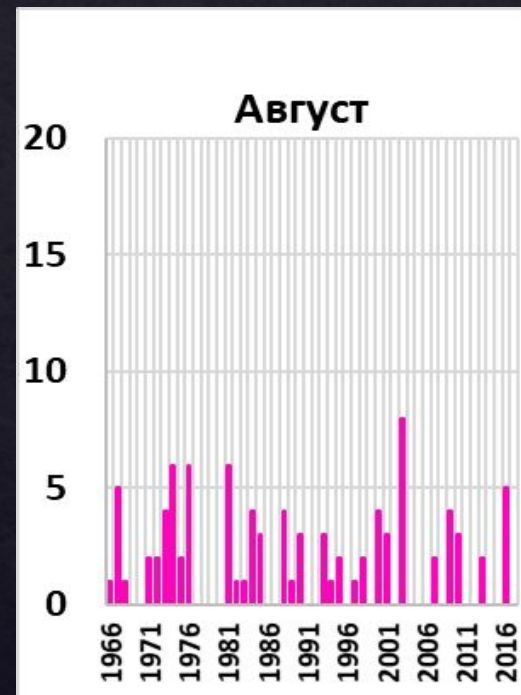
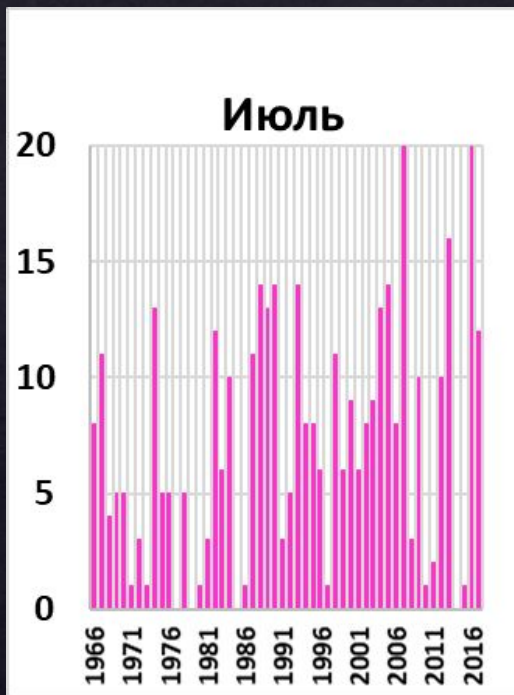


## Декабрь





# Внутригодовая динамика умеренного теплового стресса (UTCI >26) в Салехарде



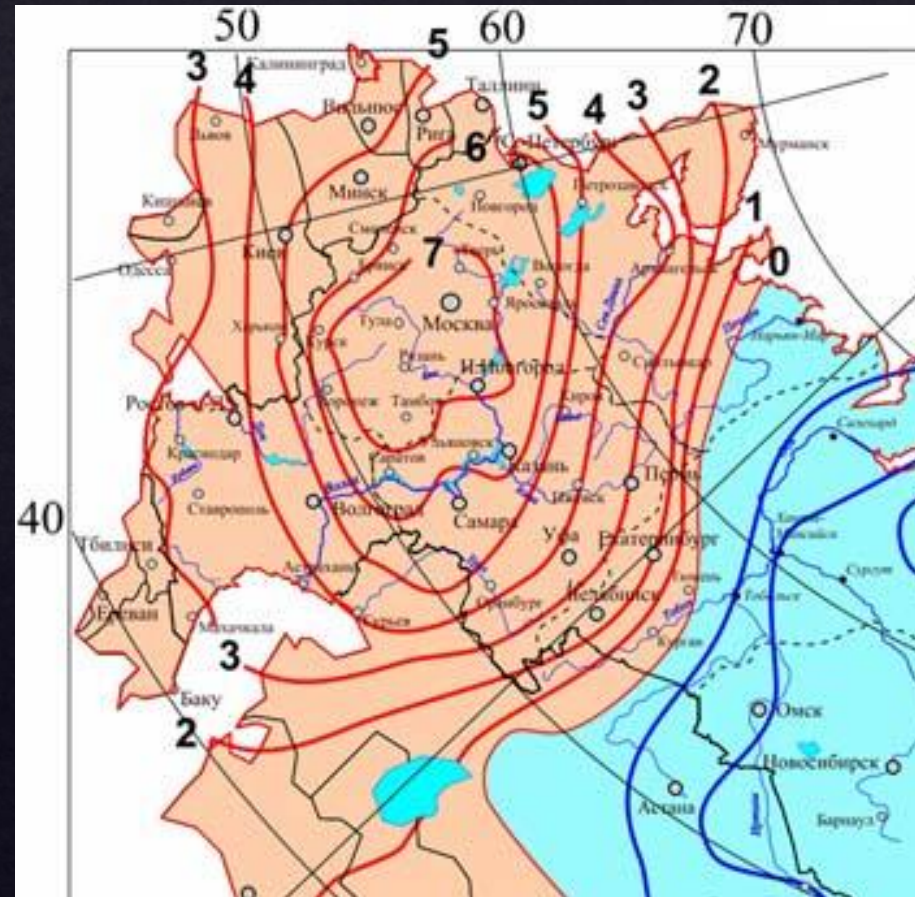
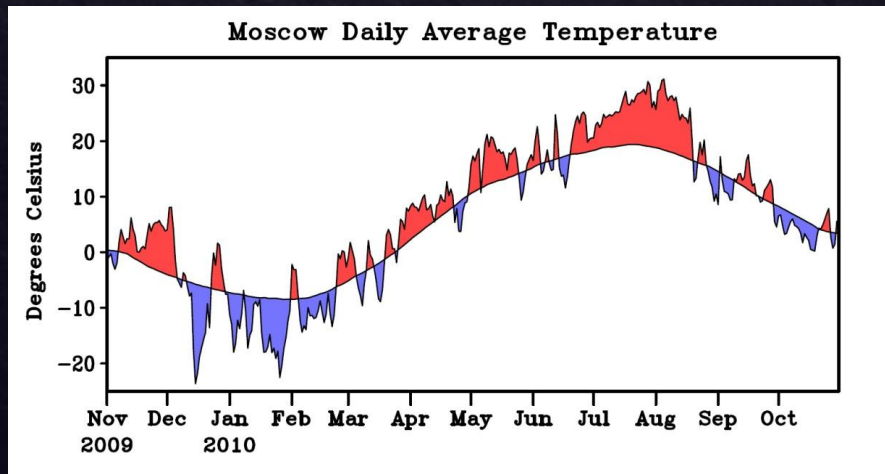
# Выводы

- ◆ По изменению комфортности все города можно разделить на 2 группы: там, где тренды индексов PET, mPET и UTCI растут быстрее, чем температура воздуха, и там, где этого не происходит.
- ◆ Во всех городах наблюдается уменьшение количества дней с сильным холодовым воздействием и увеличение дней с умеренным и сильным тепловым воздействием.
- ◆ Максимум дней с холодовым стрессом приходится на январь. Максимум количества дней с тепловым воздействием приходится на июль.



# А что в Москве?

Потепления климата и увеличение количества тепловых волн приводит к ухудшению комфортности среды и повышению риска смертности.



# “Климат Москвы в условиях глобального потепления” ред. Кислова А.В

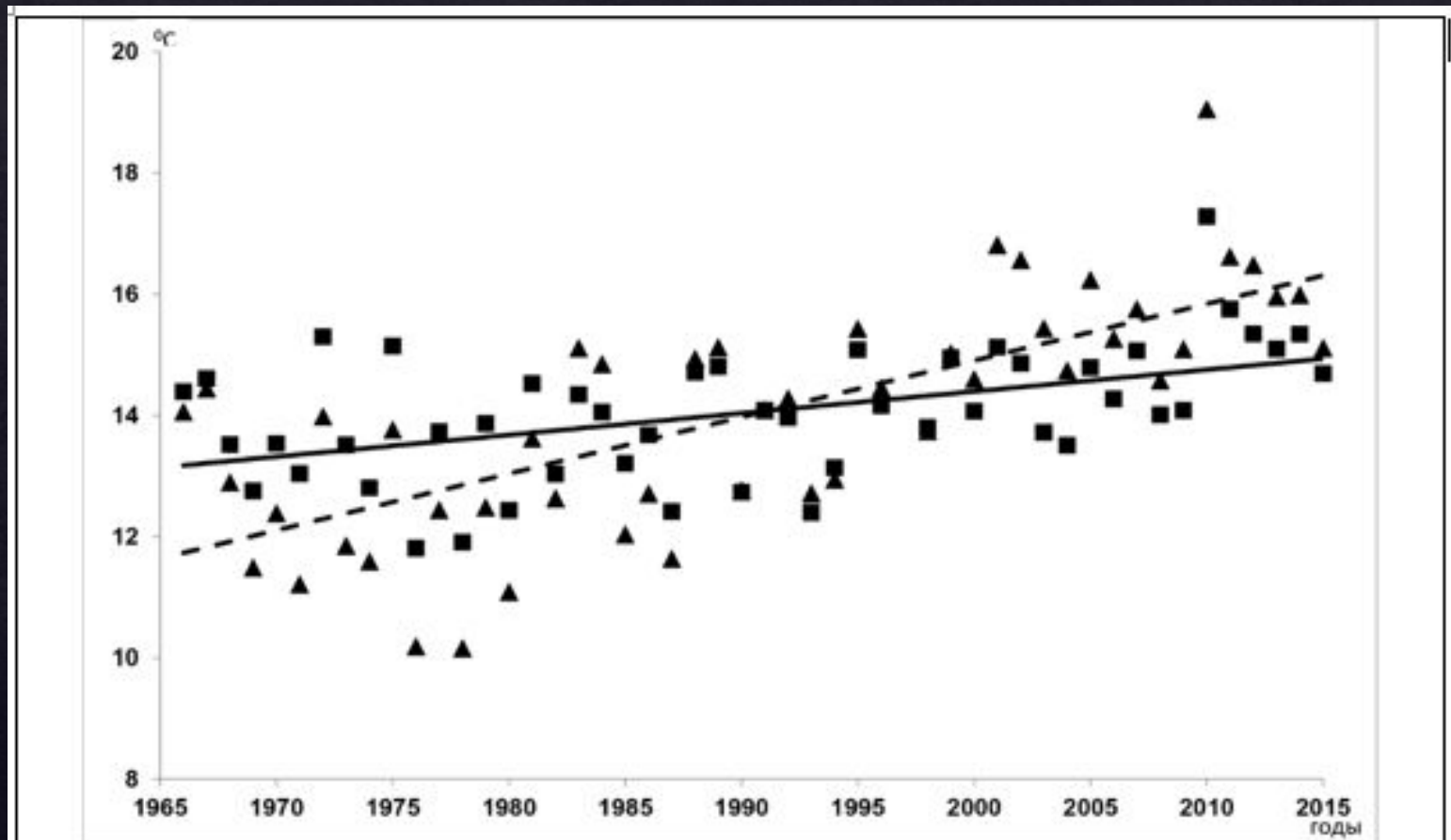
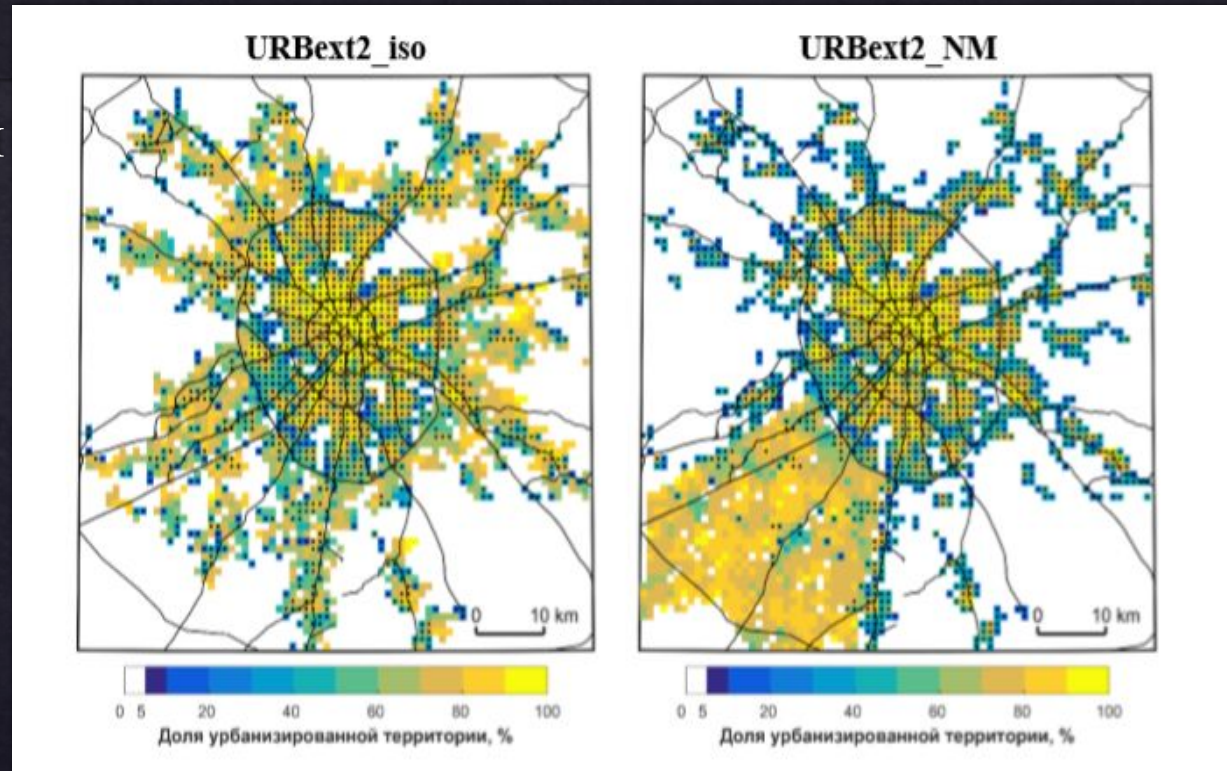


Рис.1 Динамика в Москве индекса РЕТ (треугольники) и температуры воздуха (квадраты) (средних значений для тёплого периода.) Пунктир – линейный тренд РЕТ, сплошная линия – линейный тренд температуры. (Климат...2017)



# Отклик термического комфорта при разных сценариях застройки Москвы

- ◇ URB – современный города
- ◇ “URBext2\_iso –  
Равномерное  
расширение Москвы
- ◇ URBext2\_NM –  
полная застройка  
Новой Москвы



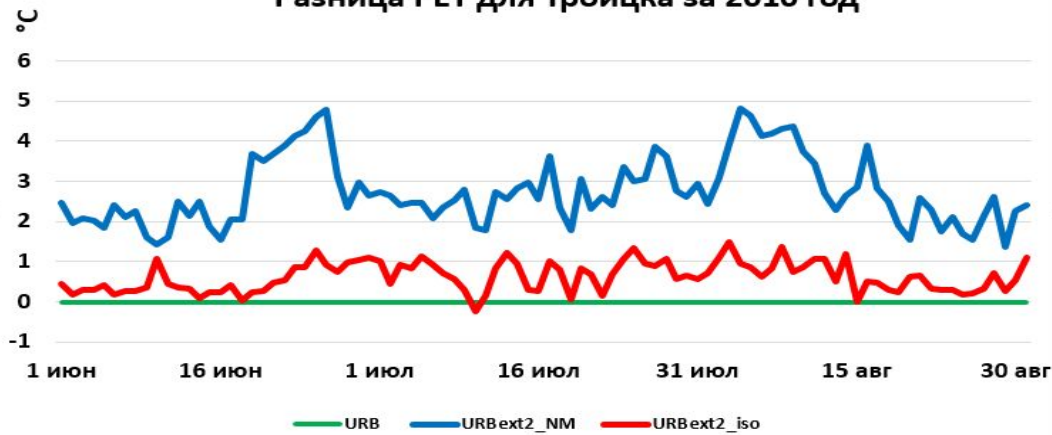
Пространственное распределение доли урбанизированных территорий  
площади модельной ячейки для сценариев

(Варенцов М.И, 2018)

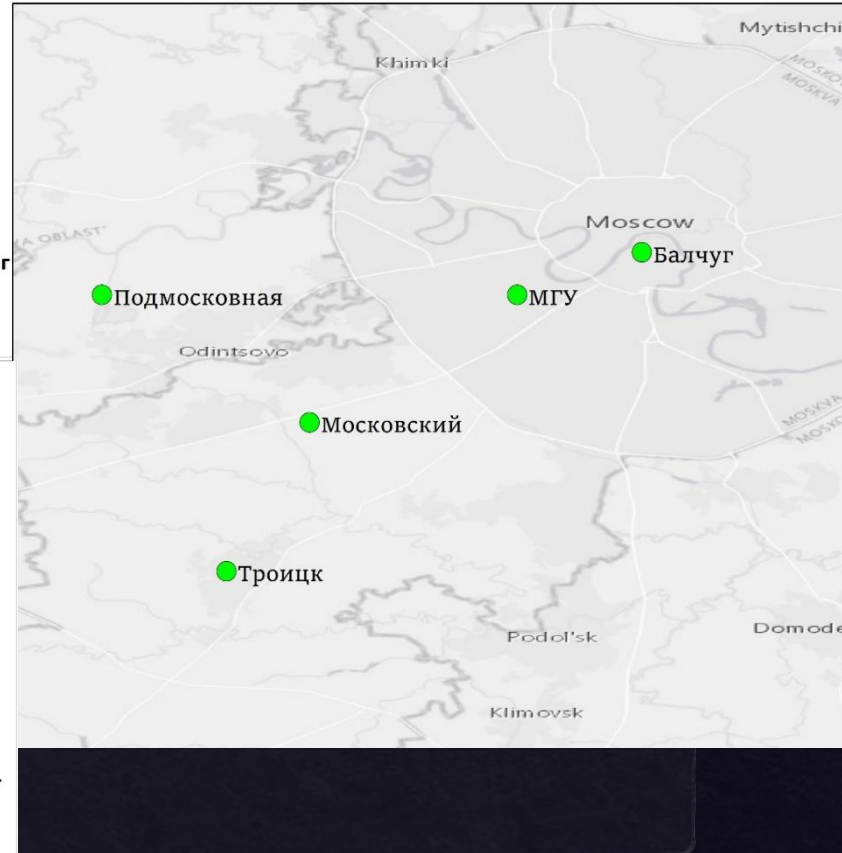
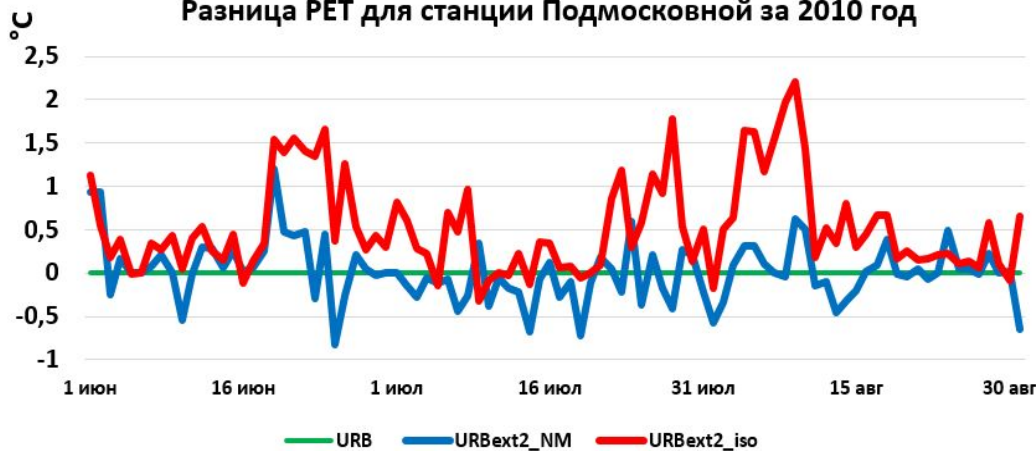
# Отклик комфортности на разные сценарии застройки Москвы

## Выбранные точки

Разница PET для Троицка за 2010 год



Разница PET для станции Подмосковной за 2010 год



- ◇ Вывод: при полной застройке Москвы и приходящей волне тепла может ожидатьсся высокий уровень дискомфорта



**Спасибо за внимание!**



Ночные Апатиты. Фото Михаил Варенцов