Помощь городам в решении проблемы адаптации к изменениям климата - взгляд метеоролога/климатолога





Константинов Павел ^{1,2} к.г.н.

¹ Географический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова, кафедра метеорологии и климатологии, ² Российский Гидрометеорологический Университет, лаборатория моделирования средней и верхней атмосферы

Погода и климат

Климат – то, что мы ожидаем, а погода – то что наблюдаем.

Вместо вступления

И до начала промышленной революции климат влиял на общество...

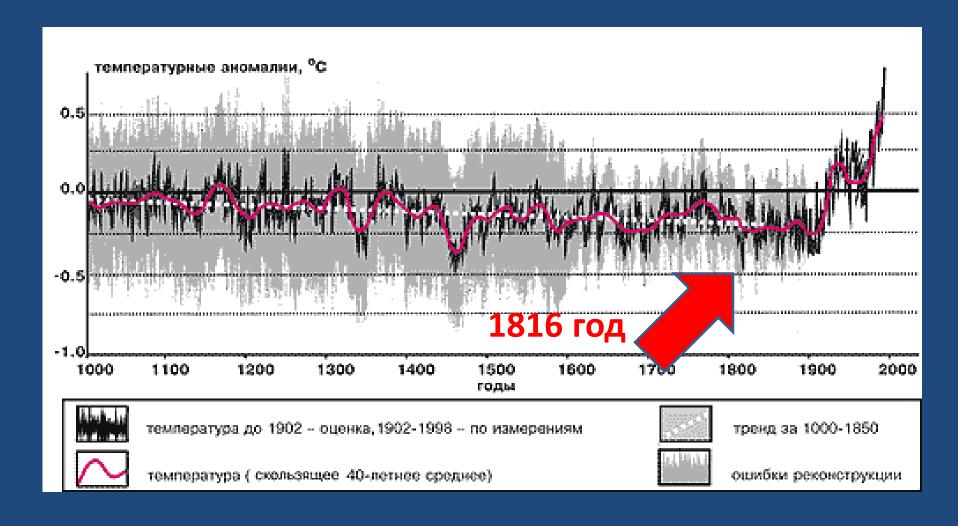
1816 год – «год без лета»



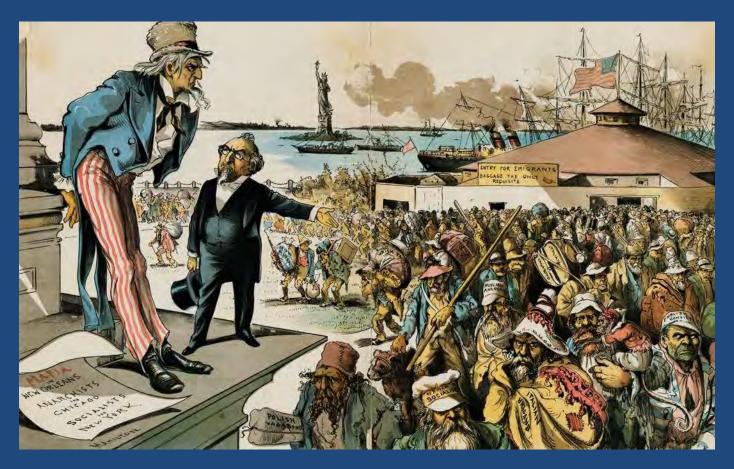
Извержение вулкана Тамбора, Индонезия

Для распространения пепла по земной атмосфере потребовалось несколько месяцев, поэтому в 1815 последствия извержения в Европе ещё не ощущались столь сильно. Однако в марте 1816 температура продолжала оставаться зимней. В июне и июле в Америке каждую ночь был мороз. В Нью-Йорке и на северо-востоке США выпадало до метра снега. Германию неоднократно терзали сильные бури, многие реки (в том числе и Рейн) вышли из берегов. В Швейцарии каждый месяц выпадал снег. Необычный холод привёл к катастрофическому неурожаю.

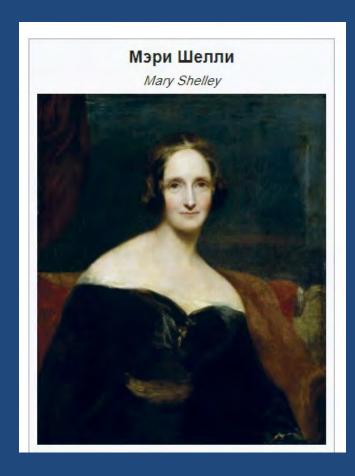
Изменения климата за последнюю 1000 лет



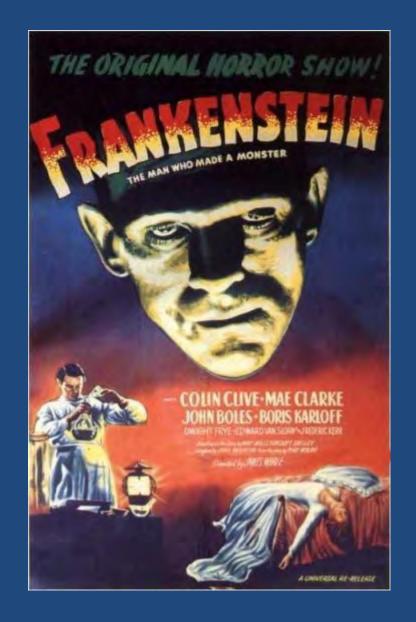
Что было в итоге?



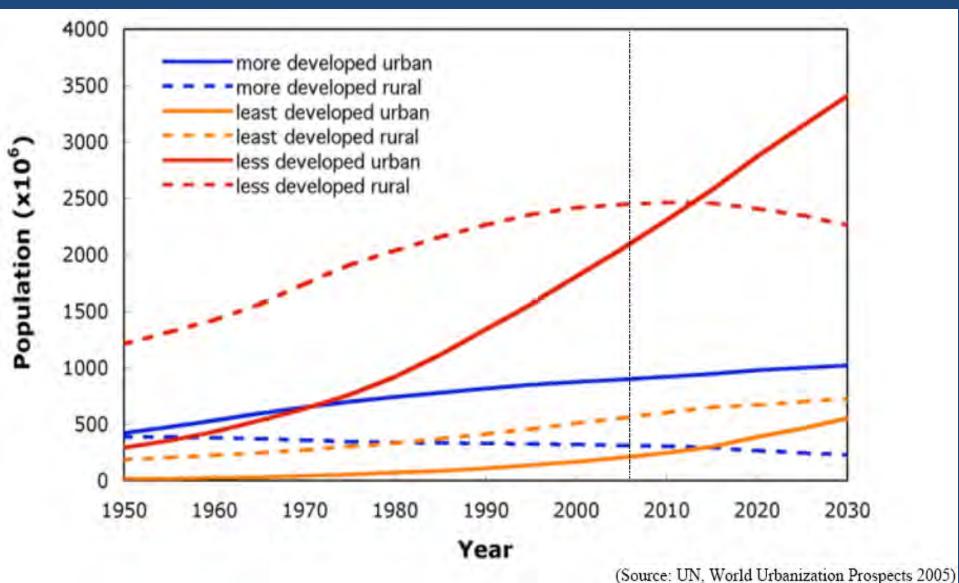
Весной 1817 цены на зерно выросли в десять раз, а среди населения разразился голод. Десятки тысяч европейцев, страдавших к тому же всё ещё от разрушений Наполеоновских войн, эмигрировали в Америку.



Frankenstein: or, The Modern Prometheus 1818



Городское и сельское население мира 1950-2030



Мы начали наши работы еще в 2010 году, создав первую климатическую модель Московского мегаполиса

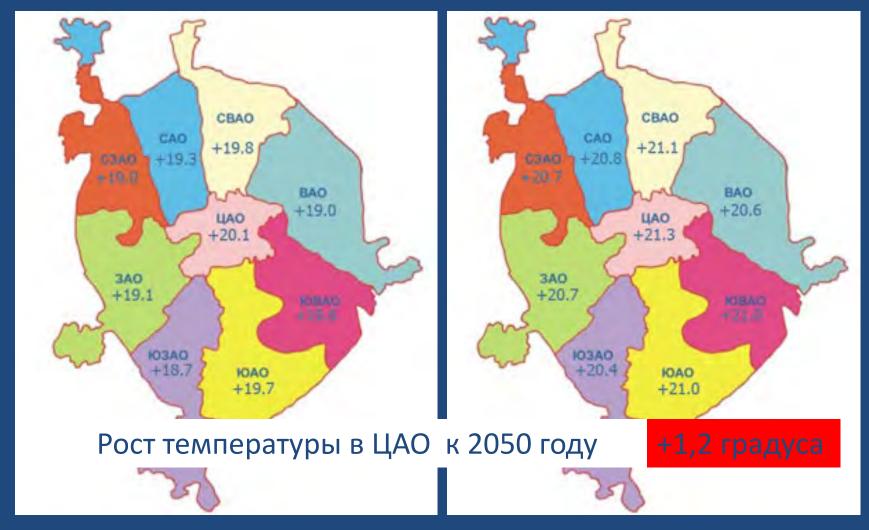
ЧТО ЖЕ ВОЗМОЖНО В 2023 году?

Вариант 1:

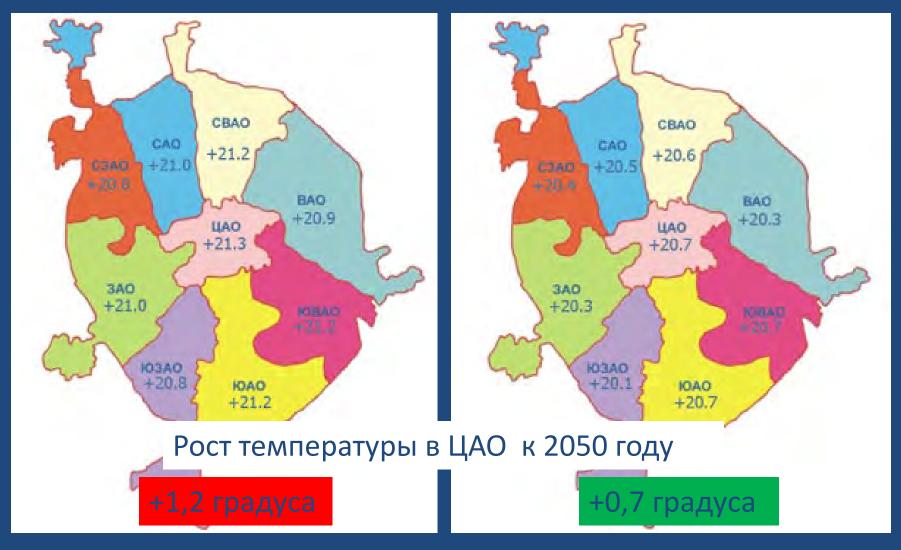
Оценка на уровне отдельных городов/ мегаполисов:

Что получаем в итоге:
Ответ на вопрос «Что произойдет со средней температурой города? »

Сравнение средней июльской температуры по округам для современного климата и 2050 года



Влияние изменения застройки

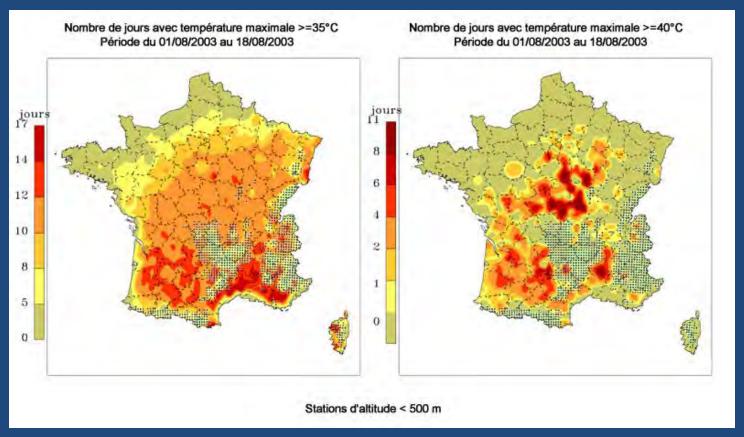


Озеленение 50% застроенных территорий

ПОЧЕМУ ЭТО ВАЖНО?

Потому что «волны жары» в мегаполисах уносят десятки тысяч жизней. И каждый градус «сверху» - это увеличение смертности.

European Heat Wave

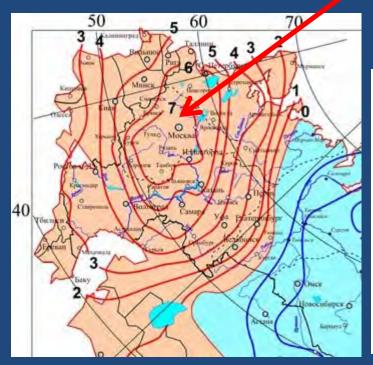


During August, 2003 much of Europe experienced unusually high temperatures. The extent of the extremes and their effect was greatest in France. The maps below show the number of days where air temperature exceeded 35C and 40C, respectively. The impact was greatest in cities where the temperature was raised and the population was vulnerable.

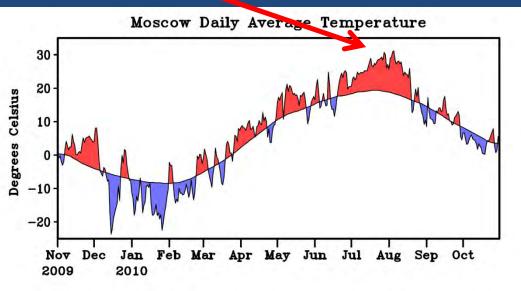
By G.Mills, 2010 WMO, Pune

Пример: Жара в Москве в 2010 году

Tmax=38,1 C







Исключительно долгий период жаркой погоды в сочетании с дымом от лесных пожаров унесли жизни по крайней мере 11,000 москвичей (Shaposhnikov et al, 2014

Первая тревожная "heat-wave"

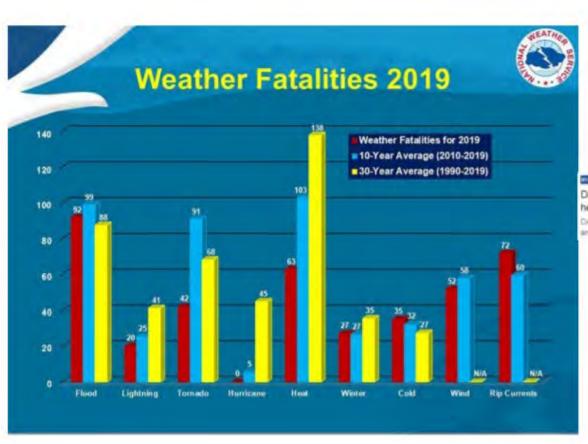
Human Stories: Chicago 1995



Chicago Tribune



Ущерб от погодных событий США



Nursing home where 12 died after Hurricane Irma loses license



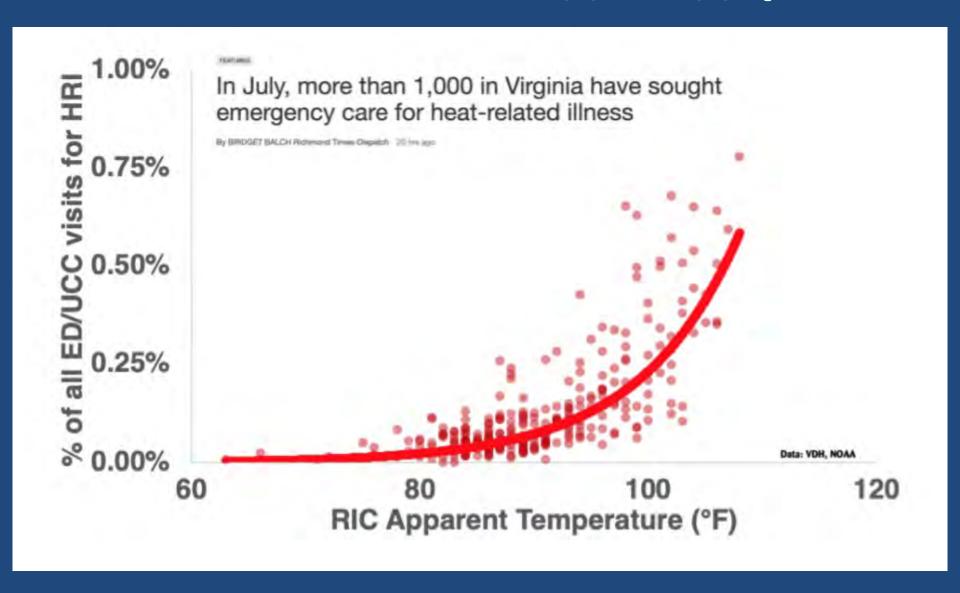
Danville Utilities asks residents to curb power usage during heatwave

DANVILLE, Va. (WSST) — There's a heatwaye in effect in Central Virginia and so far, one electricity provider is asking residents to curb ...



- Healthcare costs
- Energy Costs
- Worker Productivity
- Poor Air Quality

Связь с опасностью для здоровья



Уязвимость от волн жары

Vulnerability

- Elderly
- SES
- Chronic conditions
- Outdoor workers
- Tourists





'Sleeping in puddles of their own sweat': Loved ones say Va. inmates suffering during heatwave

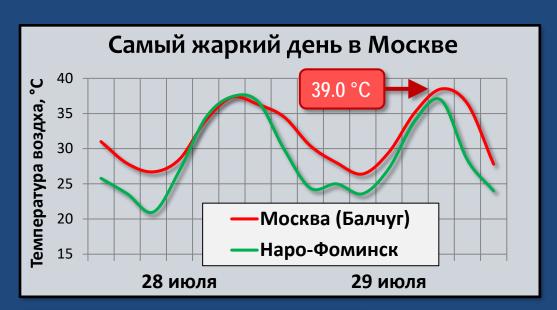
Former corrections officer shares conditions at Virginia's prisons

Partied Jul 25, 2015 / 57-15 PM RDT / Updated Jul 25, 1015 / 1025 PM RDT



Howe et al. 2019; Gronlund et al. 2015; Hondula et al. 2012; Reid et al. 2009

Остров тепла Москвы

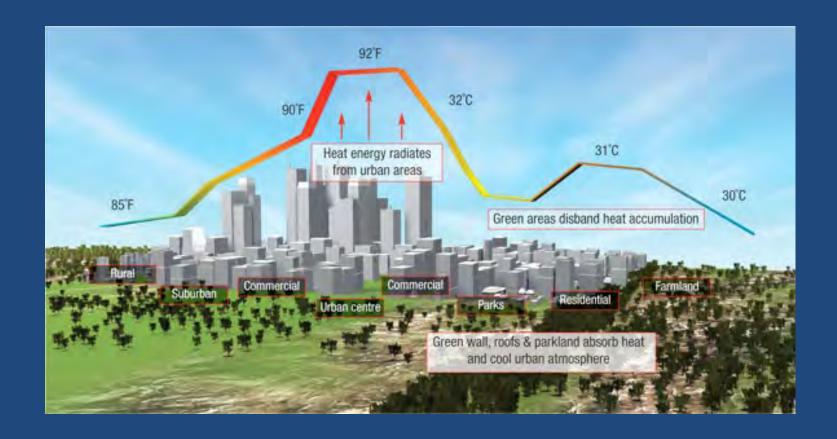








ГОРОДСКОЙ ОСТРОВ ТЕПЛА



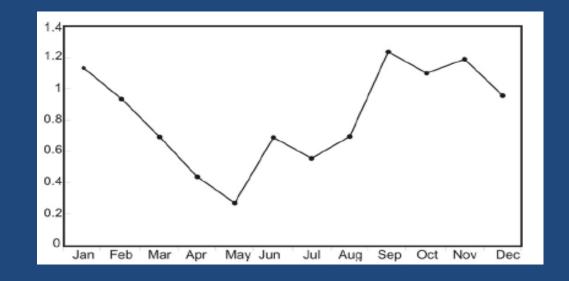
Picture taken from http://www.monument-info-search.co.u

История

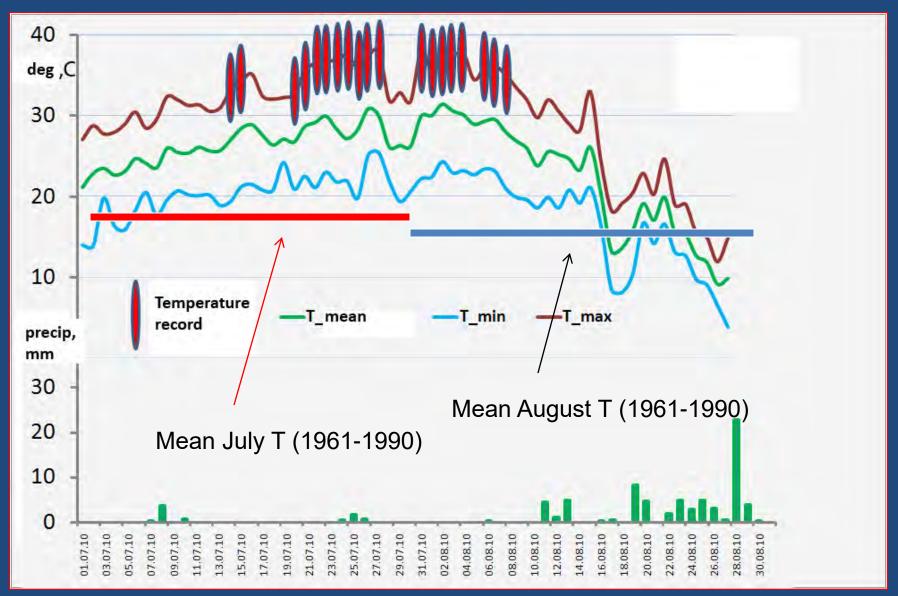
Luke Howard and The Climate of London



Luke Howard (1772-1864)



Рекорды температуры воздуха



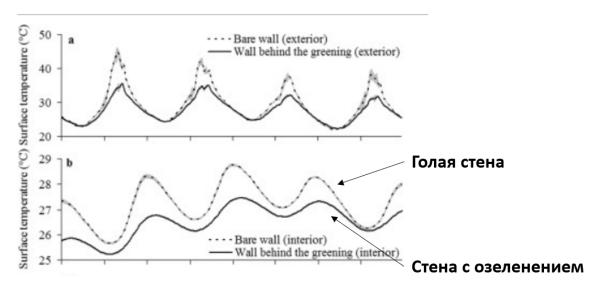
Холод ничуть не лучше

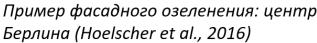


Как бороться? Отдельному городу

Решение путём озеленения

Некоторые города решают проблемы термического режима путём изменения городской инфраструктуры, а именно реализуя проекты по озеленению стен и крыш зданий.







Понять, поможет ли озеленение в каждом конкретном случае, может помочь метод «цифровых двойников»

или моделирования

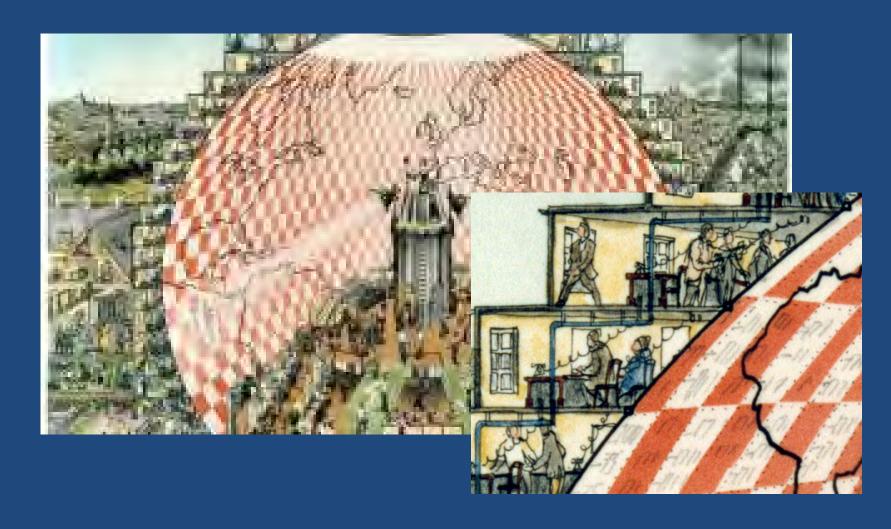
КАК МОДЕЛИРУЕТСЯ КЛИМАТ НА РАЗНЫХ МАСШТАБАХ?



....за физическое моделирование земного климата, количественный анализ вариаций и надежный прогноз глобального потепления. А также за открытие, того как беспорядок и флуктуации взаимодействуют в физических системах на масштабах от атомов до планет....

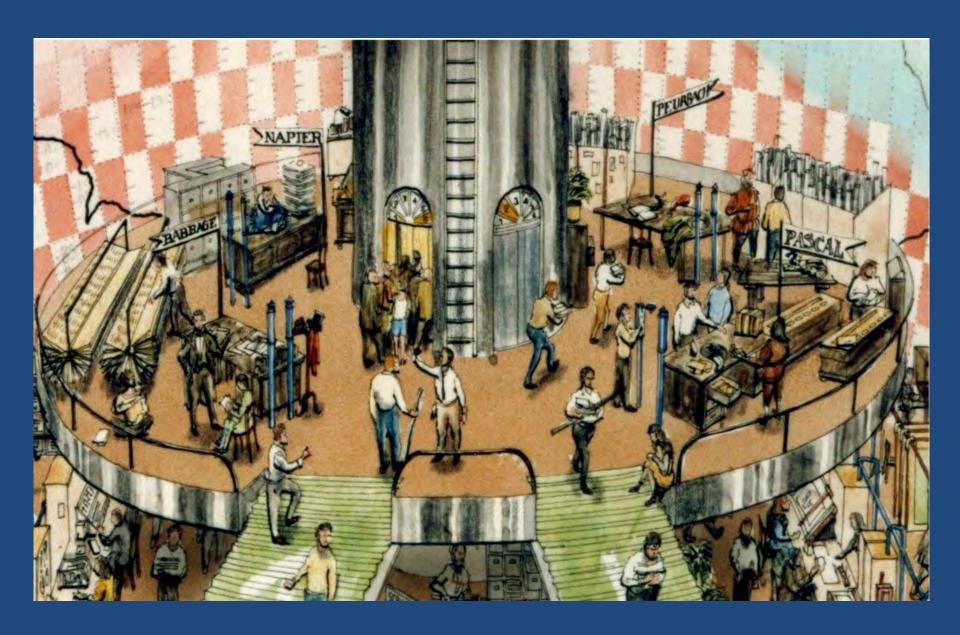
Так что же – климат начали моделировать впервые именно нобелевские лауреаты?

Давайте посмотрим!



In 1922 Richardson published a remarkable book, *Weather Prediction* by *Numerical Process*.

"Представьте большой зал, похожий на зрительный зал театра, однако ложи бенуара и амфитеатр идут точно по кругу и занимают то место, где обычно расположена сцена. Стены этого зала расписаны таким образом, чтобы представлять поверхность земли. Потолок представляет Северный полюс, Великобритания на галерке, тропики в бельэтаже, Австралия в районе нижнего гардероба, а Антарктика на полу. Над расчетом погоды на каждой точкой земли трудятся мириады вычислителей, однако каждый вычислитель решает только одно уравнение или даже часть уравнения. Работа целого региона координируется официальным лицом высокого ранга. Многочисленные индикаторы непрерывно отражают результаты вычислений таким образом, чтобы соседние компьютеры могли использовать их. Так последовательно выполняется полный расчет от севера к югу. На полу стоит громадная колонна, по вышине в половину всего зала, на ее вершине расположена кафедра. На этой кафедре восседает человек, который руководит всем театром, он окружен многочисленными помощниками и посланниками. Главная его обязанность состоит в том, чтобы поддержать скорость расчетов постоянной. Он очень похож на дирижера, однако вместо музыкантов он руководит многочисленными вычислительными машинами. И место палочки дирижера у него в руках лучевой указатель: он светит розовым на то, что должно быть посчитано прямо сейчас, и голубым на то, что будет посчитано сразу после."



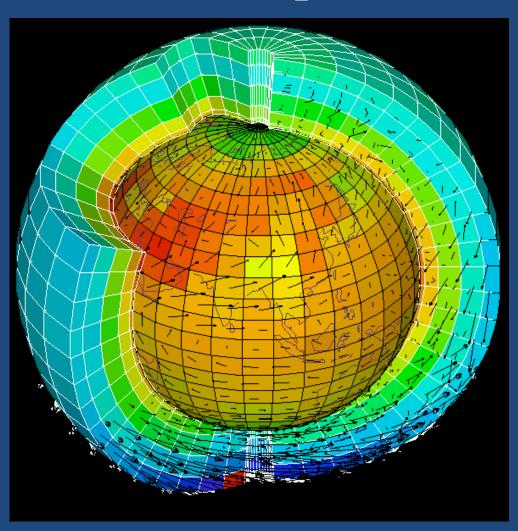
Так какова же точность хорошего прогноза погоды в последнее десятилетие (2010-2020)?

Точность прогнозов погоды:

на завтра на послезавтра на 3й день на неделю 96% 93% 90% 77%

Как же удалось этого добиться?

Основной метод: гидродинамическое моделирование атмосферы



То есть построение такой виртуальной реальности в центре которой все процессы в Атмосфере, геосфере, биосфере, Гидросфере и криосфере)

Вот оно – то самое моделирование погоды и климата!

С помощью... суперкомпьютеров



Суперкомпьютер МГУ «Ломоносов»

То есть численное решение системы уравнений

Basic Equations

Conservation of momentum:

$$\frac{\partial \vec{V}}{\partial t} = -(\vec{V} \cdot \nabla)\vec{V} - \frac{1}{\rho}\nabla p - \vec{g} - 2\vec{\Omega} \times \vec{V} + \nabla \cdot (k_{\text{m}}\nabla\vec{V}) - \vec{F}_d$$

Conservation of energy:

$$\rho c_{\sigma} \frac{\partial T}{\partial t} = -\rho c_{\sigma} (\vec{V} \cdot \nabla) T - \nabla \cdot \vec{R} + \nabla \cdot (k_{r} \nabla T) + C + S$$

Conservation of mass:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = -(\vec{V} \cdot \nabla)\rho - \rho(\nabla \cdot \vec{V})$$

Conservation of H₂O (vapor, liquid, solid):

$$\frac{\partial q}{\partial t} = -(\vec{V} \cdot \nabla)q + \nabla \cdot (k_{s}\nabla q) + S_{q} + E$$

Equation of state:

$$p = \rho R_d T$$

V = velocity

T = temperature

p = pressure

 $\rho = density$

q = specific humidity

g = gravity

 Ω = rotation of earth

 $F_d = drag$ force of earth

R = radiation vector

C = conductive heating

 c_p = heat capacity, const. p

 \vec{E} = evaporation

S = latent heating

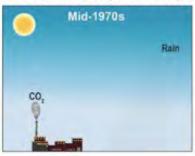
 S_q = phase-change source

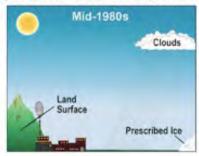
k = diffusion coefficients

 $R_d = dry air gas constant$

Эволюция климатических моделей (от 1970 до наших дней)

The World in Global Climate Models











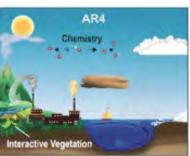


Figure 1.2

Похоже на эволюцию графики в компьютерных играх



НАСКОЛЬКО ЭТОМУ МОЖНО ВЕРИТЬ?

«Тихая революция в прогнозах погоды»

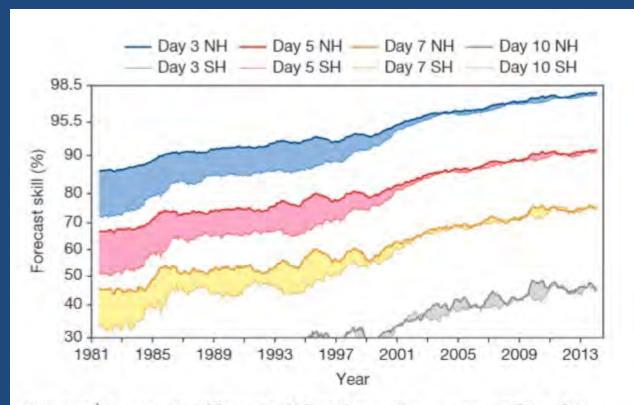


Figure 1 | A measure of forecast skill at three-, five-, seven- and ten-day ranges, computed over the extra-tropical northern and southern hemispheres. Forecast skill is the correlation between the forecasts and the verifying analysis of the height of the 500-hPa level, expressed as the anomaly with respect to the climatological height. Values greater than 60% indicate useful forecasts, while those greater than 80% represent a high degree of accuracy. The convergence of the curves for Northern Hemisphere (NH) and Southern Hemisphere (SH) after 1999 indicates the breakthrough in exploiting satellite data through the use of variational data 100.

Bauer, Nature 2015

Вариант 2:

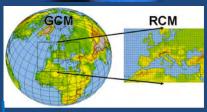
Оценка на уровне отдельных районов города

Что получаем в итоге:
Ответ на вопрос «Если застроим вот здесь, что произойдет с другими районами? »

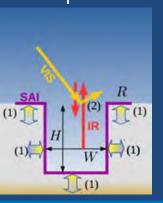
Возможности подхода:

Региональная климатическая модель (COSMO-CLM)





Параметризация городской поверхности



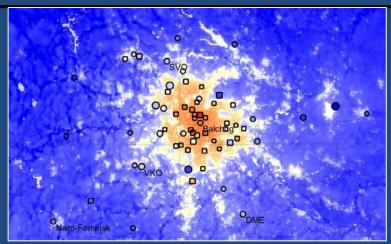
Параметры городской среды



Суперкомпьютерные вычисления

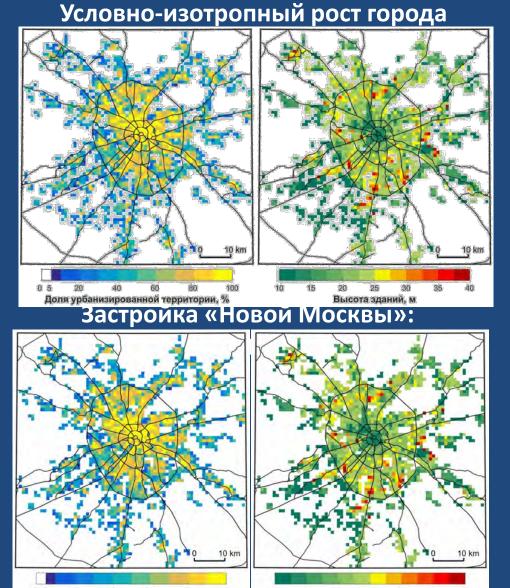


Моделирование метеорического режима мегаполиса с шагом по пространству 1 км – 500 м, анализ сценариев изменения застройки и планировки города



Остров тепла Москвы летней ночью по данным моделирования с шагом сетки 500 м и наблюдений

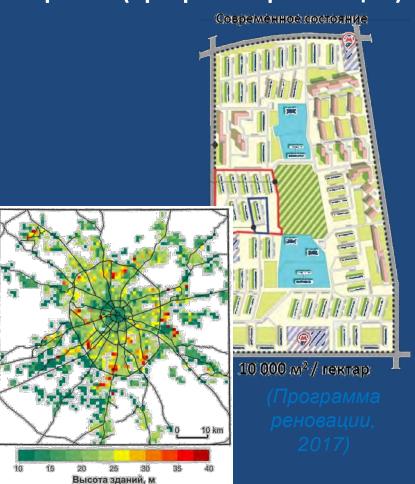
Пример: сценарии расширения Москвы



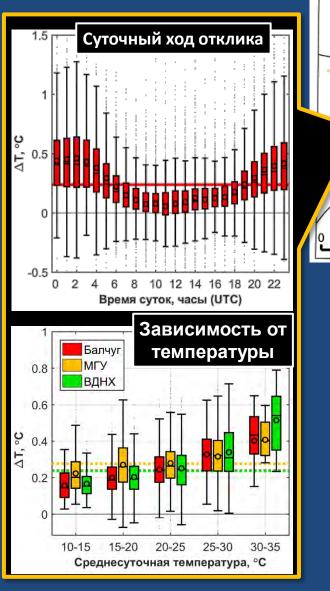
Высота зданий, м

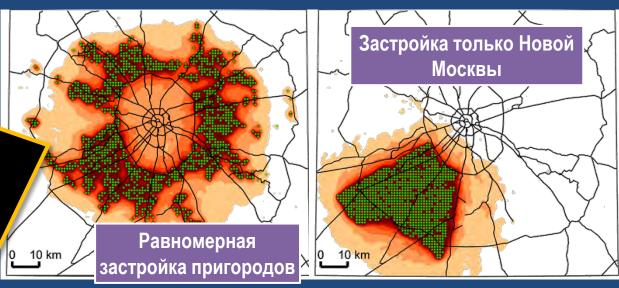
Доля урбанизированной территории. %

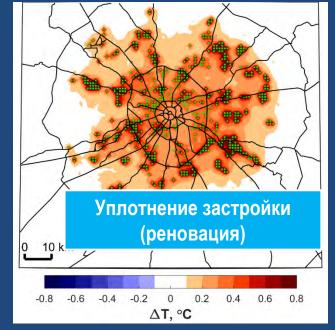
Повышение этажности и уплотнение застройки (программа реновации):



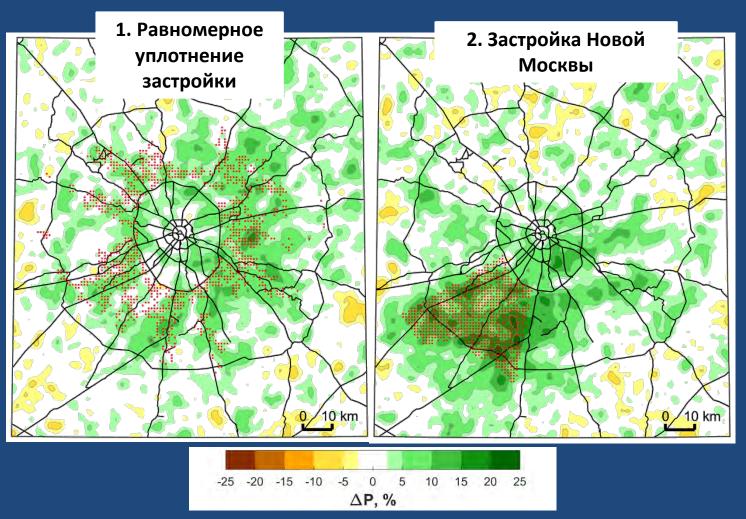
Отклик летнего термического режима







Отклик летних сумм осадков



Отклик средней летней суммы осадков за 2007-2016 гг. на реализацию сценариев 1 и 2 относительно условий современного города (URB):

$$\Delta P = (P_i - P_{URB})/P_{URB}) \cdot 100\%$$

Вариант 3:

Оценка на уровне отдельных микрорайонов (ENVi_MET)

Что получаем в итоге:
Ответ на вопрос «Нужны ли именно здесь деревья и что они дают?
А зеленые крыши? » и.т.д.

Микроклиматический модельный комплекс ENVI-met



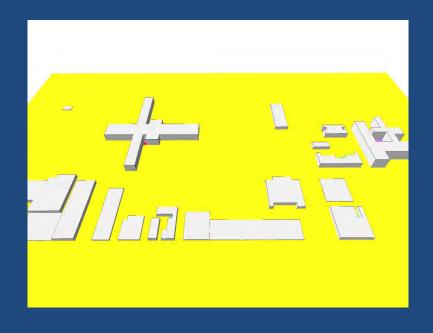
ENVI-met - это трехмерная негидростатическая микроклиматическая модель, разработанная в 1994 году при Университете Майнца в Германии. Достоинство модели моделирование взаимодействий между атмосферой, почвой, растительностью и зданиями на микроуровне (0.5-100 м).

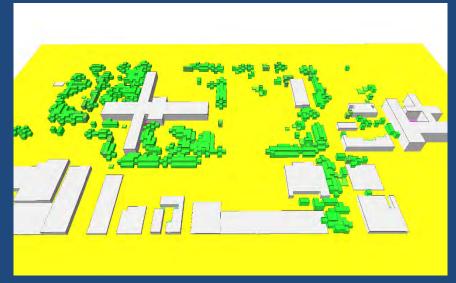
Основными прогностическими переменными программы являются скорость и направление ветра, температура и влажность воздуха, турбулентность, радиационные потоки, биоклиматология и дисперсия газа и частиц.

Пример: влияние деревьев в Москве в 2010 году. Район РУДН

Территория РУДН без деревьев

Территория РУДН с деревьями





Причем оценим эффект именно влияния на человека (а не на температуру воздуха)

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.

ГРАДАЦИИ ДИСКОМФОРТА

Индекс РЕТ	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		177.5
	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

Известный пример моделирования вымышленных городов

"The King's Landing Effect"

or

transforming social inequalities into environmental problems on an example of urban climate of a fantasy city

Imaginary city King's Landing



http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Dubrovnik_crop.jpg

King's Landing - Game of Thrones



Dubrovnik, Croatia



Model Setup

Domain: 10.1 km x 7.6 km x 0.5 km

Resolution: 60 m horizontal, 10-50 m vertical

Grid points: 168x126x25

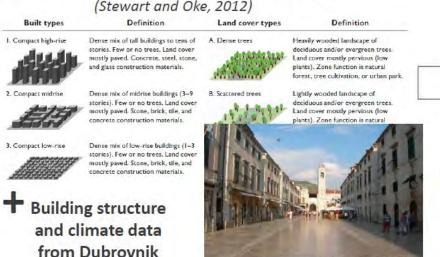
Land use: 14 classes Max elevation: 100 m

16 idealized simulations, 24 h duration, two wind directions (NW and SE) for low and high wind speed,

temperature and relative humidity conditions.

Local Climate Zone (LCZ) classification system

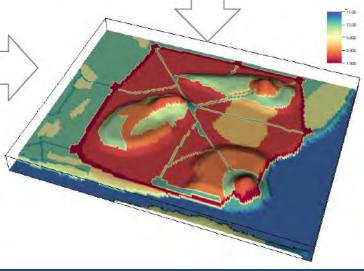
(Stewart and Oke, 2012)



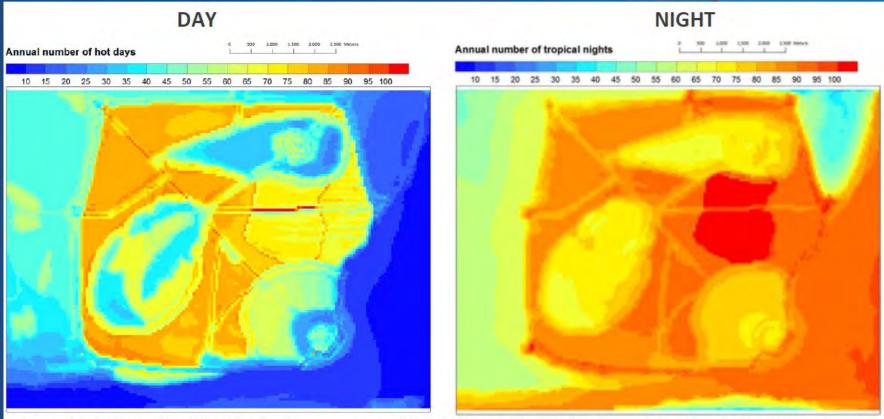
tp://static.panoramio.com/photos/original/371519.j



Map digitalization



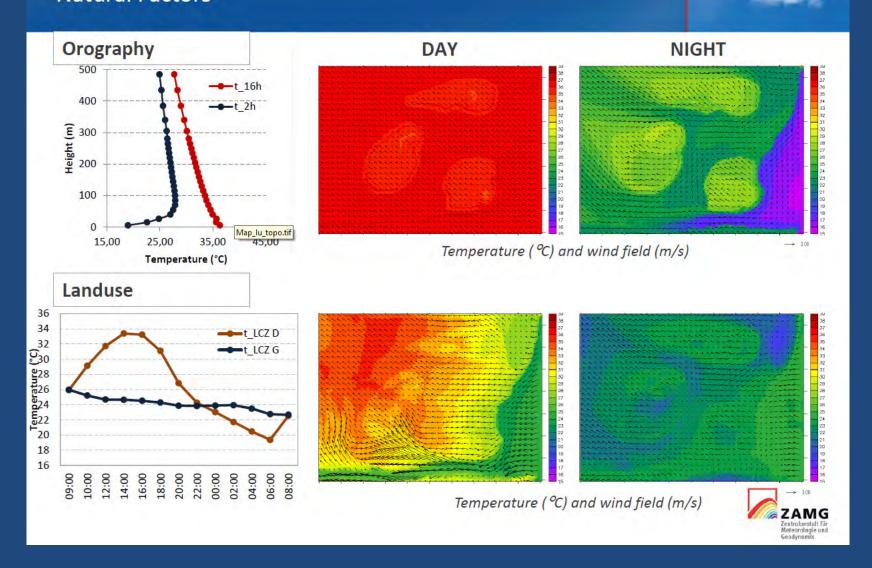
Model results for King's Landing



Day: high heat load in the built-up area within the walls, higher head load values towards inland

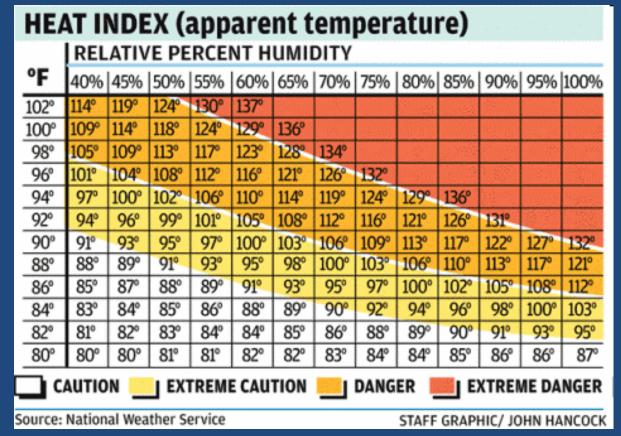
Night: high heat load towards sea and maximum heat load in the area of the poor

Natural Factors



... ИНДЕКСАХ КОМФОРТНОСТИ..

Example: Heat stress



This is an example of a heat stress index. Note that it is a derived apparent temperature that accounts for the combined effect of just two variables, air temperature and relative humidity.

Heat Index = -42.379 + 2.04901523T + 10.14333127R - 0.22475541TR - 6.83783 x 10⁻³T² - 5.481717 x 10⁻²R² + 1.22874 x 10⁻³T²R + 8.5282 x 10⁻⁴TR² - 1.99 x 10⁻⁶T²R²

Example: Cold stress



									Tem	pera	ture	(°F)							
	Calm	40	35	30	25	20	15	10	5	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-45
	5	36	31	25	19	13	7	1	-5	-11	-16	-22	-28	-34	-40	-46	-52	-57	-63
	10	34	27	21	15	9	3	-4	-10	-16	-22	-28	-35	-41	-47	-53	-59	-66	-72
	15	32	25	19	13	6	0	-7	-13	-19	-26	-32	-39	-45	-51	-58	-64	-71	-77
	20	30	24	17	11	4	-2	-9	-15	-22	-29	-35	-42	-48	-55	-61	-68	-74	-81
(h	25	29	23	16	9	3	-4	-11	-17	-24	-31	-37	-44	-51	-58	-64	-71	-78	-84
(mph)	30	28	22	15	8	1	-5	-12	-19	-26	-33	-39	-46	-53	-60	-67	-73	-80	-87
ē	35	28	21	14	7	0	-7	-14	-21	-27	-34	-41	-48	-55	-62	-69	-76	-82	-89
Wind	40	27	20	13	6	-1	-8	-15	-22	-29	-36	-43	-50	-57	-64	-71	-78	-84	-91
	45	26	19	12	5	-2	-9	-16	-23	-30	-37	-44	-51	-58	-65	-72	-79	-86	-93
	50	26	19	12	4	-3	-10	-17	-24	-31	-38	-45	-52	-60	-67	-74	-81	-88	-95
	55	25	18	11	4	-3	-11	-18	-25	-32	-39	-46	-54	-61	-68	-75	-82	-89	-97
	60	25	17	10	3	-4	-11	-19	-26	-33	-40	-48	-55	-62	-69	-76	-84	-91	-98
Frostbite Times 30 minutes 10 minutes 5 minutes																			
Wind Chill (°F) = 35.74 + 0.6215T - 35.75(V ^{0.16}) + 0.4275T(V ^{0.16})																			
	Where, T= Air Temperature (°F) V= Wind Speed (mph) Effective 11/01/01																		

This is a wind chill chart. It presents a 'wind chill' temperature that accounts for the joint effect of air temperature (below freezing) and wind, which enhances heat loss.

Эквивалентно-эффективная температура (ЭЭТ°).

• По А.Миссенарду:

$$ET = 37^{\circ}\text{C} - \frac{37^{\circ}\text{C} - T}{0.68 - 0.0014f + \frac{1}{1.76 + 1.4V^{0.75}} - 0.29T(1 - \frac{f}{100})}$$

• По Б.А. Айзенштату:

$$\begin{aligned}
& = T[1 - 0,003(100 - f)] \\
& - 0,385v^{0.59}[(36,6 - T) + 0,622(V - 1)] \\
& + [(0,0015V + 0,008)(36,6 - T) - 0,0167](100 - f)
\end{aligned}$$



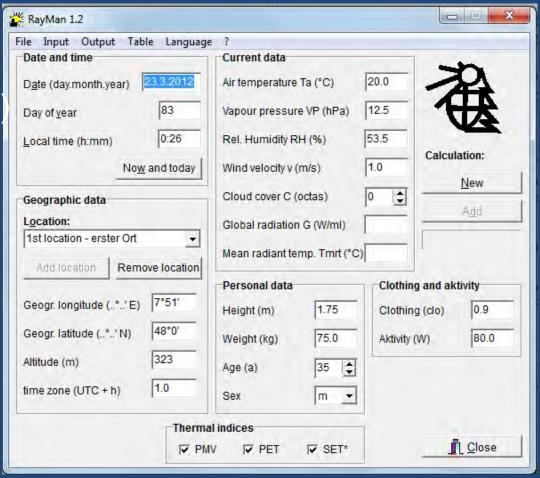




PET index derived from Rayman model (Matzarakis, Rutz, Mayer)







- Matzarakis, A., Rutz, F. (2005) Application of RayMan for tourism and climate investigations. Annalen der Meteorologie 41: Vol. 2, 631-636.
- 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.
- Matzarakis, A., Rutz, F., Mayer, H. (2007) Modelling Radiation fluxes in simple and complex environments Application of the RayMan model. Int. J. Biomet. 51: 323-334.

MONDAY PUNDAY



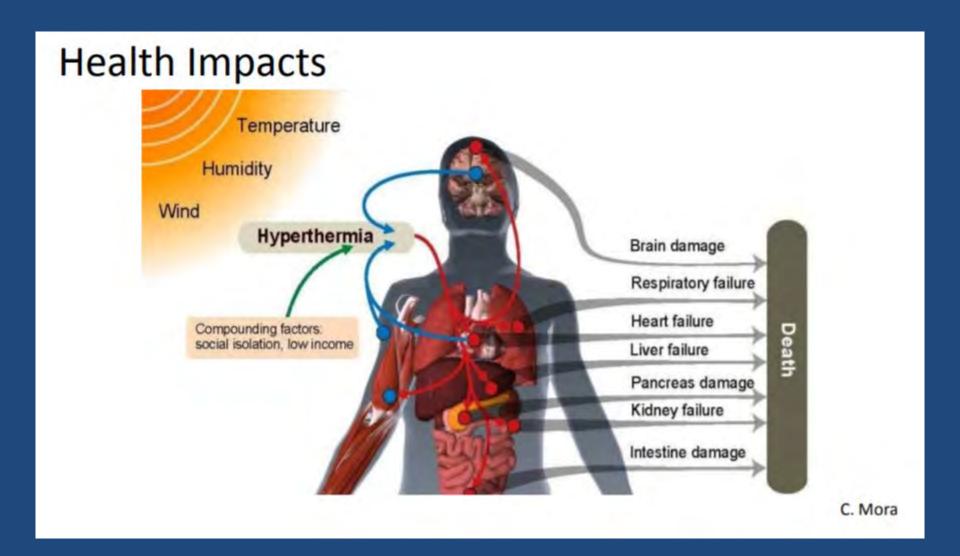
сложные. (как углеводы)

@ GEMMA CORRELL / www.gemmacorrell.com

joyreactor.cc

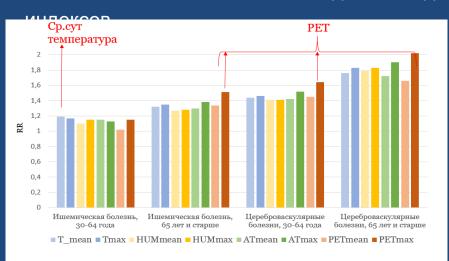
Помимо простых индексов существуют также более

Влияние на организм



На основе моделей теплового баланса человека

1) **PET** (Physiologically Equivalent Temperature) (Höppe, 1984) – физиологически эквивалентная температура. Параметр определяется как мера теплоощущения человека, находящегося в состоянии спокойствия. На сегодняшний день PET считается одним из наиболее популярных



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

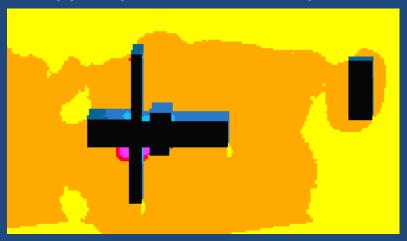
РЕТ показывает наибольшие значения по методу максимизации относительных рисков (RR) во время аномально-жаркой погоды, поэтому является основным предиктором смертности (Shartova et al., 2018).

(Universal Thermal Climate Index) (Jendritzky et al., 2012) -универсальный тепловой индекс климата. В отличие от РЕТ данный параметр рассчитывается обязательным учётом воздействия ветра, есть предполагается, ЧТО происходит в окружающую среду движения человека.

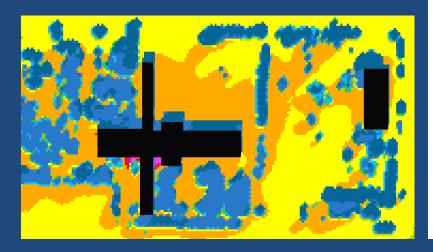
ОТ ТЕОРИИ – К ПРАКТИКЕ!

Пример: влияние деревьев в Москве. 13 июля 2010 года 13:00

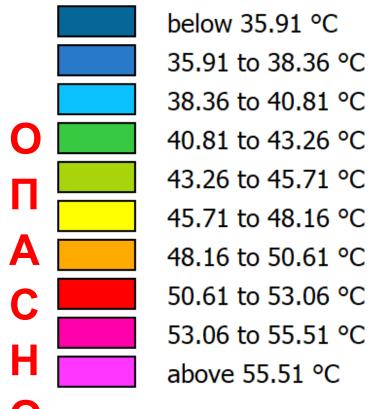
Территория РУДН без деревьев



Территория РУДН с деревьями



ИНДЕКС ТЕПЛОВОГО СТРЕССА



Пример: влияние деревьев в Москве. 13 июля 2010 года 19:00 (волна жары)

Территория РУДН без деревьев



Территория РУДН с деревьями



Экстремальный тепловой стресс

Сильный тепловой стресс

А если этот стресс длится >3 часов, то это уже увеличение смертности!

טכ.כד שעטעג

ПРОЩЕ ГОВОРЯ:

Правильная планировка города в летний период в условиях изменения климата

МОЖЕТ СПАСАТЬ ЖИЗНИ ГОРОЖАН!

2010 год в Москве по дискомфортности

На основе анализа данных о количестве часов, когда наблюдается тепловой стресс в среднем по округам, можно сделать вывод, что этот феномен более выражен в **Центральном и Юго-Восточном округах**, а также в **Южном округе**, в то время как более отдаленные территории обладают более благоприятными условиями — это **Новомосковский**, **Троицкий и Зеленоградский округа**.

Топ рейтинг районов Москвы с количеством часов **PET >41** в период волны жары в Москве в 2010 году

Количество часов	Район	Округ
305	Печатники	ЮВАО
303	Даниловский	ЮАО
302	Замоскворечье	ЦАО
300	Южнопортовый	ЮВАО
299	Текстильщики	ЮВАО

Топ рейтинг районов Москвы с количеством часов **PET >35** в период волны жары в Москве в 2010 году

Количество часов	Район	Округ			
588	Печатники	ЮВАО			
588	Даниловский	ЮАО			
587	Замоскворечье	ЦАО			
586	Дорогомилово	3AO			
585	Якиманка	ЦАО			

Топ рейтинг районов Москвы с количеством часов **PET>29** в период волны жары в Москве в 2010 году

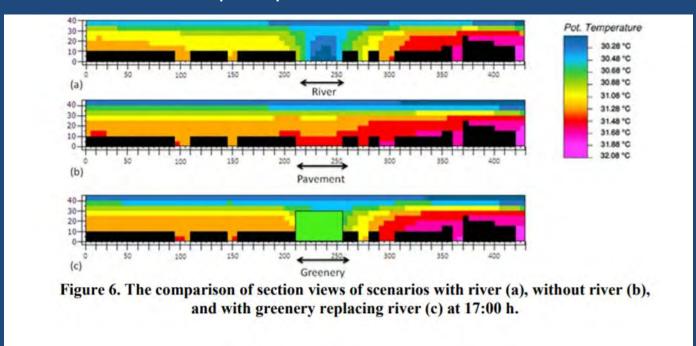
Количество часов	Район	Округ			
776	Дорогомилово	3AO			
772	Замоскворечье	ЦАО			
772	Пресненский	ЦАО			
772	Якиманка	ЦАО			
772	Даниловский	ЮАО			

Топ рейтинг районов Москвы с количеством часов **PET 13-29** в период волны жары в Москве в 2010

Количество часов	Район	Округ
720	Сосенское	HAO
719	Филимонковское	HAO
716	Внуковское	HAO
715	Молжаниновский	CAO
714	Первомайское	TAO

А можно ли имитировать влияние водных объектов? Конечно!

Пример: Малайзийское исследование



ENVI- MET SIMULATION ON COOLING EFFECT OF MELAKA RIVER Golnoosh Manteghi1*, Hasanuddin Lamit1, Dilshan Remaz1, Ardalan Aflaki2 International Journal of Energy and Environmental Research Vol.4, No.2, pp.7-15, May 2016 2016

Пример: опасность ураганного ветра на масштабе микрорайона

Скорость ветра на уровне 1.5 метра над землей 22 апреля 2020



итог:

Каждый проект озеленения или перепланировки может быть оценен с точки зрения изменения микроклимата и термического комфорта для населения

СОВРЕМЕННЫМИ МЕТОДАМИ

прогнозы будущего!



в японской версии прогноза погоды Яху! пишет не только температуру, но и данные о том, какая одежда подойдёт, можно ли сушить бельё, про ультрафиолет и шкалу... желания выпить пива: «пусть на улице и не жарко, но пиво всё равно вкусное», «эх, сейчас бы холодного пивка...».

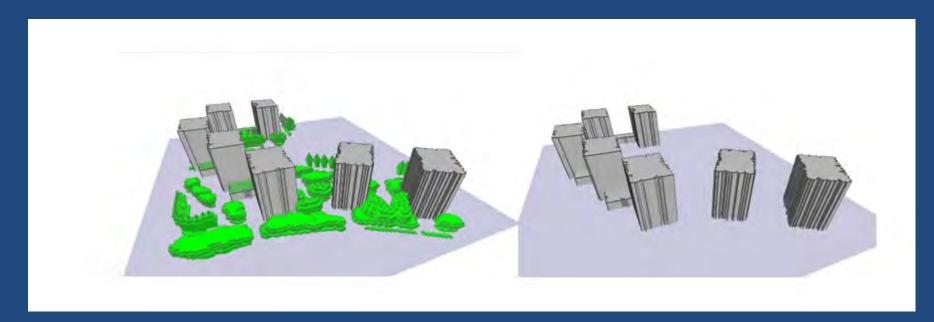
			Yahoo! JAPAN広	6 F	16日(日)		6月17日(月)
6月9日(目)			6月10日(月)		湿 ~ ~ ~ ~		絶好の洗濯日和になり
洗濯	***		部屋干しか乾燥機にしまし	\$	***	+	折り畳み傘を忘れず(
傘	***	1	絶対傘を忘れずに	外線	* * * *	VIII.	サングラスで目の保証
紫外線	** - W W	/r sw//	敏感な人は軽めの対策を	ね着	4440	45	Tシャツー枚でもかた
重ね着熱中症	8888	0.0	脱ぎ着しやすい薄手の服装 適度な水分補給を行いまし	W. 169	(2) (2) (3) (3)	19	のどの渇きに気づく 補給を
ビール			暑くなくてもビールはうま	-JL		8	冷たいビールが飲みフ

пример:

Для модельного эксперимента был выбран теплый и солнечный летний день 13 июля 2010 года

Территория Проекта «зеленая»

Территория «неозелененная»



Температура воздуха: +26...+30 градусов

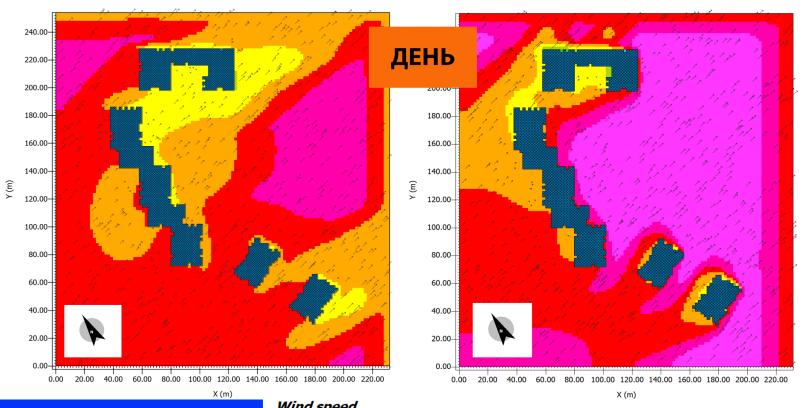
Скорость ветра: 1-3 м/с

Относительная влажность: 32-44%

Температура воздуха на уровне 1 метр



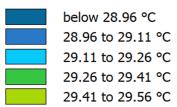
«Неозелененный» сценарий

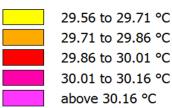


Температура воздуха и скорость ветра 13 июля 2010 15:10

Wind speed

- + 0.80 m/s
- 1.60 m/s
- 2.40 m/s
- 3.20 m/s
- 4.00 m/s





ГЛАВНОЕ! оцениваем эффект именно влияния на человека (а не на температуру воздуха)

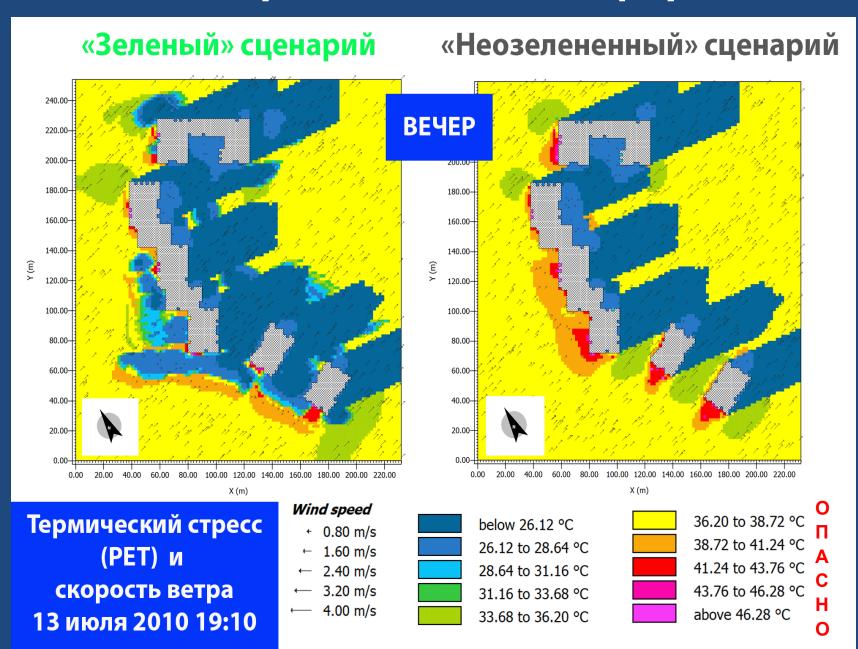
Физиологическая- эквивалентная температура (PET) - температура воздуха, при которой для обычных комнатных условий тепловой баланс человеческого тела остается неизменным со значениями температуры внутренних органов и температуры кожи для данной ситуации.

Actual room The state exchange by radiation: R=R' The state exchange by radiation: R=R' The state exchange by radiation: R=R' The state exchange by radiation is R=R'

ГРАДАЦИИ ДИСКОМФОРТА

Индекс РЕТ	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		

Условия термического комфорта 19:00

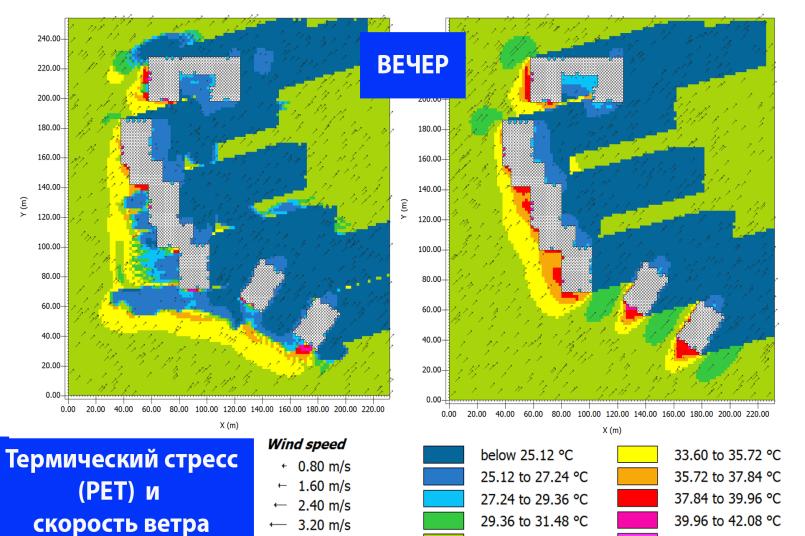


Условия термического комфорта 20:00



13 июля 2010 20:00

«Неозелененный» сценарий



4.00 m/s

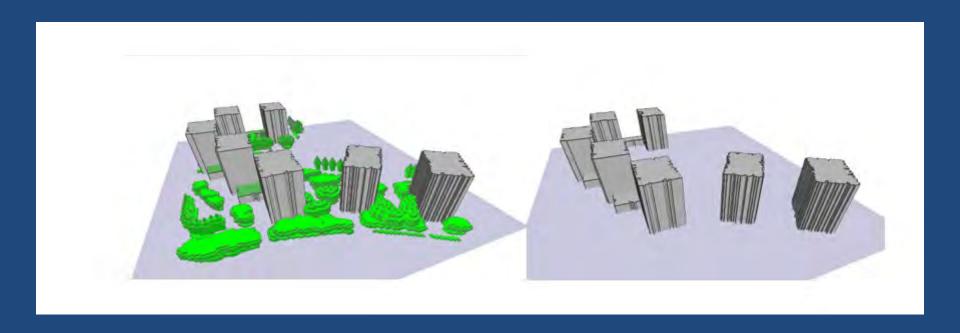
31.48 to 33.60 °C

above 42.08 °C

В среднем по территории:

Параметр/сценарий	Временной срез 13 июля 2010 года				
Температура воздуха °С	15:00	19:00	20:00		
«Зеленый» сценарий	30,0	28,0	27,2		
« <u>Неозелененный</u> » сценарий	30,1	28,1	27,4		
Параметр термического стресса РЕТ °С	15:00	19:00	20:00		
«Зеленый» сценарий	42,3	32,7	29,2		
« <u>Неозелененный</u> » сценарий	44,4	34,2	29,6		

2 градуса разницы! Это много или мало?

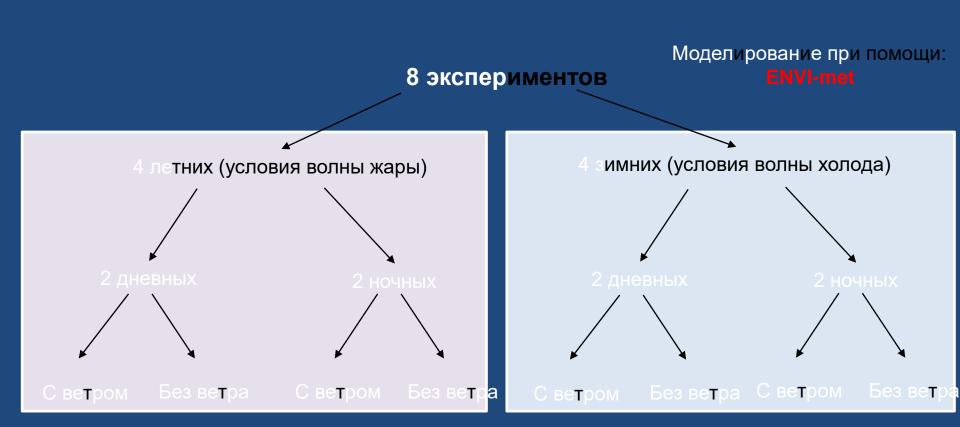


ПРИМЕР 2:

ОЦЕНКА ХАРАКТЕРИСТИК ВЕНТИЛЯЦИИ ЗАСТРОЙКИ

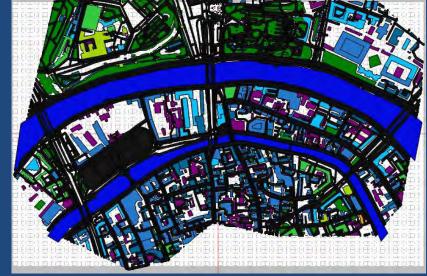
- Москва: разнородная застройка, большая численность населения
- Условия продувания определяют сток вредных примесей в атмосфере и влияют на биоклиматическую комфортность -> прямое влияние на здоровье населения
- Цель: проанализировать как различные погодные условия и застройка влияют на поле ветра и индексов комфортности

Постановка эксперимента



Территория исследования

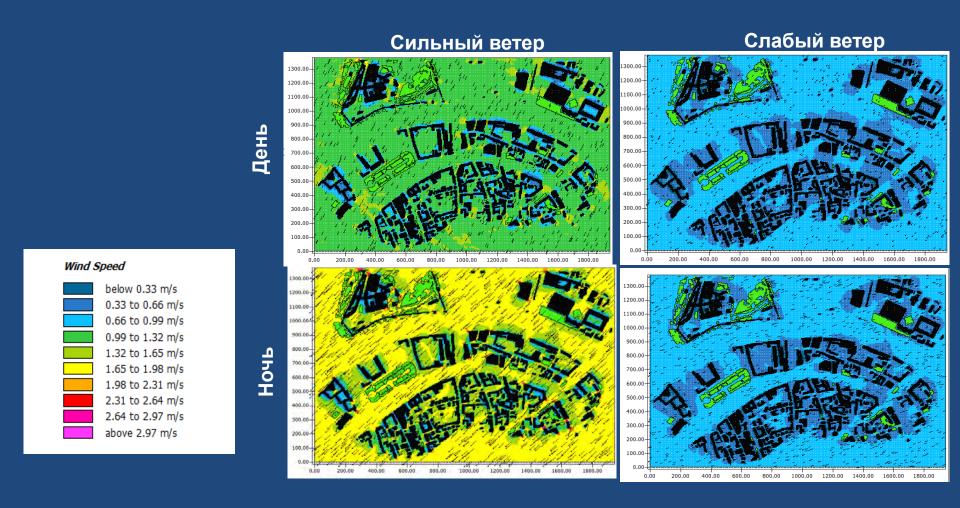




Карта центра Москвы

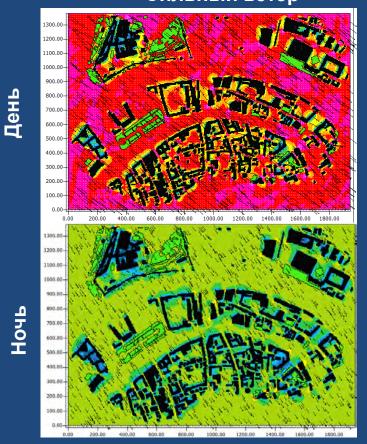
Оцифрованная в Monde исследуемая территория

Результаты: зимние эксперименты



Летние





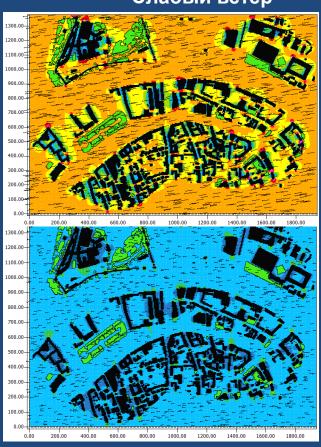
Wind Speed

below 0.33 m/s 0.33 to 0.66 m/s 0.66 to 0.99 m/s

0.99 to 1.32 m/s

1.32 to 1.65 m/s 1.65 to 1.98 m/s 1.98 to 2.31 m/s 2.31 to 2.64 m/s 2.64 to 2.97 m/s above 2.97 m/s

Слабый ветер



Комфортность лето, РЕТ

Сильный ветер

Слабый ветер

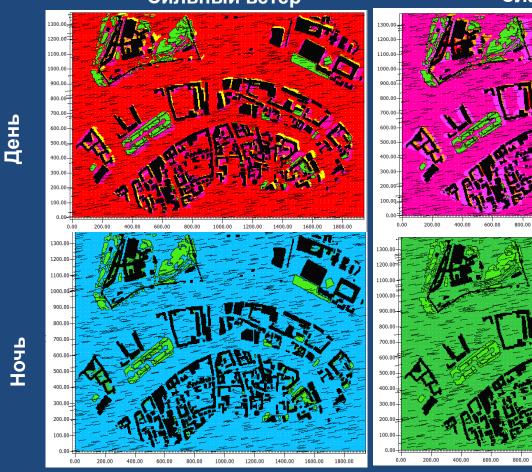
1000.00

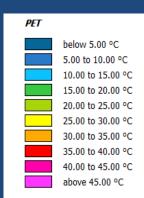
1000.00

1200.00 1400.00 1600.00

1200.00

1400.00 1600.00 1800.00



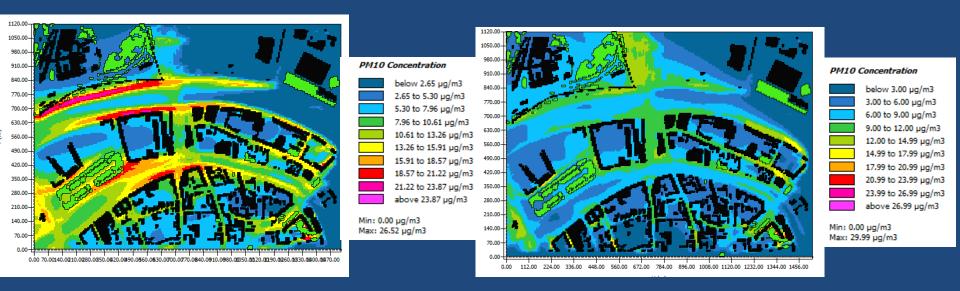


Осредненные значения скорости ветра по разным LCZ в различные экспериментальные периоды

	зима				лето			
	ночь		день		ночь		день	
LCZ								
								слабый
	с ветром	без ветра	с ветром	без ветра	с ветром	без ветра	с ветром	ветер
	06.01-	08.01-			18.06-	07/06-		
Дата	07.01	09.01	07.янв	08.янв	19.06	08/06	18.июн	20.июн
2	1,36	0,55	0,96	0,54	1,2	0,73	2,15	1,64
4	1,61	0,64	1,21	0,64	1,41	0,86	2,51	1,91
5	1,37	0,56	0,98	0,55	1,1	0,74	1,97	1,66
8	1,47	0,58	1,08	0,61	2,6	0,77	2,2	1,73
15	1,73	0,68	1,28	0,69	1,45	0,91	2,59	2,05

Загрязнение мелкодисперсными частицами

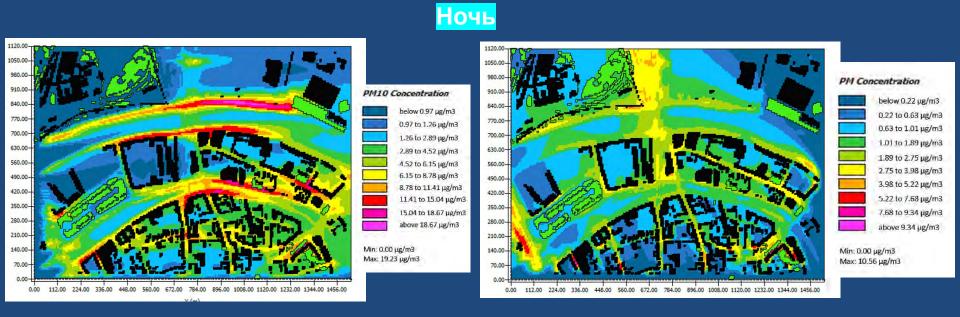
День



Жаркий безветренный день

Жаркий ветреный день

Результаты: эксперимент с загрязнением



Жаркая безветренная ночь

Жаркая ветреная ночь

ПРИМЕР 3:

Создание прототипа системы прогноза опасных скоростей ветра





Для небольшого региона создается база данных опасных порывов ветра

Создание карты на основе компьютерного языка JavaScript.

Использование геоинформационного сервиса EverGIS Online.

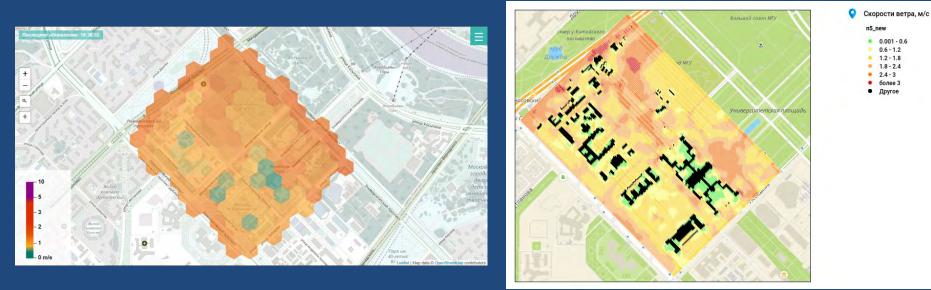


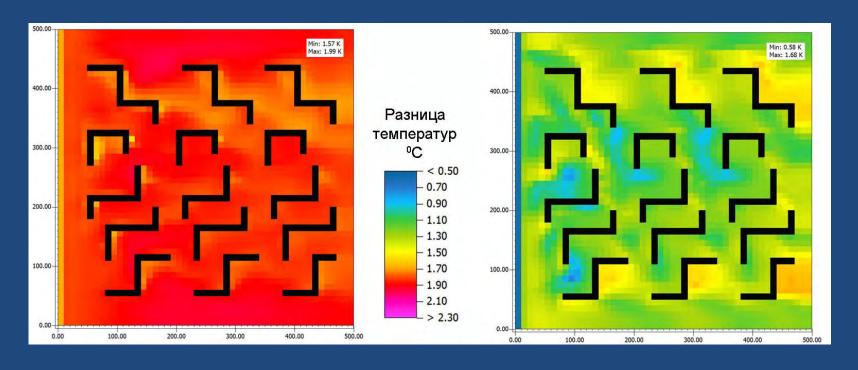
Рис. 26. Интерактивная карта, созданная в JavaScript, Рис. 27. Интерактивная карта на сервисе на 7 июня 03:00 МСК. EverGIS Online на 7 июня 03:00 МСК.

ПРИМЕР 4:

ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ В АРХИТЕКТУРНОЙ СРЕДЕ И ЕЕ БИОКЛИМАТИЧЕСКАЯ КОМФОРТНОСТЬ

Мягков М.С. Московский архитектурный институт (государственная академия), Москва, Россия

Алексеева Л.И. Географический факультет МГУ имени. М.В.Ломоносова, Москва, Росс<u>ия</u>

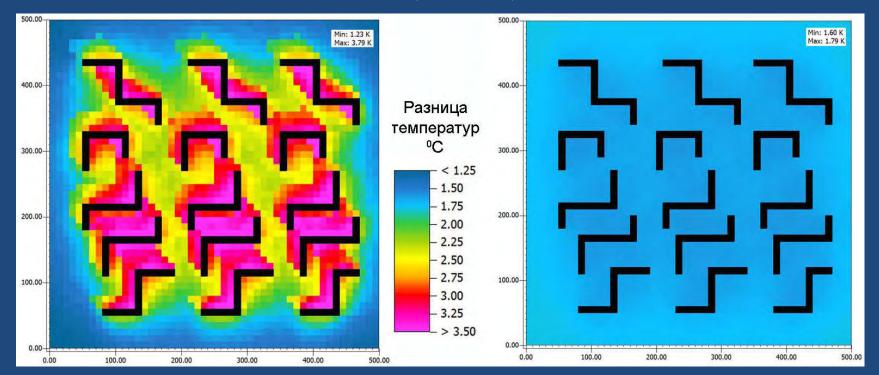


Моделирование приращения температуры воздуха в приземном слое: за счет ФЭУ а) в 05 часов; б) в 12 часов

ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ В АРХИТЕКТУРНОЙ СРЕДЕ И ЕЕ БИОКЛИМАТИЧЕСКАЯ КОМФОРТНОСТЬ

Мягков М.С. Московский архитектурный институт (государственная академия), Москва, Россия

Алексеева Л.И. Географический факультет МГУ имени. М.В.Ломоносова, Москва, Россия



Моделирование приращения радиационной температуры в приземном слое: за счет ФЭУ а) в 05 часов; б) в 12 часов

ПРИМЕР 5:

Оценка «полезности» нового парка в будущем (г. Череповец)



Так он выглядит на картах



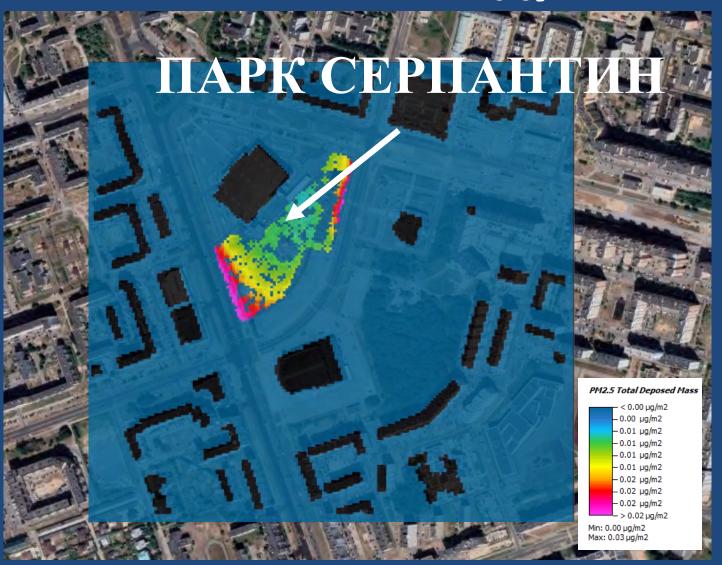
В его современном состоянии



«Когда деревья станут большими»



Деревья станут и природным очистителем воздуха



И даже защитой от ветра в мороз

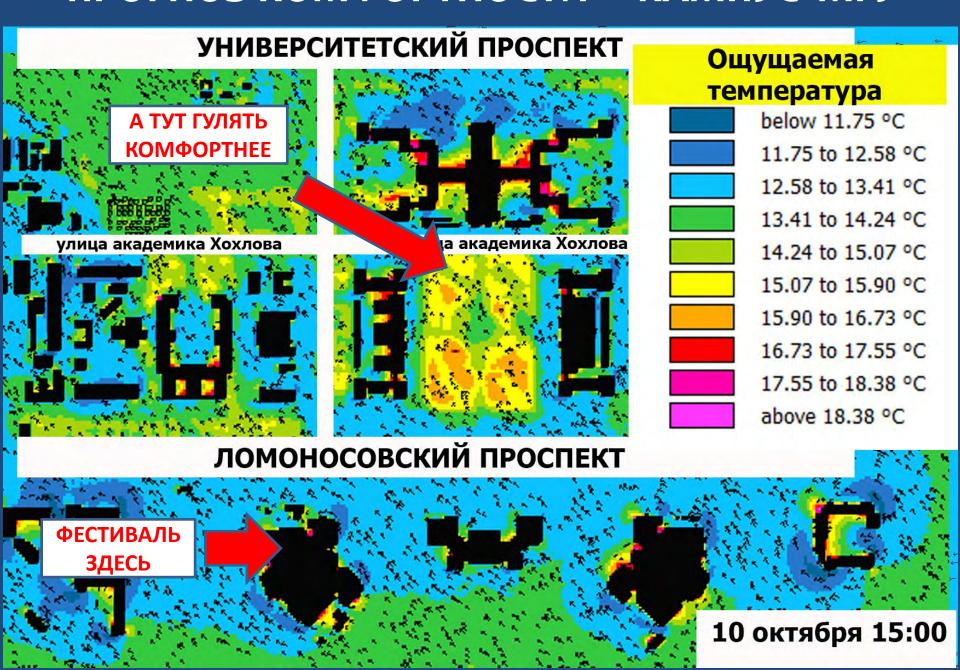


Пример 6

NAUKA ©+

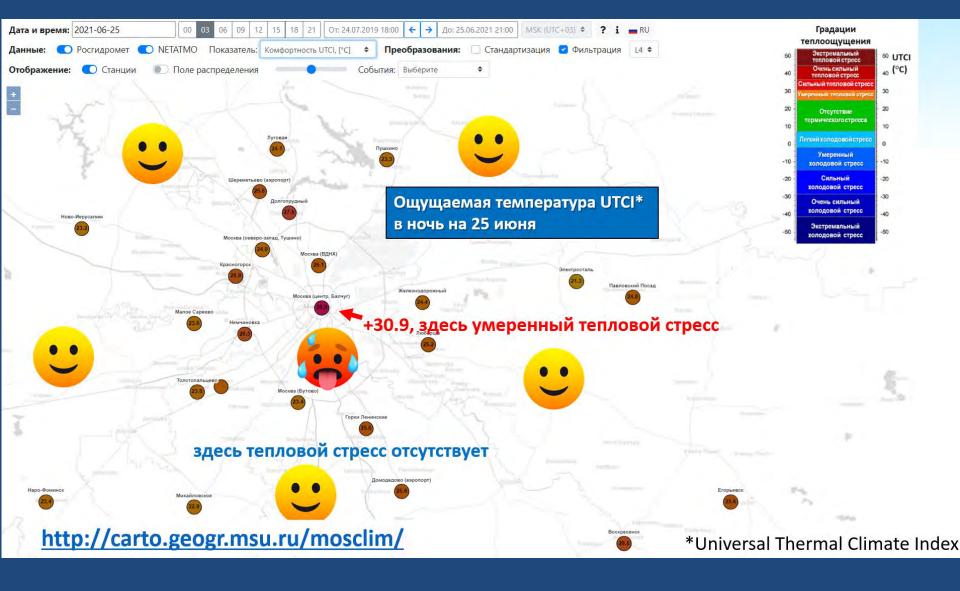


ПРОГНОЗ КОМФОРТНОСТИ - КАМПУС МГУ

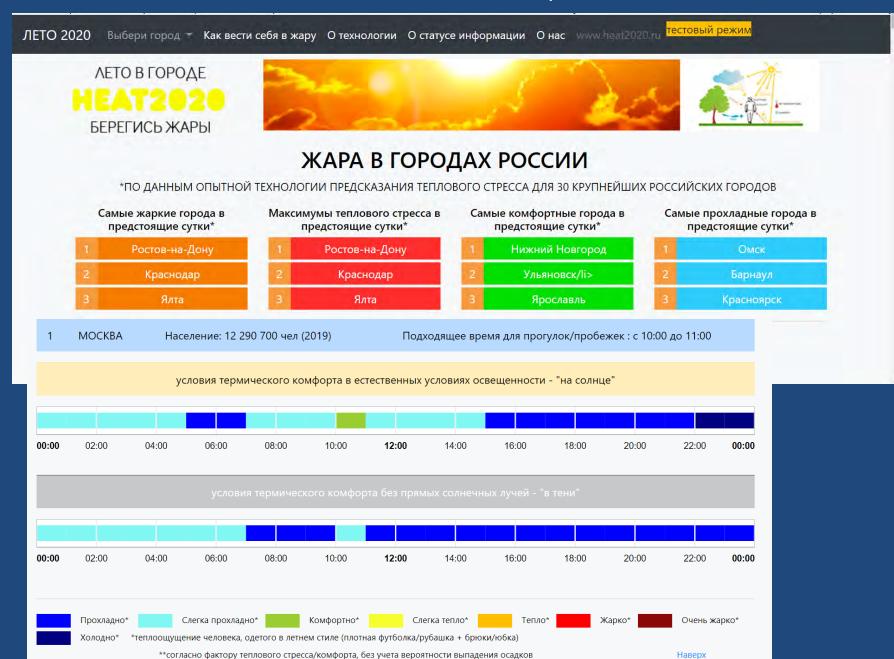


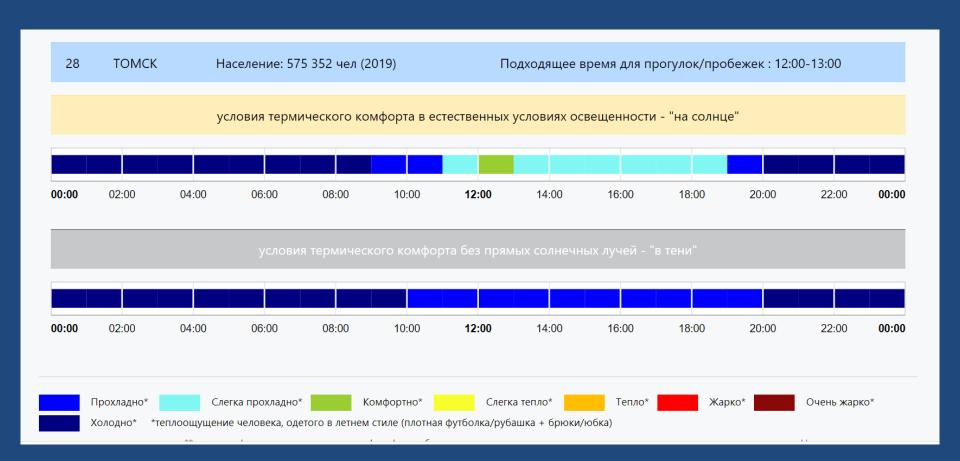
Что еще можно посмотреть?

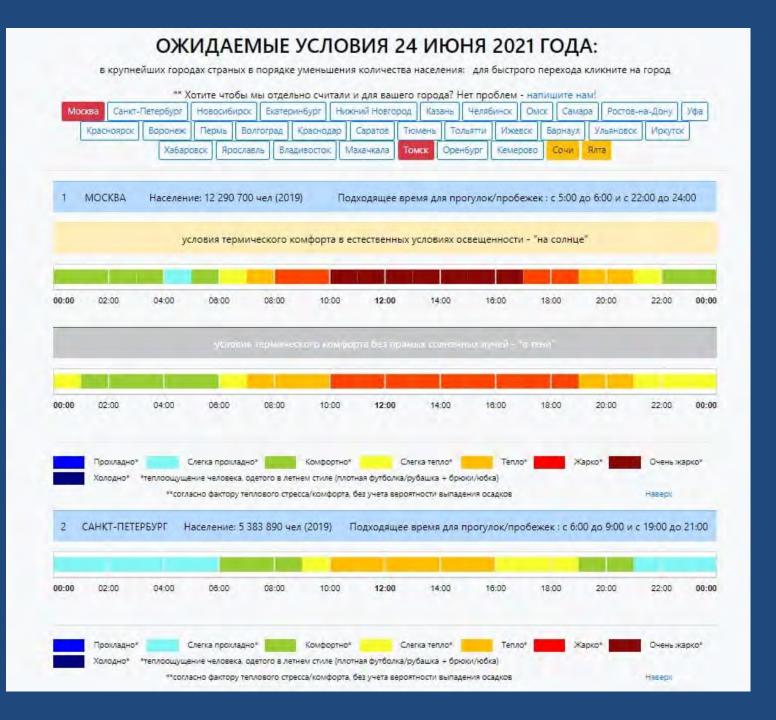
Разработка для Московской области:

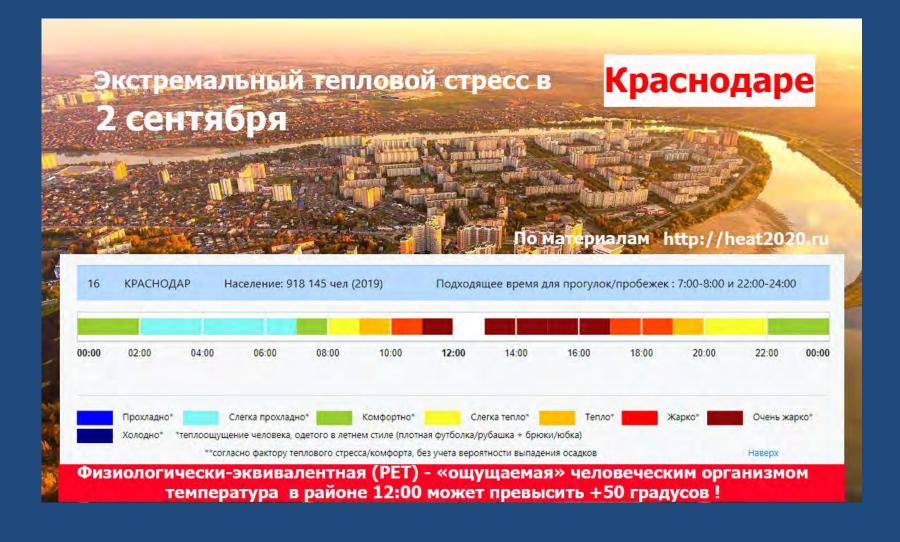


Тестовый проект heat2020.ru



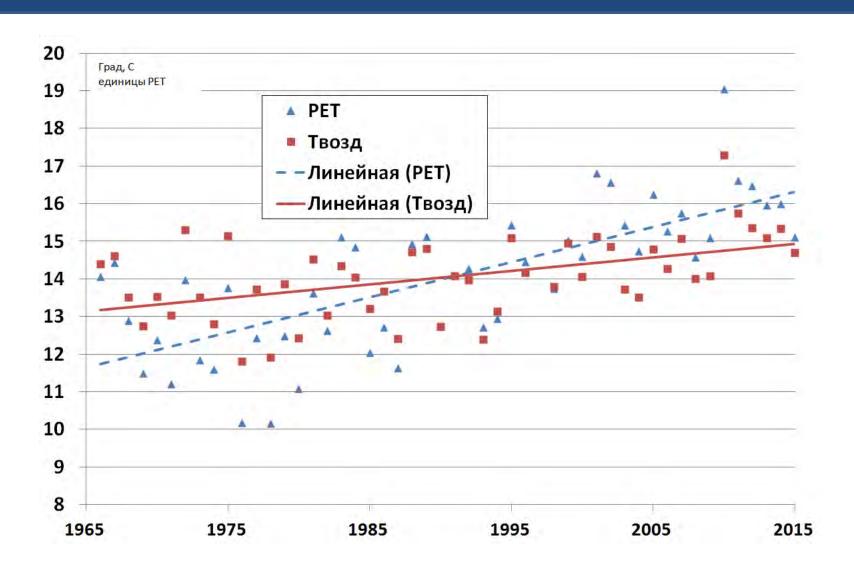








Тенденции последних 50 лет. Москва



ВМЕСТО ЗАКЛЮЧЕНИЯ

ДИСКОМФОРТ В ГОРОДАХ РАСТЕТ БЫСТРЕЕ, ЧЕМ ТЕПЛЕЕТ КЛИМАТ

